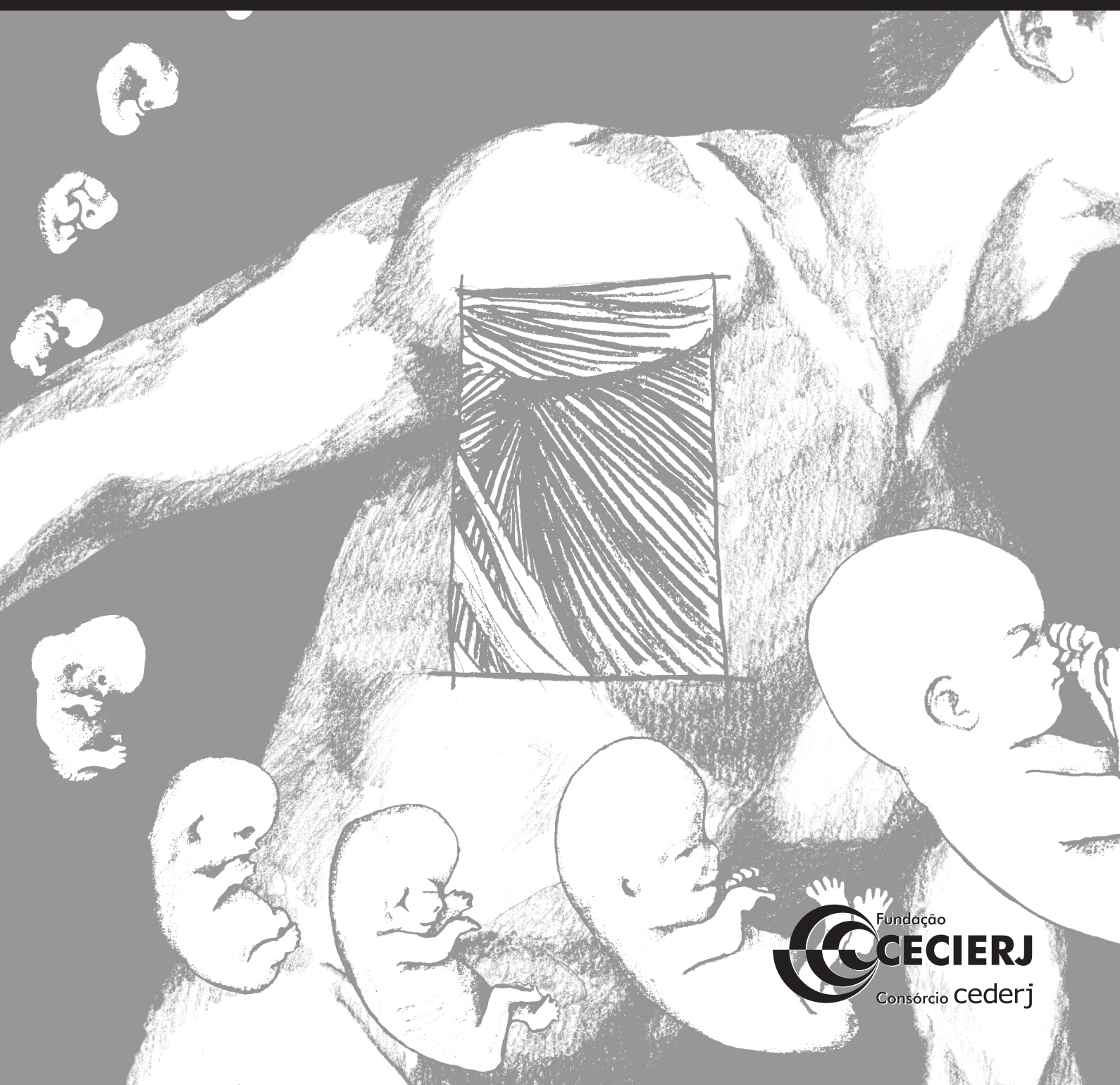


Adilson Dias Salles
Alfred Sholl-Franco
Daniela Uziel
Neide Lemos de Azevedo

Volume | 2
2ª edição

Corpo Humano I





Fundação

CECIERJ

Consórcio **cederj**

Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro

Corpo Humano I

Volume 2
2ª edição

Adilson Dias Salles

Alfred Sholl-Franco

Daniela Uziel

Neide Lemos de Azevedo



GOVERNO DO
Rio de Janeiro

SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA



Ministério
da Educação



Apoio:



Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Rua Visconde de Niterói, 1364 – Mangueira – Rio de Janeiro, RJ – CEP 20943-001

Tel.: (21) 2334-1569 Fax: (21) 2568-0725

Presidente

Masako Oya Masuda

Vice-presidente

Mirian Crapez

Coordenação do Curso de Biologia

UENF - Milton Kanashiro

UFRJ - Ricardo Iglesias Rios

UERJ - Cibeles Schwanke

Material Didático

ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO

Adilson Dias Salles

Alfred Sholl-Franco

Daniela Uziel

Neide Lemos de Azevedo

COORDENAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO

INSTRUCIONAL

Cristine Costa Barreto

DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL

E REVISÃO

Aroaldo Veneu

Janaina de Souza Silva

Luciana Messeder

Marta Abdala

Zulmira Speridião

COORDENAÇÃO DE LINGUAGEM

Maria Angélica Alves

COORDENAÇÃO DE AVALIAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO

Débora Barreiros

AVALIAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO

Ana Paula Abreu Fialho

Aroaldo Veneu

Departamento de Produção

EDITORA

Tereza Queiroz

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Jane Castellani

COPIDESQUE

Cristina Maria Freixinho

REVISÃO TIPOGRÁFICA

Elaine Bayma

Marcus Knupp

Patrícia Paula

COORDENAÇÃO DE

PRODUÇÃO

Jorge Moura

PROGRAMAÇÃO VISUAL

Alexandre d'Oliveira

André Freitas de Oliveira

Sanny Reis

ILUSTRAÇÃO

Fábio Muniz

CAPA

Fábio Muniz

PRODUÇÃO GRÁFICA

Patricia Seabra

Copyright © 2005, Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada, por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização, por escrito, da Fundação.

S347

Sholl-Franco, Alfred.

Corpo humano I. v. 2 / Alfred Sholl-Franco et al. – 2.ed. – Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.
308p.; 19 x 26,5 cm.

ISBN: 978-85-7648-369-4

1. Sistema nervoso. 2. Sono. 3. Memória. 4. Comportamento. I. Sholl-Franco, Alfred. II. Uziel, Daniela. III. Azevedo, Neide Lemos de. IV. Título.

CDD: 573

Governo do Estado do Rio de Janeiro

Governador
Sérgio Cabral Filho

Secretário de Estado de Ciência e Tecnologia
Alexandre Cardoso

Universidades Consorciadas

**UENF - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO
NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO**
Reitor: Almy Junior Cordeiro de Carvalho

**UERJ - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO**
Reitor: Ricardo Vieiralses

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
Reitor: Roberto de Souza Salles

**UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO**
Reitor: Aloísio Teixeira

**UFRRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DO RIO DE JANEIRO**
Reitor: Ricardo Motta Miranda

**UNIRIO - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO**
Reitora: Malvina Tania Tuttman

SUMÁRIO

Aula 11	– Hum... que cheiro é esse? E isso tem gosto de quê? _____	7
	<i>Alfred Sholl-Franco / Daniela Uziel</i>	
Aula 12	– Como nos comportamos? _____	31
	<i>Alfred Sholl-Franco / Daniela Uziel</i>	
Aula 13	– Por que dormimos? _____	53
	<i>Alfred Sholl-Franco / Daniela Uziel</i>	
Aula 14	– Aprender e esquecer ou aprender e lembrar? _____	77
	<i>Daniela Uziel</i>	
Aula 15	– Penso, logo existo? _____	105
	<i>Alfred Sholl-Franco / Daniela Uziel</i>	
Aula 16	– Sistema locomotor – o esqueleto humano _____	125
	<i>Neide Lemos de Azevedo</i>	
Aula 17	– Sistema neurolocomotor – o esqueleto como História e não como Geografia _____	149
	<i>Adilson Dias Salles</i>	
Aula 18	– Uma galinha não voa sobre o abismo. A dinâmica de nossos músculos _____	183
	<i>Adilson Dias Salles</i>	
Aula 19	– Uma questão de qualidade. O controle motor no cérebro _____	211
	<i>Adilson Dias Salles</i>	
Aula 20	– Descendo a rua da Ladeira ou como todos caminhos chegam à medula _____	263
	<i>Adilson Dias Salles</i>	
Referências	_____	297

Hum... que cheiro é esse? E isso tem gosto de quê?

AULA 11

Meta da aula

Descrever os processos envolvidos na percepção dos sentidos químicos: olfação e gustação.

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Identificar os órgãos que captam estímulos químicos olfatórios e gustatórios.
- Conhecer a via de transdução de sinal que nos permitem discriminar diferentes odores e sabores.
- Descrever as vias anatômicas que carregam informações de olfato e gustação, e compará-las entre si e com os outros sentidos do organismo.
- Localizar onde e como estes estímulos são processados no nível cortical.

Pré-requisitos

Para acompanhar bem esta aula, é importante que você reveja os conteúdos de permeabilidade da membrana, transportes e sinalização por receptores, presentes nas Aulas 9, 10, 11, 12, 13 e 14 da disciplina Biologia Celular I, o conteúdo de células do sistema nervoso, presente na Aula 10 da disciplina Biologia Celular, e a estrutura do sistema nervoso apresentada na Aula 6.

INTRODUÇÃO

Gostos e cheiros fazem parte de nosso cotidiano e nos provocam sensações agradáveis ou desagradáveis de que, muitas vezes, nos lembramos. Quem não conhece o cheiro de bolo assando no forno de casa? Ou o cheiro da pipoca quentinha do pipoqueiro da esquina?

Os estímulos olfatórios e gustativos, provenientes do meio ambiente, são recebidos por receptores específicos, os quimiorreceptores olfatórios e gustativos, que, com a evolução, foram se especializando e se adaptando. Nos humanos, esses sentidos (e em especial o olfato) sofreram perdas substanciais em suas potencialidades em detrimento de outros sentidos, como a visão e a audição. Apesar disso, são de extrema importância para distinguirmos cheiros e gostos e apresentam um funcionamento com muitos pontos semelhantes. Vejamos cada um deles separadamente, como eles se integram, e qual a sua importância em nossas vidas.

RECEPTORES SENSORIAIS PARA O OLFATO

O ar que inspiramos entra em nossa cavidade nasal e segue, pela via respiratória, para os pulmões. Já na parede da cavidade nasal, revestida por uma mucosa, ficam os quimiorreceptores (ciliados) capazes de captar substâncias odorantes que aparecem dissolvidas no ar que inspiramos. Esses receptores olfatórios são neurônios bipolares que apresentam um prolongamento periférico curto, o dendrito, e um outro longo e central, o axônio. Ficam situados somente no teto da cavidade nasal entre células de sustentação e células basais (**Figura 11.1**). O epitélio que reveste o teto da cavidade nasal é, portanto, denominado olfatório, ao passo que o que recobre o restante da cavidade é denominado respiratório. A população de quimiorreceptores é renovada a cada seis a oito semanas pela proliferação e diferenciação de seus precursores, células basais (volte à Aula 12 de Biologia Celular II em que vimos as células tronco para relembrar o que são precursores).

O prolongamento periférico do receptor olfatório se estende na superfície da mucosa olfatória e seu terminal expande-se formando o botão olfatório. Do botão partem de seis a doze cílios que irão formar uma camada densa na superfície da mucosa (**Figura 11.1**). São estes cílios os responsáveis pela interação com as moléculas odoríferas. Eles ficam embebidos em uma camada de muco produzido pelas células epiteliais da mucosa.

No muco se dissolvem os odorantes (**Tabela 11.1**), substâncias capazes de ativar estes receptores. Nele também se encontram proteínas ligantes de odorantes, que “capturam” as moléculas odorantes, facilitando seu contato com a membrana dos quimiorreceptores.

Tabela 11.1: Substâncias de composição química semelhante podem pertencer a classes odoríferas distintas. Numa mesma classe encontramos substâncias de estruturas químicas diferentes. Na Natureza, a representação dos odores referentes às classes primárias deve-se à “mistura de odores”.

ODOR PRIMÁRIO	ODORANTES (SUBSTÂNCIA QUÍMICA PURA CORRESPONDENTE)
FLORAL	Alfa-ionona, álcool betafeniletílico
ETÉREO	1,2-Dicloroetano, acetato de benzila
ALMISCARADO	Anéis cetônicos (C_{15-17}): civetona, acetona do almíscar
CANFORADO	1,8-Cineol, cânfora
SUOR	Ácido isovalerânico, ácido butírico
FÉTIDO	Sulforeto de hidrogênio, etilmercaptano
CADÁVER	Cadaverina
PODRE	Putrecina
PENETRANTE	Ácido fórmico, ácido acético

O prolongamento central são axônios não mielinizados que se reúnem num feixe de aproximadamente 100 axônios, quando então, circundados por células de Schwann, cruzam a **lâmina crivosa do osso etmóide** para o bulbo olfatório ipsolateral na superfície inferior do lobo frontal (**Figura 11.1**). A estes pequenos feixes de axônios denominamos nervo olfatório (ou primeiro par craniano).

O epitélio respiratório da cavidade nasal, que não tem células sensoriais olfatórias características, também é capaz de captar e transmitir informações provenientes de estímulos odoríferos. Essa captação se dá através de terminações nervosas livres de fibras sensoriais do nervo trigêmeo (volte à Aula 8 desta disciplina para lembrar), por exemplo, que são estimuladas quando estes odoríferos são danosos à mucosa nasal.

Na parede medial da cavidade nasal, encontramos, também, o órgão vômero- nasal, presente em mamíferos não-humanos e em outros vertebrados inferiores. Este órgão é composto de células semelhantes àquelas que processam estímulos olfatórios, mas que processam odores relacionados a comportamentos (os ferormônios), principalmente sexuais. Podem ser encontrados em fetos humanos, mas sua presença e papel fisiológico em humanos adultos são muito questionados.

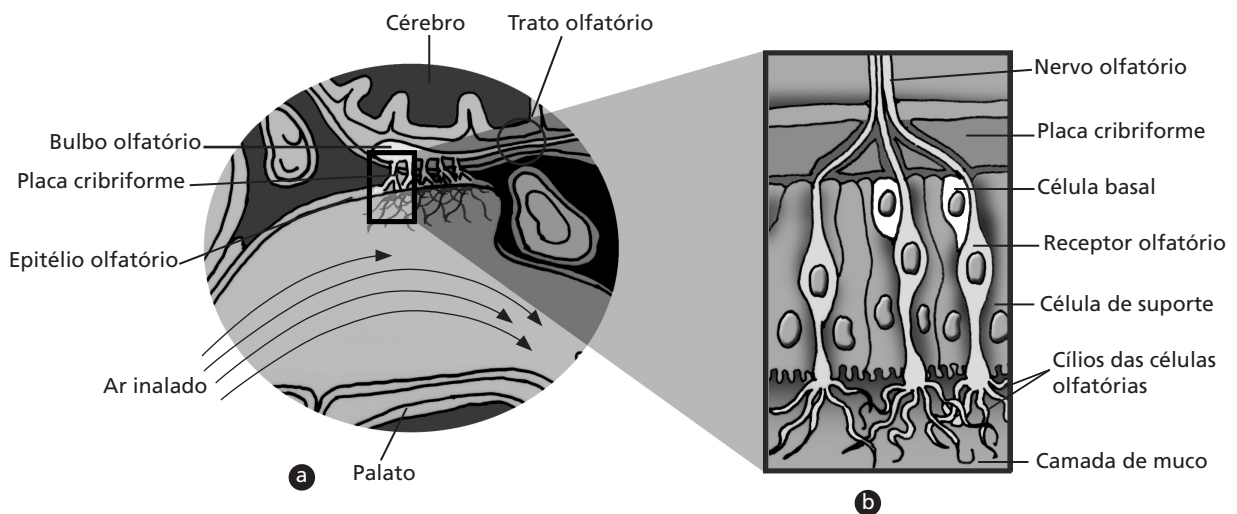


Figura 11.1: Em (a), corte da face na linha média do corpo, expondo a cavidade nasal e o trajeto do ar inspirado. No teto da cavidade nasal está localizado o epitélio olfatório com seus receptores. Em (b), temos o maior aumento da região destacada em (a) mostrando em detalhe o receptor olfatório em meio às células de sustentação. Note que os cílios dessas células são seus dendritos que ficam imersos numa camada de muco.

TRANSFORMAÇÃO DE UMA INFORMAÇÃO EM SINAIS ELÉTRICOS

Como ocorre também para os outros sentidos, os quimiorreceptores precisam transformar a informação olfatória num impulso elétrico capaz de ser compreendido pelo SNC. O mecanismo de transdução (veja a Aula 14 da disciplina de Biologia Celular I) da via olfatória é relativamente simples. Vamos compreender melhor este processo? As moléculas odoríferas, para estimularem os receptores olfativos, precisam primeiro se difundir pela camada de muco que recobre a superfície receptiva do receptor. Para tanto, elas se ligam a proteínas específicas do tecido nasal, as proteínas ligadoras de odorantes, que se encontram diluídas no muco. Estas pertencem a uma família de proteínas carreadoras de pequenas moléculas hidrofóbicas, e sua função é, além de transportar moléculas odorantes, agir como um filtro impedindo a estimulação excessiva do receptor por uma determinada substância. Uma proteína com função análoga a esta, a proteína glandular salivar, pertence a esta mesma família, e pode concentrar e distribuir moléculas para os receptores gustativos.

A ligação da substância odorante com o receptor leva à ativação de uma proteína G e a um conseqüente aumento do AMPc, um importante mensageiro intracelular. O AMPc liga-se ao domínio citoplasmático de canais de sódio e cálcio, fazendo com que se abram permitindo o influxo destes íons. A entrada de cálcio leva à abertura de canais de cloro, que sai da célula receptora. Desta forma, geram-se potenciais receptores que, se atingirem o limiar na zona de disparo, vão gerar potenciais de ação no axônio da célula receptora (Figura 11.2).

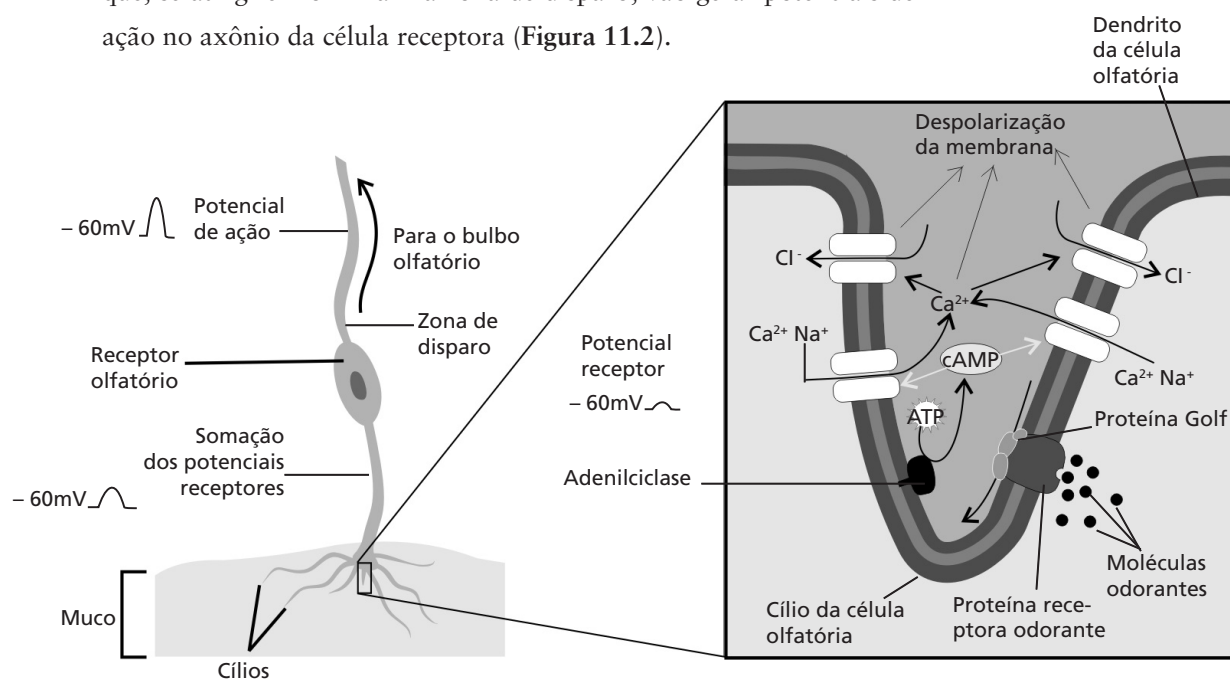


Figura 11.2: Em todos os cílios das células receptoras há grandes proteínas de membrana capazes de ligar os odorantes que se dissolvem no muco. A ativação destas proteínas leva à abertura de canais de cátions que, em última análise, levam à despolarização da célula e à gênese de um potencial de ação.

Você já deve ter percebido que, quando permanecemos num determinado ambiente por um período relativamente longo, deixamos de perceber os odores aos quais estamos expostos. Por que isso ocorre? A explicação é bem simples: a manutenção do estímulo por um longo espaço de tempo leva a uma diminuição na intensidade da sensação, num fenômeno denominado adaptação (semelhante ao que vimos para o tato na Aula 8). Caso os estímulos prolongados sejam de alta intensidade, ocorre perda da sensação por completo. Fisiologicamente, a adaptação se explica pelo aumento do limiar de excitabilidade do receptor após certo tempo de exposição ao estímulo.

LÂMINA CRIVOSA DO OSSO ETMÓIDE

O osso etmóide é um dos ossos que constituem o crânio, dando sustentação ao encéfalo. Este osso apresenta muitas perfurações (por isso, o termo crivosa) em sua maior superfície horizontal (lâmina).

TRATO OLFATÓRIO

Conjunto de fibras (axônios) que trafega dentro do SNC, conectando duas ou mais estruturas formando um feixe. No caso, o trato olfatório carrega as informações de olfato.

VIA DE PROCESSAMENTO OLFATÓRIO

Os filetes do nervo olfatório (os axônios dos receptores) que atravessam a **LÂMINA CRIVOSA DO OSSO ETMÓIDE** penetram no crânio em sua região mais anterior, onde está localizado o bulbo olfatório (**Figura 11.1**). O bulbo fica na porção mais anterior e ventral do encéfalo, abaixo do lobo frontal, sob o qual caminha o **TRATO OLFATÓRIO**, que dá continuidade ao bulbo. Estes axônios fazem, então, sinapses com células residentes no bulbo – células mitrais e células tufosas – numa região especializada denominada glomérulo (**Figura 11.3**). Nos cortes histológicos em que os corpos celulares são corados, estes glomérulos aparecem como “bolinhas” com o centro claro, onde estão localizados os prolongamentos celulares, e a periferia escura, onde ficam as células que os cercam, os interneurônios periglomerulares (**Figura 11.4**).

As células mitrais e tufosas apresentam longos axônios que carregam a informação olfatória para o córtex cerebral. Os interneurônios periglomerulares e as células granulares que aparecem interpostas entre as células mitrais e tufosas modulam a função destas últimas, exacerbando o estímulo proveniente de um grupo de receptores e diminuindo de outros.

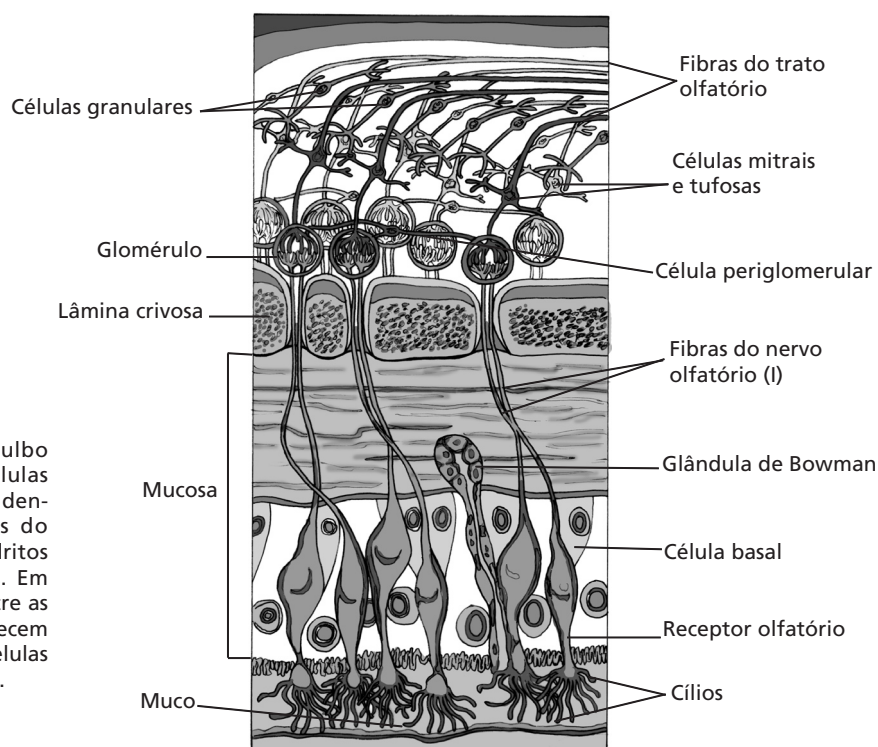


Figura 11.3: Conexões no bulbo olfatório. Os axônios das células receptoras fazem sinapse já dentro do SNC nos glomérulos do bulbo olfatório com os dendritos das células mitrais e tufosas. Em torno destes glomérulos e entre as células mitrais e tufosas aparecem inúmeros interneurônios: as células periglomerulares e granulares.

As informações olfatórias seguem para o córtex piriforme e para a **AMÍGDALA** sem passar pelo tálamo, diferente do que ocorre para todos os outros sentidos do nosso corpo. O córtex piriforme, localizado numa região ventral do córtex frontal (**Figura 11.5**), é o local de processamento primário do estímulo olfatório, semelhante ao que ocorre na área visual e somestésica primárias (como visto nas Aulas 8 e 9 desta disciplina) que processam estes tipos de estímulos. Uma vez no córtex piriforme, esta informação vai ser transmitida para o tálamo (e daí de volta para o córtex), hipotálamo e hipocampo (**Figura 11.5.b**), sendo estas duas últimas estruturas essenciais no processamento de memória e do conteúdo emocional (como o medo e a raiva). Não se conhece muito sobre o processamento cortical, mas acredita-se que cada cheiro percorreria um trajeto neural determinado. Além disso, em estudos recentes vêm-se demonstrando que diferentes características do processamento olfatório, como intensidade e qualidade, vão levar ao funcionamento de áreas cerebrais diferentes, como se observa na **Figura 11.6**.

AMÍGDALA

É uma estrutura nuclear localizada no telencéfalo, próxima ao hipocampo, relacionada com comportamentos volitivos (você verá mais sobre a amígdala na Aula 12 desta disciplina).



Figura 11.4: Corte histológico da estrutura ilustrada na figura anterior, mostrando os glomérulos (*), as células periglomerulares (□) e camada de células mitrais e tufosas (→).

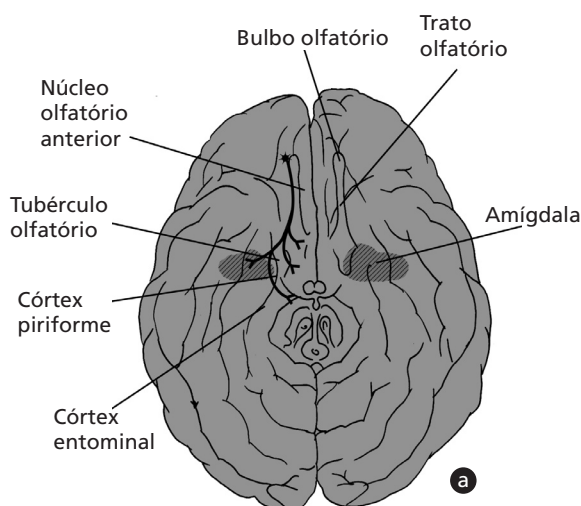
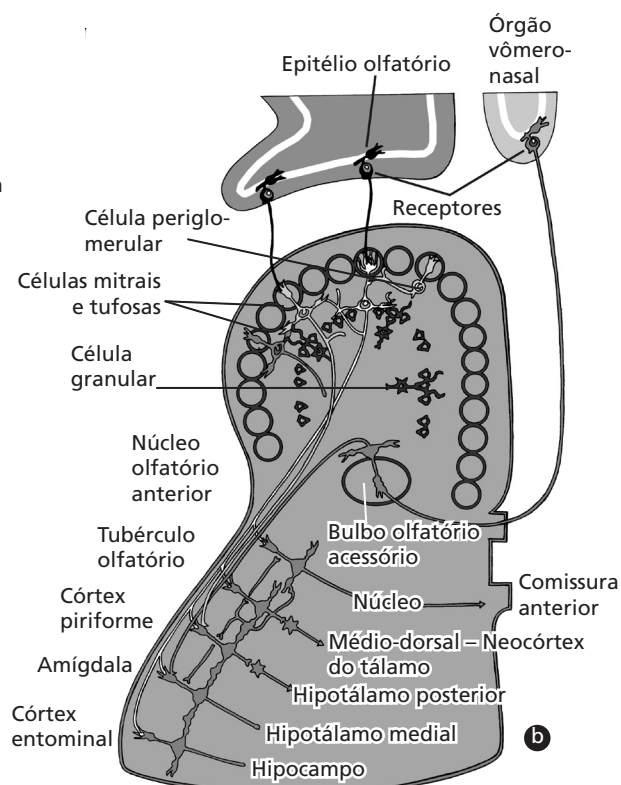


Figura 11.5: Em (a) temos uma visão do SNC humano, em que os bulbos e o trato olfatório aparecem sob os lobos frontais bilateralmente. A região tracejada é o córtex piriforme, o sítio primário de recepção dos estímulos olfativos. Em (b) observam-se detalhes das conexões que partem do epitélio olfatório e chegam às diferentes áreas do SNC.



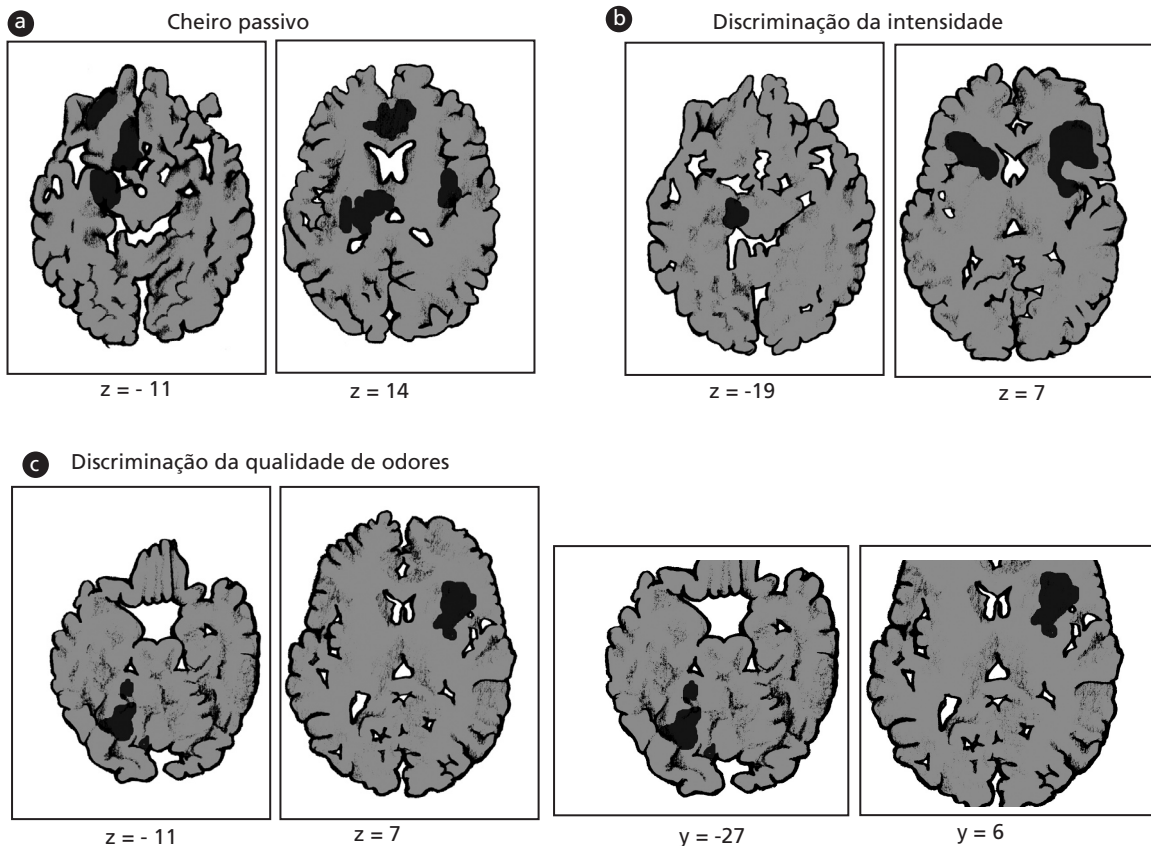


Figura 11.6: A tomografia de emissão de pósitrons é um artifício muito utilizado atualmente para o estudo em seres humanos vivos. Injeta-se, na pessoa que será submetida ao exame um contraste radioativo, que será enormemente captado nas áreas mais utilizadas do cérebro (indicados pelas manchas pretas sob o fundo cinza na figura). O tomógrafo é capaz de captar estes sinais quando a pessoa, dentro do aparelho, é solicitada a desempenhar uma determinada tarefa. Assim, observamos as áreas corticais ativadas quando a pessoa: (a) apenas cheira uma substância qualquer; (b) discrimina sua intensidade; (c) discrimina sua qualidade. Observe que, para facilitar, os cérebros não são analisados tridimensionalmente, mas em fatias (cortes horizontais), como você pode observar voltando à Figura 6.12 na Aula 6 desta disciplina.

“MAPEAMENTO” DOS CHEIROS

Desde os tempos da Grécia antiga, muitas foram as tentativas de se classificar cheiros e gostos. Enquanto para a gustação foi possível, no início do século XX, definir cinco gostos básicos (que veremos logo a seguir), para o olfato esta tarefa sempre foi mais complexa.

Na tentativa de classificar os odores básicos, Aristóteles (384–322 a.C.) os definiu como: doce, azedo, pungente, desagradável, suculento e fétido (amargo). Outros autores introduziram, a partir dos séculos XVIII e XIX, o conceito de cheiros como o fragrante e o hircino (que se refere ao cheiro do bode), como sugerido por Lineu (1707-1778), ou o etéreo e o pútrido, sugeridos por Henning (1885-?). Classificar os odores

nunca foi, enfim, possível. Hoje em dia consideramos que isso se deve, ao menos em parte, ao fato de existir uma quantidade de odores (ou uma combinação deles) tão grande que foge a uma classificação lógica.

Conhece-se, atualmente, uma grande família de receptores olfatórios e, pelo menos, de 500 a mil genes que codificam moléculas receptoras de olfato. Estas moléculas receptoras se localizam nos cílios dos quimiorreceptores olfatórios e não apresentam uma especificidade determinada por um tipo de cheiro. Cada representante desta família reconhece, porém, uma gama limitada de substâncias odoríferas. Ou seja, é possível definir, para cada receptor olfatório, um espectro de resposta a cheiros.

QUANTOS CHEIROS SOMOS CAPAZES DE IDENTIFICAR? CENTENAS? MILHARES? QUAL A SUA OPINIÃO?

Você deve ter chegado à conclusão de que nossa capacidade de identificar odores é muito ampla, quase ilimitada. Principalmente porque não nos baseamos em apenas um odor primário (promovido por um odorante específico), mas na combinação de odores para formar o conceito de um cheiro. Achou confuso? Neste caso, dê uma parada e pegue um cafezinho, um suco ou mesmo um refrigerante para relaxar. Aproveite este tempo de descanso e tente definir qual é o cheiro da bebida que você escolheu. Só não vale, neste caso, escolher água, pois, para ser considerada pura, ela deve ser inodora (sem cheiro).

E então? A que conclusão você chegou? Nós aprendemos, com a experiência, a associar os cheiros (função superior) e não a analisar cada componente odorífero individualmente, ou seja, interpretamos melhor o conjunto do que as partes isoladas.

Quer outro exemplo? Qual é o seu perfume preferido? Se você for olhar no frasco, verá apenas que na composição entra o uso de fragrâncias. Como você define essa fragrância? Adocicada, amadeirada, cítrica? São definições genéricas pouco específicas, embora receptores olfatórios específicos estejam sendo estimulados. Parte do grande trunfo da indústria de perfumaria é manter em segredo a combinação específica de odores primários utilizada em cada fragrância, cuja secular combinação, em alguns casos, pode proporcionar a você tanto prazer como mal-estar.

Como podemos distinguir então as diferentes combinações de odores? Para que sejamos capazes de detectar uma ampla variedade de odores, uma combinação de odorantes leva à ativação combinada de um conjunto de receptores. Os axônios destes receptores convergem para os glomérulos no bulbo olfatório e ativam as células mitrais e tufoas (Figura 11.7). Estima-se que de 500 a mil axônios provenientes dos receptores converjam para as células no bulbo de uma forma organizada, o que leva a ativação específica de determinadas regiões no bulbo olfatório, formando um verdadeiro mapa de odores (Figura 11.8). Como você pode observar, este mapa não é topograficamente organizado como aquele que você viu nas aulas de somestesia ou de visão, já que, aparentemente, não existe uma ordenação das informações químicas.

Figura 11.7: Representação esquemática de grupos de receptores com características semelhantes que convergem para células mitrais e tufoas possibilitando a formação de mapas olfatórios.

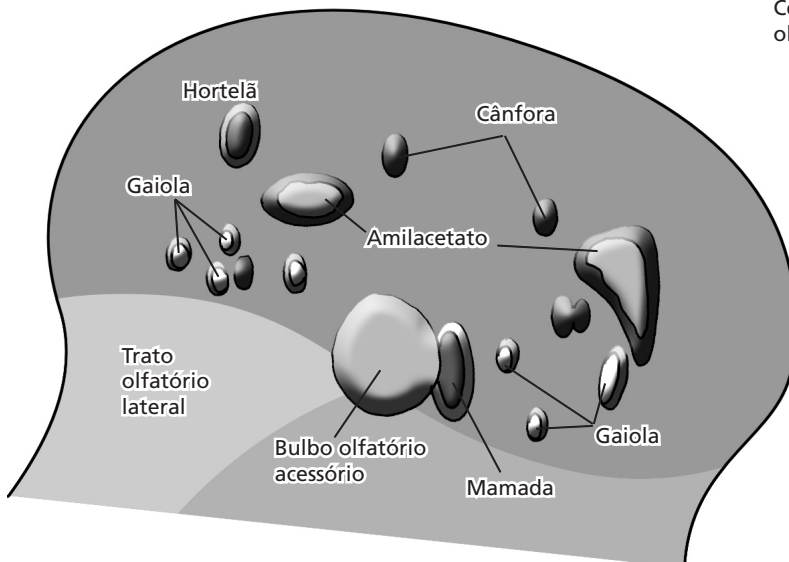
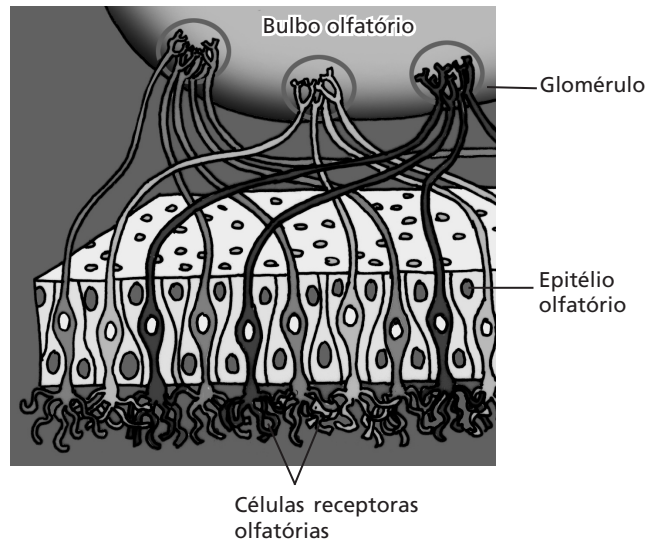


Figura 11.8: Mapa olfatório localizado no bulbo olfatório feito pela testagem de animais experimentais a diferentes odores (cânfora, hortelã, a própria gaiola etc.). As regiões demarcadas apresentam aumento de metabolismo (evidenciado pelo aumento de glicose marcada com radioatividade, previamente injetada no animal) quando o animal é exposto a determinado odor.



ATIVIDADES

1. Por que classificamos o epitélio nasal em respiratório e olfatório? Quais as características deste último?

RESPOSTA COMENTADA

Como você pôde ver até agora, a cavidade nasal, que é parte do sistema respiratório, é revestida por epitélio respiratório. Somente o teto desta cavidade apresenta um epitélio diferenciado, capaz de captar odorantes dissolvidos no ar, ligá-los e produzir sinais elétricos para o SNC que codifiquem este tipo de sinal proveniente do meio externo. O epitélio olfatório se caracteriza pela presença de receptores ciliados, células basais e células de sustentação. Os cílios ficam embebidos no muco que reveste a cavidade.

2. Na Aula 8, vimos que o córtex somestésico primário apresenta uma representação corporal deformada (o homúnculo), mas que reflete bastante bem nossa área corporal em contato com o meio externo. O que podemos dizer sobre os mapas olfatórios?

RESPOSTA COMENTADA

E então? Lembrou-se da imagem do homúnculo e de como a deformação reproduz a importância de determinadas áreas corporais em detrimento de outras (menos sensíveis). Para o olfato não podemos dizer o mesmo, pois não temos uma precisão na representação dos odores químicos. Aparentemente, os odorantes não precisam de uma organização precisa para serem processados. O importante é que as informações provenientes de determinados conjuntos de receptores (que apresentam proteínas ligantes de odorantes com espectro de resposta semelhante) converjam para células mitrais e tufoas no bulbo. Assim, a informação fica localizada numa determinada porção do bulbo (e provavelmente no restante da via olfatória), mas não tem uma organização topográfica como ocorre para a somestesia ou para a visão. Caso você tenha tido dificuldade, retorne ao texto e caso a dúvida persista, procure o tutor.

RECEPTORES SENSORIAIS PARA A GUSTAÇÃO

A gustação é essencial para a sobrevivência, já que possibilita distinguir alimentos de toxinas em potencial. Muitas de nossas preferências são inatas, como, por exemplo, a preferência por doces e a aversão por substâncias amargas. Nosso instinto, porém, pode ser modificado pela experiência e podemos aprender a tolerar, e até mesmo a gostar de substâncias amargas como o café e o quinino (água tônica). Quando mastigamos um alimento, o colocamos em contato com nosso órgão gustatório: a língua.

Os receptores gustativos estão organizados em agregados de 50 a 150, formando órgãos especializados sensoriais denominados botões gustativos. Cada botão gustativo, além de conter vários receptores, tem células basais (células precursoras dos receptores) e células de suporte (Figura 11.9). Em geral, um indivíduo possui entre 2 mil e 5 mil botões gustativos, que são encontrados na língua majoritariamente, agrupados nas papilas gustativas.

Em humanos existem três tipos morfológicos de papilas: fungiformes, foliadas e circunvaladas. Na Figura 11.9, você pode observar a distribuição destas papilas na superfície da língua.

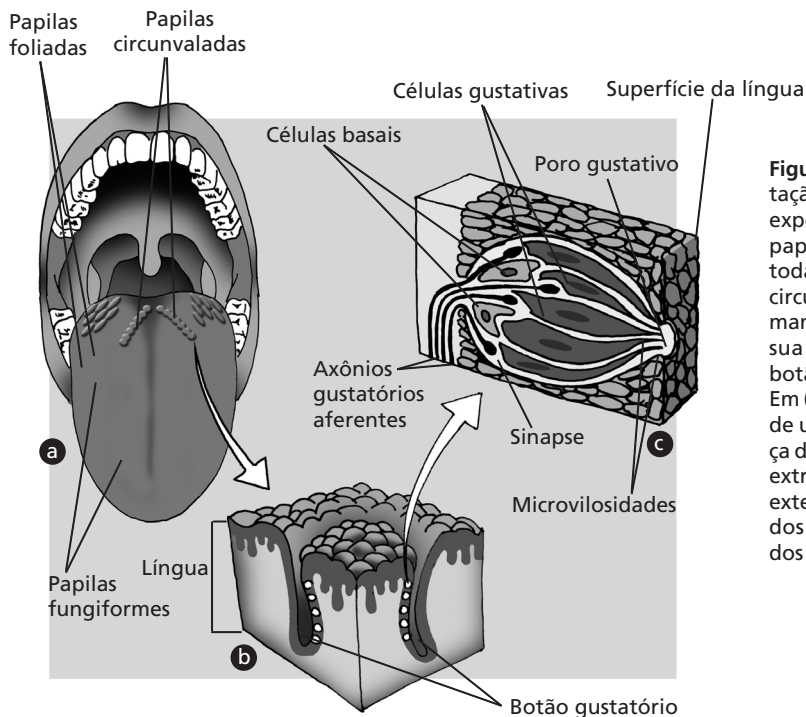


Figura 11.9: Em (a) temos a representação da cavidade oral com a língua exposta, onde podemos visualizar as papilas fungiformes distribuídas por toda a extensão da língua, as papilas circunvaladas na parte posterior, formando um V, e as papilas foliadas em sua lateral. Em (b), observamos um botão gustatório com seus receptores. Em (c) temos os componentes celulares de um botão gustativo. Note a presença de microvilosidades e de um poro na extremidade em contato com o meio externo poro gustativo, e a presença dos aferentes na extremidade basal dos receptores.

Os botões gustativos também podem ser encontrados no epitélio do palato (teto da cavidade bucal), da faringe, da epiglote e no terço superior do esôfago. Nestas regiões, diferente do que se observa na língua, os botões gustativos não se encontram em forma de papilas, mas sim dispersos. As papilas, visíveis a olho nu, podem ser facilmente identificadas, ao passo que os botões compreendem estruturas microscópicas.

Na superfície que faz face com o meio externo, em contato com a saliva, os botões têm irregularidades com uma depressão na extremidade. Os receptores apresentam, neste local, microvilosidades, e é nesta região que os estímulos químicos são detectados.

Diferente dos receptores olfatórios que são neurônios, os receptores gustativos são células epiteliais. Apesar disso, assim como os quimiorreceptores olfatórios, expressam moléculas receptoras da gustação, cujo mecanismo de transdução de sinal você verá a seguir. Cada receptor é innervado, em sua base (na extremidade oposta às microvilosidades), por ramos de fibras aferentes primárias. Estas fibras aferentes podem ser extremamente ramificadas e cada um de seus ramos vai innervar uma papila. Cada papila contém diversos botões gustativos. O contato entre o receptor e a fibra aferente é caracterizado morfológica e bioquimicamente como uma sinapse química.

MECANISMOS DE TRANSDUÇÃO

Em vertebrados, os receptores gustativos são potencialmente capazes de disparar potenciais de ação clássicos, já que têm canais de sódio, potássio e cálcio dependentes de voltagem, como a maioria dos neurônios, mas não o fazem. Sua excitação resulta na formação de pequenos (sublimiares) potenciais geradores, que promovem um aumento nos níveis citoplasmáticos de cálcio. O aumento de cálcio endógeno livre leva liberação de neurotransmissores vesiculados, com conseqüente formação de potenciais de ação nas fibras aferentes que innervam o botão gustativo. O limiar dos receptores depende da intensidade do estímulo (concentração limiar), porém concentrações muito baixas não são detectadas pelos receptores.

A complexidade da sensação gustativa resulta da ativação de diferentes classes de receptores, que podem ser sensíveis a pelo menos cinco diferentes sabores básicos. Cada receptor sensorial tem vários mecanismos de transdução e pode responder a vários tipos de substâncias, embora responda de maneira mais eficiente a um ou dois tipos apenas.

A resposta a estímulos de maior complexidade gustativa se deve à ativação de combinações específicas de receptores que codificam estas qualidades básicas (doce, salgada, amargo e *umami*). Os mecanismos transduccionais para cada uma das modalidades gustativas são distintos, porém, para a detecção de um sabor podem estar envolvidos um ou mais mecanismos. Veja agora com atenção as diferenças entre os mecanismos de transdução das cinco modalidades de sabor.

Salgado – O mecanismo transducional para esta modalidade não está relacionado a receptores específicos, pois resulta da passagem direta de íons através de canais de cátions presentes na membrana apical. Como o sal é composto por NaCl, quando a concentração dos íons Na⁺ aumenta do lado extracelular, há entrada por estes canais, o que altera diretamente o potencial de membrana do receptor sensorial. Cria-se um potencial receptor despolarizante que culmina com a saída do conteúdo das vesículas e excitação do terminal aferente (**Figura 11.10.a**).

Azedo – O gosto de azedo é transduzido após a estimulação por componentes ácidos, ou seja, pelo aumento da acidez e conseqüente aumento de íons H⁺ (prótons) livres. Os prótons são capazes de passar pela membrana plasmática do receptor sensorial através dos canais de sódio (o mesmo tipo de canal que medeia o sabor salgado), despolarizando a célula. Os ácidos também atuam bloqueando canais de potássio existentes nas microvilosidades, interrompendo o fluxo natural deste íon para fora da célula.

O bloqueio destes canais de potássio pelos componentes ácidos acentua a despolarização da membrana e resulta na geração do potencial receptor. Este segundo componente é que nos faz diferenciar sabores salgados de ácidos. Semelhante ao descrito para o sabor salgado, cria-se um potencial receptor despolarizante que culmina com a saída do conteúdo das vesículas e excitação do terminal aferente (**Figura 11.10.b**).

Doce – Existem várias substâncias químicas capazes de gerar este sabor por meio de dois diferentes mecanismos: ativação de uma proteína G e aumento do AMPc intracelular, ou aumento de IP3 pela fosfolipase A. Em ambos os casos, a substância se liga a um receptor de membrana ainda não identificado. Sabe-se que este receptor não é específico e que reconhece substâncias bem diferentes, como sacarídeos (glicose, frutose, sacarose), peptídeos (aspartame; aquele mesmo, utilizado nos adoçantes!), ânions orgânicos e mesmo proteínas. O AMPc atua nestas células promovendo a abertura de canais seletivos de sódio não-dependentes de voltagem presentes na membrana apical da célula, o que resulta na despolarização do receptor; e promovendo, por fosforilação via proteína cinase A, o fechamento de canais de potássio dependentes de voltagem localizados na membrana basolateral dos receptores. A via pelo AMPc é ativada pelos sacarídeos.

Já o aumento de IP3 é causado por substâncias não-sacarídicas, e resulta no aumento nos níveis citoplasmáticos de cálcio via produção, de modo semelhante ao observado para a transdução do sabor amargo. O aumento nos níveis citoplasmáticos de cálcio leva à liberação de neurotransmissores (Figura 11.11).

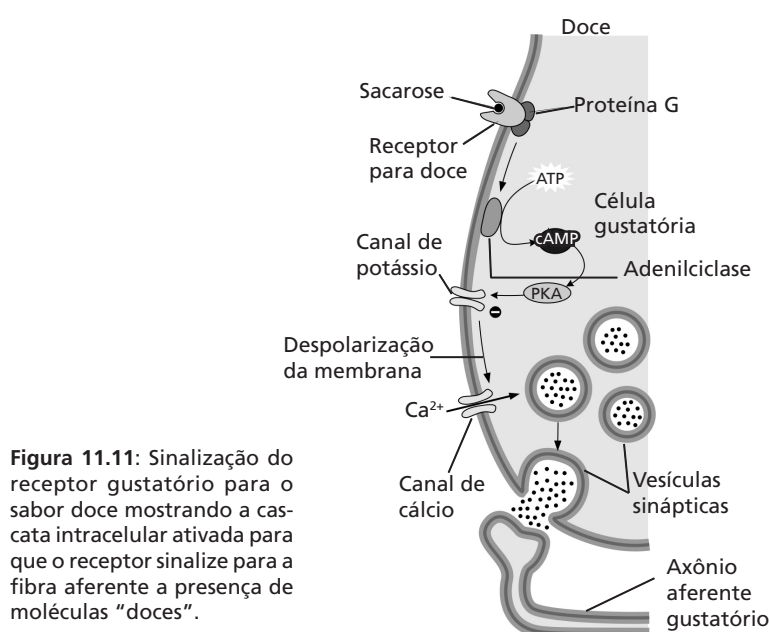


Figura 11.11: Sinalização do receptor gustatório para o sabor doce mostrando a cascata intracelular ativada para que o receptor sinalize para a fibra aferente a presença de moléculas “doces”.

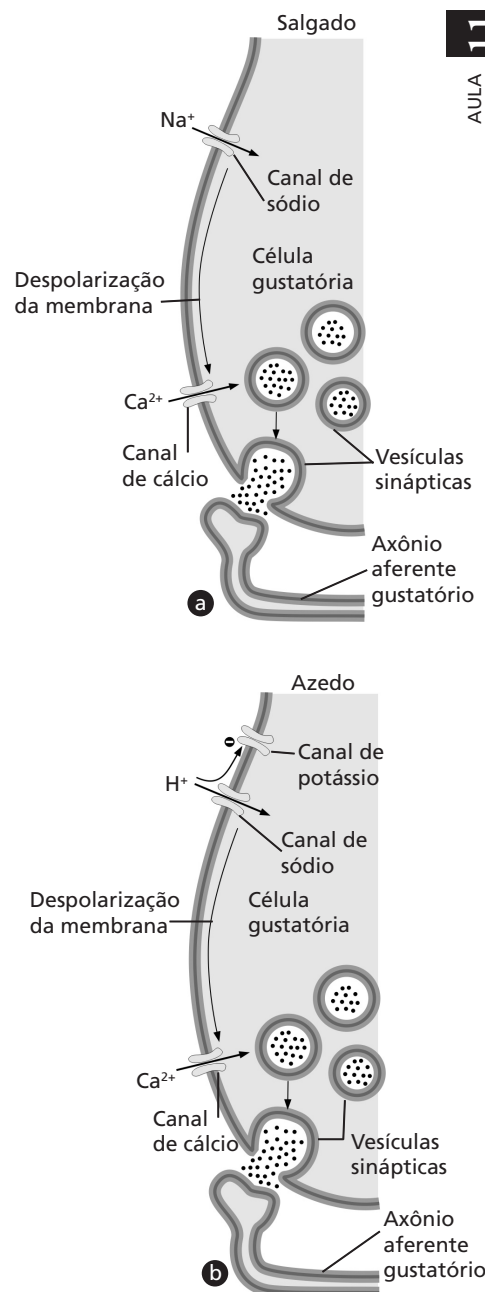


Figura 11.10: Sinalização do receptor gustatório para o sabor (a) salgado e (b) azedo. A entrada de cátions leva à gênese de um potencial receptor e à saída de vesículas contendo neurotransmissor.

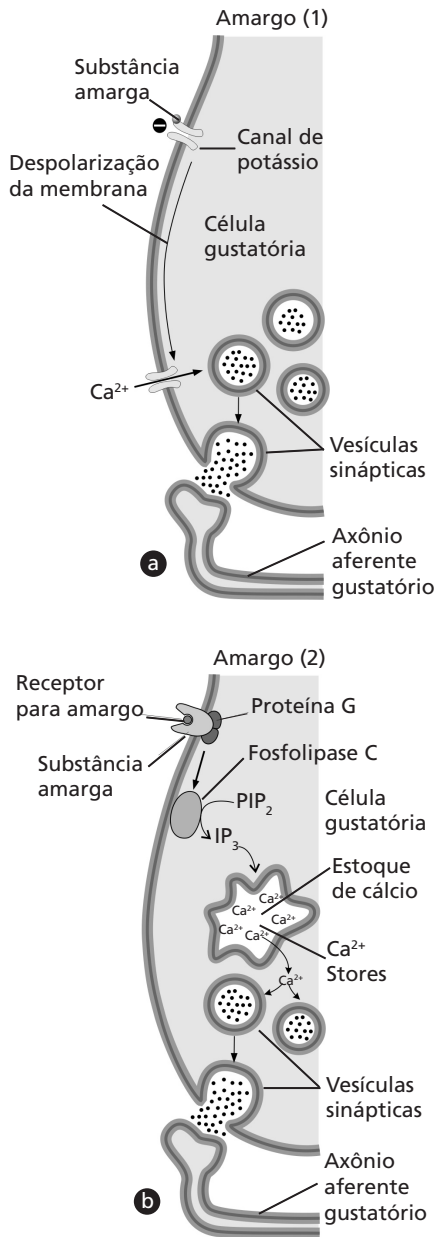


Figura 11.12: Duas vias de sinalização diferentes já identificadas do receptor gustatório para o sabor amargo. Uma (a) leva diretamente ao influxo iônico pelos canais da membrana plasmática. A outra (b) ativa, indiretamente, uma proteína de membrana que desencadeia uma cascata de segundo-mensageiros que leva à abertura de canais.

Amargo – O gosto amargo é transduzido por diferentes mecanismos e está muito associado a estímulos nocivos. Estas substâncias podem se ligar diretamente a canais de potássio, bloqueando-os, como já descrito para o sabor azedo. O quinino age desta forma, podendo também agir pela ativação de uma proteína de membrana que leva ao aumento de IP_3 e conseqüente aumento nos níveis citoplasmáticos de cálcio pela liberação de estoques endógenos. O nível elevado de cálcio citoplasmático é o responsável pela liberação de neurotransmissores e pela ativação da fibra aferente (Figura 11.12).

Aminoácidos (UMAMI) – Os aminoácidos, por serem componentes de proteínas, são excelentes fontes de energia. Alguns têm gosto bom e outros são amargos. O mecanismo mais conhecido de transdução é o do sabor *umami*, produzido pelo glutamato e pelo aspartato. O glutamato pode ativar o receptor sensorial de diferentes maneiras: através de receptores permeáveis a cálcio e sódio, que despolarizam a célula, ou por meio de receptores que levam a uma diminuição nos níveis de AMPc citoplasmático, o que modifica a permeabilidade da célula por um tipo de canal ainda desconhecido (Figura 11.13).

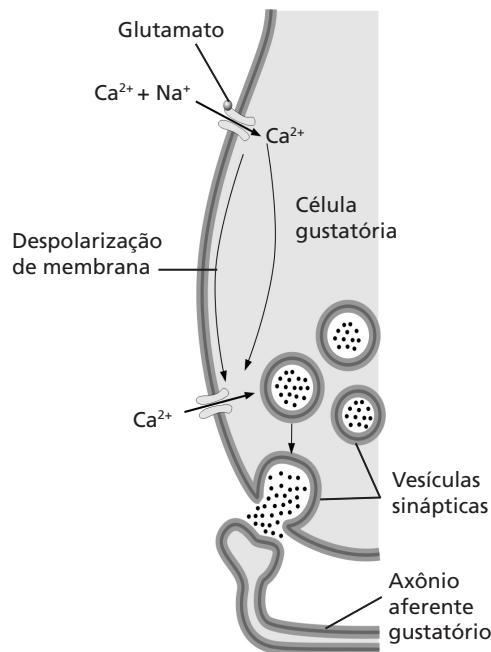


Figura 11.13: A sinalização do receptor gustatório para o *umami* se dá pela ligação direta do aminoácido com o canal de cátions, que se abre permitindo o influxo de sódio e cálcio.



O glutamato é um aminoácido, mas, na culinária oriental, tem mais valor como tempero do que como nutriente. Isso se deve à sua capacidade de ativar receptores específicos e, desta forma, intensificar os sabores. Essa característica levou esse sabor a ser denominado *umami* (delicioso). Entretanto, devemos ter cuidado com a utilização desta substância, pois, em geral, ela é comercializada na forma de glutamato monossódico e seu consumo em excesso pode levar a sérios problemas, como a perda da sensibilidade gustativa (síndrome do restaurante chinês), dores de cabeça e aumento da pressão arterial.

VIAS DE PROCESSAMENTO GUSTATÓRIO

Bem, já vimos os mecanismos moleculares relacionados à identificação dos vários estímulos. Agora você irá aprender o modo como a informação codificada será conduzida para áreas superiores e então processadas. Os corpos celulares dos quimiorreceptores encontram-se lado a lado, e suas extremidades basais e laterais estão em contato com os terminais aferentes de axônios. Quando qualquer uma das células receptoras se despolariza, o potencial receptor provoca a ancoragem das vesículas sinápticas acumuladas na base da célula (**Figuras 11.10 a 11.13**).

Quando os neurotransmissores são liberados na fenda sináptica, geram um potencial pós-sináptico e uma sequência de potenciais de ação nestes axônios aferentes. Estes, por sua vez, vão veicular a informação para dentro do SNC através de três nervos: o facial (sétimo par craniano, faz a inervação gustatória dos dois terços anteriores da língua), o glossofaríngeo (nono par craniano, faz a inervação gustatória do terço posterior da língua) e o vago (décimo par craniano, faz a inervação gustatória da glote, epiglote e faringe). Os corpos celulares destas fibras se encontram em gânglios ainda fora do crânio (relembre, na Aula 6 desta disciplina, as partes do SNC e do SNP). Na Aula 8, reveja como os estímulos somestésicos da cabeça chegam ao tronco encefálico pelo nervo trigêmeo, pois aqui temos uma via semelhante. O prolongamento central destas células se projeta para o núcleo gustatório no tronco encefálico, onde ocorre nova sinapse, uma nova projeção para um núcleo talâmico, e depois, finalmente, para o córtex gustatório, localizado no córtex insular (**Figura 11.14**).

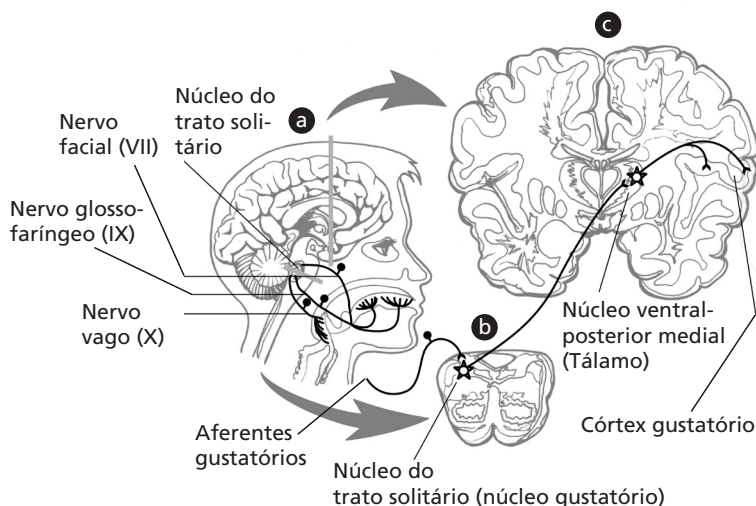


Figura 11.14: (a) Nos botões gustatórios da língua chegam fibras aferentes dos nervos facial e glossofaríngeo, ao passo que fibras do vago vão inervar os botões localizados na faringe. (b) Os neurônios, cujos axônios formam os nervos facial e glossofaríngeo, se projetam para núcleos específicos no tronco encefálico, onde existe uma primeira estação de processamento gustatório. (c) O tálamo é a estação seguinte, e o córtex, a estação terminal.

Até hoje não se sabe exatamente como a codificação do paladar é feita. Acreditava-se que receptores específicos para vários sabores básicos se conectariam, em separado com neurônios dos núcleos do tronco encefálico que só respondem a um sabor específico e que daí seguiriam para o córtex correspondente.

Porém, constatou-se que os receptores podem responder a vários tipos de substâncias, embora cada receptor sensorial responda de maneira mais eficiente a uma determinada. Se os receptores e os axônios aferentes dos neurônios que inervam os receptores sensoriais são inespecíficos, somente os neurônios centrais gustativos seriam responsáveis pela interpretação dos sabores. Esta questão ainda permanece em aberto e ainda está sendo pesquisada pelos neurofisiologistas.

INTEGRAÇÃO OLFATO-GUSTAÇÃO

A integração entre estes dois sentidos pode ser compreendida, pois o gosto de um alimento é claramente afetado pelo odor que desprende. Como a ativação do centro olfativo é mais rápida (já que este sentido é o único a projetar seus axônios para o córtex sem passar pelo tálamo, como você viu há pouco), o indivíduo pode sentir o “gosto” (cheiro) do alimento antes que a mensagem proveniente dos receptores gustativos seja recebida pelo SNC. Um bom exemplo disso é quando estamos resfriados. Você já deve ter tido mais dificuldade para degustar o alimento, durante um resfriado. Por que será? A porção afetada é a olfatória, mas fica nítida a dependência destas informações para construirmos uma representação adequada de um sabor.

Entretanto, apesar de atuarem sinergisticamente, os dois sentidos apresentam particularidades no processamento dos estímulos. Os receptores olfativos são neurônios primários, responsáveis pelo disparo de potenciais de ação. Em resposta à estimulação geram potenciais receptores despolarizantes que causam um aumento na frequência de potenciais de ação.

Em contrapartida, apesar de terem a capacidade de gerar potenciais de ação, os receptores gustativos respondem a um estímulo disparando potenciais geradores pequenos e sublimiáres. Estes potenciais levam à liberação de neurotransmissor capaz de excitar uma fibra aferente de projeção, por sua vez responsável pelo disparo do potencial de ação.

O sistema olfativo não é organizado de modo a existir uma correlação entre as projeções dos neurônios gustativos secundários no bulbo olfatório com as regiões originais do epitélio olfatório. Não existe uma organização topográfica específica, como observado em outros sistemas sensoriais, como o tato e a visão. Em contrapartida, a discriminação de pelo menos quatro diferentes sabores fica distribuída em porções determinadas da língua, como se observa na **Figura 11.15**. Apesar de ainda se duvidar desta distribuição, o sistema gustativo apresenta uma segregação espacial das populações de receptores na língua de maneira conservada no núcleo gustativo, no tálamo e no córtex, independente do sabor que esteja sendo processado.

A classificação dos diferentes estímulos olfatórios em grupos de substâncias afins, que possam ser consideradas como qualidades olfativas, torna-se difícil. Ao contrário do que ocorre no sentido da gustação, que está organizada em quatro qualidades básicas (doce, salgado, azedo e amargo). Este fato deve-se à pouca organização na interpretação dos estímulos e, apesar disso, o olfato ainda é de suma importância para direcionar os processos de respostas emocionais (sistema límbico), certos tipos de memórias (correlativas) e em processos de regulação autonômica.

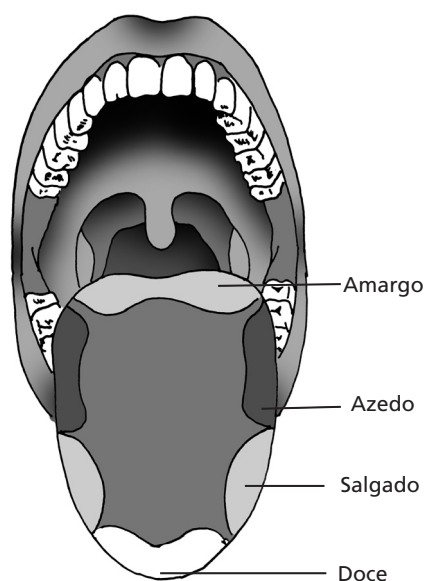


Figura 11.15: Discriminação seletiva de sabores em diferentes regiões da superfície da língua. Apesar de haver uma sobreposição, acredita-se que na extremidade anterior o sabor doce seja mais detectado, ao passo que salgado e azedo aparecem, respectivamente ântero e póstero-lateralmente, e o amargo próximo à raiz da língua.



Para avaliarmos a integração sensorial olfatória e gustativa podemos tomar como exemplo o sabor de qualquer refeição. Este sabor provém de uma complexa experiência que combina informações de várias modalidades sensoriais. Esta característica essencial dos alimentos é resultado da integração entre olfato e gustação. Entretanto, o sabor sofre ainda influências da percepção da temperatura e da textura do alimento. Afinal, você prefere purê de batatas cremoso e quente ou embolotado, arenoso e frio? Este processo integrativo é útil, uma vez que fornece informações sobre a consistência e composição química dos alimentos. Assim, podemos dizer que esta característica é capaz de afetar o nosso organismo de maneira a alterar a secreção salivar (e pancreática) e a mobilidade intestinal, bem como determinar a aceitação ou rejeição de determinados alimentos (decisão baseada na preferência, no apetite e na aprendizagem).

SISTEMA LÍMBICO

Conjunto de estruturas do diencéfalo e do telencéfalo que processam emoções e comportamentos volitivos. Podem-se citar a amígdala, o hipotálamo, o hipocampo, os núcleos anteriores do tálamo, o córtex cingulado e o córtex pré-frontal, como partes deste sistema.

COMPORTAMENTO HOMEOSTÁTICO

Referente a homeostase, compreende a tendência do organismo em manter a permanente constância do meio interno, ou seja, é a manutenção das funções básicas do organismo, tanto voluntárias como involuntárias (regulação da ingestão de água e de alimentos, das frequências cardíaca e respiratória etc.) para que o organismo seja mantido sem grandes variações.

AS CONEXÕES DOS SISTEMAS GUSTATIVO E OLFATÓRIO COM A AMÍGDALA E O HIPOTÁLAMO

As conexões do sistema olfatório para a amígdala e outras estruturas do **SISTEMA LÍMBICO** são úteis para a regulação das funções neuroendócrinas e sexuais, assim como para a integração de comportamentos sociais. Lesões de algumas destas conexões alteram comportamentos maternos (cuidado com a prole, amamentação etc.) ou reprodutivos ou ainda restringem a regulação hormonal da sincronização e ajuste do ciclo ovariano (menstrual), o comportamento de cruzamento e de agressão em mamíferos. O sistema límbico atua também como uma estação de retransmissão da informação que conecta o córtex olfatório com o hipotálamo, essencial na regulação das funções vitais, como abordado na Aula 21 desta disciplina.

Os sistemas olfatório e gustativo estão organizados com múltiplas vias que seguem paralelamente, pelas quais fluem informações sobre a percepção consciente da sensação química e da regulação de uma variedade de **COMPORTAMENTOS HOMEOSTÁTICOS** que apresentam componentes motivacionais e emocionais. A íntima associação destas modalidades sensoriais com o sistema límbico e com regiões hipotalâmicas relacionadas ao controle do comportamento do apetite sugere que eles estão envolvidos em ações inconscientes que requerem sensações químicas (como preferência alimentar e seleção dos alimentos), além de estarem relacionados com funções conscientes da percepção.

ATIVIDADES



3. Que nos faz perceber gostos diferentes (doce, salgado, azedo, amargo): receptores, moléculas receptoras ou vias de transdução de sinal?

RESPOSTA COMENTADA

Você terá respondido corretamente se entendeu que, aparentemente um receptor pode responder a mais de um tipo de estímulo diferente, mas precisa ter “maquinaria” para isso. Vejamos alguns casos separadamente. Entre salgado e azedo, por exemplo, o aumento do sódio (salgado) ou de prótons (azedo) livres vai fazer com que estes íons entrem na célula por canais de cátions. Porém, os prótons causam também o fechamento de canais de potássio, sendo esta, aparentemente a única diferença na sinalização dos dois sabores. Já a diferença entre salgado e doce se dá na transdução do salgado não há uma proteína de membrana envolvida, ao passo que na do doce sim. A ligação da sacarose, por exemplo, com a proteína receptora de membrana vai levar a um aumento do AMPc, conseqüente ativação de uma proteína cinase A e, enfim, à abertura de canais. Já o amargo pode atuar diretamente no fechamento de canais de potássio ou via ativação de uma proteína G. Ou seja, a diferença pode estar em cada um dos passos da via.

4. Cite e explique duas diferenças entre a via central olfatória e a via central da gustação.

RESPOSTA COMENTADA

Pensou na existência ou não de uma organização topográfica específica? Acertou! No sistema olfativo não existe uma correlação entre as projeções dos neurônios gustativos secundários no bulbo olfatório com as regiões originais da mucosa. Já o sistema gustativo apresenta uma segregação espacial das populações de receptores na língua de maneira conservada no núcleo gustativo, no tálamo e no córtex. A via olfatória segue direto do bulbo para o córtex sem passar pelo tálamo, uma estação de processamento existente não só na via gustatória, mas em todas as outras vias sensoriais (auditiva, visual e somestésica).

De maneira análoga ao observado para a somestesia, a visão e a audição, os sentidos de olfato e gustação também nos trazem informações sobre o ambiente externo. A via que leva informações de olfato chega ao córtex cerebral sem passar por tantas estações intermediárias de processamento como acontece para os outros sentidos. Isto sugere que esta via é mais rudimentar, apesar de não ser, nos seres humanos, aparentemente, explorada em todas as suas potencialidades. Olfato e gustação, apesar de terem vias distintas, são muito interdependentes: quem consegue sentir o gosto da comida quando está resfriado?

RESUMO

Os receptores olfatórios são neurônios primários que enviam axônios para o bulbo olfatório. A partir daí, a informação segue para o córtex cerebral, onde é feita a discriminação primária de odores. Do córtex partem conexões importantes para o processamento emocional e autonômico do odor.

Já a via da gustação se inicia por uma célula epitelial que, curiosamente faz sinapse com um aferente encarregado de levar a informação gustatória para o SNC. Discretas diferenças nas vias de transdução de sinal pelo receptor vão nos dar as sensações dos diferentes sabores que conhecemos. Estes dois sentidos exercem papéis importantes mediando nossa interação com o meio externo e controlando mecanismos de fome e motivação sobre os quais não temos controle direto.

ATIVIDADE FINAL

Agora que você já estudou os cinco grandes sentidos do organismo, procure avaliar as semelhanças e diferenças entre eles. Faça uma tabela que leve em conta pelo menos um dos receptores de cada modalidade sensorial, os tipos de estímulos por eles veiculados, o trajeto do estímulo no SN, os pontos de sinapse e a localização cortical primária de cada uma destas funções. Em que estas semelhanças e diferenças são importantes?

RESPOSTA COMENTADA

A seguir você encontrará uma sugestão de tabela. Você poderá optar por preenchê-la com receptores diferentes para tato e visão, por exemplo. Em essência, é importante que você note que, apesar de existirem particularidades para as diferentes modalidades, o fluxo de informações é muito semelhante, e o ponto de convergência de todos é o córtex. Nem sempre seremos capazes de explicar por que um sistema funciona de um jeito diferente do outro. Temos que ter em mente que todas estas funções apareceram e foram selecionadas durante a evolução porque “deram certo”, mas não conseguiremos dizer quem é melhor ou pior.

	Tato	Visão	Audição	Olfato	Gustação
Receptor	Mecanorreceptores	Cones	Células ciliadas da cóclea	Células ciliadas olfatórias	Células gustativas
Estímulo	Toque	Luz	Vibrações sonoras	Odorantes	Sabores (substâncias químicas dissolvidas na saliva)
Trajetória do estímulo no SN	Periferia->gânglio da raiz dorsal->medula->tronco encefálico->tálamo->córtex	Retina->nervo óptico->quiasma óptico->tálamo->radiações ópticas->córtex	Cóclea->Nervo vestibulo coclear->bulbo->ponte->mesencéfalo->tálamo->córtex	Epitélio olfatório->nervo olfatório->bulbo olfatório->córtex piriforme	Botões gustativos (língua)->nervos facial e glossofaríngeo->bulbo->tálamo->córtex
Pontos de sinapse	Medula (dor), bulbo encefálico (toque), tálamo, córtex	Retina, tálamo, córtex	Cóclea, bulbo, ponte, mesencéfalo, tálamo, córtex	Epitélio olfatório, bulbo olfatório, córtex piriforme, córtex entorrinal e amígdala	Botões gustativos, bulbo, tálamo, córtex
Área cortical primária	Área somestésica primária (S1) no lobo parietal	Área visual primária (V1) no lobo occipital	Área auditiva primária (A1) no lobo temporal	Córtex piriforme e córtex entorrinal no lobo frontal	Córtex gustatório no lobo da ínsula

AUTO-AVALIAÇÃO

Tendo terminado de ler esta aula, você deve ter compreendido a estrutura das células receptoras e das vias que fazem o processamento dos estímulos químicos. Agora, quando você for jantar, pense em todos os processos que estão ocorrendo quando você cheira a comida que colocará na boca, e no gosto que você sente ao mastigá-la. Lembre-se da transdução de sinal para os diferentes gostos, e pense em como as informações de odor e paladar irão influenciar você na escolha dos alimentos daqui em diante.

INFORMAÇÕES PARA A PRÓXIMA AULA

O olfato e a gustação foram os últimos sentidos a serem estudados, concluindo, junto com a somestesia, a visão e a audição, os cinco grandes sentidos do organismo. A partir de agora veremos outras funções de nosso Sistema Nervoso, como aquelas relacionadas à homeostase (Aula 11), ao comportamento (Aula 12), à regulação do ciclo sono-vigília (Aula 13), aos mecanismos de memória (Aula 14) e às nossas funções cognitivas mais complexas. Veremos que todos estes estímulos captados do meio externo serão essenciais para o nosso processamento superior.

AULA 12

Como nos comportamos?

Meta da aula

Relacionar os componentes centrais e periféricos envolvidos com os nossos estados emocionais e com a produção de comportamentos regulatórios e motivados.

objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Definir emoções e suas origens.
- Descrever a sequência de eventos relacionados à produção de comportamentos.
- Relacionar e nomear as áreas anatômicas do sistema límbico com seus papéis funcionais.
- Descrever as diferentes formas de expressar os estados emocionais.

Pré-requisitos

Para você acompanhar bem esta aula, é importante rever os conteúdos sobre células do sistema nervoso, na Aula 10 de Biologia Celular; os componentes estruturais do sistema nervoso, apresentados na Aula 6, e o funcionamento do sistema autônomo, apresentado na Aula 21 desta disciplina.

INTRODUÇÃO

Ao longo de nossa vida, experimentamos várias emoções: raiva, medo, tristeza, alegria, ansiedade, depressão, hostilidade, desprezo, aflição, amor, prazer, excitação etc. Dá quase para se perder o fôlego de tanto enumerá-las. Observe que os estados emocionais são, quase sempre, o resultado de como nos relacionamos uns com os outros. Como animais sociais, temos necessidade de trocar informações, desejos e opiniões. Antes mesmo de começar a “falar” e nos comunicar por meio de palavras, apresentamos meios eficientes para expressarmos nossas emoções. Pense um pouco mais sobre isso!

Os sentimentos e as emoções são, na maior parte das vezes, desencadeados a partir de estímulos visuais, auditivos ou odoríferos provenientes de certos objetos ou seres. Sabe-se, há bastante tempo, que esta grande variedade de comportamentos ou estados emocionais envolvem muitos processos orgânicos, embora não exista uma definição científica precisa de todos os eventos relacionados com esta variedade de comportamentos. Normalmente, usamos o termo emoções para expressar nossos sentimentos e nosso estado de humor, demonstrados em respostas comportamentais e expressões corporais – com destaque para as expressões faciais.

As emoções são acompanhadas por respostas endócrinas, autônomas (viscerais) e da musculatura esquelética (somáticas). Estas respostas são comandadas por diferentes áreas do sistema nervoso. Destacam-se as atuações de três áreas principais: a amígdala, o hipotálamo e o tronco encefálico. Nesta aula, vamos nos concentrar mais na amígdala e na forma como ela controla as respostas autônomas, que serão alvo da Aula 21. Além disso, veremos os mecanismos pelos quais nossas expressões faciais podem ser controladas.

As emoções são caracterizadas por seu precoce surgimento no desenvolvimento (já sendo observado em bebês recém-nascidos), assim como pelas suas formas características de expressão, em que destacam as expressões faciais. Desta forma, emoções prazerosas (agradáveis) ou desagradáveis passam a ser determinadas por estímulos internos e externos percebidos por nós. Durante o nosso desenvolvimento, construímos um banco de memórias, com as representações perceptuais das diferentes emoções. Assim, o mundo de representações do nosso emocional é construído e desenvolvido em função da experiência em se demonstrar emoções, dos mecanismos de auto-regulação e do fato de nos adaptarmos ao ambiente “social”, o que, em seu conjunto, nos permitirá utilizar as nossas emoções como forma de comunicação.

HISTÓRICO

O estudo do comportamento emocional começou a despertar o interesse dos estudiosos a partir do final do século XIX. Acreditava-se, inicialmente, no conceito de que as emoções nada mais eram do que a percepção das alterações fisiológicas que ocorriam nos indivíduos em dadas situações. Esse conceito foi desenvolvido por Wiliam James (veja o box de atenção) para explicar o comportamento emocional (**Figura 12.1**). James propôs que um indivíduo, após perceber um estímulo que o afeta, sofre alterações fisiológicas perturbadoras: angústia, palpitações, falta de ar etc. O reconhecimento desses sintomas pelo cérebro é que seria o grande desencadeador da emoção. Desta forma, pode-se dizer que as sensações físicas são a emoção. Entretanto, como você bem sabe, podemos manter um estado emocional mesmo após o término dos reflexos fisiológicos. Por exemplo, quando perdemos alguém querido, logo que recebemos a notícia, ficamos desesperados, choramos, expressamos nosso estado emocional. Com o tempo, continuamos tristes, sem o desespero inicial ou o choro. Você já deve ter passado por alguma experiência semelhante. Não precisa ser apenas algo triste, pode ser também alguma situação alegre. O mais interessante é que nossa reação não é um ato voluntário (pelo menos, não exclusivamente), uma vez que não decidimos pelo estado emocional que “queremos” vivenciar.

Na teoria de James, ficou famosa a pergunta: “Fugimos porque sentimos medo ou sentimos medo porque fugimos?” James acreditava que a resposta “fugimos porque sentimos medo” estava errada, e defendia o contrário: “sentimos medo porque fugimos”. Segundo ele, são as reações fisiológicas que provocam sentimentos. Por exemplo, durante a ação de fuga, a pressão sanguínea aumenta, o número dos batimentos cardíacos dispara, as pupilas se dilatam etc. As respostas fisiológicas retornam ao cérebro na forma de sensação física e o padrão único de retroalimentação sensorial proporciona a cada emoção uma qualidade singular. O medo produz uma sensação diferente, por exemplo, da de alegria, uma vez que possui características fisiológicas diferentes. Nesta teoria, as emoções são mediadas por áreas sensoriais e motoras do córtex. As áreas sensoriais são necessárias para a detecção imediata de estímulos e, em seguida, para “sentir” as respostas produzidas pelas áreas motoras.



A maioria de nós usa a palavra emoção para nos referirmos aos sentimentos, e não aos comportamentos (o modo como se exterioriza o estado emocional). Entretanto, são eles que guiam a nossa sobrevivência e reprodução. Durante a evolução, ficou bem claro o papel dos comportamentos (respostas físicas) como guias da evolução do nosso cérebro. Os sentimentos associados aos comportamentos só aparecem bem depois.

Os primeiros estudos neurofisiológicos sobre comportamento foram desenvolvidos em 1929, por Walter Cannon e Philip Bard, com a retirada cirúrgica de massa cortical (em animais de laboratório) e a observação da importância de áreas como o hipotálamo e o tálamo nas emoções. A partir deste e de outros experimentos, chegou-se à conclusão de que a interação entre o córtex e as estruturas subcorticais e do diencefalo (veja estes conceitos na Aula 6) precisa estar intacta para que as respostas emocionais ocorram. Assim, para gerar um comportamento, temos a atuação de várias áreas cerebrais (**Figura 12.1**). Nesta teoria (Cannon-Bard), a exposição de um indivíduo a um fato que, de alguma forma, o afeta faz com que o impulso nervoso atinja primeiramente o cérebro (observe esta sequência na **Figura 12.1**) e, a partir daí, a mensagem irá produzir as experiências subjetivas de medo, alegria, raiva ou tristeza (que dependem da ativação cortical). Simultaneamente, percebe-se a produção dos comportamentos observados (respostas autônomas e somáticas).

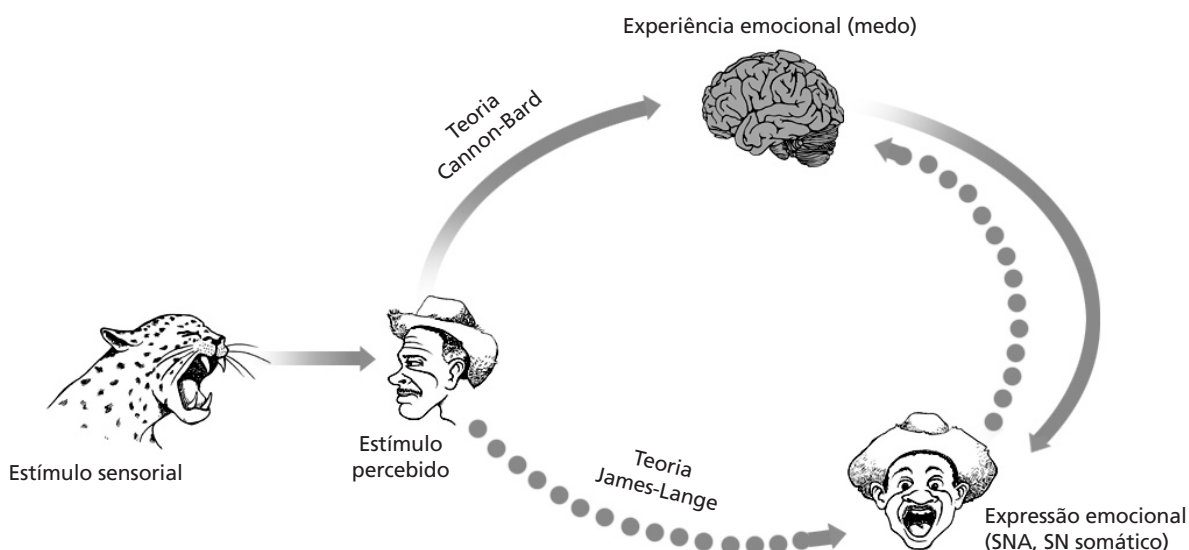


Figura 12.1: Esquema ilustrando as duas teorias iniciais sobre a gênese dos estados emocionais. Segundo a teoria de James-Lange (flechas pontilhadas), o homem percebe o perigo e reage com manifestações físicas (autônomas e do SN motor somático) e, a seguir, a informação será interpretada, desencadeando o medo (estado emocional). Entretanto, na teoria de Cannon-Bard (flechas contínuas), o estímulo ameaçador é conduzido primeiramente ao cérebro, onde a análise do perigo (sentimento de medo) e a reação física (comportamento) serão desencadeados.

Medidas fisiológicas das emoções

- Medidas periféricas: frequência cardíaca, condutância da pele (que irá representar a sudorese), atividade elétrica muscular – dos músculos corrugador e zigomático – piscar dos olhos etc. Neste caso, mensuram-se, principalmente, atividades do nosso sistema nervoso autônomo.
- Medidas centrais (atividade cerebral).

Em 1937, o médico e neuroanatomista James Papez (boxe explicativo) estudou casos de pacientes acometidos de encefalite viral, uma doença que atinge determinadas áreas cerebrais, para observar a importância da influência hipotalâmica sobre as estruturas corticais (neocórtex). Ele observou que as vias envolvidas na transmissão de informações compreendem as conexões desde o giro do cíngulo até a formação hipocampal. A remoção experimental da região da amígdala e da formação hipocampal leva a uma inversão do comportamento inicial dos animais utilizados. Este estado emocional, induzido pela remoção, foi denominado “síndrome comportamental”, capaz de transformar macacos selvagens em mansos e coelhos dóceis em animais agressivos e selvagens. Assim, o funcionamento harmônico do circuito descrito por Papez seria o grande responsável pelo mecanismo de elaboração das funções centrais das emoções (sentimentos e afetos), bem como pelas expressões periféricas (expressão).

Com o avanço tecnológico, determinadas técnicas de pesquisa possibilitaram o estudo de animais anestesiados, o que facilitou a avaliação do comportamento emocional pelo uso da estimulação química e elétrica de diferentes regiões cerebrais. Até a década de 1950, acreditava-se haver uma área cerebral específica para cada tipo de comportamento ou, ainda, que existiria uma molécula responsável. Hoje já se sabe que isso era uma simplificação, pois, na verdade, cada comportamento envolve várias áreas e depende de um intrincado quadro de eventos que utilizam vários neurotransmissores.

James Papez (1883-1958) demonstrou que a emoção não é um produto de centros cerebrais específicos, mas sim de um circuito, envolvendo quatro estruturas básicas, interconectadas por feixes nervosos (o hipotálamo com seus corpos mamilares, o núcleo anterior do tálamo, o giro cingulado e o hipocampo). Sua teoria enfoca a idéia de que as mensagens sensoriais provindas do corpo dividem-se no tálamo em dois fluxos: o fluxo de pensamentos e o fluxo de sentimentos. O fluxo de pensamentos consiste nas informações sensoriais através das vias talâmicas até as regiões do neocórtex. Através deste fluxo, as sensações são transformadas

Continua...

em percepções, pensamentos e lembranças. O fluxo de sentimentos também incluía a transmissão sensorial para o tálamo, mas nessa etapa as informações são transmitidas ao hipotálamo, possibilitando a geração das reações corporais características das emoções. Através de uma via ligando o hipotálamo ao tálamo anterior, a informação segue também até o córtex cingulado e daí para o hipocampo, onde são ativados processos de memória. Na sequência, através do hipocampo, a informação é retransmitida ao hipotálamo, o que permite que os pensamentos localizados no córtex cerebral controlem as reações emocionais (veja a **Figura 12.2**). Para mais detalhes sobre a vida acadêmica de Papez, visite o endereço eletrônico <http://www.uic.edu/depts/mcne/founders/page0070.html>.

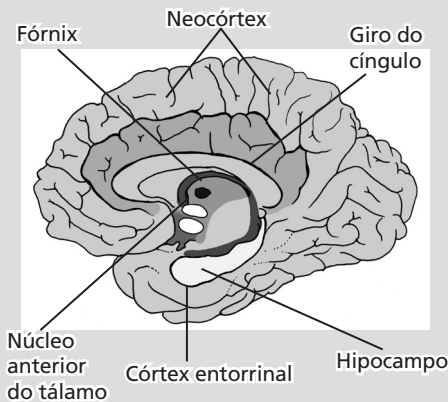
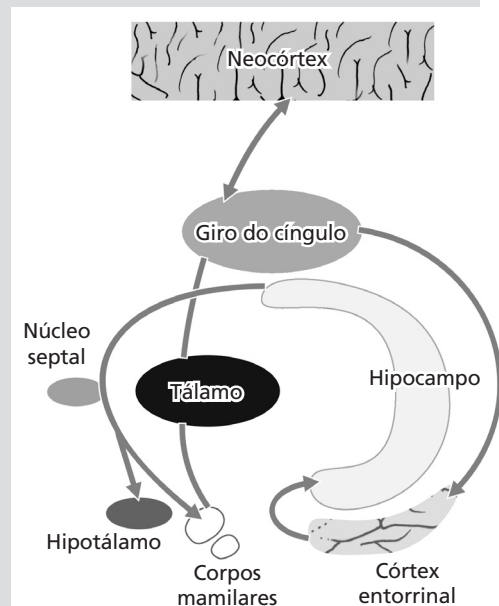


Figura 12.2: O córtex cingulado representa, para Papez, o local onde a experiência da emoção seria primariamente determinada. Pensava-se que a expressão emocional era governada pelo hipotálamo. O giro cingulado se projeta ao hipocampo, e este se projeta ao hipotálamo pelo caminho do feixe de axônios chamado fórnix. Impulsos hipotalâmicos alcançam o córtex via retransmissão no núcleo talâmico anterior.



A ligação entre a estimulação de áreas específicas e a produção de comportamentos específicos foi introduzida por Hebb (da Zurich University, em 1949), o que o laureou com o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina. A seguir, Hebb passou a utilizar substâncias químicas para estimular diretamente áreas específicas. Seus trabalhos começaram com a testosterona (hormônio sexual masculino). A injeção deste hormônio em áreas específicas hipotalâmicas de ratos machos mostrou a influência desta substância em comportamentos de corte (o equivalente ao namoro para os humanos), de cuidar dos filhotes, comer ou beber.

O interessante é que, apesar de o pesquisador já esperar um efeito sobre o comportamento sexual em ratos machos, ele se deparou com um efeito surpreendente: após a injeção intracerebral de testosterona no macho, se colocada uma fêmea na gaiola, ele começava a mordê-la pela

cauda, arrastando-a para o fundo da gaiola, mantendo-a presa lá. De certa forma, podia-se dizer que o macho estava executando uma forma anormal de comportamento MATERNAL, uma vez que esse tipo de comportamento é característico de fêmeas após o nascimento de sua prole. A adição de filhotes recém-nascidos e de pedaços de papel na gaiola levou o macho a fazer um ninho, a carregar os filhotes até este ninho e a cuidar deles, confirmando a gênese de comportamentos típicos maternos. Como esse fato intrigou os pesquisadores, eles decidiram injetar a mesma substância em outra região hipotalâmica (mais lateralmente). Como resultado, os ratos desenvolveram comportamentos sexuais típicos para machos da espécie. O mais surpreendente foi que, quando os cientistas injetaram testosterona nesta área lateral de fêmeas, elas é que apresentaram comportamento sexual masculino, tentando, inclusive, montar nos machos ou em outras fêmeas.

Como você deve ter notado, estes experimentos geraram mais perguntas do que respostas. Mas algo ficou claro: um comportamento não é o produto da atividade de uma única área ou o resultado da ação de uma única substância. Ainda se sabe muito pouco sobre o intrincado papel das substâncias sinalizadoras, assim como sobre a circuitaria envolvida com determinadas respostas comportamentais. Na **Tabela 12.1**, mostra-se o resultado da estimulação elétrica ou da desconexão de várias áreas com a região da amígdala.

Tabela 12.1: Experimentos com animais e as reações de medo

Área (ou Região do SNC)	Efeito	
	Desconexão com a amígdala	Estimulação elétrica
Amígdala	Elimina completamente as reações de medo	Induz reações comportamentais e autonômicas
Hipotálamo lateral e medial	Elimina a resposta pressora	Induz taquicardia, palidez, midríase, aumento da pressão sangüínea
Grisea periaquedutal	Elimina a reação de congelamento a estímulos nociceptivos	Induz o congelamento
Tecto mesencefálico – tronco encefálico	Abolição da reação de congelamento a estímulos visuais e auditivos	Induz o congelamento
Formação reticular pontina – tronco	Elimina a reação de sobressalto ao choque	Aumenta o sobressalto ao choque
Núcleo parabraquial do tronco encefálico	Elimina a elevação da frequência respiratória	Aumenta a frequência respiratória
Núcleos motores do trigêmeo e do facial – tronco encefálico	Elimina as expressões faciais de medo	Induz movimentos faciais

MEDO

Sentimento de forte inquietação diante de um perigo real ou imaginário. Saiba mais, acessando o endereço eletrônico <http://www.psiqweb.med.br/medo.htm>.

ESTADO DE DESPERTAR EMOCIONAL

Desenvolvimento de uma manifestação emocional. Corresponde à ativação dos núcleos cerebrais responsáveis pelo desencadear de uma resposta somática ou autônoma.

MECANISMOS DE DEFESA OU ATAQUE

Produto físico manifestado quando da expressão de um comportamento (sudorese, taquicardia, palidez, rubor, secura na boca, hiperventilação etc.). Corresponde à escolha realizada involuntariamente ao se desencadear uma resposta autônoma ou somática: atacar ou se defender.

Atualmente, as teorias gerais sobre as emoções sustentam a idéia de que o elemento ligado a todas elas apresenta algum evento reforçador, tal como uma recompensa, que é um evento prazeroso que motiva sua reexecução. Este reforço é o responsável por uma memória agradável, uma motivação ou uma memória repugnante.

O medo, por exemplo, pode ser um estado decorrente de um processo punitivo ou, ainda, um estado que nos leva ou qualquer outro animal a executar um trabalho para escapar de um determinado estímulo desagradável ou evitá-lo.

Três diferentes aspectos das emoções têm sido usados na tentativa de defini-la:

- O **MEDO**, que pode ser suprimido ou subjetivo.
- O **ESTADO DE DESPERTAR** emocional.
- Os **MECANISMOS DE DEFESA OU ATAQUE**.

De modo geral, podemos dizer que ainda não se tem uma definição exata de emoção. Se formos analisar os aspectos evolutivos dos comportamentos, temos a visão do naturalista e pesquisador britânico Charles Darwin, que sugeriu serem os estados emocionais fundamentais para a sobrevivência, pois são úteis nos casos de emergência. Por outro lado, as emoções podem também sinalizar a intenção de ações futuras. Segundo Plutchik, a emoção tem uma base genética e possui uma cadeia de eventos que movem um indivíduo a um estado de homeostase comportamental (**Figuras 12.3.a e 12.3.b**).



Charles Darwin (1809-1882) tornou-se famoso pelas suas teorias de evolução e seleção natural. De 1831 a 1836, ele foi o naturalista oficial da expedição marítima britânica a bordo do H.M.S. Beagle, que deu a volta ao mundo. Entretanto, foi na América do Sul que ele encontrou fósseis de animais que se assemelhavam a animais atuais. Da fauna e flora das Ilhas Galápagos vieram fontes importantes de sua teoria evolucionista das espécies. A história pessoal, a de suas expedições e sua vida acadêmica podem ser pesquisadas por você nos seguintes endereços eletrônicos:

- <http://www.aboutdarwin.com>.
 - <http://www.darwinfoundation.org>.
 - <http://www.sc.edu/library/spcoll/nathist/darwin/darwin.html>.
 - <http://www.victorianweb.org/science/sciov.html>.
- Além disso, acessando os seguintes endereços eletrônicos, você poderá ler o conteúdo original das obras de Darwin, disponíveis como textos eletrônicos:
- http://www.infidels.org/library/historical/charles_darwin/origin_of_species/.
 - http://www.infidels.org/library/historical/charles_darwin/descent_of_man/.
 - http://www.infidels.org/library/historical/charles_darwin/voyage_of_beagle/.
 - http://www.update.uu.se/%7Efbandz/library/cd_relig.htm.

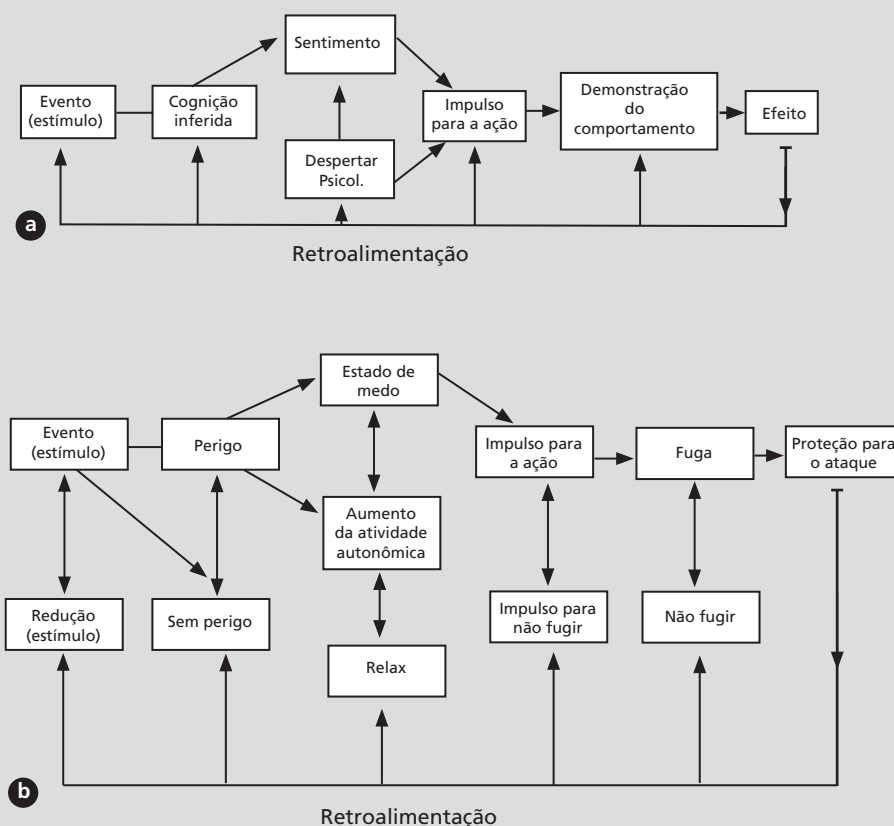


Figura 12.3: Em (a), cadeia de eventos que definem uma emoção. Este painel ilustra a cadeia de eventos para vários tipos emocionais, segundo Plutchik. Em (b), cadeia de eventos relacionados com o medo.

As pesquisas sobre a origem das emoções não pararam com Papez, pois com o advento do neocórtex nos mamíferos, a capacidade para formas superiores de funções mentais, tais como o pensamento e o raciocínio (para mais detalhes, veja a Aula 15), alcançou seu auge no homem. Entretanto, mesmo no ser humano, o que há de mais primitivo e instintivo permaneceu praticamente inalterado. Assim, Paul MacLean aceitando, em sua essência, a proposta de Papez, criou a denominação **SISTEMA LÍMBICO** e acrescentou novas estruturas ao sistema de Papez: os córtices órbito-frontal e médio-frontal (área pré-frontal), o giro para-hipocampal, e importantes grupamentos subcorticais: amígdala, núcleo mediano do tálamo, área septal, núcleos basais do prosencéfalo (região mais anterior do cérebro), e formações do tronco cerebral.

SISTEMA LÍMBICO

Grupo de estruturas funcionalmente relacionadas que trabalham para manter nossas emoções afetivas dentro dos limites de “normalidade”.

O sistema límbico coordena certos comportamentos necessários à sobrevivência, permitindo-nos distinguir o que nos agrada do que nos desagradar. Além disso, é responsável por nossa afetividade, uma vez que origina emoções e sentimentos como amor, ódio, alegria, tristeza, ira e paixão. Também é responsável por alguns aspectos da identidade pessoal e por funções ligadas à memória.

Inclui o hipotálamo, o tálamo, a amígdala, o hipocampo, os corpos mamilares, córtex entorrinal e o giro do cíngulo.



ATIVIDADE

1. Descreva a cadeia de eventos que definem uma emoção.

RESPOSTA COMENTADA

*Para se situar melhor, vá até a **Figura 12.3.a**. A presença de um evento-chave (a visualização de algo perigoso, como ilustrado na **Figura 12.1**) leva à ativação de circuitos inconscientes (cognição inferida, dependente da chegada da informação no cérebro). A ativação do despertar psicológico e dos sentimentos (ativação cortical e hipotalâmica) desencadeia o impulso para a ação, o qual será exteriorizado pela demonstração de um (ou mais) comportamento(s), como o eriçar de pêlos, a palidez, a boca seca, a taquicardia e outros sintomas, quando nos deparamos com uma situação de perigo.*

ESTRUTURAS CEREBRAIS E AS EMOÇÕES

Um fato importante é a diversidade e complexidade das conexões existentes para se gerar as emoções. No entanto, as estruturas envolvidas com as emoções não exercem apenas esse tipo de função, podendo estar relacionadas a outros papéis funcionais. A seguir, você verá um pouco mais sobre algumas das estruturas relacionadas com as emoções: amígdala, hipocampo, fórnix, tálamo, hipotálamo, giro cingulado, tronco encefálico, área tegmental ventral, septo e área pré-frontal. Veja o resumo funcional presente na **Tabela 12.1** e tenha à mão a **Figura 12.4**. Observe cada quadro em separado e acompanhe o texto a seguir.

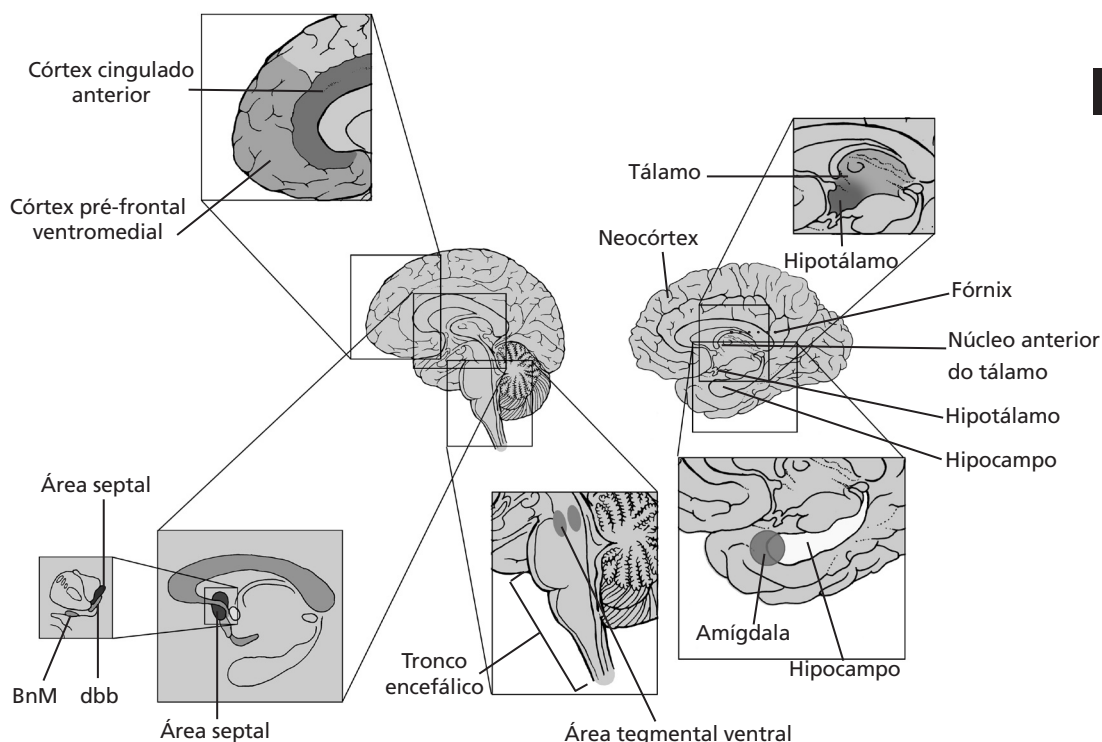


Figura 12.4: Esquema ilustrativo das diferentes áreas e vias que formam o sistema límbico e que estão relacionadas com as nossas emoções. A partir da imagem central, temos, em cada quadro, o detalhe da localização destas estruturas. Observe bem a distribuição destas estruturas e tente correlacionar com a imagem do circuito de Papez, ilustrado no boxe sobre James Papez.

AMÍGDALA

Pequena estrutura em forma de amêndoa, situada dentro da região ântero-inferior do lobo temporal. Interconecta-se com o hipocampo, os núcleos septais, a área pré-frontal e o núcleo dorso-medial do tálamo. Estas conexões garantem seu importante desempenho na mediação e controle das atividades emocionais: amizade, amor e afeição. Além disto, participa ativamente no controle das respostas autônomas (como visto anteriormente nas Aulas 6 e 21) e nas formas de exteriorização do humor – principalmente nos estados de medo, ira e agressividade. Esta estrutura torna-se, desta forma, essencial para a auto-preservação, uma vez que nos coloca em alerta quando da presença de perigo e nos auxilia no preparo das reações de luta ou fuga.

A destruição experimental das amígdalas torna dóceis os animais selvagens. Entretanto, influi ainda em outros comportamentos. Podemos observar a perda da seletividade sexual e da afetividade, o que pode ser perigoso quando o animal se encontra em uma situação de risco.

Já a estimulação elétrica destas estruturas provoca crises de violenta agressividade. Em humanos, lesões da amígdala podem levar o indivíduo a perder o sentido afetivo das informações externas (a visão de uma pessoa conhecida, por exemplo, passa a não significar nada para o indivíduo).

HIPOCAMPO

Esta área está relacionada aos fenômenos de memória (como será visto na Aula 14) e, em especial, à etapa de consolidação de informações adquiridas, essencial para a formação da memória de longa duração (inclusive memórias de conteúdo emocional). A destruição completa dos hipocampos (direito e esquerdo) resulta na perda irreversível da capacidade de armazenar memória de longa duração. Assim, o indivíduo esquece, rapidamente, as novas informações recebidas.

FÓRNIX

É composto por um feixe de fibras neuronais que representa uma importante via de conexão entre as estruturas que compõem o circuito límbico.

TÁLAMO

Lesões ou estimulações do núcleo dorso-medial e dos núcleos anteriores do tálamo estão correlacionadas com fortes alterações na capacidade de reação emocional. Entretanto, estes núcleos não estão diretamente relacionados à regulação do comportamento emocional, uma vez que participam apenas das conexões entre as estruturas do sistema límbico.

O núcleo dorso-medial conecta-se com as estruturas corticais da área pré-frontal e com o hipotálamo, ao passo que os núcleos anteriores ligam-se aos corpos mamilares no hipotálamo e ao giro cingulado (descrito como parte do circuito de Papez).

HIPOTÁLAMO

Estrutura extremamente complexa, estudada nas Aulas 6 e 21, que realiza conexões com as demais áreas do prosencéfalo e do mesencéfalo. O estudo de lesões nos núcleos hipotalâmicos mostra sua importância em diferentes funções autônomas e em comportamentos motivados, tais

como a regulação térmica, a sexualidade, a combatividade, a fome e a sede. Desta forma, inclui-se o hipotálamo como estrutura relacionada com as emoções.

As regiões laterais parecem estar envolvidas com o prazer e a raiva, enquanto as regiões mediais relacionam-se mais a eventos como aversão, desprazer e tendência ao riso (gargalhada) incontrolável.

GIRO CINGULADO

Localizado na face medial do cérebro, entre o sulco cingulado e o corpo caloso, ainda é uma caixa de mistérios, com muito a se descobrir. Entretanto, sabe-se que a sua porção frontal coordena as informações de odores e de visões com memórias de emoções agradáveis. Esta região também participa da reação emocional à dor e da regulação do comportamento agressivo. Experimentos feitos com a retirada do giro cingulado (cingulectomia) em animais selvagens os tornaram mansos como se fossem domésticos; a secção do feixe desse giro (cingulotomia), que participa do circuito de Papez, reduz o nível de depressão e de ansiedade pré-existentes.

TRONCO ENCEFÁLICO

O tronco encefálico é a região responsável pelas respostas reflexas relacionadas com as emoções (é o nível mais simples de controle autônomo, como será visto na Aula 21 desta disciplina). Ele é composto por estruturas muito primitivas, altamente conservadas na evolução. Participa dos mecanismos de alerta, vitais para a sobrevivência, mas também da manutenção do ciclo vigília-sono.

Outras estruturas importantes do tronco cerebral são os núcleos dos pares de nervos cranianos que, ao serem estimuladas por impulsos provenientes do córtex e do estriado, geram alterações faciais relacionadas com os estados afetivos: expressões de raiva, alegria, tristeza, ternura etc. (como ilustrado na Figura 12.6).

ÁREA TEGMENTAL VENTRAL

Na região mesencefálica superior do tronco encefálico, temos um grupo compacto de neurônios secretores de dopamina, cujos axônios vão terminar no núcleo accumbens, (via dopaminérgica mesolímbica).

A descarga espontânea ou a estimulação elétrica dos neurônios desta última região produzem sensações de prazer, algumas delas similares ao orgasmo (daí a relação entre prazer e drogas que aumentem os níveis de dopamina nesta região, como é o caso da cocaína).



Uma área para o vício?

Algumas pessoas apresentam um número reduzido de receptores para dopamina nas células neurais do núcleo accumbens (inervado pela área tegmental ventral). Desta forma, tornam-se incapazes de se sentirem recompensados pelos prazeres comuns da vida, buscando, assim, alternativas “prazerosas” incomuns e muitas vezes prejudiciais como, por exemplo, álcool, drogas (como a cocaína), compulsão por alimentos doces ou por jogos.

SEPTO

Localizada anteriormente ao tálamo, a área septal concentra os centros do orgasmo (quatro para a mulher e um para o homem). Certamente, por isto, esta região se relaciona com as sensações de prazer não exclusivamente relacionadas às experiências sexuais. Em determinadas horas, comer aquele pedacinho de chocolate provoca um imenso prazer.

ÁREA PRÉ-FRONTAL

A área pré-frontal ou córtex pré-frontal corresponde a toda a região anterior cortical não relacionada às funções motoras do lobo frontal. Esta região cortical teve acentuado crescimento durante a evolução dos mamíferos, principalmente em humanos e em algumas espécies de golfinhos.

Embora não faça parte do circuito límbico tradicional, o córtex pré-frontal tem abundantes conexões (bidirecionais) com o tálamo, a amígdala e outras estruturas subcorticais, o que explica o importante papel que desempenha na gênese e, especialmente, na expressão dos estados afetivos.

Lesões no córtex pré-frontal podem levar o indivíduo a perder o senso de suas responsabilidades sociais, bem como da capacidade de concentração e de abstração.

Um quadro equivalente, porém induzido por cirurgia, era obtido quando se praticava a lobotomia pré-frontal, para tratamento de certos distúrbios psiquiátricos. Estes pacientes entravam em estado de “tamponamento afetivo”, não mais evidenciando quaisquer sinais de alegria, tristeza, esperança ou desesperança. Passavam a ser incapazes de expressar afetividade em suas palavras ou atitudes.

Você sabia que, na Antiguidade, a loucura era considerada como uma manifestação divina? Por exemplo, o ataque epilético, nomeado de doença sagrada, representava maus presságios quando ocorria durante os comícios. Caso uma pessoa sofresse um ataque epilético durante a explanação de um orador, esse evento seria interpretado como uma intervenção divina, como um sinal de que não se deveria acreditar no que dizia o orador. Imagine se isto ainda fosse uma verdade!

ATIVIDADE



2. Com base nas informações sobre lesões em áreas do SNC, complete a tabela a seguir:

Região do sistema límbico	Efeito da lesão ou desconexão com a amígdala
Amígdala	1.
Hipotálamo lateral e medial	2.
Grisea periaquedutal	3.
Tronco encefálico	4.
Córtex pré-frontal	5.

RESPOSTA COMENTADA

1. Elimina completamente as reações de medo. 2. Elimina a resposta pressora. 3. Elimina a reação de congelamento a estímulos nociceptivos. 4. Elimina a reação de congelamento a estímulos visuais e auditivos, a reação de sobressalto ao choque, a elevação da frequência respiratória e as expressões faciais de medo, conforme a área do tronco encefálico lesada. 5. Impede a gênese e, especialmente, toda e qualquer expressão dos estados afetivos, levando a um estado de completa ausência de afetividade.

A EXPRESSÃO DAS EMOÇÕES

Todo animal expressa emoções a outros de sua espécie ou de outras espécies por meio de alterações comportamentais específicas, como ranger os dentes ou franzir a testa, indicando desagrado. Agora mesmo podemos ver isso. Você não faz idéia, mas, caso não esteja entendendo esta aula ou um trecho dela, a sua face logo irá denunciá-lo (a). Digamos que seja o equivalente à presença de um ponto de interrogação em

cima de sua cabeça (como podemos observar em alguns personagens de desenho animado que não apresentam mudanças nas expressões faciais). Entretanto, ao achar graça deste exemplo, quem estiver vendo você lendo ficará sabendo que você está gostando, pois um sorriso logo vai se abrir em seu rosto.

Mas não é necessário observar apenas o rosto de alguém para sabermos como está o seu estado emocional. Seus atos e atitudes também colaboram para isso, e o mesmo é válido para todo e qualquer animal. O problema estará na interpretação dos fatos. Por exemplo, para nós, humanos, sorrir e mostrar os dentes em uma gargalhada é natural e demonstra satisfação. Entretanto, entre nossos outros amigos primatas, expor os dentes é sinal de agressividade, e não de alegria.

Assim, algumas das demonstrações comportamentais são bem conhecidas nossas e outras são mantidas em comum com outras espécies, como o franzir da testa, que é usado tanto por chimpanzés como por homens. Desta forma, podemos dizer que existe um componente genérico no curso da evolução das expressões faciais.

Darwin já estudava o comportamento emocional e acabou por demonstrar que as expressões são características de comportamentos específicos, inclusive interespecies. Na **Figura 12.5**, podemos observar posturas de ameaça e de submissão entre diferentes espécies animais.

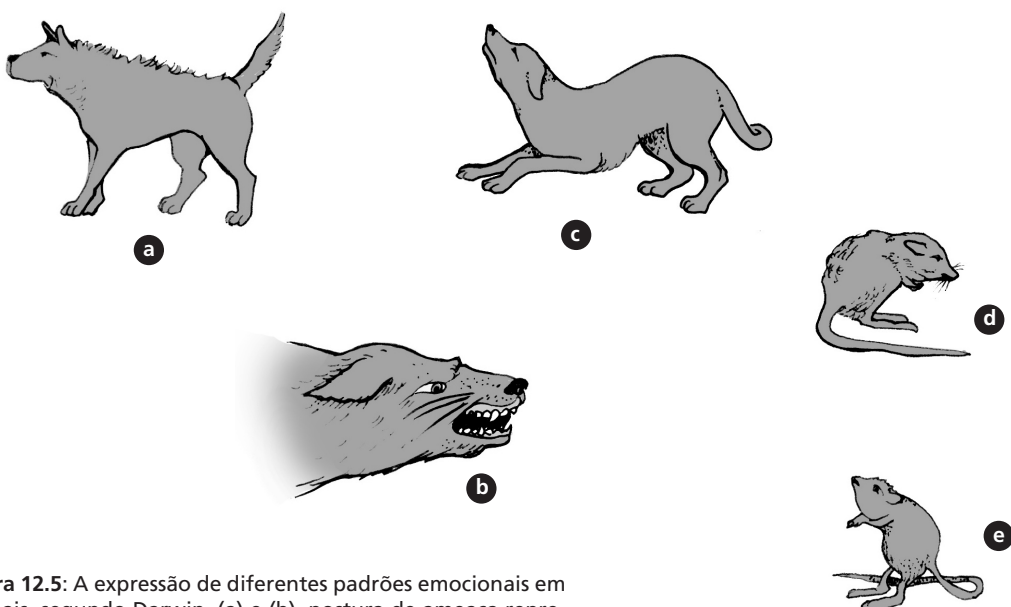


Figura 12.5: A expressão de diferentes padrões emocionais em animais, segundo Darwin. (a) e (b), postura de ameaça representada pelos pêlos eriçados, cauda levantada e exposição dos dentes. (c), (d) e (e), postura de submissão em cães e ratos.

Há muitas maneiras de expressar nossas emoções. As expressões emocionais são evidentes na postura, nos gestos e nas expressões faciais. Estas mesmas expressões podem ser imitadas e reproduzidas voluntariamente. Você sabe como? Pela arte da representação: um bom ator (ou atriz) é aquele(a) que consegue enganar o público, demonstrando uma emoção falsa ou inexistente naquele momento. Nos humanos, as expressões faciais são responsáveis por grande quantidade de informações elaboradas e finalizadas por meio de um complexo sistema que controla todos os músculos faciais. No entanto, como podemos ver na **Figura 12.6**, essas expressões faciais são comuns a todas as culturas, sem distinção.

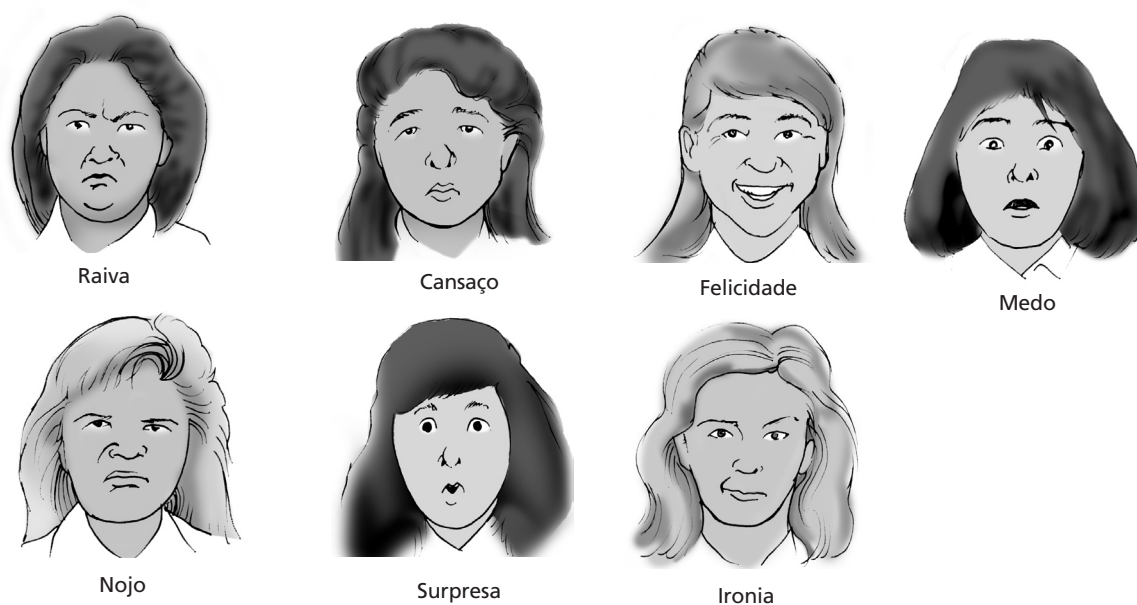


Figura 12.6: A expressão facial normalmente indica o estado emocional do indivíduo. Serve ainda como forma de sinalização ou comunicação entre dois animais.

Podemos observar, também, que as expressões faciais são geneticamente transmissíveis. Experimentos em humanos sugerem que mesmo crianças recém-nascidas já possuem internamente (em suas mentes) os mecanismos e papéis funcionais das expressões faciais. Isso pode ser confirmado em nosso dia-a-dia, quando podemos observar que, mesmo crianças que ainda não enxergam e, por isso, não aprenderam por associação, são capazes de demonstrar emoções pelas expressões faciais. A **Figura 12.7** ilustra algumas das expressões faciais observadas em recém-nascidos que nunca viram ninguém fazer esse tipo de comportamento para se comunicar.

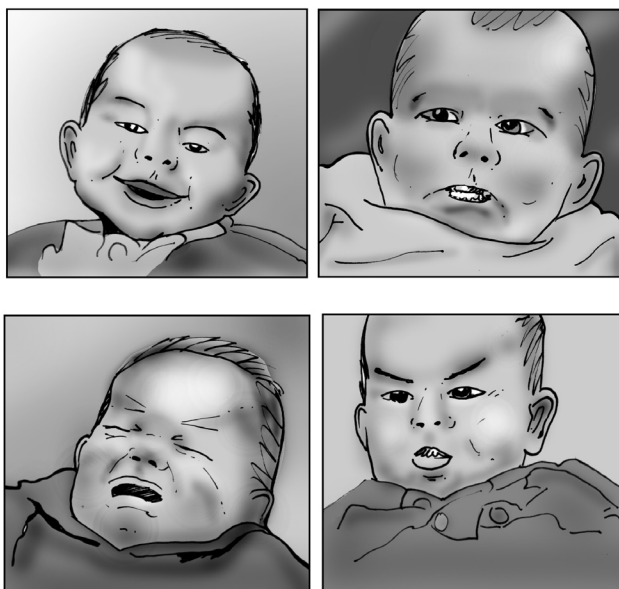


Figura 12.7: Uma das principais razões para afirmarmos que as expressões faciais são geneticamente adquiridas são as expressões ocorridas em crianças recém-nascidas.

CONTROLE DAS EXPRESSÕES FACIAIS

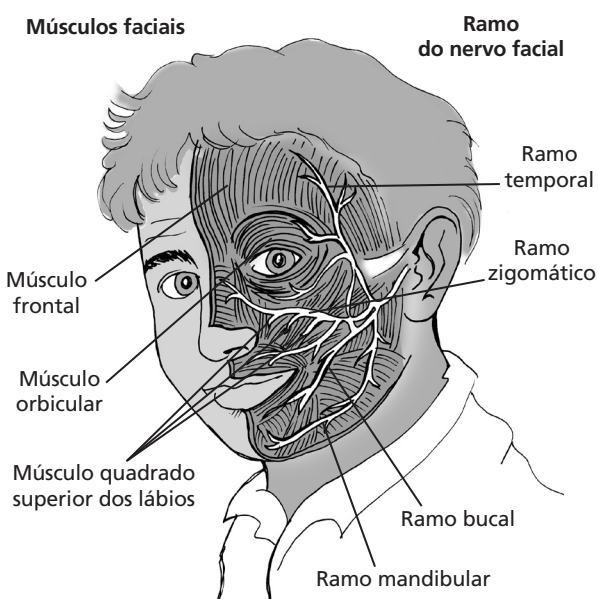


Figura 12.8: Musculatura facial e seu controle neural. O comando do nervo facial e o nervo trigeminal é o responsável pela ativação da musculatura facial.

Um grupo de músculos faciais é o responsável pelas mudanças em nossas expressões faciais. Essa musculatura facial em humanos é innervada por dois nervos cranianos: o nervo facial, que innerva a musculatura da face, e o nervo trigeminal, que innerva a musculatura do queixo. Assim, por exemplo, quando você está zangado, aperta o queixo pela atividade do nervo trigeminal (**Figura 12.8**). Um fato interessante é o de que a musculatura de um lado da nossa face (uma hemiface) é completamente independente da outra, permitindo uma expressão facial diferenciada, conforme o ângulo pelo qual vemos o rosto de uma pessoa.



Para aprofundar seus estudos sobre os comportamentos emocionais em humanos e outros animais, visite os seguintes endereços eletrônicos e descubra mais sobre o assunto:

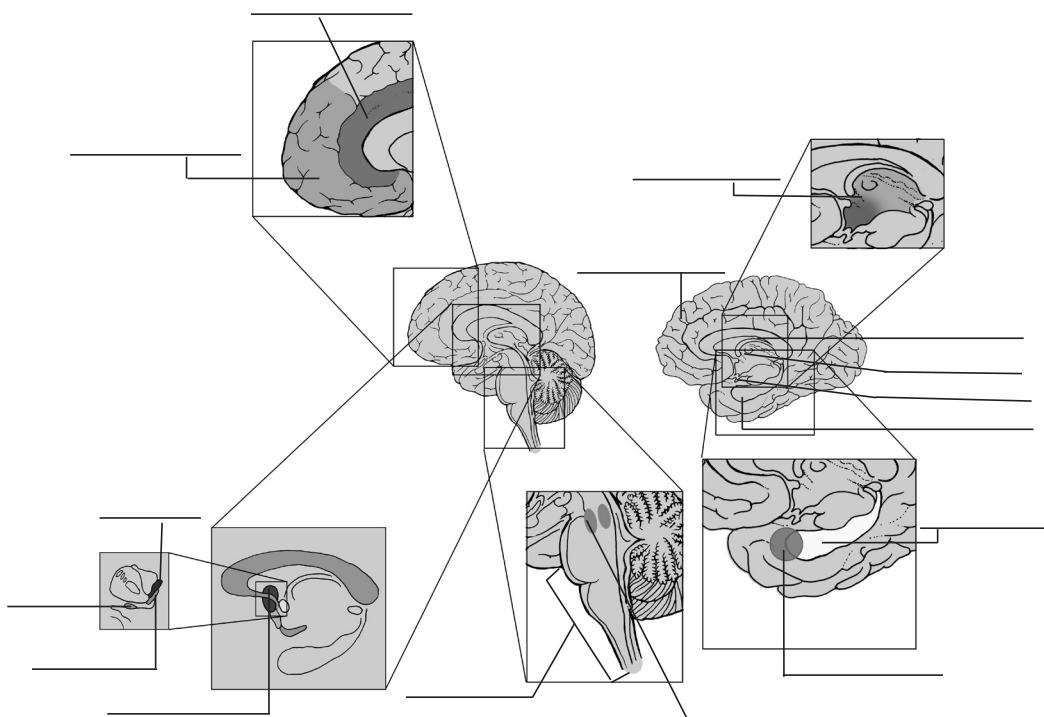
- <http://emotion.salk.edu/Emotion/History/Hgeneral.html>.
- <http://www.yorku.ca/dept/psych/classics/James/emotion.html>.
- <http://www.psycom.net/depression.central.html>.
- <http://trochim.human.cornell.edu/gallery/young/emotion.htm>.

CONCLUSÃO

Há muito tempo, a Humanidade se preocupa com as bases orgânicas das emoções e, apesar de estarmos longe de um quadro bem definido, cada vez mais podemos indicar o envolvimento de determinadas estruturas cerebrais na gênese das emoções. Entretanto, esse assunto ainda é um terreno a ser muito investigado pelos exploradores do funcionamento da mente. O estudo da base neural das emoções colabora para a compreensão e o tratamento de vários distúrbios emocionais.

ATIVIDADES FINAIS

1. No esquema a seguir, nomeie as áreas relacionadas com as emoções, a partir das indicações presentes.



RESPOSTA COMENTADA

Como você deve se lembrar, temos a amígdala, o hipocampo, o fórnix, o tálamo, o hipotálamo, o giro cingulado (ou giro do cíngulo), o tronco encefálico, a área tegmental ventral, o septo (ou área septal) e o córtex pré-frontal. Caso tenha encontrado dificuldade, retorne ao texto e releia a explicação sobre o assunto.

2. Quais as principais inervações que controlam nossas expressões faciais e onde se localizam os núcleos destes pares de nervos cranianos?

RESPOSTA COMENTADA

As duas principais inervações que controlam a musculatura da face são as provenientes dos nervos fácil e trigêmeo. Agora, se você releu a Aula 6, deve se lembrar que estes dois pares de nervos cranianos têm sua origem no tronco encefálico, o que coloca este controle facial na região mais primitiva (conservada evolutivamente) de controle central, além de estar sujeita ao comando de outras áreas superiores (hipotálamo, amígdala e córtex, por exemplo).

RESUMO

Nós (e os outros mamíferos) passamos informações não apenas pela linguagem, como visto na Aula 10, mas principalmente, e de modo primitivo, pelas nossas expressões faciais e respostas corporais (autônomas e somáticas). Os mecanismos envolvidos na produção de respostas corporais (físicas) e emocionais (mentais) compreendem a atividade de diferentes áreas cerebrais (amígdala, hipocampo, fórnix, tálamo, hipotálamo, giro cingulado, tronco encefálico, área tegmental ventral, septo e área pré-frontal) que se encontram interconectados, formando o denominado sistema límbico. Assim, apesar de termos um conjunto de estruturas (algumas mais primitivas e conservadas evolutivamente e outras mais recentes na

evolução), podemos relacionar determinadas áreas com alguns comportamentos específicos como: medo, seletividade sexual, agressividade (amígdala); memória emocional (hipocampo); capacidade de reação emocional (tálamo); prazer, raiva, aversão, risos e respostas autônomas (hipotálamo); reação à dor, agressividade, depressão (giro cingulado); expressão emocional (tronco encefálico); prazer (área tegmental ventral e área septal); afetividade (área pré-frontal). Desta forma, a nossa capacidade de perceber o ambiente e modificá-lo, de forma a promover a conservação e adaptação do organismo, é um processo dependente das nossas respostas e estados emocionais.

INFORMAÇÕES SOBRE AS PRÓXIMAS AULAS

A partir de agora, vamos estudar as funções superiores do sistema nervoso. O nosso próximo passo é analisar os estados de sono e de vigília, para depois vermos como aprendemos, armazenamos novas informações e modificamos as antigas, além de como pensamos.

SITES RECOMENDADOS

ABOUTDARWIN: dedicated to the life times of Charles Darwin. Disponível em: <<http://www.aboutdarwin.com>>. Acesso em: 25 maio 2005.

Darwin, Charles. Descent of man (1871). Disponível em: <http://www.infidels.org/library/historical/charles_darwin/descent_of_man/>. Acesso em: 25 maio 2005.

Darwin, Charles. Origin of the species (1859). Disponível em: <http://www.infidels.org/library/historical/charles_darwin/origin_of_species/>. Acesso em: 25 maio 2005.

Darwin, Charles. The autobiography of Charles Darwin: 1890-1882. Disponível em: <http://www.update.uu.se/%7Efbandz/library/cd_relig.htm>. Acesso em: 25 maio 2005.

Darwin, Charles. The voyage of the beagle (1909). Disponível em: <http://www.infidels.org/library/historical/charles_darwin/voyage_of_beagle/>. Acesso em: 25 maio 2005.

DR. James Papez (1883-1958). Disponível em: <<http://www.uic.edu/depts/mcne/founders/page0070.html>>. Acesso em: 25 maio 2005.

FOUNDACIÓN Charles Darwin. Disponível em: <<http://www.darwinfoundation.org.>>. Acesso em: 25 maio 2005.

PsiquWeb: psiquiatria geral: 10 sintomas: medo. Disponível em: <<http://www.psiqweb.med.br/medo.htm>>. Acesso em: 25 maio 2005.

UNIVERSITY of South Carolina. Disponível em: <<http://www.sc.edu/library/spcoll/nathist/darwin/darwin.html>>. Acesso em: 25 maio 2005.

VICTORIAN Science: An Overview. Disponível em: <<http://www.victorianweb.org/science/sciov.html>>. Acesso em: 25 maio 2005.

AULA 13

Por que dormimos?

Meta da aula

Caracterizar os ritmos biológicos, em particular as bases neurais dos estados de sono e de vigília.

objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Caracterizar os ritmos biológicos.
- Analisar as bases neurais do relógio biológico.
- Descrever as fases do sono.
- Resumir os papéis funcionais do sono e dos sonhos.
- Avaliar as teorias do sono.

Pré-requisitos

Para você acompanhar bem esta aula, é importante rever os conteúdos de células do sistema nervoso, presentes na Aula 10 da disciplina Biologia Celular; os componentes estruturais do sistema nervoso, apresentados na Aula 6; o funcionamento do sistema autônomo, apresentado na Aula 21 desta disciplina.

INTRODUÇÃO

INSÔNIA

É um distúrbio na iniciação ou manutenção do sono, podendo ainda ser caracterizada pela presença de muitos despertares durante a noite, pelo despertar muito cedo e não conseguir mais dormir ou, até mesmo, dormir por tempo considerado normal, porém acordar mal, pela manhã, como se o sono não tivesse sido suficiente ou restaurador. A insônia pode ser classificada como transitória ou persistente, apresentando-se de diversas maneiras: muitas pessoas acordam cansadas, com dores no corpo, irritadas, desanimadas e mal-humoradas.

CONSCIÊNCIA

Compreende um estado mental que resulta da análise e da interpretação dos nossos meios interno e externo, associado à capacidade cognitiva de nossa espécie em racionalizar e ter conhecimento de sua atividade psíquica. Este atributo é de grande importância para a percepção, o pensamento e a linguagem. Em certas patologias, pode haver alterações no estado consciente em vários graus. O estado de consciência parece depender da interação entre a formação reticular do tronco encefálico e os circuitos talamocorticais.

Quanto tempo você dorme por noite? Quantas horas de sono você realmente precisa ter por dia? O que acontece quando você não consegue ou não o deixam dormir uma boa noite de sono?

Não existe uma única resposta correta, pois a média de duração do período de sono para adultos está entre sete e oito horas e meia por noite.

Como há diferenças individuais em relação à necessidade de sono, não comece a ficar preocupado se você se sente bem dormindo apenas seis horas por noite ou se precisa de nove horas. Realmente, algumas pessoas dormem apenas de quatro a cinco horas por noite. Outras necessitam de nove a dez horas. O importante é você se sentir bem disposto e descansado, física e mentalmente, ao acordar. Por exemplo, as principais queixas de indivíduos com **INSÔNIA** são referentes à duração, eficiência ou qualidade do sono, o que resulta em sérios problemas durante o dia, tais como fadiga, distúrbios de humor e desconforto. Mas você verá, ao longo desta aula, que o tempo de sono não serve como único parâmetro de uma noite bem-dormida.

SONO

O sono representa um estado comportamental de repouso físico e mental reversível, durante o qual ocorre o desligamento parcial da percepção ambiental. Apresenta uma modificação fisiológica do estado de **CONSCIÊNCIA** e da nossa responsividade aos estímulos internos e externos. Assim, pode-se dizer que, durante esse período, você está parcialmente afastado do mundo, e os seus estímulos externos estão bloqueados.

Não pense, entretanto, que você está "desligado" enquanto dorme ou que não terá como acordar quando for a hora certa, pois o sono é temporário (diferente de **COMA** e de anestesia geral, que nem sempre são reversíveis). Trata-se, realmente, de um processo ativo que envolve múltiplos e complexos mecanismos fisiológicos e comportamentais.

COMA

Alteração patológica da consciência, a qual pode ser perdida ou temporariamente interrompida. Neste estado, a resposta a estímulos dolorosos diminui bastante.

Desse processo, temos apenas um limitado controle na decisão entre o seu início e o seu término, ou seja, podemos adiar por algum tempo o momento de dormir, mas, eventualmente, ele ultrapassa o limite. Assim, gastamos um terço de nossas vidas dormindo e um quarto desse tempo sonhando. O sono é tão importante quanto a alimentação e a respiração para nossas vidas. Entretanto, tanto o sono quanto os sonhos ainda são um grande mistério para os cientistas. Esse mistério torna-se ainda mais evidente quando analisamos a busca histórica pelo significado dos sonhos.



Por que algumas pessoas dormem mal?

A insônia é apenas a ponta de um *iceberg*. Não se trata de uma doença propriamente dita; é, na realidade, um sintoma, que deve ser analisado sob três aspectos: físico, psicológico e social. Geralmente, a insônia é caracterizada como um conjunto de fatores que provoca dificuldades para dormir. Isso sem falar na predisposição genética que o indivíduo pode apresentar. Frequentemente, quem sofre de insônia tem familiares com o mesmo problema.

ELETOENCEFALOGRAMA (EEG)

O EEG é um exame que permite detectar a atividade elétrica generalizada do córtex cerebral. Em 1929, Hans Berger, um psiquiatra alemão, foi o primeiro a descrever o EEG humano. Hoje, o EEG é bastante usado clinicamente para diagnóstico de certas doenças neurológicas como, por exemplo, a **EPILEPSIA**.

Registro de ondas cerebrais

O **ELETOENCEFALOGRAMA (EEG)** é um método não-invasivo, que não causa dor. De maneira resumida, eletródios são dispostos em posições fixas na cabeça e ficam conectados a um amplificador e um registrador. Pequenas flutuações na voltagem são medidas entre pares de eletródios. Com isso, é possível medir a atividade de diferentes regiões do cérebro (direito/esquerdo, anterior/posterior etc.), como ilustrado na **Figura 13.1**. Assim, o EEG mede a corrente gerada durante a excitação sináptica de dendritos de vários neurônios piramidais corticais, que correspondem a 80% da massa cortical. Essa atividade elétrica deve passar por várias camadas de tecidos não-neuronais (meninges, fluidos, osso do crânio, pele, como mostra a figura a seguir) para atingir os eletródios. Por isso, apenas a ativação sincrônica de várias células consegue produzir um sinal forte. Quanto maior for a excitação sincrônica destas células, mais abundante será o número de ondas rítmicas no EEG.

EPILEPSIA

Doença neurológica gerada por uma alteração no padrão de sincronização da atividade elétrica cerebral. Compreende, frequentemente, a forma mais sincrônica de atividade cerebral, gerando um padrão de EEG característico. As formas generalizadas afetam os córtices de ambos os hemisférios. A forma parcial acomete uma área cortical mais restrita com atividade anormal.

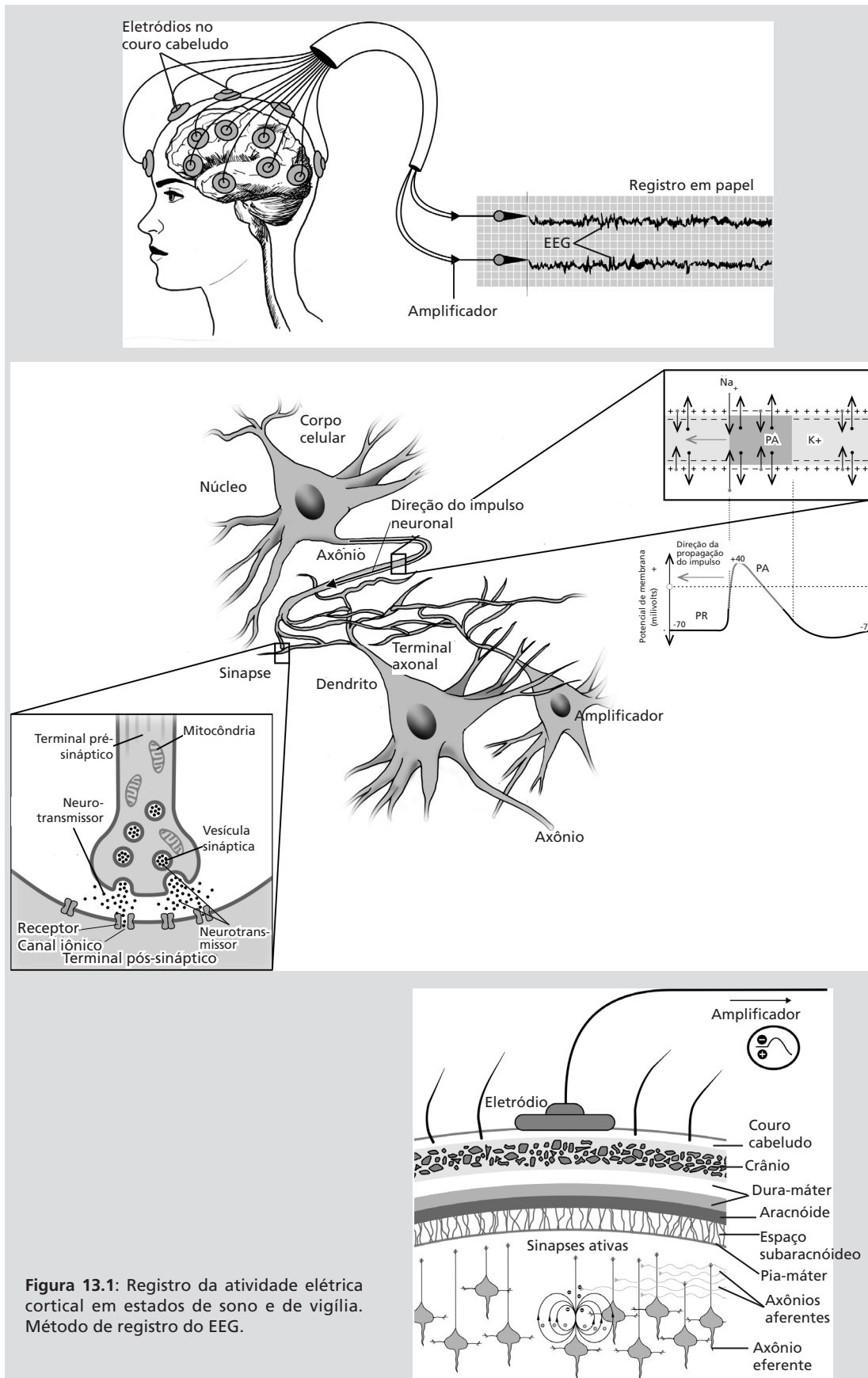


Figura 13.1: Registro da atividade elétrica cortical em estados de sono e de vigília. Método de registro do EEG.

O ESTADO FUNCIONAL DO CÉREBRO

O sono normal se caracteriza por redução da temperatura do corpo, da pressão arterial, do ritmo respiratório e da maioria das funções vitais. O cérebro humano, por sua vez, mantém o mesmo nível de atividade de quando a pessoa está acordada. Assim, durante o dia, você pode oscilar entre dois estados distintos: acordado ou dormindo. Enquanto dormimos, o sono passa por vários estágios bem caracterizados em relação aos diferentes tipos de atividades motoras, autonômicas e do eletroencefalograma (EEG).

Várias vezes durante o sono, independente de ser dia ou noite, alternamos dois estágios. O estágio do **sono REM** (*Rapid Eye Movements*), chamado assim devido aos movimentos rápidos dos olhos, que se instala quando o corpo (exceto músculos oculares) está impedido de fazer movimentos voluntários (os movimentos ficam restritos aos de acomodação) e ocorrem os sonhos; o estágio de **sono NÃO-REM** (*No Rapid Eye Movements*), também conhecido como sono de onda lenta. O estágio não-REM é, na verdade, formado por quatro estágios (que veremos mais adiante), que apresentam particularidades fisiológicas.

A seguir, veremos algumas particularidades dos períodos de sono REM e de sono não-REM:

- **Sono não-REM:** É designado como um período de repouso. A tensão muscular fica reduzida, assim como os movimentos voluntários, apesar de o cérebro ser capaz de produzi-los. Ocorrem movimentos raros apenas para ajuste da posição do corpo. A temperatura e consumo de energia ficam reduzidos. Ocorre aumento da atividade parassimpática e, por isso, diminuem os trabalhos cardíaco e respiratório, enquanto o processo digestório é aumentado. Ocorre uma diminuição geral na atividade cerebral. Quando uma pessoa é acordada de repente, durante esse período, ela usualmente não lembra nada ou tem apenas pensamentos vagos. Sonhos detalhados são raros na fase não-REM.

- **Sono REM:** É um processo extremamente ativo, semelhante a um cérebro alucinado em um corpo paralisado. É neste período que ocorrem os sonhos. Se acordado neste momento, o indivíduo freqüentemente se lembra de detalhes ou episódios de que gostamos de falar e interpretar. Mas, cuidado! Se você deixar para narrar o sonho depois e voltar para dormir, no dia seguinte poderá não se lembrar, e o seu cérebro irá completar ou inventar novas informações. Embora seja

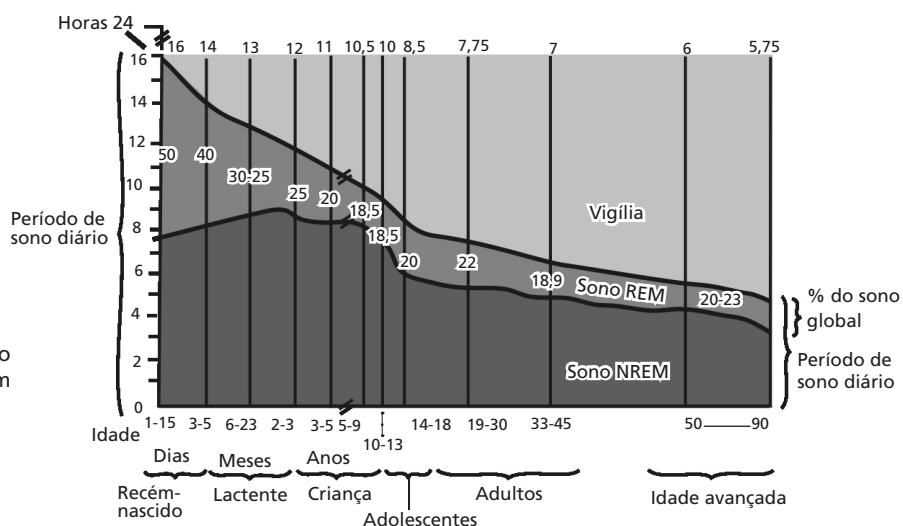
mais difícil acordar alguém durante esse processo, o despertar espontâneo freqüentemente ocorre. O EEG fica dessincronizado, semelhante ao de uma pessoa acordada (sono paradoxal). O consumo de O_2 pelo cérebro fica mais alto do que quando estamos acordados. Entretanto, ocorre perda total do tônus da musculatura esquelética (atonia) e, portanto, a maior parte do corpo é incapaz de se mover, exceto os músculos oculares, os do ouvido interno e os respiratórios, que continuam funcionando. O predomínio autônomo, neste caso, é o do sistema simpático, embora o controle da temperatura, das taxas respiratória e cardíaca fique desregulado (irregular). É normal a ocorrência de ereção peniana, produto de atividade parassimpática. O sono REM é maior em fetos e recém-nascidos (metade do tempo de sono em REM), e decai com a idade (veja box e **Figura 13.2**).

COMO É O SONO DO RECÉM-NASCIDO?

Os recém-nascidos (de humanos e de outros mamíferos) apresentam, inicialmente, apenas o sono paradoxal (REM), o qual possui mecanismos neurofisiológicos distintos daqueles apresentados por adultos. Os ciclos do sono do recém-nascido são mais curtos; ele acorda a cada duas horas, aproximadamente. O bebê passa várias vezes pelo ciclo completo do sono, mas não tem o correspondente ao estágio do sonho, mesmo na vida intra-uterina, quando apresenta o chamado “sono agitado”. Esse tipo de sono ocorre até os três meses de vida. Propõe-se que estas ativações esporádicas sejam necessárias para que a criança desenvolva a capacidade motora, quando vierem a ser utilizadas. A diferença no sono REM dos bebês está em não poderem sonhar com coisas que ainda não viveram. Durante o “sono agitado”, correspondente ao período de sonho dos adultos, ele também está aprendendo, isto é, herdando o padrão de desenvolvimento nervoso dos seus antepassados ao estimular de modo semelhante o desenvolvimento do seu sistema nervoso.

No bebê, a formação do ciclo vigília-sono depende da construção do circuito neural entre o córtex, estruturas subcorticais e pontinas, incluindo-se nesse processo a mielinização, que começa na vida intra-uterina e pode durar até a terceira década de vida. No feto, os mecanismos neurais difusos, sobretudo medulares, são os responsáveis por essa motilidade espontânea à base de sacudidas. Conforme as estruturas cerebrais superiores se desenvolvem, os núcleos da rafe e o núcleo cerúleo ultrapassam o controle difuso. Com a progressão da idade, o tempo de duração de cada fase do sono é alterado, como ilustrado na **Figura 13.2**.

Figura 13.2: Progressão dos estágios do sono com o avançar da idade.



ATIVIDADES

1. Como podemos distinguir o sono dos estados alterados de consciência?

RESPOSTA COMENTADA

Enquanto o sono é um processo ativo, representado como um estado comportamental de repouso físico e mental reversível (bloqueio parcial da percepção ambiental) e modificação fisiológica do estado de consciência, o coma se apresenta como uma alteração patológica da consciência, durante a qual nossas respostas a estímulos (inclusive dolorosos) estão interrompidas. A transição do coma para o estado de vigília não se assemelha ao observado para a transição sono/vigília, uma vez que uma pessoa pode permanecer em coma por dias, meses, anos, ou mesmo nunca sair desse estado.

2. Qual é a importância do eletroencefalograma para os estudos sobre o sono?

RESPOSTA COMENTADA

O EEG é um exame não-invasivo que nos permite detectar a atividade elétrica generalizada do córtex cerebral; é de extrema utilidade por mostrar as variações ou anormalidades que podem estar ocorrendo durante as fases do sono.



O EEG não é capaz de dizer o que uma pessoa pensa, mas pode detectar se ela está pensando.

Mecanismos e funções dos ritmos cerebrais

Existem basicamente duas vias capazes de gerar a sincronização de uma dada população celular: com um marca-passo, a partir do qual todas as outras células se sincronizam, ou com um comportamento coletivo, por meio do qual um grupo de células relacionadas produz um conjunto de atividades sincrônicas como, por exemplo, o bater de palmas durante uma festa de aniversário. Um fator crucial para isso é a interação entre as células (ou pessoas, no exemplo do bater palmas na festa de aniversário). Em uma rede neural, essa interação é dada pelas sinapses.

No cérebro de mamíferos, a atividade rítmica sincronizada é coordenada por uma combinação de células marca-passos (como, por exemplo, as do tálamo) que têm uma comunicação maciça com todo o córtex. As células talâmicas apresentam um grupo particular de canais iônicos dependentes de voltagem que permite a gênese de um padrão de disparos sustentado e rítmico (marca-passo) mesmo sem a presença de aferências externas. A atividade rítmica de cada neurônio talâmico vai se tornando sincronizada com as outras por interações sinápticas. Este ritmo coordenado é, então, passado ao córtex por axônios talamocorticais. Alguns ritmos do córtex não dependem do tálamo, e sim das próprias células corticais.

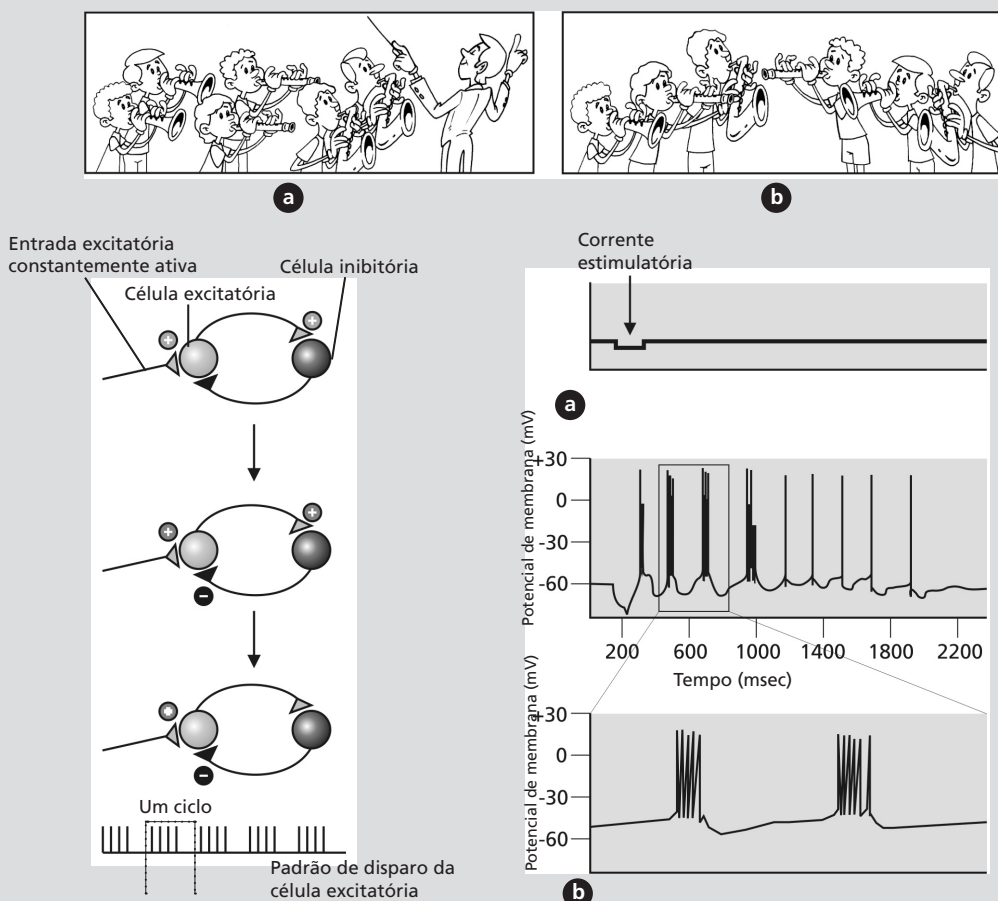


Figura 13.3: Mecanismos de sincronização de disparos em regiões marca-passos.

O CICLO DO SONO

Nosso sono não é linear: 75% do sono é do tipo não-REM e 25% de sono REM. E a cada 90 minutos recomeça um novo ciclo. O sono não-REM é dividido em 4 estágios distintos (ver **Figura 13.4**), como descrito a seguir:

- Estágio um – Sono transicional; apresenta curta duração (passageiro), apenas poucos minutos. O ritmo alfa, predominante no EEG de pessoas normais acordadas, diminui e se torna menos regular, sendo mais fácil acordar.
- Estágio dois – Um pouco mais profundo, com duração entre cinco e quinze minutos; apresenta ondas de oito a quatorze Hz, geradas pelo marca-passo talâmico. Neste momento, cessam os movimentos oculares.
- Estágio três – Caracterizado pela presença do ritmo delta do EEG. Nesta fase, temos a ausência de movimentos dos olhos e do corpo.
- Estágio quatro – Com duração entre vinte e quarenta minutos, leva de volta ao estágio dois por dez a quinze minutos, para depois entrar rapidamente em REM.

Durante o sono, ocorre diminuição na duração dos estágios três e quatro, e um aumento no período de sono REM (compare na **Figura 13.4** o padrão observado nas três primeiras horas de sono com o observado a partir da 4ª hora). O EEG se torna mais lento e sincronizado, a pessoa tem maior dificuldade para acordar, o tônus muscular e reflexos são deprimidos. Assim, pelo menos metade do sono REM (cerca de seis vezes por noite) ocorre durante o último terço da noite e seu maior período dura de 30 a 50 minutos. Entre cada ciclo REM existe um período de, no mínimo, 30 minutos de sono não-REM. Por isso, a duração média do sono é de aproximadamente oito horas, embora alguns pesquisadores mostrem que tal duração pode oscilar entre cinco e dez horas por noite. Desta forma, o que se considera melhor é relativo para cada pessoa, ou seja, é preciso dormir bem, principalmente para manter um estado de alerta razoável.

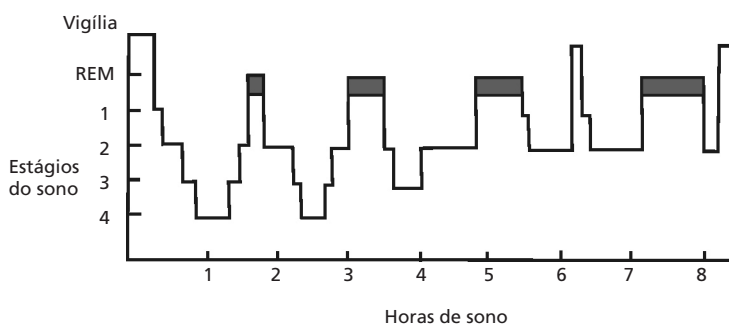


Figura 13.4: Polissonografia indicando as fases de um sono de 8 horas e os seus respectivos períodos. (compare os estágios do sono, conforme ilustrado na **Figura 13.5**).

Ritmos do EEG

O ritmo do EEG varia de acordo com alguns fatores como estado de alerta, idade, ausência ou presença de fármacos ou doenças e localização dos eletrodos. Entretanto, o EEG normal é descrito em termos de sua composição de frequências, que são designadas alfa, beta, teta e delta.

- **Ritmo alfa** – Em torno de oito a treze Hz; associado com o repouso durante o estado de vigília.
- **Ritmo beta** – Mais rápido, maior que quatorze Hz; sinaliza um córtex ativado.
- **Ritmo teta** – Em torno de quatro a sete Hz; ocorre durante alguns estados do sono.
- **Ritmo delta** – É mais lento, menos que quatro Hz; característico de um sono profundo.

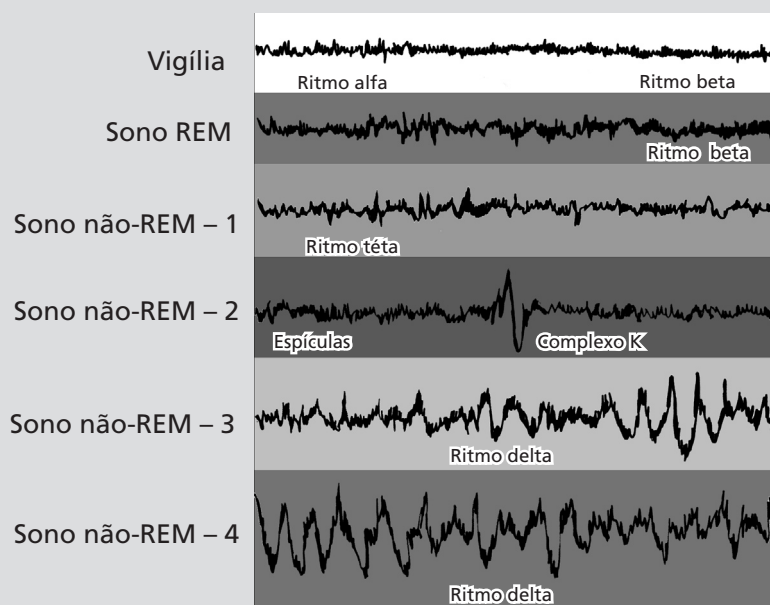


Figura 13.5: Características dos diferentes padrões de atividade cerebral durante a vigília e os períodos de sono.



Quanto tempo dormem os diferentes animais?

O tempo de sono não é uniforme entre os diferentes seres vivos, podendo variar de dezoito horas (gambá) até apenas três horas (cavalos). Isso ocorre porque alguns animais têm mais razões para não dormir do que outros (como o perigo a que ficam expostos durante o período de sono), podendo, em alguns casos, o sono não ser contínuo. No caso de golfinhos, cada hemisfério dorme durante um certo tempo. Assim, o animal fica duas horas com um lado do cérebro dormindo; uma hora acordado e com os dois hemisférios trabalhando; duas horas com o outro lado dormindo. Com isso, dorme aproximadamente 12 horas por noite e, aparentemente, não tem sono REM.

FUNÇÕES PARA O SONO

- **Teoria da restauração**

Segundo esta teoria, dormimos para promover a recuperação ou restauração do organismo, de forma a prepará-lo para um novo dia de vigília. Não se sabe se algum processo fisiológico específico é restaurado durante o sono, embora evidências indiquem que o sono proporcione um período essencial para a recuperação tecidual. É possível que regiões cerebrais específicas como, por exemplo, o córtex, possam gerar formas de repouso durante o sono não-REM.

- **Teoria da adaptação**

Aqui, temos o sono como um mecanismo para se descansar de problemas, escapar de predadores e conservar energia (termorregulação).

- **Teoria da formação de memória**

Vários estudos demonstram a importância do sono para o processo de integração e de consolidação de memória. As fases de ondas lentas relacionadas ao fenômeno de LTP do hipocampo em direção ao córtex cerebral (potencialização de longa duração; para mais detalhes ver a Aula 14 desta disciplina) estão envolvidas na formação de memória explícita, enquanto o padrão de atividade cerebral observado durante a fase REM favorece o fortalecimento de circuitos relacionados à memória implícita.

Homens e ratos privados de sono REM apresentam deficiência na habilidade de aprender uma variedade de tarefas. Entretanto, um aumento na duração do sono REM, que pode ser observado após experiências de aprendizado intenso, não é evidência concreta para a relação sono-aprendizado.

- **Teoria psíquica**

Conjunto de teorias surgidas a partir da segunda metade do século XX (década de 1960) pelo desenvolvimento das neurociências e apoiadas pelas tecnologias de mapeamento cerebral. Parte principalmente da crítica às abordagens anteriores. Segundo a neuropsicanálise, o sonho é um fenômeno psíquico, porém de fundo biológico; é um mecanismo de sobrevivência que tem a função de manter o equilíbrio fisiológico do organismo.

- **Teoria da evolução**

É o resultado da evolução da espécie. Assim, os sonhos são o resultado da ativação da atividade cerebral durante o sono. Seu conteúdo e imagens não possuem nenhum significado mais profundo. Seria semelhante a um delírio.

SONHAMOS SEMPRE? O QUE VOCÊ SONHOU NA NOITE PASSADA?

Você se lembra sempre dos seus sonhos? Quando você sonha, só é possível se lembrar logo após acordar, ou ser acordado durante o sonho. Isto dificulta bastante esse processo. A experiência vivida durante o sonho é logo esquecida ou distorcida, se não a relatarmos logo. Desta forma, os sonhos são fenômenos extremamente difíceis de se estudar ou de se analisar, uma vez que não é possível se obter observações diretas.

As explicações modernas sobre os sonhos se baseiam nos estudos sobre o fenômeno de sono REM, apesar de os dois não serem fenômenos equivalentes. Os sonhos podem ser encontrados em outros estágios do sono (nas fases do sono não-REM).

Na fase REM encontramos certas particularidades não relacionadas com os sonhos. Ainda não se sabe se sonhar é essencial, mas termos o sono REM é. Este fato foi demonstrado pelo bloqueio experimental do estado REM em alguns indivíduos (acordando-os a cada entrada em REM), o que provoca a reentrada de estados não-REM, até que se acumule o período todo de sono neste estado. Após alguns dias desta experiência, se este mesmo indivíduo tiver um ciclo normal, sem interrupção, ele terá uma frequência de sonhos REM muito maior do que indivíduos normais, sendo que o ciclo volta ao normal após um certo período. Vale lembrar que, em indivíduos privados de sono REM, os sonhos podem estar acontecendo durante os estágios não-REM.

Para Freud, os sonhos representam um caminho inconsciente para que possamos expressar nossas fantasias sexuais e agressivas, as quais são esquecidas quando acordamos. Assim, por um lado o sonho ruim (pesadelo) pode nos ajudar a controlar nossa ansiedade e, por outro, ele compreende um estado de amnésia profunda, que nos leva a perder grande parte dos nossos sonhos para sempre.

É certo que sonhamos profundamente a cada 4 ou 5 períodos de sono REM por noite, não relacionados ou em capítulos, sem nossa interferência consciente. No entanto, em geral só nos lembramos do último episódio dos sonhos.

Realmente ainda existe muito a ser discutido sobre o sono REM e os sonhos.



O sonho na Antigüidade

Os sonhos representavam mensagens divinas ou sobrenaturais na Antigüidade devido à crença na existência de uma relação direta entre os sonhos e os desejos das divindades, podendo, desta forma, servirem como instrumentos para se prever o futuro e se indicar a cura de doenças. A **ONIROMANCIA** possuía quase sempre um caráter organizado, do qual, na Grécia antiga, os filósofos Heráclito (c. 544-483 a.C.) e Aristóteles (384-322 a.C.) desenvolveram a idéia de que os sonhos estavam ligados ao aspecto interior do indivíduo. Nessa visão, os sonhos seriam representações (metáforas), fragmentos de lembranças, e refletiriam o estado do corpo. Hipócrates (460 - 357 a.C.), pai da Medicina, escreveu um tratado sobre o diagnóstico através da atividade onírica guiada por **MORFEU**.

No Império Romano, duas obras literárias se destacaram, o *Oneirocriticon* (a interpretação dos sonhos) e o *Artemidoro* de Héfeso (150 d.C.). Nestas obras, estão compilados antigas superstições, mitos e ritos religiosos relacionados aos sonhos, proporcionando um guia com as chaves para decifrá-los.

ONIROMANCIA

Ciência desenvolvida na Grécia antiga com a intenção de interpretar os sonhos.

MORFEU

Era o deus dos sonhos, para os gregos.

A psicanálise e os sonhos...

A publicação da obra *Interpretação dos sonhos* (1899), do neurologista austríaco Sigmund Freud (1856 - 1939), deu início à Psicanálise e ao moderno pensamento sobre os sonhos e suas origens. Segundo Freud, os sonhos são o "resultado complexo da atividade psíquica humana", com a função de satisfazer desejos inconscientes e conflitos reprimidos (principalmente de natureza sexual). Assim, desvendar os significados dos sonhos seria a chave para se conhecer o estado mental do indivíduo e para se entender as razões e origens de doenças e sofrimentos psicológicos.

Carl Gustav Jung (1875 - 1961), psiquiatra suíço, trabalhou inicialmente com Freud; depois, seguindo sua própria linha de pensamento, caracterizou o sonho como um mecanismo capaz de trazer à tona a natureza ancestral profunda do homem, na forma de símbolos universais (os arquétipos). Os sonhos, nesta visão, seriam mensagens que poderiam ser decifradas e integradas à nossa consciência, tornando-nos mais completos.



ATIVIDADES

3. Baseando-se nas diferentes teorias a respeito das funções biológicas do sono, explique a importância desse fenômeno para o pleno funcionamento do organismo.

RESPOSTA COMENTADA

Para responder a esta pergunta, você terá que se basear nas diferentes teorias que versam sobre a função do sono. Entre elas, podemos destacar as que envolvem fenômenos de restauração, de adaptação, de formação de memória, de atividade psíquica e da evolução. Como resultado, podemos sugerir que o sono é essencial para que o nosso organismo funcione adequadamente, é que cada uma das teorias contribui um pouco para percebermos a importância do sono para a nossa vida (recuperação tecidual, repouso, descanso físico e mental, liberação de desejos e fantasias inconscientes, integração e consolidação de diferentes formas de memória).

4. O que são ritmos biológicos, como podem ser gerados e como influenciam nossa vida?

RESPOSTA COMENTADA

São eventos biológicos que se repetem ritmicamente, como, por exemplo, o ciclo sono/vigília, fome/saciedade, ciclo menstrual, variação térmica corporal, diurna/noturna, etc. Em geral, temos duas vias capazes de gerar a sincronização de uma dada população celular e, desta forma, formar um núcleo sincronizador de atividades. A primeira delas é através de células que apresentem atividade marca-passo e que irão coordenar a atividade do núcleo e de outras regiões. A segunda maneira é através de um comportamento coletivo que gere sincronização (regiões sincronizadoras). Apesar de existirem núcleos com atividade marca-passo na regulação do ciclo sono/vigília (o núcleo supraquiasmático), eles sofrem influência de pistas ambientais (os temporizadores) para, em conjunto, controlarem nossas atividades rítmicas.

MECANISMOS NEURAIS DO SONO

A partir dos anos 40, o sono deixou de ser visto como um processo passivo, começando a ser analisado como um processo ativo, dependente da ativação e do bloqueio de várias regiões encefálicas (**Figura 13.6**). O sistema que controla este processo é complexo e ainda não completamente esclarecido, mas é possível resumi-lo em alguns princípios básicos:

- Os neurônios que regulam o ciclo sono/vigília participam de um sistema com neurotransmissores modulatórios. Os neurônios do tronco cerebral usam a norepinefrina e serotonina em estágios de vigília, enquanto outros utilizam a acetilcolina durante o período de sono REM. Há outros neurônios que usam a acetilcolina e são ativados durante a vigília (**Figuras 13.6.a e 13.6.b**).

- O sistema modulatório difuso controla o comportamento rítmico do tálamo que, por sua vez, controla o ritmo do EEG no córtex cerebral (veja o box explicativo – Mecanismos e funções dos ritmos cerebrais). O núcleo deste sistema é formado por um conjunto limitado de neurônios no tronco encefálico que são capazes, cada um, de fazer mais de 100.000 sinapses. O que torna ainda mais difuso este sistema é a liberação de neurotransmissores que ocorre no fluido extracelular, o que possibilita a difusão dos mediadores químicos por um conjunto maior de neurônios, além daqueles situados na fenda sináptica.

- O sono envolve atividade do sistema modulatório descendente para inibir, por exemplo, ativamente os neurônios motores durante os sonhos (**Figura 13.6.b**).

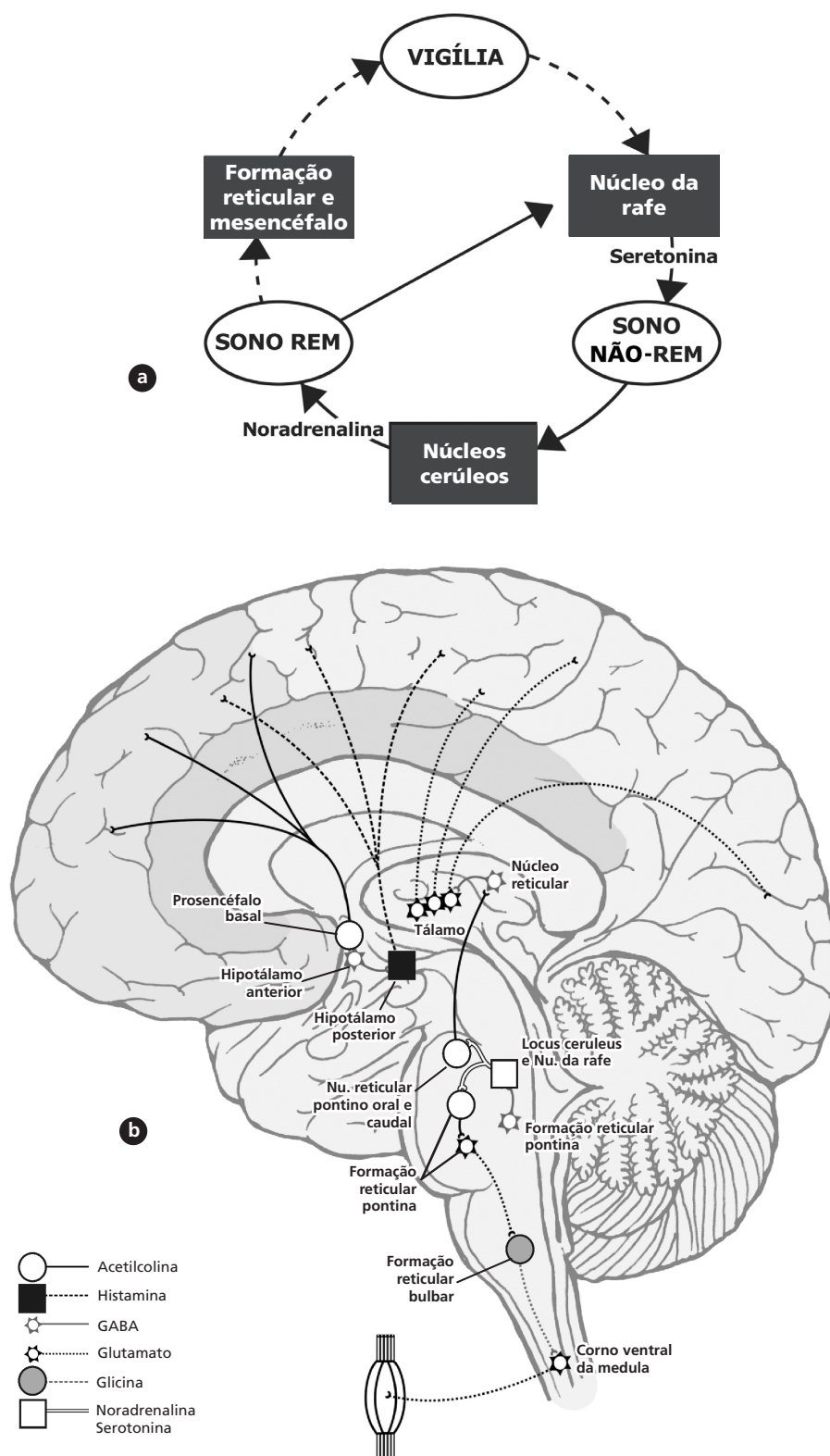


Figura 13.6: Participação das substâncias transmissoras monoaminérgicas no ciclo vigília-sono. Em (a), a liberação da serotonina das terminações sinápticas dos núcleos da rafe desencadeia o sono não-REM. Este é o precursor do sono REM, que tem o seu início após a ativação do locus cerúleus, que libera a noradrenalina. A sequência rítmica desses processos é determinada por marca-passos circadianos. Em (b), corte esquemático do SNC, ilustrando a localização anatômica das principais áreas do tronco encefálico relacionadas com o ciclo sono-vigília, os neuromoduladores produzidos e as principais projeções corticais e medulares.

Existem três tipos de evidências para localização dos mecanismos que regulam o sono no cérebro:

- Lesões no tronco cerebral de humanos causam sono e até coma, indicando que os neurônios nesta região são importantes para nos manter acordados. Neurônios do lócus cerúleos (noradrenalina), núcleos da rafe (serotonina), tronco cerebral e prosencéfalo basal (acetilcolina), mesencéfalo (histamina) aumentam a sua taxa de disparo em um momento anterior ao despertar. Todos esses neurônios fazem sinapses diretamente com o tálamo, córtex cerebral e outras regiões. O efeito geral destes neurotransmissores é a despolarização de outros neurônios, com o conseqüente aumento na sua excitabilidade e a supressão da forma rítmica de disparos locais (**Figura 13.6.b**).

- Não é conhecido ainda o mecanismo que dispara o estado não-REM, mas existe uma diminuição geral na taxa de disparo de uma série de neurônios modulatórios do tronco cerebral. As primeiras fases desse período de sono incluem a formação de espículas no EEG, as quais são geradas pela ritmicidade inerente às células talâmicas (veja box sobre os mecanismos e funções dos ritmos cerebrais). Com o avanço desta fase, as espículas desaparecem, dando origem ao ritmo delta, que é mais lento. Este ritmo também é dado por células do tálamo, e a sincronização é produzida pela interconexão neural dentro do tálamo e entre este e o córtex.

- O córtex, durante o período REM, é tão ativo quanto durante a vigília. Entretanto, neste caso, a atividade das células é espontânea, ou seja, ocorre mesmo na ausência de estímulo externo. Neurônios motores corticais também disparam rapidamente e geram um padrão motor organizado, embora só cheguem a poucos músculos dos olhos, do ouvido interno e aqueles essenciais para a respiração. Entretanto, é observado um aumento na taxa de disparo de neurônios colinérgicos na ponte. Algumas evidências ainda sugerem que esses neurônios induzam o sono REM. A fase REM é finalizada quando os neurônios que contêm noradrenalina e serotonina são ativados novamente.

O mesmo sistema do tronco cerebral que controla o sono é capaz de atuar ativamente para inibir neurônios da medula espinhal, bloqueando a atividade motora descendente e, portanto, impedindo que haja sua expressão em movimentos. Imagine só: você está sonhando que está em uma briga e começa a bater em quem está ao seu lado ou na parede! Em um caso como esse, você pode se machucar ou machucar alguém. Desta forma, este é um mecanismo adaptativo que nos protege de nós mesmos.

NARCOLEPSIA

É um distúrbio de sono, caracterizado por sonolência diurna excessiva, cataplexia e anormalidades do sono REM. Sua prevalência é em torno de 0,02-0,18% da população em geral, considerando EUA, Europa e Japão. No Brasil, ainda não há um estudo de prevalência da narcolepsia, que teria aproximadamente um caso da doença em cada 2.000 pessoas (semelhante à prevalência da esclerose múltipla ou da fibrose cística).

APNÉIA

A apnéia/hipopnéia é definida como interrupção/diminuição do fluxo aéreo (respiração), que leva à queda do oxigênio no sangue e ao despertar. Genericamente, existem três tipos de apnéia (obstrutiva, central e mista).

BRUXISMO

O bruxismo é definido como um distúrbio caracterizado pelo ranger ou apertar dos dentes (como uma mastigação) durante o período de sono. Sua causa ainda não foi definida completamente, porém, durante o bruxismo, a força realizada sobre a musculatura mastigatória e os dentes é excessiva, produzindo sintomas musculares e dentais, tais como dor facial atípica, desconforto muscular (principalmente ao morder), dor de cabeça, desgaste dos dentes e danos às gengivas. Um dos sintomas mais típicos é o desgaste do esmalte dos dentes, sendo, por isso, mais comum os dentistas serem os primeiros a detectarem o bruxismo.

Algumas poucas pessoas apresentam uma desordem comportamental do sono REM que não permite este controle, a **NARCOLEPSIA**. A base desta doença é dada pela ruptura do sistema do tronco encefálico, que normalmente medeia a atonia durante o sono REM. Outros distúrbios presentes durante o sono apresentam sérias consequências para o nosso bem-estar, podendo ser destacados aqui a **APNÉIA**, o **BRUXISMO**, o **TERROR NOTURNO**, o **SONAMBULISMO** e a **SÍNDROME DAS PERNAS INQUIETAS**.

TERROR NOTURNO

O terror noturno é comum em cerca de 3% das crianças, principalmente meninos. Caracteriza-se pelo despertar assustado da criança, que fica com medo, pálida, transpirando abundantemente; logo depois, volta a dormir. Quando acorda, pela manhã, ela não se lembra do ocorrido. Em geral, esses terrores ocorrem durante o sono profundo e, na maioria dos casos, desaparecem com o crescimento.

SONAMBULISMO

Normalmente ocorre na infância, caracterizando-se pelo falar, sentar e falar, ou também pelo andar do indivíduo durante o sono. O maior cuidado que se deve ter é o acompanhamento do sonâmbulo e a adoção de medidas de segurança, para que não ocorra nenhum acidente. Em geral, não necessita de tratamento, pois tende a desaparecer com o crescimento.

SÍNDROME DAS PERNAS INQUIETAS (RLS)

Uma irresistível necessidade de movimentar os membros inferiores, acompanhada de sensações de arrastamento das pernas. Estes sintomas causam grande dificuldade para os indivíduos acometidos por essa síndrome, já que esses movimentos de pernas causam despertares, resultando no encurtamento do período de sono.



Cães com narcolepsia?

A **narcolepsia** acontece em cães de modo muito parecido como no homem. Estudos farmacológicos, fisiológicos e genéticos em cães têm ajudado a elucidar os mecanismos cerebrais envolvidos na gênese da narcolepsia. O gene para narcolepsia foi primeiramente encontrado em cães e, depois, sequenciado em humanos portadores da doença. Experimentos usando o modelo canino mostram que um aumento na neurotransmissão colinérgica e uma diminuição na transmissão noradrenérgica são, possivelmente, as bases patofisiológicas da doença, aliadas a uma deficiência no sistema da hipocretina.

PRIVAÇÃO DE SONO E ALTERAÇÃO NOS HORÁRIOS DE SONO

Quantas vezes você precisou ficar acordado até tarde, seja trabalhando ou estudando, e teve de acordar cedo no dia seguinte? Como você se sentiu ao longo do dia? E se esse padrão de dormir tarde e acordar cedo se repetisse durante a semana inteira? Como você ficaria no final de semana?

Caso essa experiência seja comum para você, sabemos que tal desorganização no horário de sono leva a sérias consequências (físicas, psicológicas e sociais). Geralmente, para ressincronizar o sono, precisamos repor o período perdido e, no final de semana, perdemos um bom período na cama! Em casos mais graves, pode-se recorrer a clínicas especializadas, onde o tratamento se baseia em atrasar o horário de dormir por dias sucessivos até quase fechar o **RITMO CIRCADIANO**, para que se estabeleça um horário de dormir mais cedo, porque é mais fácil atrasar do que adiantar o sono. Explicando melhor: Você só está conseguindo dormir às duas horas da madrugada. Numa dessas clínicas, cada dia você dormirá uma hora mais tarde (um dia às três, no outro às quatro etc.). Ao final do ciclo, você chegará às sete ou oito horas de atraso – o que normalizarão suas horas normais de adormecer.

A privação do sono compromete nossa capacidade de julgar com clareza no trabalho e prejudica nossos sentidos. A produtividade cai e aumenta o número de erros e acidentes cometidos. A Comissão Nacional de Pesquisa dos Distúrbios do Sono (nos EUA) estimou, em 1994, que 40 milhões de americanos têm problemas para dormir. O resultado é assustador, e podemos dizer que uma significativa parcela da força de trabalho anda perigosamente sonolenta.

RITMO CIRCADIANO

Mecanismo regulatório das funções corpóreas que se baseia nos ciclos de claro-escuro. Esse ritmo varia entre as espécies, de modo que algumas têm hábitos diurnos; outras, hábitos noturnos. Há ainda aquelas que têm um período transicional.



Cochilos x acidentes no trabalho

Uma pesquisa realizada nos EUA, em 1994, relacionou cochilos no trabalho a uma série de acidentes profissionais. O trabalho desenvolvido pelo grupo Better Sleep Council poderá ser visto no *website* <http://www.bettersleep.org/index.html>. Mas, não pense que isso é propaganda de fábrica de colchões!



RELÓGIO CEREBRAL

A maioria dos sistemas bioquímicos e fisiológicos do corpo possui um ritmo diário que regula, aumentando ou diminuindo, determinadas funções como temperatura, fluxo sanguíneo, produção de urina, nível hormonal, crescimento de cabelo e taxa metabólica em geral. Quando um animal é privado de um ciclo claro/escuro normal, o ritmo circadiano continua mais ou menos o mesmo, pois é primariamente controlado pelo cérebro, e não pelo Sol ou pela Lua. Entretanto, este relógio cerebral é imperfeito e requer freqüentemente algumas correções que podem ser dadas até por estímulos externos.

Existem algumas pistas ambientais que podem regular nosso relógio biológico, chamadas inicialmente *Zeitgebers* (temporizadores). Na presença dessas pistas, todos desenvolvemos e mantemos um ritmo de exatas 24 horas (acompanhe na **Figura 13.7**). Quando somos privados dessas pistas, outro ciclo é desenvolvido e pode ser mantido por períodos distintos dos normais. Para os seres humanos, é muito difícil estudar e isolar essas pistas, mesmo em laboratório. Entretanto, sabe-se que, para os mamíferos, as primeiras pistas estão presentes, desde nossa vida embrionária, pelos hormônios liberados pela mãe. Em adultos, outros fatores, tais como disponibilidade de comida e água, contato social e ciclo de temperatura ambiental também são tão importantes quanto o ciclo claro/escuro.

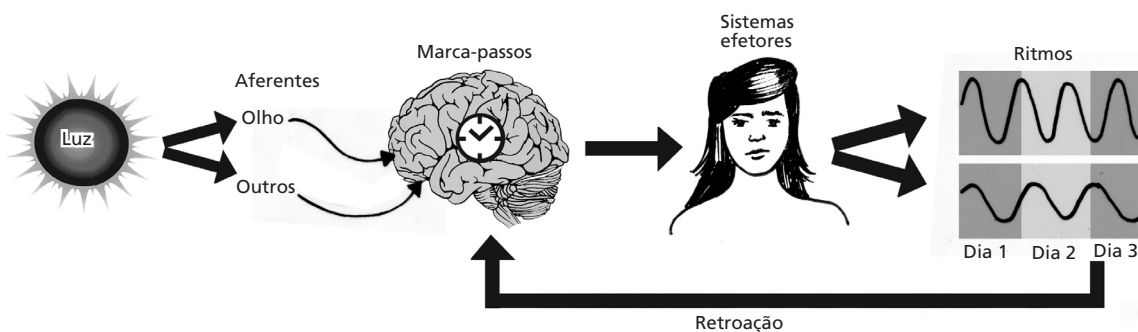


Figura 13.7: Componentes básicos do sistema temporizador que contribuem para a formação do ciclo dia/noite, claro/escuro.

UM RELÓGIO NO CÉREBRO: O NÚCLEO SUPRAQUIASMÁTICO

O relógio biológico que produz o ritmo circadiano consiste em vários componentes. De modo geral, as vias sensíveis às variações de luminosidade (claro/escuro) atingem o relógio e coordenam os seus ritmos com o ritmo circadiano do ambiente. Assim, o relógio permanece em um ritmo básico, mesmo na ausência do estímulo externo. A via de saída do relógio permite que ele controle certas funções do cérebro e do corpo. Os mamíferos possuem um grupo de neurônios, no hipotálamo, que serve como relógio biológico: o núcleo supraquiasmático (SCN).

Os pequenos neurônios hipotalâmicos do SCN se localizam em ambos os lados da linha média, na borda do terceiro ventrículo. A remoção desses núcleos extingue a ritmicidade circadiana dos ciclos sono/vigília e fome/sede, enquanto o transplante desta região é capaz de restaurar o ciclo dentro de 2-4 semanas. Uma vez que o comportamento é normalmente sincronizado com ciclos claro/escuro, deve existir algum mecanismo fotossensível que regule esse relógio cerebral. De fato, o trato retino-hipotalâmico (axônios das células ganglionares da retina fazem sinapses com neurônios do SCN) é importante para regular o ciclo sono/vigília com o ciclo noite/dia. A via de saída do SCN inerva regiões próximas do hipotálamo, mas algumas também inervam o mesencéfalo e outras partes do diencefalo. Quase todos esses neurônios do SCN utilizam o GABA como principal neurotransmissor, sendo um possível papel deles o de inibir seus alvos. Ainda não está claro como o SCN ajusta o tempo de vários comportamentos importantes.

AS ENGRENAGENS DO RELÓGIO SCN

Alguns estudos mostram que cada célula do SCN funciona como um pequeno relógio. Nesses estudos, células isoladas do SCN (e somente deste núcleo) demonstram características rítmicas (disparar potenciais de ação, utilização de glicose, produção de determinadas substâncias como vasopressina, e síntese protéica) contínuas ao longo de 24 horas. Assim, se cada célula é um relógio, deve existir um mecanismo que coordene todas estas células, para que seja produzida uma mensagem única. As células da retina certamente contribuem para esse processo, mas estas células do SCN também se comunicam diretamente entre si. A natureza desta interação neurônio-neurônio dentro do SCN não é totalmente

entendida, mas, além das sinapses clássicas, podem ser incluídos outros mecanismos de sinalização química, interações elétricas diretas ou a participação de células gliais.

CONCLUSÃO

E então? Tem dormido bem ou não? Em geral, como vimos na aula, passamos cerca de um terço do nosso dia dormindo. Mas isso não significa tempo perdido, pois várias são as funções executadas pelo sistema nervoso durante este período. As mais variadas áreas corticais, subcorticais e do tronco encefálico envolvidas com a regulação do nosso sono e dos nossos sonhos participam de um complexo sistema de conexões reponsáveis pelo despertar, sonhar e adormecer. Qualquer comprometimento deste sistema neural poderá resultar em sérias disfunções e prejuízos para o correto funcionamento do nosso organismo.

ATIVIDADES FINAIS

1. Marque um x, na tabela, quando a característica pertencer a uma ou às duas divisões do sono: não-REM e REM.

	Característica	Sono não-REM	Sono REM
1	Predomínio de atividade autônoma simpática		
2	Predomínio de atividade autônoma parassimpática		
3	Presença de movimentos oculares		
4	Atonia ou diminuição sistêmica da atividade muscular estriada esquelética		
5	Divisão em estágios 1, 2, 3 e 4		
6	Ocorrência predominante dos sonhos		
7	Sincronização da atividade elétrica cerebral		
8	Dessincronização da atividade elétrica cerebral		

RESPOSTA

Na coluna do sono não-REM, teremos os números 2, 5, 7 e 9. Na coluna do sono REM, teremos os números 1, 3, 4, 6 e 8.

2. Explique a diferença entre o sono REM em adultos e o sono agitado em recém-nascidos.

RESPOSTA COMENTADA

Como os ciclos do sono do recém-nascido são mais curtos (de duas horas aproximadamente), o bebê passa várias vezes pelo ciclo completo do sono. Assim, não iremos observar o equivalente ao estado de sono REM. No entanto, o “sono agitado”, formado por ativações esporádicas, apresenta algumas características parecidas com o sono REM, embora não haja presença de sonhos.

RESUMO

Nosso sono é dividido, segundo o padrão de sincronização de atividade elétrica cortical, em dois períodos distintos: Sono REM (sincronizado) e sono não-REM (dessincronizado); cada um tem suas particularidades eletrofisiológicas e motoras. Analisamos, ainda, as diferentes áreas cerebrais e do tronco encefálico que contribuem para a formação de um ciclo sono/vigília e os possíveis papéis funcionais do sono, como repouso, restauração tecidual, formação de memória, manutenção das funções homeostáticas e, até mesmo, extravasamento de nossas vontades e desejos mais ocultos .

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, daremos continuidade ao estudo das funções superiores do sistema nervoso dedicando-nos aos mecanismos de aprendizado e de formação de memória. A formação e a renovação de nossas memórias e recordações fazem parte de nossa vida desde o nascimento até a morte. A importância desse processo fica mais nítida ainda quando lembramos que “recordar é viver”.

AULA 14

Aprender e esquecer ou aprender e lembrar?

Meta da aula

Apresentar os tipos de memória, suas características, e os mecanismos de aquisição de novos conhecimentos.

objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Identificar as etapas do processo de seleção e aquisição de novas informações para a memória.
- Diferenciar aprendizado de memória.
- Classificar os tipos de memória, tendo em vista a sua natureza e duração.
- Correlacionar as áreas cerebrais envolvidas no processamento da memória com sua função específica.
- Descrever a contribuição dos estudos de pacientes com lesões cerebrais para o conhecimento sobre a memória.
- Identificar os mecanismos moleculares que nos permitem a aquisição e a manutenção de memória.

Pré-requisitos

Para que você possa acompanhar esta aula, é fundamental a leitura das Aulas 7 a 14 de Biologia Celular I, da Aula 10 de Biologia Celular II e das Aulas 6 a 11 de Corpo Humano I.

INTRODUÇÃO

Como fazer para lembrar todo o conteúdo para a próxima prova? Como esquecer uma história triste que vivenciamos?

Vivemos novas experiências dia após dia, lembramos alguns fatos, esquecemos outros. Como isso ocorre? Como nosso sistema nervoso retém tantas informações sobre pessoas, nomes, números, fatos, endereços? Por que alguns têm mais capacidade de memória do que outros? Existe uma região cerebral onde toda a nossa memória fica armazenada? Esta enxurrada de perguntas tem sido proposta ao longo de séculos, mas as respostas que temos até hoje são poucas.

Veremos, nesta aula, como adquirimos e processamos novos conhecimentos; como as memórias podem ser classificadas de acordo com suas características. Veremos também as áreas cerebrais responsáveis por esta tarefa aparentemente tão complexa, bem como as bases moleculares envolvidas na consolidação de memórias.

OS CAMINHOS DA INFORMAÇÃO

Somos capazes de nos lembrar de imagens, de sons, de sabores, de cheiros, de acontecimentos, de emoções, de movimentos. Enfim, somos potencialmente capazes de lembrar de qualquer evento (estímulo) externo ou interno a nós.

Para isto, como você observa na **Figura 14.1**, o primeiro passo é a chegada de um ou de vários estímulos a nós. Como estes estímulos geralmente são complexos, devemos, primeiramente, selecioná-los, antes de sua aquisição. Os que nos chamarem mais atenção ou nos provocarem mais emoções serão certamente mais relevantes e adquiridos pelo sistema.

O processo seguinte é a retenção temporária do conhecimento sobre o novo estímulo. O tempo de retenção é muito variável: alguns poucos minutos ou até anos. Assim, a qualquer momento podemos evocar (lembrar) o conhecimento retido e relacioná-lo a eventos novos.

Deste ponto, há dois caminhos possíveis: a consolidação da memória e sua conseqüente retenção duradoura ou o esquecimento. Esquecer é um acontecimento normal, faz parte do sistema de memória. Imagine se conseguíssemos estocar todo e qualquer conhecimento: todos os números da lista telefônica, o rosto e o nome de todas as pessoas que vemos na rua! Rapidamente, nosso sistema iria entrar em pane e não conseguiria mais definir o que é irrelevante.

A capacidade de armazenar memória é muito particular a cada um de nós, não só na “quantidade” de memórias, mas também em suas características. Alguns armazenam facilmente números, mas não se recordam de nomes. Outros lembram-se de lugares, de paisagens, mas se esquecem de pessoas. Uma vez que consolidamos uma memória, ela persiste por um longo tempo, mas, mesmo em pessoas normais, pode não ser permanente. Evocá-la freqüentemente, lembrando fatos e relacionando-os com vivências presentes, é uma forma de mantê-la disponível em nosso sistema.



Figura 14.1: Fluxograma demonstrando o “caminho” percorrido por novos conhecimentos adquiridos, para que sejam retidos em nossas memórias e possam ser resgatados e utilizados a qualquer momento.

ANTES DE LEMBRARMOS, PRECISAMOS APRENDER!

Aprender pode ser definido como o ato de adquirir conhecimento sobre o mundo; já a memória seria o processo pelo qual este conhecimento é consolidado, armazenado e resgatado. Nossa memória retém, em grande parte, experiências e sentimentos que vivemos. Como o aprendizado e a memória são processos interligados, devem ser abordados de maneira contínua e integrada.

**IVAN PAVLOV
(1849 – 1936)**

Fisiologista russo, prêmio Nobel de Medicina em 1904, criador da chamada “psicologia reflexologista”. Pavlov utilizava cães como animais experimentais e testava a capacidade de aprendizado deles. No *site* http://ctjovem.mct.gov.br/index.php?action=/content/view&cod_objeto=12649, você encontra informações adicionais sobre Pavlov, em português.

**EDWARD THORNDIKE
(1874 – 1949)**

Fisiologista norte-americano que influenciou fortemente a psicologia comportamental com suas idéias associacionistas (associando ações e consequências). Veja mais sobre seus experimentos no *site*, em inglês <http://www.biozentrum.uni-burg.de/genetics/behavior/learning/behaviorism.html>

O primeiro passo para nosso sistema de memória é a aquisição de informações, ou seja, o aprendizado. Desde a Antiguidade clássica, acreditava-se que o aprendizado seria algo obtido pela associação de idéias. Porém, o fisiologista russo **IVAN PAVLOV** e o norte-americano **EDWARD THORNDIKE**, no início do século XX, demonstraram que o aprendizado freqüentemente consistia na capacidade de um ser tornar-se responsivo a um estímulo que originalmente era ineficiente, bem como associar ações a comportamentos.

Atualmente, acredita-se que haja duas principais formas de aquisição de conhecimento: o aprendizado não-associativo e o aprendizado associativo. Adotaremos estes conceitos aqui por serem os mais amplamente divulgados, apesar de nem todos os estudiosos em memória os adotarem. Portanto, não se surpreenda se, buscando mais informações em livros especializados ou na internet, você se deparar com outras classificações.

O aprendizado não-associativo ocorre quando um indivíduo (ou um animal) é exposto, uma ou repetidas vezes, a um tipo de estímulo que gera uma resposta. O que caracteriza o aprendizado não-associativo é a ausência de um sinal que anteceda o estímulo. Quando somos submetidos a estímulos repetitivos, podemos nos habituar a eles. Assim, é possível nos assustarmos com o barulho inicial de quando o aparelho de ar condicionado é ligado, mas logo nos acostumamos àquele ruído monótono do compressor, dado que ele não nos ameaça (chamamos este fenômeno *habituação*).

De forma semelhante, um estímulo novo pode gerar sensibilização. Imagine-se sentado num banco da praça assistindo à “pelada” de domingo, quando um “perna-de-pau” chuta a bola com toda a força para fora do campo, em sua direção. Mesmo que você consiga se esquivar, passará o restante do tempo da partida atento para que isso não se repita.

A sensibilização pode ser entendida como um aumento na resposta quando há reexposição a um estímulo intenso ou nocivo. Um estímulo sensibilizante pode suprimir os efeitos de uma habituação pelo processo denominado *desabituação*. Assim, a resposta inicial a um zumbido qualquer, de um inseto ou de uma máquina em funcionamento, pode ter sido reduzida por uma habituação. Apesar disso, a intensidade de resposta ao barulho pode ser restaurada se o zumbido for de uma abelha e resultar em uma ferroad.

O aprendizado associativo ocorre quando relacionamos um estímulo a um outro que o segue (é o que caracteriza o condicionamento clássico) ou quando relacionamos uma ação à sua consequência (caracteriza o condicionamento operante). O condicionamento clássico, descrito por Pavlov, ocorre quando se associa um estímulo condicionante a um estímulo incondicionado. Para compreender estes conceitos, leia com atenção os experimentos de Pavlov. Inicialmente, o cientista russo estimulava a secreção salivar de cães oferecendo-lhes comida. No experimento seguinte, Pavlov dava um estímulo condicionante, como um piscar de luz ou o som de uma campainha, antes de oferecer comida. Repetindo esse procedimento algumas vezes, Pavlov observou que os animais estabeleciam uma associação entre os estímulos e passavam a salivar ao ouvir a campainha ou ao ver a luz, mesmo que o prato de comida não aparecesse.

Para que o condicionamento seja mantido, há necessidade de um pareamento entre o piscar de luz ou a campainha (estímulo condicionante) e a oferta de comida (estímulo incondicionado). Caso contrário, a probabilidade de o cão salivar (resposta condicionada) sem a presença do estímulo incondicionado diminui significativamente, levando à extinção do condicionamento.

Um papel funcional importante do condicionamento clássico é que o organismo se prepara para distinguir eventos que segura e previsivelmente ocorram juntos dos que são apenas aleatoriamente associados. Isto é uma forma extraordinária de detectar, com certo grau de regularidade, as interações deste organismo com o mundo, o que certamente foi uma estratégia evolutiva de seleção natural.

O condicionamento operante (também chamado condicionamento instrumental ou aprendizado por tentativa e erro) foi descrito por Edward Thorndike. Em experimentos laboratoriais, o condicionamento operante foi proposto a partir da demonstração de que animais aprendiam que, entre os seus vários comportamentos, um deles (o de acionar uma alavanca) era seguido por comida. Com esta informação, ele associava a ação apropriada (pressionar a alavanca) ao recebimento de alimento, uma ação que deveria ser executada sempre que estivesse com fome.

De modo análogo ao observado para o condicionamento clássico, podemos dizer que, no condicionamento operante, ocorre a relação de previsão entre um estímulo (fome/comida) e um comportamento (acionar

uma alavanca). Porém, ao contrário do condicionamento clássico, o condicionamento operante envolve comportamentos que ocorrem espontaneamente ou, pelo menos, sem um estímulo identificável.

Os comportamentos operantes favoráveis (seguidos por recompensas) são repetidos, ao passo que aqueles seguidos por consequências aversivas (mesmo que não necessariamente dolorosas) não são normalmente repetidos.

Os princípios que governam o condicionamento clássico e o condicionamento operante são muito similares, sugerindo que estas duas formas de aprendizado possam usar os mesmos mecanismos neurais. O intervalo temporal ideal entre os estímulos do condicionamento clássico, ou entre o comportamento e o estímulo (reforço) no condicionamento operante – temporização – e as relações previsíveis são críticas para ambas as formas de condicionamento.

ATIVIDADES



1. Como selecionamos os eventos que serão adquiridos e estocados em nossa memória e deixamos de lado outros que, muitas vezes, nem entram em nosso sistema?

RESPOSTA COMENTADA

Ao vivenciarmos uma situação, os fatos mais marcantes ou que despertem mais intensamente nossas emoções possivelmente nos chamarão mais atenção e tenderão a entrar em nosso sistema de memória. Os demais serão desprezados. Uma vez no sistema, é difícil determinar o que armazenaremos para sempre e o que esqueceremos. Certamente, a repetição do evento é uma forma de reforçá-lo e fazer com que ele seja consolidado, mas muitas vezes isto ocorre sem que tenhamos a intenção de consolidá-lo.

2. Diferencie aprendizado de memória.

RESPOSTA COMENTADA

*Aprendizado é o passo inicial para a aquisição de novos conhecimentos.
A memória é a fixação e o resgate destes conhecimentos.*

3. Esquematize a seqüência de passos no experimento de condicionamento clássico de Pavlov. Não deixe de indicar o estímulo incondicionado, o condicionante e a resposta condicionada.

RESPOSTA COMENTADA

Comida = estímulo incondicionado

Luz/som = estímulo condicionante

Salivar = resposta condicionada

Esta é uma forma simples para se compreender como a seqüência de eventos ocorre. Se você quiser repetir o exercício e entender sua lógica usando imagens e ações, entre no site <http://nobelprize.org/medicine/educational/pavlov/>, execute "Play the Pavlov's Dog Game" e divirta-se aprendendo!

TIPOS DE MEMÓRIA E SUAS CARACTERÍSTICAS

Definimos memória como um processo de armazenamento seletivo de informações de diferentes naturezas, que podem ser evocadas a qualquer momento, consciente ou inconscientemente. Para facilitar nossa compreensão, podemos classificar a memória quanto à sua duração ou quanto à sua natureza. Quanto à duração, definimos: memória ultra-rápida, memória de curto prazo e memória de longo prazo.

A memória ultra-rápida dura alguns segundos e é utilizada permanentemente, sem que nós percebamos. Por exemplo, quando encadeamos palavras para formar uma frase lógica, usamos nossa memória ultra-rápida para que a frase faça sentido. Se nos perguntarem que palavras exatamente usamos naquela determinada frase, provavelmente não saberemos dizer.

A memória ultra-rápida pode ser testada da seguinte forma: projeta-se, por poucos segundos, uma seqüência de letras ou números para um indivíduo. Após finalizada a projeção, pede-se a ele que relate imediatamente o que viu. Ele poderá relatar até 12 caracteres ou, se não for capaz de relatá-los espontaneamente, será certamente capaz de reconhecê-los numa lista extensa de caracteres. Acredita-se que a memória ultra-rápida seja pré-consciente, ou seja, as informações não chegam à consciência e, por isso, são difíceis de serem relatadas. Esta memória decai num tempo muito curto, da ordem de segundos.

A memória de curto prazo é o meio pelo qual uma limitada quantidade de informação é estocada de maneira imediata, porém temporária. Ela dura de minutos a horas e serve para dar continuidade aos nossos atos e pensamentos. Já a memória de longo prazo é gerada pela estocagem de quantidades quase ilimitadas de informações. Estas informações são armazenadas de modo permanente sem, contudo, serem imutáveis.

Os experimentos científicos apontam que este tipo de memória é resultado do fortalecimento de sinapses específicas em um processo denominado potencialização de longa duração (LTP), do qual falaremos mais adiante. O processo de conversão da memória de curta duração em memória de longa duração é denominado consolidação, como mostrado anteriormente na **Figura 14.1**. Estudos em pacientes com lesões em regiões específicas do sistema nervoso indicam que a formação hipocampal tem um papel fundamental na consolidação de memórias.

Quanto à natureza (conteúdo), podemos classificar as memórias em: memória explícita (declarativa ou de eventos e fatos), memória implícita (não-declarativa) e memória operacional. A memória explícita é consciente e relacionada ao conhecimento de pessoas, lugares, objetos e seus significados. Esta forma de memória é extremamente flexível e envolve a associação de muitos tipos de informações, ou seja, refere-se ao “o que” significa ou representa algo.

Podemos subdividir a memória explícita em episódica e semântica. A episódica é aquela relacionada com eventos e experiências pessoais “datados”, isto é, que podemos localizar no tempo. É utilizada, por exemplo, quando lembramos o casamento de nossa prima há dois anos, ou quando falamos sobre o filme a que assistimos no cinema no mês passado. A memória semântica está relacionada a fatos e é utilizada quando lembramos conhecimentos objetivos como, por exemplo, algum

fato aprendido durante o tempo de escola ou em livros. É através dela que lembramos o significado de uma palavra ou nomeamos objetos. Na escola, fazemos um bom exercício para a memória semântica quando aprendemos as capitais dos países.

Fixamos conhecimentos semânticos de modo extremamente flexível e organizado. Por exemplo, quando observamos a foto de um cavalo, nossos conhecimentos prévios sobre cavalos nos levam a associar esta informação visual com as demais (pastos, fazendas etc.). Se guardamos a foto e tentarmos nos lembrar da imagem de um cavalo, esta será baseada em uma rica representação do conceito de um cavalo. Quanto maior o grau de associações feitas à imagem, melhor será a codificação e mais eficiente o processo de resgatá-la em outras ocasiões. A palavra cavalo estará associada a todos estes fragmentos de informações (conhecimentos), e qualquer uma das informações individuais poderá dar acesso ao nosso conhecimento a respeito de cavalos que porventura venhamos a adquirir.

A capacidade de resgatar informações e usar o conhecimento adquirido é chamada eficiência cognitiva. Não existe um local único para o armazenamento de conhecimento semântico. Cada representação ordenada e referenciada de um objeto (como os diferentes aspectos do conhecimento a respeito de um cavalo) está armazenada separadamente. O conhecimento do todo é o resultado da integração das múltiplas representações cerebrais localizadas em diferentes regiões anatômicas especializadas.

A memória implícita é também chamada de memória não-declarativa, por não ser descrita com palavras. É inconsciente e relacionada ao aprendizado de habilidades motoras ou sensoriais reflexas que requerem a repetição de tarefas como, por exemplo, andar de bicicleta ou dirigir carros. Esta é uma forma de memória mais rígida e relacionada ao “como” realizar tarefas. Podemos subdividi-la, segundo suas características, em:

- Memória de representação perceptual: retemos em nossa memória a imagem de um objeto (forma, cor, padrão ou outras características quaisquer) mesmo sem saber para que ele serve ou como é denominado.

- Memória de procedimentos: hábitos, habilidades e regras. É o que nos torna capazes de andar, pedalar ou dirigir, sem termos de pensar na sequência de movimentos necessários para isso. Em tarefas cognitivas, como em diálogos, é este o tipo de memória que utilizamos para, numa frase, encadearmos logicamente sujeito, verbo e objeto (mesmo sem conhecer a fundo as regras gramaticais da língua).
- Associativa: produzida como resultado do aprendizado entre um estímulo e um comportamento. Pense no cheiro do bolo de chocolate assando no forno. Isto faz você salivar? Provavelmente sim, pois você associou o cheiro com o gosto do bolo: uma sensação que você já experimentou (aprendeu) antes.
- Não-associativa: quando aprendemos que um estímulo repetitivo não gera consequências e podemos relevar sua presença. A chuva batendo na janela ou o compressor da geladeira, por exemplo, não nos alertam para perigos iminentes e acabam passando despercebidos.

Finalmente, o terceiro tipo é a memória operacional ou memória de trabalho. Podemos compará-la à memória RAM do computador, em que os programas ou os arquivos que estão “rodando” são temporariamente carregados. É uma memória de curta duração, utilizada tanto para a codificação como para a recuperação de informações. Compreende a estocagem rápida e temporária de informações. Este armazenamento depende de nossa percepção de eventos específicos no ambiente, bem como da relevância imediata destas informações.

As memórias implícitas e explícitas se completam e seus conceitos se confundem. Até mesmo a realização de um condicionamento clássico (implícito), que é um processo inconsciente e reflexivo, depende de memórias explícitas, já que elas são mediadas, em parte, por processos cognitivos. Assim, podemos dizer que o aprendizado, em geral, tem elementos implícitos e explícitos. Aprender a dirigir um carro, por exemplo, envolve a execução consciente de seqüências específicas de atos motores necessários ao controle do veículo. Com a prática, elas se tornam atividades motoras automáticas e inconscientes. Igualmente, com a repetida exposição a fatos (aprendizado semântico), o resgate do fato por pistas simples pode se tornar eventualmente instantâneo, sem ser necessária a busca consciente do mesmo em nossa memória.

Esquecimentos patológicos

Todos nós nos esquecemos freqüentemente de compromissos, de nomes de pessoas ou de acontecimentos. Estes esquecimentos são normais e não nos causam preocupação. Alguns esquecimentos podem ser, porém, patológicos. A amnésia é um dos mais dramáticos e intrigantes fenômenos causados por lesões cerebrais traumáticas ou degenerativas. Ela pode ser anterógrada (**Figura 14.2.a**), ou seja, do momento em que houve o trauma em diante, ou retrógrada (**Figura 14.2.b**), isto é, anterior àquele momento, ou uma combinação das duas.

A amnésia anterógrada se manifesta pela inabilidade de aprender novos conhecimentos a partir, por exemplo, de um traumatismo craniano, sem perder a capacidade de recordar de eventos ocorridos no passado. Já na amnésia retrógrada, o indivíduo não consegue se lembrar de eventos anteriores ao acontecimento que levou ao dano cerebral (um acidente de carro, por exemplo).

O trauma cerebral em humanos pode produzir uma amnésia profunda para eventos que tenham ocorrido há poucas horas ou, até mesmo, dias antes do trauma, sem, contudo, afetar a memória para eventos do passado remoto. Estes fenômenos têm sido documentados em animais, usando-se agentes traumáticos como o choque eletroconvulsivo, trauma físico e drogas que deprimem a atividade neuronal ou inibem a síntese protéica cerebral.

O estudo de perturbações de memória nos leva a acreditar que a memória é estocada em etapas, em que a informação adquirida é processada em memórias de trabalho de curta duração antes de ser transformada, tendo passado por um ou mais estágios em uma memória de longa duração. Um sistema de busca e recuperação examina a memória e torna a informação disponível para tarefas específicas. Desta forma, o sistema de memória pode ser “danificado” em qualquer um destes pontos, levando a sintomas diferentes.

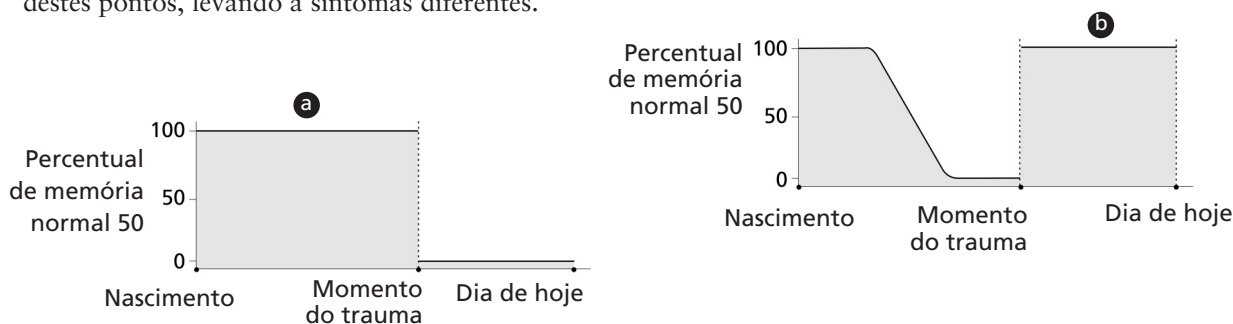


Figura 14.2: Admitindo-se que exista um total relativo (100%) de informação retida por um indivíduo normal ao longo de sua vida, em (a) observa-se casos de perda da capacidade de retenção de memória a partir de um trauma (amnésia anterógrada). Em (b), a partir do trauma há perda parcial das lembranças passadas recentes (amnésia retrógrada).

EM QUE PARTE DE NOSSO SISTEMA NERVOSO FICA NOSSA MEMÓRIA?

Até o início do século XX, os estudiosos de memória acreditavam que poderiam localizar uma área cerebral onde todas as nossas memórias ficassem armazenadas. Foi o trabalho de Karl Lashley (1890 – 1958) com lesões corticais em ratos submetidos a testes comportamentais que apontou o córtex cerebral como uma sede importante de memórias. Lashley fazia lesões de diferentes tamanhos em diferentes áreas cerebrais dos animais e depois verificava seu desempenho em testes comportamentais. O cientista observou que lesões de diferentes áreas tinham efeitos variáveis sobre o aprendizado. Apesar de grande parte de seus resultados não terem sido corretamente interpretados, seus trabalhos contribuíram para o conceito atual de que não existe uma área específica onde todas as nossas memórias estejam alojadas.

Um dos alunos de Lashley, Donald Hebb (1904 – 1985), deu continuidade a seu trabalho e propôs uma teoria utilizada até hoje: quando um evento auditivo, visual ou somestésico fosse captado por uma pessoa, determinados circuitos do córtex seriam ativados. Assim, estes circuitos seriam a representação daquele evento, e sendo reativados cada vez que o evento fosse lembrado. Com a repetição, a ativação de apenas alguns elementos daquele circuito já seria suficiente para evocar aquela memória. Hebb imaginou que as conexões sinápticas mais ativas seriam fortalecidas e estabilizadas, ao passo que as que permanecessem inativas ficariam enfraquecidas.

Apesar de, naquela época, as sinapses serem só uma hipótese (as primeiras evidências morfológicas são da década de 1950), as idéias de Hebb estavam corretas e constituem a base conceitual da plasticidade sináptica da qual falaremos mais adiante.

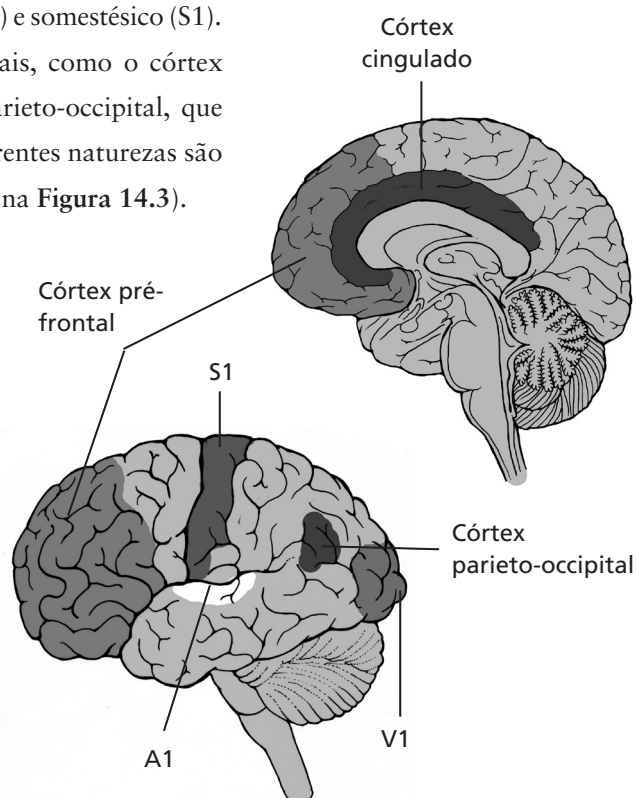
No final da década de 1940, quando Wilder Penfield (1891 – 1976) (já falamos dele na Aula 7, quando estudamos o homúnculo somestésico) aplicava estímulos elétricos em pacientes para mapear funcionalmente áreas motoras e somestésicas, observou, em alguns casos, que a estimulação elétrica de determinadas regiões levava a relatos de lembranças pelos pacientes. Na segunda metade da década de 1950, os neurologistas e neurocirurgiões observaram que a remoção cirúrgica bilateral dos lobos temporais levava a uma intensa e irreversível amnésia anterógrada. Estes foram fortes indícios de quais seriam as

regiões relacionadas à aquisição e estocagem de memórias. Hoje, muito do que se sabe sobre a localização das memórias vem não só de trabalhos com pacientes com lesões cerebrais, mas também de testes que utilizam o PET-scan, pois, com esta técnica, podemos testar pessoas sem lhes causar danos cerebrais (se você não se lembra de como funciona essa técnica, volte à **Figura 10.14** da Aula 10).

MAPEANDO A MEMÓRIA NO CÓRTEX CEREBRAL

O conhecimento estocado na forma de memória explícita é primeiramente adquirido por meio da informação sensorial, principalmente visual, auditiva e somestésica. Como vimos nas Aulas de 8 a 11, estas informações são inicialmente processadas nos córtices primários visual (V1), auditivo (A1) e somestésico (S1). Daí seguem para áreas associativas polimodais, como o córtex pré-frontal, o córtex cingulado e o córtex parieto-occipital, que são regiões corticais onde informações de diferentes naturezas são integradas (reveja a localização destas regiões na **Figura 14.3**).

Figura 14.3: Algumas das áreas indicadas são aquelas de processamento primário visual (V1), auditivo (A1) e somestésico (S1); são o local para onde a informação do meio externo se encaminha. As demais áreas destacadas são as associativas, para onde parte destas informações externas segue e é processada para a memória e os conteúdos emocionais.



A seguir, como você observa na **Figura 14.4**, a informação é conduzida em série para os córtices perirrinal e para-hipocampal e, depois, para o córtex entorrinal. Do córtex entorrinal, ela segue para o hipocampo (**Figura 14.5**). A partir do hipocampo, segue para o subiculum e, finalmente, volta ao córtex entorrinal. Do córtex entorrinal, a informação é conduzida de volta aos córtices perirrinal e para-hipocampal, para depois seguir até as áreas associativas polimodais do

neocórtex, onde as informações foram primariamente aprendidas. Assim, acredita-se que a alocação de memória de longo prazo tem lugar nas áreas associativas do córtex cerebral, onde inicialmente se processaram as informações sensoriais relacionadas.

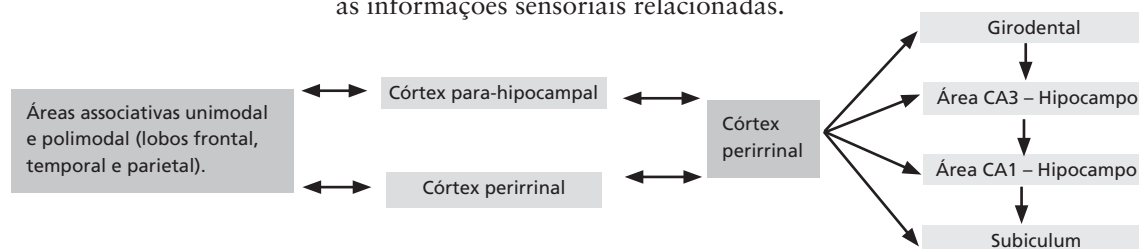


Figura 14.4: Fluxograma mostrando o trajeto feito pelas informações novas, desde sua entrada no “sistema” até sua estocagem definitiva.

Assim, quando olhamos para o rosto de alguém, a informação sensorial é processada em uma série de áreas do córtex cerebral dedicadas à informação visual, incluindo a área de associação visual do córtex temporal, especialmente relacionada ao reconhecimento de faces. Simultaneamente, essa informação é conduzida para os córtices para-hipocampal, perirrinal e entorrinal e para o hipocampo.

O hipocampo e o resto do lobo temporal medial podem então agir, por semanas ou meses, para facilitar a estocagem da informação sobre o rosto, inicialmente processada pela área visual associativa. As células responsáveis pelo reconhecimento de faces são interconectadas a outras regiões relacionadas com a armazenagem de informações adicionais a respeito daquela pessoa, o que tornará possível determinar fatores relacionados àquela face, como idade, características peculiares e familiaridade.

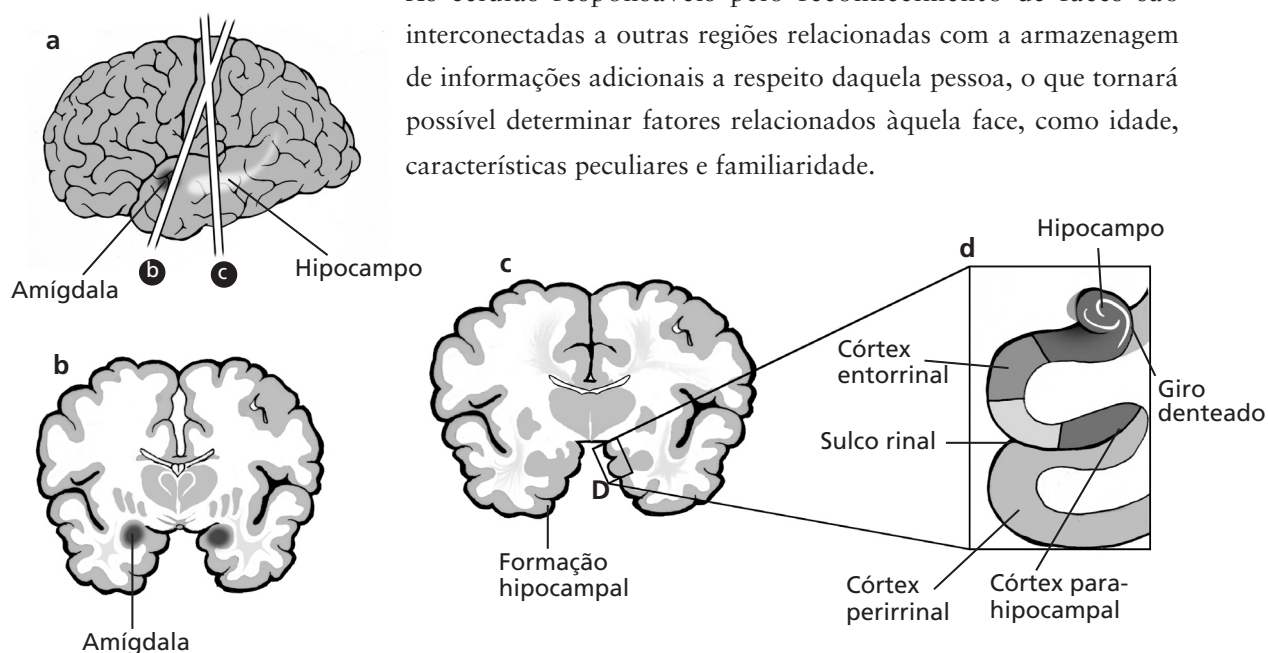


Figura 14.5: (a) Observa-se, por transparência, a região de localização da amígdala e do hipocampo, que são localizadas profundamente no telencéfalo, bem como os planos de corte mostrados em (b) (amígdala) e (c) (hipocampo). Em (d), observa-se um detalhe da fatia (c), onde se localizam regiões corticais (córtex para-hipocampal, córtex perirrinal e córtex entorrinal) próximas ao hipocampo e associadas ao processamento de memórias.

O conhecimento sobre temas de diferentes naturezas (animais, pessoas, ferramentas, objetos pessoais) está alocado em diferentes regiões do nosso córtex (**Figura 14.6**); o local pode variar de um indivíduo para outro, conforme sua experiência prévia.

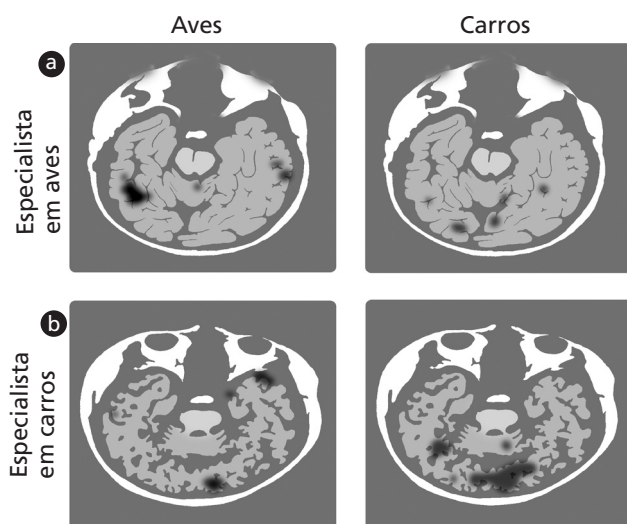


Figura 14.6: PET-scan mostrando as áreas de ativação cortical em indivíduos conhecedores de pássaros e de carros. Observa-se que as regiões são ativadas quando o indivíduo vê um pássaro ou um carro, e que a intensidade de sinal aumenta quando o indivíduo vê a imagem da qual ele é conhecedor.

O córtex entorrinal participa deste circuito como principal via de entrada e de saída de informação, o que explica, de certo modo, a importância desta área e a severa perda de memória quando ele é lesado. A doença de Alzheimer, por exemplo, é uma patologia degenerativa que afeta o córtex entorrinal e gera graves déficits na fixação de memória. Lesões restritas aos córtices perirrinal, para-hipocampal e entorrinal, mas que não afetem o hipocampo, levam à perda de estocagem de memória (como reconhecimento de objetos) mais significativa do que lesões seletivas do hipocampo que mantenham os córtices associados intactos.

O hipocampo é relativamente mais importante para a armazenagem de informação relativa à representação espacial, uma vez que lesões no hipocampo levam à incapacidade de formar memória relacionada ao espaço e ao contexto. Estudos com PET-scan em cérebros de humanos normais mostraram que memórias espaciais envolvem intensa atividade hipocampal no hemisfério direito, ao passo que memórias de objetos, palavras ou pessoas envolvem preferencialmente o hipocampo do hemisfério esquerdo, indicando diferenças de dominância consistentes com achados que mostram que lesões do hipocampo direito levam a problemas de orientação espacial, ao passo que lesões no hipocampo esquerdo originam deficiências na memória verbal.

Hipocampo e memória: o caso do paciente H.M.

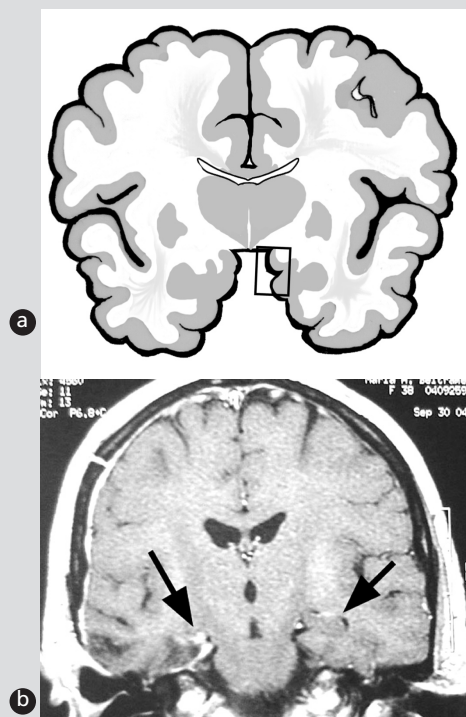
Em 1953, nos EUA, a tentativa de cura cirúrgica da epilepsia grave de um paciente conhecido como H.M. marcou definitivamente a história da Neurociência. Como a epilepsia de H.M. era intratável por medicamentos e suas crises eram intensas e frequentes, optou-se pela retirada cirúrgica dos focos epiléticos no lobo temporal medial de ambos os hemisférios (bilateral). A Dra. Brenda Milner e seus colegas estudaram extensivamente este caso e contribuíram para o aprimoramento dos conhecimentos sobre o processamento de memórias.

Na cirurgia realizada em H.M., foram retiradas, dos dois lados do cérebro, a formação hipocampal, a amígdala e parte das áreas associativas multimodais do córtex temporal (**Figura 14.7**). Apesar de a cirurgia ter tratado a epilepsia, H.M. teve seqüelas importantes de memória: amnésia anterógrada total e amnésia retrógrada parcial. Ficou evidente que a retirada das estruturas levava à incapacidade de fixação de novas memórias a longo prazo. A memória de curto prazo, evidenciada com testes motores, e a de longo prazo remota foram mantidas. Suas capacidades lingüística e intelectual permaneceram inalteradas. O estudo deste e de outros casos levaram às seguintes conclusões:

1. O hipocampo não é a área de fixação da memória de longo prazo, tampouco é necessário para o resgate destas memórias, uma vez que os pacientes eram capazes de manter memórias anteriores à cirurgia.
2. O hipocampo não é a área de alocação da memória de curto prazo, uma vez que os pacientes mantinham uma conversa, o que demonstrava serem capazes de conservar viva a informação dita por outra pessoa tempo suficiente para pensar e responder.
3. O hipocampo está envolvido na conversão da memória de curto prazo em memória de longo prazo, uma vez que os pacientes eram incapazes de reter a longo prazo a informação adquirida.

Atualmente, para epilepsias intratáveis com medicação, ainda se submetem pacientes à cirurgia. Porém, no pré-operatório, estas pessoas são cuidadosamente acompanhadas e submetidas a diversos testes, entre eles o de retenção de memórias, também conhecido como teste do amital sódico ou teste de Wada. Neste teste, injeta-se uma substância anestésica (amital sódico) alternadamente nas carótidas direita e esquerda do paciente, enquanto ele desempenha tarefas de memorização (reveja a irrigação sanguínea cerebral, na Aula 6, para compreender o porquê deste teste). O anestésico “adormece” momentaneamente um dos hemisférios e permite ao médico verificar se o hemisfério “acordado” é capaz de reter memórias sem perdas significativas. Assim, é possível retirar-se cirurgicamente um lobo temporal medial sem prejuízo de aquisição de memórias.

Figura 14.7: (a) Corte esquemático do cérebro mostrando a região ressecada durante a cirurgia do paciente H.M. (b) Ressonância nuclear magnética de uma paciente operada no Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, da UFRJ, que teve o hipocampo do lado esquerdo ressecado (observa-se à direita na fotografia, seta), enquanto o direito foi preservado (observa-se à esquerda na fotografia, cabeça de seta). Exame gentilmente cedido pelo Dr. Jorge Marcondes, do Serviço de Neurocirurgia da UFRJ.





Doença de Alzheimer

É uma doença degenerativa que foi descrita em 1907 pelo médico alemão Alois Alzheimer (1864-1915). Incide principalmente na população com mais de 80 anos. Com o aumento da expectativa de vida, têm-se observado que a incidência de casos de Alzheimer, em todo o mundo, vem aumentando consideravelmente nos últimos anos. Os pacientes com doença de Alzheimer têm alterações cognitivas (memória, orientação, linguagem, julgamento e resolução de problemas) na personalidade, no humor, na capacidade de trabalhar e nos cuidados com as necessidades pessoais e da casa. No nível celular, ainda sob intensa investigação, a doença se dá pelo depósito da proteína beta-amilóide em regiões diversas do córtex cerebral, levando à intensa reação inflamatória e degeneração neuronal. Quando o diagnóstico é feito, já há perda neuronal considerável, o que dificulta sua prevenção. Além disso, não há tratamento específico, pois nenhum medicamento dissolve com eficiência os enovelados de proteína amilóide e, se o fazem, não reverterem a perda neuronal. Assim, apenas alguns sintomas podem ser aliviados com o uso de medicações paliativas.



ATIVIDADES

4. Faça uma tabela representando os tipos de memória conforme a duração e a natureza, dando sua característica principal.

RESPOSTA COMENTADA

Classificação das memórias	Tipos de memória	Características
Quanto ao tempo de retenção	Ultra-rápida	Dura de frações de segundos a alguns segundos; memória sensorial.
	Curta duração	Dura minutos ou horas; garante o sentido de continuidade do presente.
	Longa duração	Dura horas dias ou anos; garante o registro do passado autobiográfico e dos conhecimentos do indivíduo.
Quanto à natureza	Explícita ou declarativa	Pode ser descrita por meio de palavras.
	• Episódica	Tem uma referência temporal; memória de fatos seqüenciados.
	• Semântica	Envolve conceitos atemporais; memória cultural.
	• Implícita ou não-declarativa	Não pode ser descrita por meio de palavras.
	• De representação perceptual	Representa imagens sem significado conhecido; memória pré-consciente.
	• De procedimentos	Hábitos, habilidades e regras.
	• Associativa	Associa dois ou mais estímulos (condicionamento clássico), ou um estímulo a uma certa resposta (condicionamento operante).
	• Não-associativa	Atenua uma resposta (habituação) ou a aumenta (sensibilização) através da repetição de um mesmo estímulo.
	Operacional	Permite o raciocínio e o planejamento do comportamento.

5. Qual a importância dos nossos sentidos na aquisição de memórias?

RESPOSTA COMENTADA

Nossos cinco sentidos básicos (visão, audição, tato, olfato e gustação) são nosso canal de comunicação com o meio exterior. Por meio deles vivenciamos situações que nos causarão impressões intensas e que serão estocadas em nossas memórias para que sejam resgatadas e utilizadas.

6. No filme americano *Eternal Sunshine of the Spotless Mind* (traduzido para o português como *O brilho eterno de uma mente sem lembranças*), de Michel Gondry, Jim Carrey interpreta um personagem que se submete a um procedimento para apagar sua memória relativa à sua ex-namorada. Para isso, estas memórias específicas são localizadas em uma máquina, que se assemelha a um PET-scan. Os especialistas vão à sua casa com outra máquina, capaz de cauterizar as áreas onde as informações foram estocadas. Que áreas seriam estas?

RESPOSTA COMENTADA

Mesmo admitindo que se trata de um filme de realidade fantástica, é viável imaginar que poderíamos apagar grande parte das memórias relativas a uma pessoa, cauterizando diferentes e diminutas áreas de nosso córtex cerebral. É de se esperar que estas informações fiquem dispersas no córtex, mas não em áreas como o hipocampo e nos córtices adjacentes a ele (entorrinal e perirrinal).

7. Baseados no estudo de pacientes, o que podemos concluir sobre o papel do hipocampo na fixação de memórias?

RESPOSTA COMENTADA

O estudo de pacientes com lesões de hipocampo nos leva a concluir que esta estrutura não é a área de fixação da memória de longo prazo, nem é necessária para o resgate destas memórias, além de não ser também a área de alocação da memória de curto prazo. Acredita-se que o hipocampo funcione com um portal, um filtro onde haja conversão da memória de curto prazo em memória de longo prazo, essencial para a retenção, a longo prazo, de informações adquiridas.

BASES MOLECULARES DA MEMÓRIA E DO APRENDIZADO

Formas simples de aprendizado como a habituação, a sensibilização e o condicionamento clássico têm fornecido muitas informações sobre os mecanismos moleculares de formação de memória. Estes estudos se basearam na análise comportamental de invertebrados simples e numa grande variedade de reflexos em vertebrados, indicando que estes aprendizados são resultados de mudanças na eficácia de transmissões sinápticas. Vejamos como estes estudos levaram às teorias moleculares da aquisição e consolidação de memórias.

MODIFICAÇÃO DA RESPOSTA A ESTÍMULOS NOCIVOS EM INVERTEBRADOS: ISTO É MEMÓRIA?

A aplisia (*Aplisia californica*) é um invertebrado marinho semelhante a um caramujo sem concha, que apresenta um sistema nervoso simples, composto de 20 mil neurônios apenas (em humanos estima-se um número superior a 100 bilhões de neurônios!). Um dos movimentos reflexos que este animal apresenta é, quando estimulado levemente, a retração do sifão e da brânquia, e, quando estimulado com maior intensidade, a retração da cauda, da cabeça e a emissão de tinta (Figura 14.8).

De modo simplificado, o fenômeno de habituação foi estudado nos circuitos reflexos defensivos de retirada das brânquias e do sifão da aplisia. O toque no sifão promove a atividade nos neurônios sensoriais, que inervam o sifão e transmitem esta atividade através da produção de potenciais pós-sinápticos excitatórios em interneurônios e motoneurônios, os quais, ao se somarem temporal e espacialmente, levam à retirada da brânquia (Figura 14.9.a). A repetição do estímulo suave leva à diminuição progressiva da resposta gerada nos interneurônios e motoneurônios, levando à habituação (Figura 14.9.b).

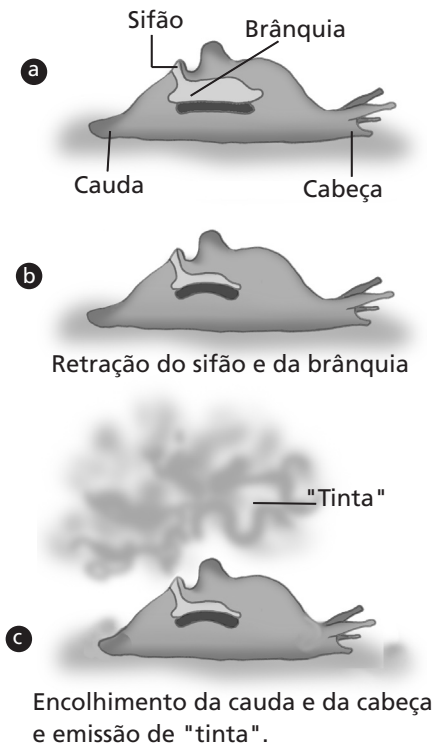


Figura 14.8: (a) Aplisia em repouso (b) após estimulação fraca, que leva à retração do sifão e da brânquia; (c) após estimulação forte, à qual se somam a retração da cabeça e da cauda e a emissão de tinta.

No nível celular, há redução da resposta sináptica observada na habituação, decorrente da diminuição da força sináptica, o que constitui a base celular desta forma de memória. É observada a redução no número de vesículas sinápticas do terminal pré-sináptico do neurônio sensorial, o que leva à liberação reduzida de glutamato, o neurotransmissor utilizado. O glutamato irá interagir no terminal pós-sináptico do motoneurônio com receptores de glutamato dos tipos NMDA e não-NMDA. Acredita-se que o que ocorre bioquimicamente é que a estimulação repetida leva à inativação de determinados tipos de canais de Ca^{++} e a conseqüente diminuição da entrada deste íon no terminal. Assim, não há ancoragem e liberação adequadas do transmissor. A depressão sináptica de transmissões realizadas por neurônios sensoriais e/ou interneurônios é o mecanismo comum para a habituação, como também é caracterizado para outras respostas reflexas.

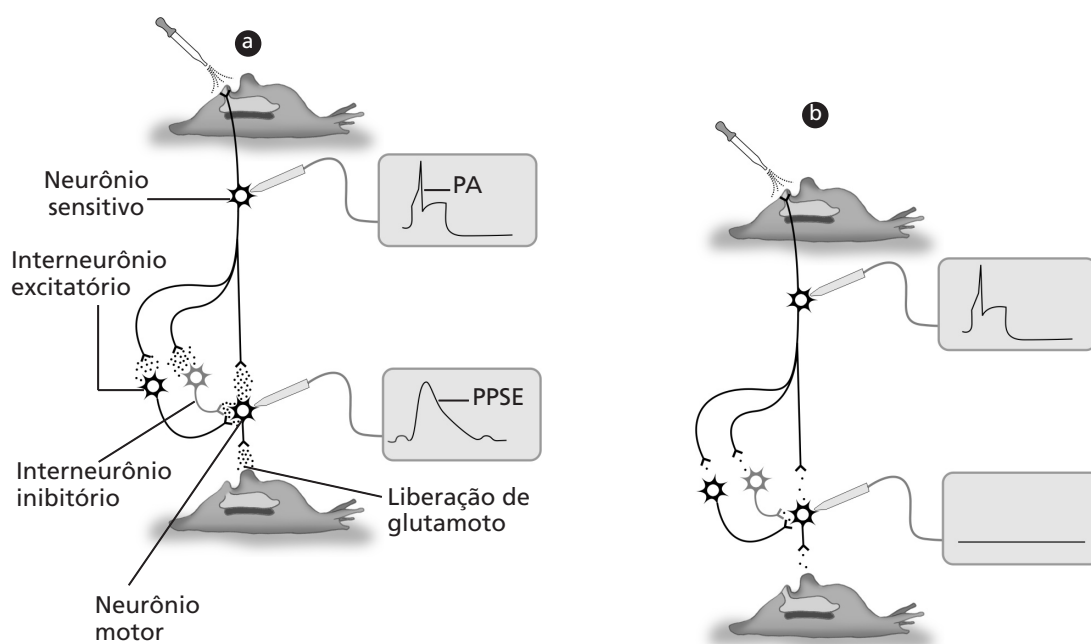


Figura 14.9: É possível registrar a atividade dos neurônios sensitivos e motores da aplisia pela implantação de eletródios em locais precisos. Os neurônios sensitivos conectam-se diretamente aos motores, e indiretamente por meio de interneurônios. Quando estimulamos levemente o sifão uma única vez, ocorre (a) disparo de potencial de ação pelo neurônio sensitivo, que desencadeará resposta elétrica no neurônio motor com o qual ele faz sinapse. Assim, há retração do sifão e da brânquia. Na habituação (b), apesar de o estímulo levar a um disparo do neurônio sensitivo, ele não mais ativa o neurônio motor (repare que não há potencial pós-sináptico excitatório – PPSE) e o reflexo é extinto.

ERIC KANDEL

Nasceu em Viena, na Áustria, em 1929, mas foi forçado a deixar seu país devido às perseguições nazistas aos judeus. Em 2000, dividiu o prêmio Nobel de Medicina com Arvid Carlsson e Paul Greengard, por sua investigação sobre mecanismos de memória. Atualmente é professor da Universidade de Columbia, nos Estados Unidos. Leia mais sobre o cientista nos *sites*: <http://www.hhmi.org/research/investigators/kandel.html>, <http://nobelprize.org/medicine/laureates/2000/> e <http://cnet.columbia.edu/dept/neurobeh/Kandel.html>

Outro fenômeno observado na aplísia foi denominado sensibilização. Quando um estímulo muito forte é feito, a resposta de retração reflexa é imediata. Se, logo depois, toca-se levemente no animal, ele se contrai ainda mais. É como se o organismo pudesse prever o próximo estímulo. No nível celular, o que se observa é que existe ativação de um interneurônio “facilitador” que recebe informações do neurônio sensitivo, cujo axônio faz sinapse no corpo e no terminal axônico do próprio neurônio sensitivo. Desta forma, ele é capaz, utilizando o neurotransmissor serotonina, de potencializar a resposta sensitiva.

Os estudos com aplísia, muito explorados pelo grupo de **ERIC KANDEL**, psiquiatra prêmio Nobel de Medicina em 2000, foram os primeiros a demonstrar como as sinapses poderiam ser reforçadas e o papel desempenhado pelos segundos mensageiros (como, por exemplo, o AMPc, a fosfolipase C e o diacilglicerol). Estes foram certamente os passos iniciais que auxiliaram na descoberta da potenciação de longa duração (conhecida pela sigla LTP, do inglês *long term potentiation*) e da depressão de longa duração (conhecida pela sigla LTD, do inglês *long term depression*) no hipocampo de mamíferos.

LTP: FUNDAMENTO MOLECULAR DA MEMÓRIA

Como você já viu nesta aula, o hipocampo é uma região do lobo temporal que parece ter um papel essencial na conversão da memória de curto prazo em memória de longo prazo. Esta estrutura tem uma circuitaria peculiar, e é necessário que você conheça alguns de seus elementos para compreender a LTP.

O hipocampo é composto por duas áreas principais: o corno de Amon, que é subdividido em regiões CA1, CA2, CA3 e CA4, e o giro denteado. As fibras aferentes (fibras musgosas e perfurantes) que chegam ao hipocampo fazem sinapse com as células granulares do giro denteado. Estas células, por sua vez, projetam seus axônios para as células piramidais de CA3. Daí a informação segue para a região CA1 por um conjunto de fibras denominado colaterais de Schaffer, e para fora do hipocampo (**Figura 14.10**).

A estimulação elétrica repetitiva (tetânica) nos colaterais de Schaffer leva ao aumento do potencial pós-sináptico excitatório (PPSE) da célula piramidal de CA1. Quando o estímulo é forte o bastante para ativar muitos colaterais de Schaffer, este aumento de PPSE se mantém durante horas (ou mesmo dias), inclusive após ter sido interrompida a estimulação tetânica.

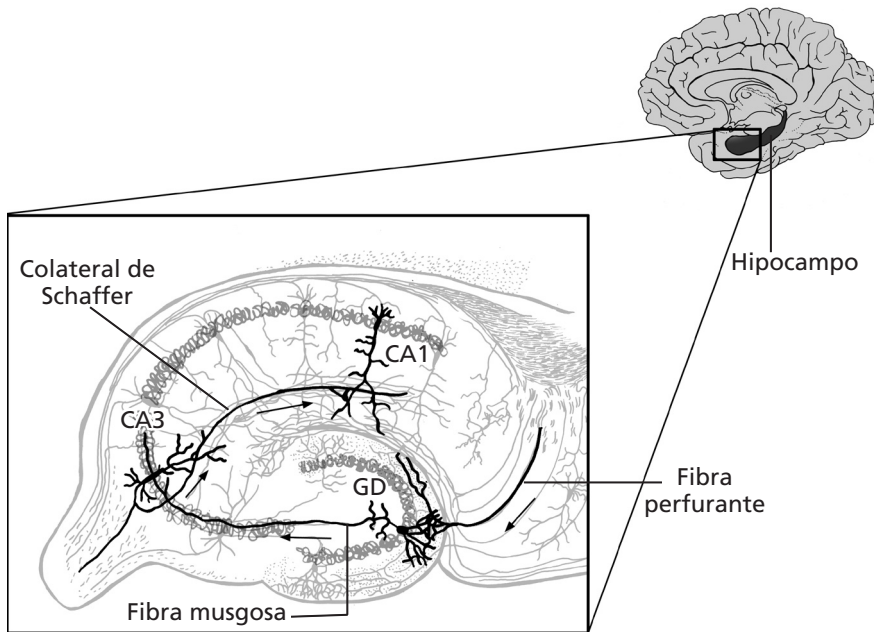


Figura 14.10: Representação do circuito do hipocampo, como primeiramente estudado pelo histologista espanhol **SANTIAGO RAMON Y CAJAL** (1852-1934). Observam-se as regiões dos cornos de Amón (CA1 e CA3), o giro denteado (GD), as fibras musgosas, perfurantes e os colaterais de Schaffer.

SANTIAGO RAMON Y CAJAL

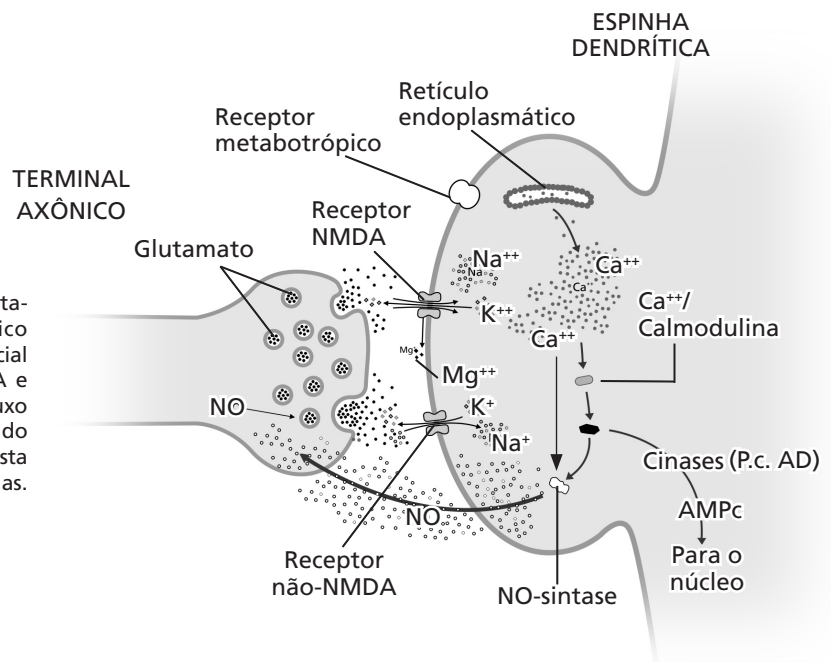
Anatomista espanhol que dedicou grande parte da vida ao estudo e caracterização das células do sistema nervoso. Suas cuidadosas observações produziram descobertas de impacto para a neurociência moderna. Seus trabalhos e suas ilustrações são utilizados até os dias de hoje. Veja mais sobre Cajal em <http://cajal.unizar.es/sp/bio/biograf.html>, <http://nobelprize.org/mmedicine/laureates/1906/cajal-bio.html> e <http://www.madrimasd.org/portugues/cultura/personalidades/santiago/default.asp>

Como isto ocorre e qual sua função? As sinapses entre os colaterais de Schaffer e os dendritos das células piramidais de CA1 utilizam o glutamato como neurotransmissor (glutamatérgicas). A membrana pós-sináptica das espinhas dendríticas (local da sinapse na célula pós-sináptica) tem três tipos de receptores glutamatérgicos: NMDA, não-NMDA e metabotrópico. Logo após a chegada dos primeiros potenciais de ação (PAs) ao terminal, os canais não-NMDA são os primeiros a responder à ação do glutamato liberado na fenda sináptica (**Figura 14.11**).

Ocorre, então, a abertura de canais de Na^+ e K^+ , provocando a despolarização da membrana pós-sináptica. Ao atingir um certo valor, esta despolarização remove o íon Mg^{++} , que normalmente bloqueia os canais do tipo NMDA, e eles se abrem. Isto leva a um aumento ainda maior do fluxo transmembrana de cátions e também à entrada de Ca^{++} para os dendritos. Neste momento, também é ativado o receptor glutamatérgico metabotrópico que, via fosfolipase C, leva à liberação de Ca^{++} do retículo endoplasmático.

O aumento deste Ca^{++} intracelular leva à ativação da enzima de síntese do óxido nítrico (NO-Sintase), que começa a produzi-lo. Sendo um gás, o óxido nítrico se difunde pela membrana, indo agir na célula pré-sináptica, estimulando ainda mais a liberação de glutamato pelo terminal. Esta alça, que reestimula o neurônio pré-sináptico, perpetua a resposta do neurônio pós-sináptico durante várias horas. Paralelo a isso, há ativação da calmodulina, que, via ativação da adenilil-ciclase (AD), aumenta o AMPc intracelular. Este aumento irá ativar a proteína cinase A e levar à ativação de genes no núcleo celular que codificam elementos estruturais das sinapses. Assim, o fenômeno pode se perpetuar por dias. A LTP é uma forma de plasticidade sináptica que se acredita ser a base molecular da aquisição de novos conhecimentos.

Figura 14.11: A liberação de glutamato pelo terminal pré-sináptico (à esquerda) leva à ativação sequencial de receptores não-NMDA, NMDA e metabotrópicos. Assim, há um influxo prolongado de cátions para dentro do terminal pós-sináptico, mantendo esta célula ativada por horas ou até dias. AD, Adenilil-ciclase.



A maneira como o aprendizado produz mudanças estruturais na arquitetura funcional do cérebro maduro pôde ser constatada quando os cientistas analisaram o aprendizado somestésico realizado na forma de memória de longa duração no córtex somato-sensorial. Os mapas funcionais da superfície corpórea no córtex somato-sensorial primário (área S1) varia entre os indivíduos de maneira a refletir as diferenças no uso deste sentido. As áreas se expandem conforme o grau de atividade, e as mudanças organizacionais ocorrem ao longo de toda a via somestésica. À medida que o indivíduo cresce, sua experiência sensorial o leva a desenvolver diferentes habilidades motoras. Assim, apesar de geneticamente iguais, indivíduos de uma mesma espécie estão sujeitos a terem sua estrutura organizacional modificada pela experiência, o que constitui, por si só, a base de nossa individualidade.

**ATIVIDADE**

8. Indique a cadeia de eventos moleculares que é a base para a LTP.

RESPOSTA COMENTADA

Chegada dos primeiros potenciais de ação pós-sinápticos → glutamato liberado na fenda sináptica → ativação de canais não-NMDA → abertura de canais de Na^+ e K^+ → despolarização da membrana pós-sináptica → remoção do íon Mg^{++} , que bloqueia os canais → abertura dos canais NMDA → aumento ainda maior do fluxo transmembrana de cátions (inclusive de Ca^{++})

→ ativação do receptor glutamatérgico metabotrópico → ativação da fosfolipase C → liberação de Ca^{++} do retículo endoplasmático.

→→→

→ aumento de Ca^{++} intracelular → ativação da enzima de síntese do óxido nítrico → aumento do óxido nítrico → difusão do óxido nítrico pela membrana → ação na célula pré-sináptica → estímulo ao aumento da liberação de glutamato pelo terminal pré-sináptico.

→ ativação da calmodulina → ativação da adenilil-ciclase → aumento do AMPc intracelular → ativação da proteína cinase A → ativação de genes no núcleo celular → síntese de elementos estruturais das sinapses.

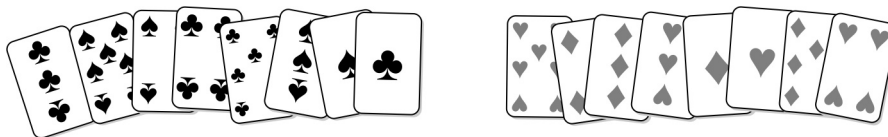
CONCLUSÃO

Vimos, ao longo desta aula, que podemos dividir teoricamente os tipos de memória segundo sua duração e suas características, mas as explicações celulares e moleculares para a memória não são completamente claras. O estudo das memórias ainda está em seus primeiros passos, apesar de ter sido iniciado há mais de 50 anos, e muito do que se sabe provém do estudo de pacientes com lesões. Se você se interessa pelo assunto, fique atento para os trabalhos do professor Ivan Izquierdo (veja nos *sites* listados mais adiante), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, uma pessoa de referência neste assunto no Brasil.

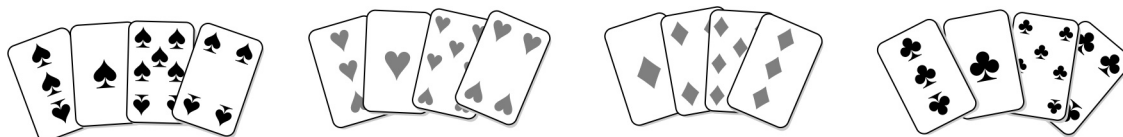
ATIVIDADE FINAL

Prove a memória operacional de seus amigos com um teste simples, utilizado por neuropsicólogos: o teste de Wisconsin. Para isto, você precisa apenas de um baralho comum e um amigo ou familiar. Você deve pedir ao seu amigo que agrupe os baralhos, seguindo algum critério da escolha dele. À medida que ele for formando os grupos, você deve informá-lo se nos grupos formados há combinações corretas e quantas (sem apontá-las diretamente), segundo o critério que você definiu previamente sem contar para ele. Os grupos possíveis estão indicados na figura abaixo, mas você não deve dar esta informação *a priori*. Depois de algumas tentativas, seu amigo será capaz de agrupá-las corretamente. Você pode marcar o tempo gasto para realização desta tarefa e depois repeti-la para comparar o tempo gasto. O jogo Senha, com o qual muitos de nós brincamos quando pequenos, exercita exatamente esta capacidade.

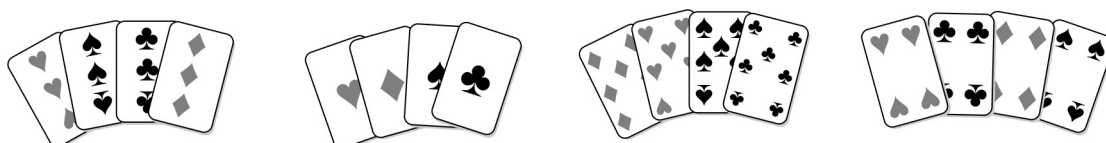
Agrupamento pela cor



Agrupamento pela forma



Agrupamento pelo número



RESUMO

A aquisição de novos conhecimentos pela vivência de estímulos externos e internos a nós constitui o primeiro passo da formação de nossas memórias. Daí, passamos por um processo de seleção que nos levará a estocar determinadas informações por tempos mais curtos, mais longos, ou simplesmente descartá-las. O processamento e a estocagem de memórias não se faz em uma única região do cérebro. Acredita-se que o hipocampo seja essencial na consolidação de memórias, mas que elas fiquem alocadas nas regiões de origem.

Assim, por exemplo, memórias de imagens estariam mais relacionadas com regiões de processamento visual, ao passo que memórias de músicas estariam mais relacionadas às regiões auditivas. Os mecanismos celulares e moleculares que dão substrato à memória ainda são sujeitos de intensa investigação, e muitas evidências indicam para o fenômeno de LTP como essencial a esta função.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Agora já estamos próximos do fim das aulas de Sistema Nervoso deste módulo. Na Aula 15, veremos aspectos de consciência e cognição. Tentaremos explicar como nós mesmos nos vemos e como tomamos decisões e praticamos atos conscientes. Veremos o que, efetivamente, faz do ser humano um animal diferenciado.

SITES RECOMENDADOS

BARROS, Daniela Martí. Memória. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/memoria/15.shtml>>. Acesso em: 28 em 2005.

PAVLOV, Ivan. Classical conditioning. Disponível em: <<http://mentalhelp.net/psyhelp/chap4/chap4d.htm>>. Acesso em: 8 abr. 2005.

GULLO, Carla; CARUSO, Marina. A construção da memória: pesquisas revelam como se formam as recordações e que é preciso exercitar o cérebro para mantê-lo afiado. Disponível em: <<http://www.terra.com.br/istoe/ciencia/1999/10/16/000.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2005.

IZQUIERDO, Iván. Perda de memória: quem não vai passar por isso? Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/memoria/07.shtml>>. Acesso em: 28 mar. 2005.

KENTRIDGE, R.W. Operant conditioning and Behaviorism: an historical. Disponível em: <<http://www.biozentrum.uni-wuerzburg.de/genetics/behavior/learning/behaviorism.html>>. Acesso em: 28 mar. 2005.

MEDEIROS, Sérgio. O século da psicanálise. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/materia/resources/files/chmais/pass/ch159/memoria.pdf>>

MELLO, Carlos Fernando de; RUBIN, Maribel Antonello. Mecanismos bioquímicos de memória. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/memoria/17.shtml>>. Acesso em: 28 mar. 2005.

Penso, logo existo?

Metas da aula

Descrever a organização cerebral responsável pela gênese dos estados mentais e os mecanismos neurais relacionados à consciência e ao pensamento.

objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Listar as dificuldades em se estudar a consciência.
- Definir consciência.
- Relacionar os localizacionistas com o conhecimento sobre as funções corticais.
- Comparar as funções lateralizadas cerebrais.
- Diferenciar patologias que acometem o estado de consciência.
- Caracterizar o papel da linguagem para a construção do pensamento.

Pré-requisitos

Para você acompanhar bem esta aula, é importante rever os conteúdos de permeabilidade da membrana e transportes nas Aulas 9, 10, 11, 12, 13 e 14 de Biologia Celular I, o conteúdo de células do sistema nervoso na Aula 10 de Biologia Celular II, bem como o conteúdo de organização geral e funções do sistema nervoso presentes nas Aulas 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 21 desta disciplina.

INTRODUÇÃO

CONSCIÊNCIA

Sob uma perspectiva geral, podemos definir consciência como sendo o estado de lucidez ou de alerta em que uma pessoa se encontra, variando da vigília até o coma. É o reconhecimento da realidade externa ou de si mesmo em determinado momento, incluindo aí a capacidade de responder aos diferentes estímulos. Não se deve confundir com o sentido *moral* da palavra (superego), que envolve o julgamento de valores; nem com o conceito psicodinâmico (consciente e inconsciente); nem com o sentido de autocrítica.

OBNUBILAÇÃO (SONOLÊNCIA)

Alteração da capacidade de pensar claramente, de perceber, responder e recordar os estímulos mais comuns, com a rapidez habitual. O indivíduo, neste estado, tende a cair em sono quando não estimulado. Às vezes se torna necessário falar alto ou tocar o indivíduo para que ele compreenda uma pergunta.

CONFUSÃO

Este estado é caracterizado por um colapso sensorial, dificuldade de compreensão, atordoamento e perplexidade, juntamente com desorientação, distúrbios das funções associativas e pobreza ideativa. Neste caso, pode ocorrer a demora em responder aos estímulos e diminuição do interesse por estímulos ambientais. Pode ser caracterizado como um estado mais acentuado que o da obnubilação.

Por que pensamos? O que nos leva a gerar determinados pensamentos? Aliás, no que você está pensando agora? Está concentrado em começar a leitura desta aula ou tem em mente algum problema? O que está passando pela sua cabeça agora, ao ler estas linhas? Será que o modo como você analisa estas palavras é igual ao seu colega, ao tutor ou a um leitor leigo?

A questão sobre como nosso corpo funciona, e, em particular, como nossos diferentes comportamentos e pensamentos são gerados, sempre instigou a curiosidade humana, sendo a questão da consciência um dos mistérios mais intrigantes e controversos. Para alguns, é algo sem solução, enquanto outros acreditam que o problema está apenas na tecnologia atual, que seria incapaz de fornecer dados objetivos a esse respeito. Apesar disso, na última década, muito se avançou na compreensão do funcionamento do cérebro humano e os estudos sobre a mente humana têm ganhado cada vez mais atenção.

Três fatores contribuem para dificultar o estudo da **CONSCIÊNCIA**: sua subjetividade; a inter-relação existente entre seus aspectos individuais e coletivos e; a falta de conhecimento sobre os mecanismos responsáveis pelo seu início e sua manutenção.

Temos a capacidade de compreender o sentido mais simples da palavra consciência, que consiste na percepção que um organismo tem de si mesmo e do ambiente que o cerca. Somos ainda capazes de reconhecer muitas de suas manifestações, tanto pessoais quanto em outros seres. Entretanto, compreender os mecanismos pelos quais ela emerge, dentro do cérebro humano, continua a ser um desafio dos mais instigantes. Além disso, mesmo compreendendo todos os mecanismos de formação da consciência, jamais seremos capazes de experimentá-la do ponto de vista de outra pessoa. Conhecer a base neurobiológica da consciência não permitirá a você viver essa experiência da perspectiva de outra pessoa, mas apenas conhecer as mudanças que ocorrem no cérebro quando se forma essa experiência. A questão da individualidade e da construção individual dos processos mentais ainda é intransferível. As alterações mais comuns no estado de consciência compreendem a **OBNUBILAÇÃO**, a **CONFUSÃO**, o **ESTUPOR**, o **COMA** e o estado de **HIPERALERTA**. Estes diferentes estados podem ser facilmente percebidos, uma vez que perturbam a maneira como as pessoas são capazes de interagir com o meio ao seu redor, assim como umas com as outras.

ESTUPOR

Estado marcado pela ausência, ou profunda diminuição, de movimentos espontâneos e mutismo. A pessoa só responde a estímulos vigorosos, após os quais retorna ao estupor.

COMA

Abolição do estado de consciência. Neste caso, o indivíduo não responde aos estímulos externos (incluindo os dolorosos), ou internos (fome, frio, necessidades fisiológicas, dentre outros).

HIPERALERTA

Estado de ansiedade, com hiperatividade autonômica e respostas aumentadas aos estímulos. Pode ocorrer em consequência ao uso de drogas (anfetaminas, cocaína), abstinência (pelo interrompimento abrupto do uso de benzodiazepínicos), ou no estresse pós-traumático.

Veja algumas das definições de consciência, cada uma sob diferentes perspectivas:

- Perspectiva clássica – Percepção que um organismo tem acerca de si mesmo e do ambiente que o cerca.
- Perspectiva do Dicionário Aurélio – Sinônimo de conhecimento, noção, idéia; cuidado com que se cumpre um dever, senso de responsabilidade.
- Perspectiva do direito penal – Capacidade de estabelecer julgamentos morais a respeito dos atos realizados. Esta definição implica a decisão do réu ser passível ou não de punição legal.
- Perspectiva moral – Consiste na faculdade de discernir entre o bem e o mal.
- Perspectiva sociológica – A consciência coletiva consiste num conjunto de representações, de sentimentos ou de tendências gerado por um grupamento de indivíduos na sociedade.
- Perspectiva filosófica – Atributo altamente desenvolvido na espécie humana, que se caracteriza pelo modo como o homem se relaciona com o mundo (e, posteriormente, em relação aos estados interiores, subjetivos).
- Perspectiva religiosa/mística – Uma das formas de manifestação do espírito. O sexto corpo (dos sete descritos pela filosofia da religião - Teosofia) responsável pela compreensão e discernimento, referente à sua estada no corpo físico, na sociedade, no planeta e no cosmo, neste momento. Como esse indivíduo se percebe, o que pretende, o que está fazendo, como percebe as pessoas, o ambiente, o mundo à sua volta; seu estágio de conhecimento e experiência, seus valores.
- Perspectiva de Descartes – A *alma racional* (denominada atualmente de mente) seria uma entidade distinta do corpo e que faz contato com ele através da glândula pineal. Na Antigüidade, a mudança de estados do corpo era definida como um *fluxo diferencial de espíritos animais*.
- Perspectiva neurobiológica – Padrão determinado de ativação cerebral, que pode ser analisado, em parte, pelo eletroencefalograma.
- Perspectiva clínica – Dividida em dois aspectos: pelo NÍVEL (vigília e atenção) e pelo CONTEÚDO (percepção, raciocínio, expressão de linguagem e ação e do pensamento integrativo-associativo).

**René Descartes (1596-1650)**

Grande filósofo, postulou que a mente seria uma entidade com características únicas que não ocuparia espaço físico (não seria composta por matéria). Desta forma, segundo ele, mente e cérebro seriam coisas distintas, o que deu início a doutrina que veio a ser conhecida como dualista (hipótese dualística da função cerebral). Para ele, a consciência resultaria da atividade da mente, ou pensamento do indivíduo, algo quase divino e inacessível a uma investigação científica. Você deve conhecer a célebre citação dele: “*penso, logo existo*” (*cogito, ergo sum* – em latim).





ATIVIDADES

1. Cite quais são as dificuldades em se estudar a consciência.

RESPOSTA COMENTADA

Subjetividade; inter-relação entre seus aspectos individuais e coletivos; pouco conhecimento sobre sua gênese e manutenção.

2. Apesar da dificuldade em se estudar, podemos chegar a várias definições sobre a consciência. Descreva a forma mais simples com que podemos defini-la.

RESPOSTA COMENTADA

Percepção que temos de nós mesmos e do ambiente que nos cerca em determinado momento, quando estamos lúcidos, alertas e capazes de responder adequadamente aos estímulos.

HISTÓRICO

A história nos mostra que o estudo dos diferentes ramos da ciência neural sempre foi marcado pelo confronto de visões. Este questionamento e as conseqüentes discussões possibilitaram as mais importantes descobertas nesta área, desde a Antigüidade, com a visão pioneira de Leonardo da Vinci até a atualidade. A princípio, havia os globalistas e os localizacionistas, ou seja, respectivamente, os que analisavam as funções cerebrais como o resultado da atividade de um centro controlador e os que questionavam isso predizendo a existência de áreas específicas que seriam as responsáveis pelos diferentes comportamentos e funções neurais. Ao longo destas últimas aulas, você já pode ver quem estava mais antenado à realidade, não? Mas como se deu o início do que hoje compreendemos como o estudo das funções superiores desenvolvidas pelo sistema nervoso?

Franz Joseph Gall, anatomista do século XVIII, foi, provavelmente, o primeiro a questionar a idéia de centralização funcional do sistema nervoso até então dominante (Figura 15.1). Segundo sua visão, que foi mais tarde nomeada de frenologia (veja o Boxe de Atenção), cada função intelectual ou moral (inteligência, amor, ódio, amizade, docilidade, sabedoria etc.) teria uma localização específica, a qual poderia ser identificada por um acidente ósseo (abaulamento ou protuberância) no crânio. Esta e outras teorias que se baseavam em peso ou tamanho do cérebro se mostraram infundadas.

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Amorosidade e amor conjugal | 20 Comparação |
| 2 Habilidade e amor parental | 21 Causalidade e agradabilidade |
| 3 Amizade e continuidade | 22 Vitalidade |
| 4 Combatividade | 23 Idealismo |
| 5 Destrutividade | 24 Benevolência e natureza humana |
| 6 Secretividade | 25 Imitatividade |
| 7 Aquisitividade e alternatividade | 26 Imortalidade |
| 8 Auto-estima | 27 Firmeza |
| 9 Aproveitabilidade | 28 Temporalidade |
| 10 Cautela | 29 Eventualidade |
| 11 Individualidade | 30 Habitatividade |
| 12 Localidade | 31 Reverência e veneração |
| 13 Sublimidade | 32 Conscienciosidade |
| 14 Memória verbal | 33 Esperança |
| 15 Linguagem | 34 Maravilhosidade |
| 16 Coloração | 35 Tamanho |
| 17 Tonalidade | 36 Peso e resistência |
| 18 Calculatividade e numerosidade | 37 Ordem |
| 19 Construtividade e desatividade | |

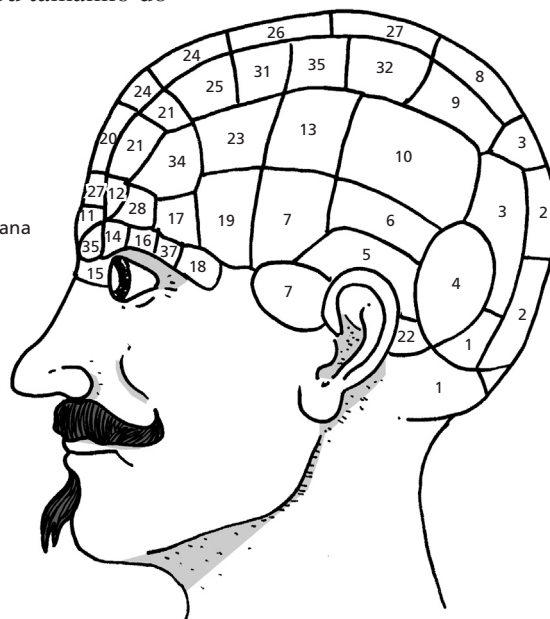


Figura 15.1: Representação da hipótese de Gall sobre a localização funcional cerebral conhecida como frenologia. Neste modelo, podemos visualizar 37 áreas representando diferentes faculdades mentais no córtex cerebral. Neste modelo, sem a utilização de técnicas anatômicas invasivas, eram representadas as faculdades mentais na superfície craniana e nas áreas cerebrais subjacentes.



Franz Joseph Gall: nasceu em Baden, Alemanha (1758-1828), estudou medicina em Viena, e se tornou um renomado neuroanatomista e fisiologista. Ele foi pioneiro no estudo da localização das funções mentais no cérebro. Por volta de 1800, ele desenvolveu a cranioscopia (*cranium* = crânio, *scopos* = visão), um método para adivinhar a personalidade e as faculdades mentais e morais humanas com base na morfologia craniana externa. Pouco tempo depois esta abordagem foi renomeada de frenologia (*phrenos* = mente, *logos* = estudo), sendo mais bem aceita na Inglaterra, onde foi utilizada pela classe dominante para justificar a *inferioridade* de servos coloniais, e logo em seguida nos EUA, onde se tornou muito popular de 1820 a 1850. Seus conceitos de localização para as funções cerebrais provaram serem importantes, não como verdades sobre a localização das funções cerebrais, mas sim como conceitos a serem mais explorados e analisados. Estes estudos estimularam os pesquisadores a procurarem mapas funcionais cerebrais.



Hoje sabemos que as diferentes funções cerebrais estão relacionadas à forma como os circuitos cerebrais estão conectados e organizados. É importante reforçarmos que são diferentes circuitos relacionados, os quais foram primeiramente mapeados anatomicamente no córtex por Brodmann, em 1909, a partir de seus estudos com primatas não-humanos e humanos. Ele mapeou 52 áreas distintas corticais (**Figura 15.2**), sem, contudo, poder aferir funções muito bem definidas. Atualmente, os critérios citoarquitetônicos de Brodmann continuam sendo utilizados para se integrar forma e função cerebrais, de modo distinto do que era feito no século XVIII, mas conservando o conceito elementar de que o princípio de localização ainda é válido para se analisar funcionalmente o sistema nervoso. O que não podemos dizer é que qualquer função específica seja mediada unicamente por uma região cerebral, visto que a maioria das funções requer a ação conjunta de neurônios localizados em várias regiões. Um bom exemplo para isso é retornarmos à aula de somestesia (ver Aula 8 desta disciplina), onde temos uma área cortical relacionada com a sensibilidade cutânea, (somestesia, **Figura 15.3**), que se encontra disposta, como num mapa, em uma faixa do giro pós-central, subdividida em três segmentos (denominados por Brodmann de áreas 3, 1 e 2, comparar a **Figura 15.2** com a **Figura 15.3**). O mesmo pode ser observado para várias outras funções, como visto para a visão (Aula 9 desta disciplina), assim como para a audição e a linguagem (Aula 10 desta disciplina).

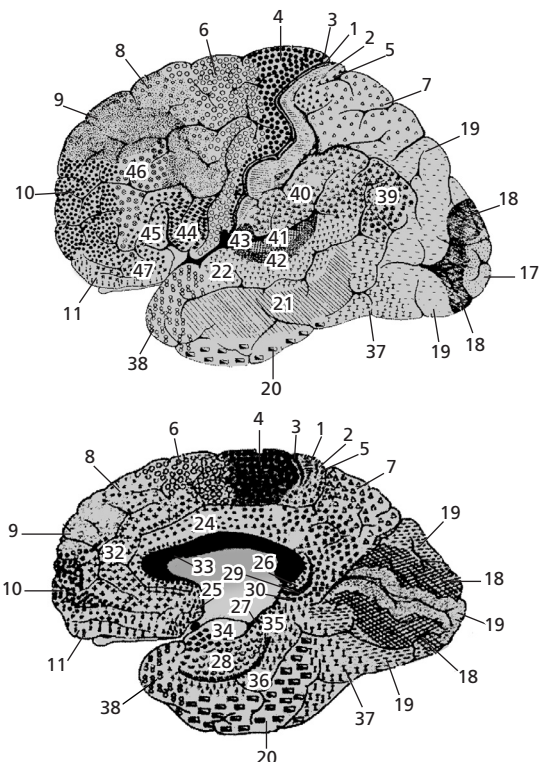


Figura 15.2: Mapa citoarquitetônico do córtex cerebral descrito por Brodmann. A imagem superior representa uma visão lateral, enquanto a imagem inferior uma visão medial. Os diferentes símbolos correspondem a áreas distintas.

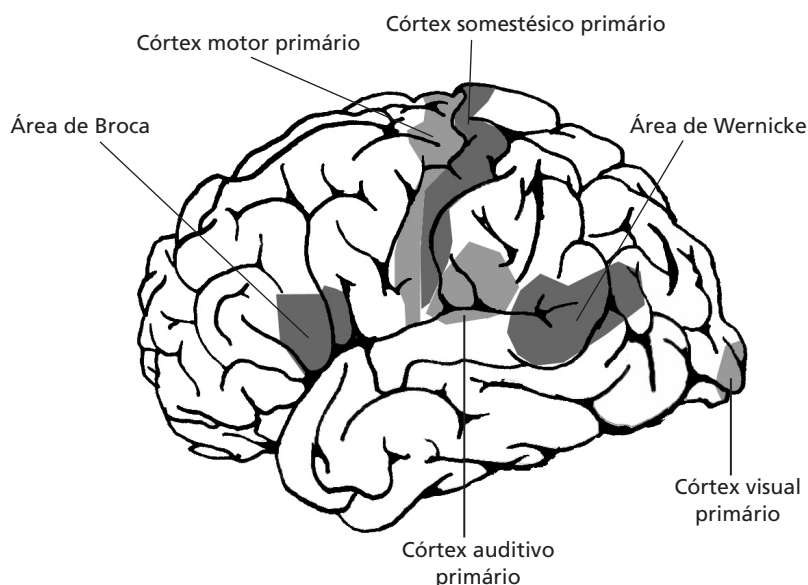
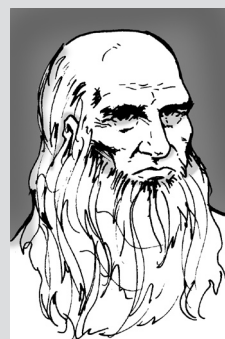


Figura 15.3: Diagrama esquemático de algumas áreas funcionais. As principais áreas envolvidas com a compreensão e produção de linguagem podem ser observadas, relacionando esta função superior com características primárias como a somestesia, a visão, a audição e o controle motor. Áreas associativas (de Wernicke e de Broca) também estão indicadas.



Leonardo da Vinci (1452-1519) contribuiu para várias áreas das ciências, tecnologia e artes. Destacamos aqui seus trabalhos pioneiros com o cérebro, principalmente com a neuroanatomia e neurofisiologia. O desenvolvimento de novas técnicas neuroanatômicas, como o uso de cera quente para preenchimento de cavidades cerebrais e posterior degradação da parte orgânica possibilitou, pela primeira vez, a visualização e definição de formas e tamanhos de estruturas corporais internas. Para descobrir mais sobre da Vinci, visite o endereço eletrônico: <http://pevsnerlab.kennedykrieger.org/leonardo.htm>. O material adicional sobre as contribuições de Leonardo da Vinci para as neurociências pode ser obtido no artigo publicado em 2002 na revista *Trends in neurosciences* (volume 25, páginas 217-220) que está disponível gratuitamente no endereço eletrônico http://pevsnerlab.kennedykrieger.org/pdf/Pevsner_TIN_2002_sans.pdf



LATERALIZAÇÃO E DOMINÂNCIA HEMISFÉRICA

Assim, baseando-se no que foi visto anteriormente a respeito das especializações do córtex cerebral na aula sobre organização geral do sistema nervoso (Aula 6 desta disciplina), o nosso córtex cerebral representa um mosaico funcional, onde:

- o lobo occipital concentra funções relacionadas à visão (atenção visual, visão analítica, percepção de velocidade, movimento e cores);
- o lobo temporal representa funções auditivas, alguns aspectos elaborados da visão (reconhecimento de objetos), compreensão lingüística e alguns aspectos da consolidação de memória;
- o lobo parietal é o responsável pela sensibilidade somestésica e o reconhecimento espacial;
- o lobo frontal controla as funções motoras, a expressão lingüística e a formação de memória operacional (espacial), o planejamento mental, o comportamento (julgamento moral, cálculos, raciocínio figurativo analítico);
- o lobo da ínsula regula nosso comportamento, sensibilidade e controle viscerais, formação de memória e dos estados emocionais.

Entretanto, será que podemos dizer que algumas funções cerebrais apresentam uma dominância hemisférica? Não exatamente! Ser dominante significa que algumas funções estão localizadas predominantemente em um ou no outro hemisfério, mas não nos dois! Este conceito foi iniciado pelos estudos de linguagem (predomínio funcional do hemisfério dominante, que para os destros é o esquerdo, enquanto o hemisfério direito, nestes casos, apresenta funções coadjuvantes e secundárias). Noventa e cinco por cento dos humanos são destros, ou seja, usa a mão direita para tarefas de maior precisão, podendo também ser analisada a preferência de uso dos pés e dos olhos, dentre outros. Esta preferência manual não parece estar ligada a lateralização lingüística. É correto que a maior parte dos destros apresenta a linguagem no hemisfério esquerdo, mas a maioria dos canhotos também. A proporção dos canhotos que apresenta a linguagem no hemisfério direito é muito pequena e menos ainda com linguagem bilateral.

No entanto, o que se mostrou mais verdadeiro é que este conceito de DOMINAR e SER DOMINADO é ultrapassado. O que ocorre realmente é uma maior especialização! O trabalho entre os hemisférios é

cooperativo, utilizando, para tanto, as fibras constituintes das comissuras cerebrais. Entretanto, o conceito de especialização hemisférica acaba por confundir-se com dois outros relacionados: **LATERALIDADE** e **ASSIMETRIA** cerebrais.

Através da experimentação e análise crítica chegou-se à conclusão de que as especialidades hemisféricas cerebrais podem ser bem diferentes, mas raramente a especialização é sinônimo de exclusividade funcional. Ou seja, os dois hemisférios participam, em geral, das mesmas funções, só que de modos diferentes (**Figura 15.4**). Uma das maiores generalizações neste caso é a de que o hemisfério direito percebe e comanda funções globais e responde por categorias gerais funcionais, enquanto o hemisfério esquerdo é encarregado das funções mais específicas. Esta capacidade de alocar funções gerais ou específicas se baseia em diferentes estratégias de operação cerebral, que representam a segregação lateral de neurônios e circuitos com distintos modos de funcionamento.

LATERALIDADE

Algumas funções são igualmente distribuídas em ambos os hemisférios (visão, audição, somestesia etc.), enquanto outras são representadas apenas em um dos lados (linguagem).

ASSIMETRIA

Conceito mais geral que também engloba o de lateralidade. Significa que os hemisférios não são iguais (simétricos). Temos então assimetrias morfológicas, funcionais e/ou comportamentais.

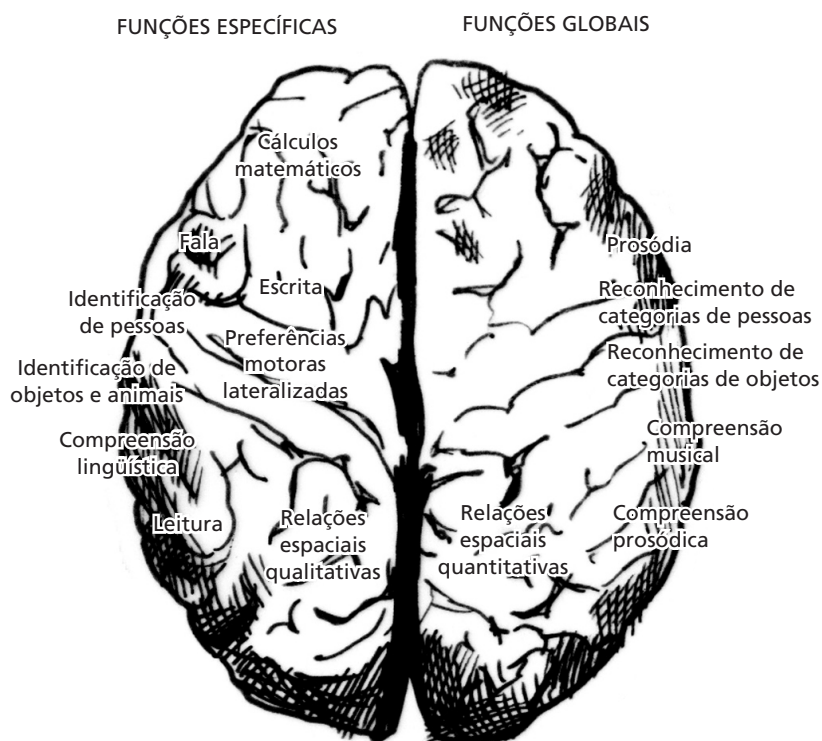


Figura 15.4: Especializações hemisféricas. A presença de especializações não é sinônimo de exclusividade, mas sim que os hemisférios podem participar das mesmas funções, só que de modo diferente. Assim, o conceito de especialização é o que melhor se aplica para as funções aqui ilustradas.

NOVAS CONCEPÇÕES SOBRE A CONSCIÊNCIA

Ao definir a mente humana como um *rio de pensamentos* que flui do nascimento à morte, William James (1842-1910) colocou a consciência como uma das características humanas mais importantes. Para ele, a consciência corresponderia a um *senso interior*, atribuindo a ela quatro propriedades fundamentais. Ela teria que ser seletiva, ter continuidade, ser pessoal e se referir a outros objetos, e não a si própria. Para mais detalhes sobre a vida e a obra deste importante psicólogo, consulte os seguintes endereços eletrônicos:

- <http://www.psiqweb.med.br/persona/james1.html>;
- <http://www.brazcubas.br/professores/sdamy/mubc03.html>;
- <http://plato.stanford.edu/entries/james/#1>;
- <http://www.des.emory.edu/mfp/james.html>.

O neurocientista português António Damásio, atualmente radicado nos EUA, ao estudar a consciência retomou os conceitos de James e ampliou sua concepção sobre a consciência. Para ele, a consciência representou uma enorme vantagem seletiva durante a evolução humana. A melhora na manutenção da vida veio com a capacidade do indivíduo de perceber a si próprio como sujeito das imagens que se formam em seus cérebros em resposta a estímulos internos e externos. Assim, cria-se o conceito do *próprio (self)*, que seria o sentido mais profundo da individualidade, o sentimento que permite que você saiba que é o sujeito e proprietário de todas as imagens que se formam em seu cérebro e que constitui a sua mente.

Desta forma, quando interagimos com um objeto, o nosso *self* e conseqüentemente o nosso cérebro, são modificados. A todo momento estas alterações são processadas juntamente com as informações que constituem a imagem do objeto. Assim, passamos a nomear de *self central* a modificação do *self* gerada pelo objeto no organismo. Embora este conceito de *self central* seja o alicerce de toda a consciência, ele é efêmero, pois acaba sendo reconstruído a cada minuto a partir do estado de nosso organismo. Ou seja, a sua consciência de um momento atrás é diferente da de agora, pois você está interagindo com este texto (objeto) e construindo esta nova consciência (novo *self central*). Você já havia refletido que o pensamento é um processo contínuo e automático de modificação da nossa consciência? É ele que permite que tenhamos

a noção de individualidade do *aqui e agora*. Entretanto, esta visão de consciência não permite a análise do nosso passado ou a previsão do nosso futuro. O passado depende da nossa capacidade de armazenar as informações e o modo como elas evoluem conforme construímos o conhecimento, como se pôde estudar na Aula 14 desta disciplina.

Abra a sua mente e imagine que a sua consciência, enquanto lê este texto ou observa um passarinho pela janela, não seja algo estático, fixo e permanente, mas sim que seja um fenômeno incrivelmente fascinante, criativo, reflexo e que depende da sua experiência e vivência.

Como entender melhor isso? Uma maneira de visualizar o problema é observar algumas patologias que levam à manutenção apenas do aqui e agora, como é o caso da Doença de Alzheimer, onde progressivamente há a perda de memórias passadas e da formação de novas memórias (além de vários outros problemas), permitindo apenas ao indivíduo viver o momento. Como esta doença acomete principalmente pessoas de idade mais avançada, antigamente, devido à falta de técnicas de diagnóstico precisas, esses pacientes eram dados como dementes (**DEMÊNCIA** senil) porque, dentre outras coisas, perderam o **JUÍZO CRÍTICO**. Como a lembrança dos fatos e memórias passadas e a capacidade de prever, ou melhor, de antever, o futuro se mostram requisitos fundamentais para formação da nossa consciência, podemos dizer que as capacidades cerebrais superiores são fundamentais para a construção deste processo.

Doença de Alzheimer (DA)

Esta doença foi descrita pelo médico alemão Alois Alzheimer (1864-1915) como degenerativa, isto é, que produz atrofia, progressiva, com início mais freqüente após os 65 anos. Produz a perda das habilidades de pensar, raciocinar, memorizar, afetando também as áreas da linguagem e produzindo alterações no comportamento. As causas da DA ainda não são conhecidas, mas sabe-se que existem relações com certas mudanças nas terminações nervosas e nas células cerebrais que interferem nas funções cognitivas. Alguns fatores têm se mostrado importantes quando se avalia o desenvolvimento desta doença:

- Aspectos neuroquímicos: diminuição de substâncias através das quais se transmite o impulso nervoso entre os neurônios, tais como a acetilcolina e noradrenalina.
- Aspectos ambientais: exposição/intoxicação por alumínio e manganês.
- Aspectos infecciosos: como infecções cerebrais e da medula espinhal.
- Pré-disposição genética em algumas famílias, não necessariamente hereditária.

Você pode obter maiores informações sobre esta e outras patologias relacionadas a demência, esquecimento e alterações cognitivas no seguinte endereço eletrônico: <http://virtualpsy.locaweb.com.br/index.php>.

DEMÊNCIA

Deterioração global e orgânica do funcionamento intelectual sem alteração no nível de consciência. Frequentemente é acompanhada de: "distraibilidade"; déficit de memória; dificuldade em cálculos; alteração no humor e afeto; prejuízo no julgamento e abstração; e dificuldades com a linguagem.

JUÍZO CRÍTICO

É a capacidade que temos para perceber e avaliar adequadamente a realidade externa e separá-la dos aspectos do mundo interno (subjetivos). Significa separarmos os sentimentos, impulsos e fantasias próprios, de sentimentos e impulsos de outras pessoas. Refere-se, ainda, à possibilidade de termos uma visão realista de nós mesmos, nossas dificuldades e nossas qualidades.

A capacidade de julgamento é necessária para todas as decisões diárias, para estabelecer prioridades e prever conseqüências.

Os distúrbios do julgamento podem estar relacionados a uma ou mais áreas, como dinheiro ou sexualidade, mantendo as demais áreas adequadas.

**ATIVIDADES**

3. Explique de que forma os estudos de Gall contribuíram para a construção de uma visão localizacionista das funções cerebrais.

RESPOSTA COMENTADA

Mesmo ao trabalhar com um modelo falho, os princípios utilizados de que existiriam áreas responsáveis por funções específicas possibilitou a construção de uma lógica localizacionista. Ele não foi o primeiro a lançar idéias sobre as funções cerebrais, mas seu trabalho sobre frenologia instigou vários pesquisadores a derrubarem suas teorias. A hipótese de Gall, sobre a localização funcional cerebral, permitia a descrição de 37 áreas representando diferentes faculdades mentais no córtex cerebral (verifique na **Figura 15.1**), que embora falsas, representaram um dos marcos iniciais dos estudos localizacionistas.

4. Correlacione as duas colunas:

	DESCOBRIDORES		FUNÇÃO
1	Wernicke	A	Área relacionada à expressão lingüística.
2	Damásio	B	Definiu consciência como fenômeno seletivo, contínuo, pessoal e não auto-referenciável.
3	Brodmann	C	Área relacionada à percepção lingüística.
4	James	D	Conceito de <i>self</i> , de consciência central.
5	Broca	E	Construção de um mapa citoarquitetônico cortical.

RESPOSTA COMENTADA

(1,C); (2,D); (3,E); (4,B); (5,A). Antes de termos um mapeamento celular do córtex por Brodmann, os estudos sobre a localização funcional desenvolvidos por Broca e por Wernicke começaram a desvendar um dos mistérios mais importante sobre as funções cerebrais superiores. Deste modo, obter conhecimento sobre a organização anatômica e funcional da linguagem possibilitou a construção de um conceito de *self* (James) e conseqüentemente de consciência (Damásio).

5. Como podemos definir a lateralização cerebral?

RESPOSTA COMENTADA

Por lateralização cerebral, entende-se que algumas funções cerebrais apresentam predomínio funcional em um dos hemisférios cerebrais. Este tipo de visão originou o termo hemisfério dominante, mas isto não significa que a função esteja situada apenas naquele hemisfério. Não ocorre exclusividade funcional. Ou seja, os dois hemisférios participam das mesmas funções, só que de modos diferentes.

6. Complete a tabela a seguir, baseando-se nas funções globais ou específicas que apresentam predomínio hemisférico. Como visto na Figura 15.4.

FUNÇÕES ESPECÍFICAS	FUNÇÕES GLOBAIS

RESPOSTA COMENTADA

Funções tais como gerar relações espaciais e qualitativas, produzir compreensão lingüística (tanto pela leitura como pela escrita), identificar objetos e animais, apresentar preferências motoras lateralizadas e facilidade para execução de cálculos matemáticos representam aspectos específicos sensoriais, motores ou cognitivos. Deste modo, estas são funções lateralizadas (hemisfério esquerdo).

Por outro lado, ao assumirmos como globais as seguintes funções cerebrais: compreensão prosódica, compreensão musical, reconhecimento de categorias de objetos e pessoas, assim como a compreensão das relações espaciais quantitativas, podemos também agrupá-las como sendo produzidas por um hemisfério específico (direito).

ATENÇÃO

É uma dimensão da consciência que designa a capacidade para manter o foco em uma atividade. É muito importante para direcionar ainda o esforço voluntário para selecionar certos aspectos de um fato, experiência do mundo interno (por exemplo, memórias), ou externo, fazendo com que a atividade mental se volte para eles em detrimento dos demais. Em geral, relaciona-se com os estados de vigília e concentração.

VIGILÂNCIA

Representa a nossa capacidade de voltar o foco da atenção para os estímulos externos. Pode estar: aumentada – *hipervigil* – podendo haver, neste caso, um prejuízo da atenção para outros estímulos; ou diminuída – *hipovigil* – quando você torna-se desatento em relação ao meio.

CONCENTRAÇÃO

É a capacidade de manter a atenção voluntária em processos internos do pensamento ou em alguma atividade mental, como esperamos que você esteja mantendo neste momento, ao ler este texto.

A maneira como passamos a ver um objeto após o mesmo alterar o nosso modo de interagir com o mundo desperta uma modificação no estado de **ATENÇÃO** sobre o mesmo objeto e/ou sobre o mundo que nos cerca. É esse aumento da atenção, pode-se dizer, que nos permite formar a memória operacional (para mais detalhes reveja o conteúdo da Aula 14 desta disciplina), que consiste na capacidade de armazenar de forma lógica e seqüencial um determinado conjunto de imagens, permitindo a realização de uma ação específica e direcionada. As bases para a memória convencional, a partir da qual se forma a noção de passado, presente e futuro surgem deste processamento operacional, o que nos permite pensar na consciência como uma base para a formação da linguagem humana (Aula 10 desta disciplina), para a criatividade e para a noção de moral, bem como para todas as outras atividades altamente sofisticadas que a mente humana é capaz de processar.

Embora a consciência seja a base para a formação de linguagem, do pensamento lógico e abstrato, da criatividade, da compreensão das emoções e sentimentos (reveja a Aula 12 desta disciplina), não devemos confundi-la com estes processos. Simplificando, podemos assumir que a formação de uma consciência central irá depender do estado atencional do indivíduo, enquanto o fenômeno de ampliação da consciência estará relacionado ao estado de *vigília* (exceto durante o sono REM, Aula 13 desta disciplina) e às memórias de cada um.



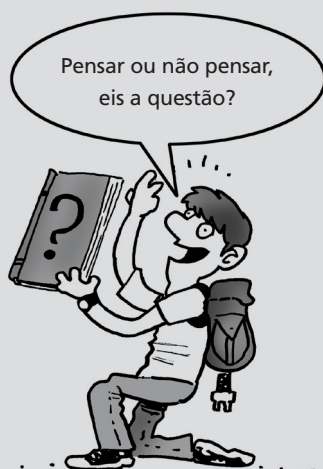
Pensar ou não pensar, eis a questão?

Realmente temos esta opção? Se compreendermos o ato de pensar como um conjunto de funções integrativas capazes de associar conhecimentos novos e antigos, integrar estímulos externos e internos, analisar, abstrair, julgar, sintetizar e criar, fica difícil acharmos que temos alguma opção... Pensar é um processo quase automático e contínuo. Pense bem nisso! Para facilitar a sua análise acrescentamos aqui alguns aspectos correntemente utilizados para se avaliar o pensamento:

- **Produção (ou forma).** Esta característica do pensamento se refere a como o indivíduo concatena as idéias, em que seqüência se segue ou não as leis da sintaxe e da lógica. Normalmente, a produção do pensamento segue uma lógica (ou coerência).
- **Curso.** Compreende a quantidade de idéias que vêm ao pensamento (podendo variar entre a abundância e a escassez) e a velocidade com que as idéias passam pelo pensamento, de modo que o curso pode ser rápido, lento ou estar completamente bloqueado.

• **Conteúdo.** Representa a(s) idéia(s) propriamente dita(s) do pensamento, assim como sua conexão ou não com a realidade, refletindo ou não aspectos reais do mundo externo ou interno.

Os transtornos mais comuns do pensamento são representados pela esquizofrenia; mania; HIPOCONDRIA e transtornos obsessivos compulsivos (TOC).



HIPOCONDRIA

Preocupação excessiva com a própria saúde, interpretação exagerada de sinais e sintomas, crença irreal de que é portador de uma doença grave.



Ilusão ou realidade? Como entender a esquizofrenia...

Esta doença é descrita como um distúrbio do pensamento e da vontade, que distorce a percepção do mundo e da realidade. Isto a torna de grande importância social uma vez que acomete aproximadamente 1% da população e cerca de 50% dos pacientes tentam o suicídio com cerca de 10% de sucesso. É caracterizada por perda de contato com a realidade e por sintomas psicóticos. Esta doença se torna aparente na adolescência e persiste por toda vida. O seu nome significa *mente dividida*, isso porque os pacientes oscilam de um estado normal para outro anormal. Os sintomas se classificam em duas categorias: os sintomas positivos (desilusão, alucinações, fala desorganizada associada à forma de pensamento ilógico e comportamento bizarro) e os sintomas negativos (redução na expressão das emoções, distanciamento emocional, agressividade, falta de motivação, déficits de atenção e escassez na fala). A esquizofrenia foi formalmente descrita pela primeira vez pelo psiquiatra belga Benedict Morel, em 1852, que a denominou de *démence precoce*. Somente em 1911, com o psiquiatra suíço Eugen Bleuler, é que o termo esquizofrenia foi introduzido.

Várias são as teorias sobre as bases neuroanatômicas e neuroquímicas relacionadas a esta doença. Para saber mais, faça uma pesquisa na Internet sobre o assunto e descubra que várias pessoas de destaque nas artes, ciências e tecnologia eram (e são) esquizofrênicas. Comece sua busca pelo endereço eletrônico <http://www.icb.ufmg.br/~neurofib/NeuroMed/Seminario/Esquizofrenia/neuro.html> e conheça mais sobre esta e outras doenças que comprometem o estado da nossa mente.

INTELIGÊNCIA

É a capacidade de uma pessoa para: assimilar conhecimentos factuais, compreendê-los e integrá-los; recordar eventos recentes e mais remotos; raciocinar logicamente, manipular conceitos (números ou palavras), traduzir o abstrato para o concreto ou vice-versa; analisar e sintetizar formas, bem como lidar significativa e acuradamente com problemas e prioridades em um determinado ambiente.

IDADE MENTAL

É o nível intelectual médio de determinada idade. Alfred Binet (1857-1911), psicólogo francês, elaborou uma equação que permite expressar a capacidade intelectual de um sujeito em um Coeficiente de Inteligência (QI), através da avaliação com testes padronizados. Segundo Howard Gardner, co-diretor do Projeto Zero no Harvard Graduate School of Education e professor adjunto de Neurologia na Boston University School of Medicine, a teoria das inteligências múltiplas identifica sete tipos de inteligência: lingüística, lógico-matemática, espacial, musical, cinestésico-corporal, interpessoal e intrapessoal. Ainda conforme ele, cada tipo de inteligência é um sistema genético ativado por informação interna ou externa que possui uma certa plasticidade, de modo que certas capacidades intelectuais podem ser ampliadas a partir de estímulos apropriados. Observam-se pessoas com níveis diferentes de inteligências, por exemplo *inteligência abstrata* (lógico-matemática, espacial), em que a pessoa tem habilidade para lidar com símbolos; *concreta* (cinestésico-corporal), com objetos ou situações; *social*, habilidade com lingüística, interpessoal e intrapessoal.

CONSCIÊNCIA, COGNIÇÃO E LINGUAGEM

O pensamento é uma construção psicológica elaborada a partir da impressão de que as pessoas estão constantemente processando múltiplas imagens em seus cérebros. Os psicólogos, em geral, utilizam o termo cognição para descrever os processos envolvidos no pensamento e não simplesmente para o nível de **INTELIGÊNCIA** que o indivíduo apresente. A cognição humana é vista como tendo características únicas, as quais são conseqüências em grande parte da linguagem (para maiores detalhes retorne à Aula 10 desta disciplina), uma vez que esta última consiste na tradução de imagens não lingüísticas que representam entidades, eventos, relações e inferências em palavras e sentenças. A linguagem proporciona ao cérebro a oportunidade de categorizar as informações, permitindo que se agrupe facilmente objetos, ações e eventos que possuam fatores em comum, o que depende, na maioria das vezes da **IDADE MENTAL** em que os estímulos vão sendo apresentados.

O processamento consciente da construção das imagens é fundamental para a aprendizagem e memória e, portanto, para o estabelecimento da linguagem e do pensamento lógico. Entretanto, existe uma variação fisiológica da consciência que também parece ser fundamental para a aprendizagem – o sono (como visto na Aula 13 desta disciplina).

“Uma palavra não se refere a um único objeto, mas a um grupo ou classe de objetos. Cada palavra, portanto, já é uma generalização. A generalização é um ato verbal de pensamento e reflete a realidade de um modo bem diferente do refletido pela sensação e pela percepção” (VYGOTSKY, 1962, p. 5).

Vygotsky nasceu em 1896, na Bielo-Rússia, e ainda bem jovem publicou um notável livro sobre a psicologia da arte. Viveu pouco, morrendo aos 38 anos, vítima de tuberculose, mas deixou marcas profundas nos estudos sobre psicologia sistemática. Seus trabalhos foram importantes para o estudo do desenvolvimento da língua e das capacidades mentais, os quais para ele não seriam aprendidos de modo comum, mas sim seriam o produto de sua natureza social sendo mediados pela interação entre adultos e criança (principalmente no início entre a mãe e o filho). Haveria como resultado a internalização do instrumento cultural da língua para a construção dos processos de pensamento. Suas obras e idéias influenciaram importantes pensadores e educadores como Piaget, Luria e Leont'ev, sendo consideradas visionárias, à frente do seu tempo, influenciando até hoje os estudos sobre os processos educacionais e de aquisição de estrutura de pensamento em crianças normais e surdas.



Dois interessantes endereços eletrônicos para você aprofundar o seu conhecimento sobre diferentes aspectos dos nossos processos mentais são mantidos pelas revistas *Viver mente e cérebro* (<http://www2.uol.com.br/vivermente/conteudo>) e *Ciências e cognição* (www.cienciasecognicao.org). Lá você encontrará várias matérias interessantes disponíveis online sobre pensamento, consciência, cognição, dentre outros assuntos. Vá, pesquise e se atualize sempre.

CONCLUSÃO

E aí? Entendeu a aula? Ou pensa que entendeu? Independente da resposta saiba que você mudou. Tudo muda, a cada momento! Lembre-se: a cada informação a que você é exposto, uma nova consciência tem origem. Mesmo que você não tenha consciência do fato! Mas atenção! Não confunda estar acordado e lendo esta aula, com realmente estar aprendendo algo, pois é preciso estar prestando atenção. A cada vez que você lê algo, a maneira como você analisa as coisas muda, assim como o seu cérebro e a sua percepção do que é lido. Caso tenha tido dificuldade em assimilar algum dos conceitos presentes nesta aula, você pode trocar idéias com o tutor ou com outras pessoas. O importante é manter a mente sempre ativa.

RESUMO

Podemos dizer que a consciência é a base sobre a qual as nossas faculdades superiores são construídas. Ao mesmo tempo ela é dependente da nossa capacidade de percepção do mundo externo e da percepção do *self*. As nossas faculdades mentais apresentam ainda localizações mais específicas cerebrais, o que possibilitou a construção de mapas (originalmente citoarquitetônicos e posteriormente funcionais). A lateralização de algumas funções também deve ser destacada, uma vez que constrói um lindo e singular mosaico funcional no cérebro. Doenças que afetam a forma como interagimos com o passado, o futuro e conseqüentemente com a formação da nossa consciência (Doença de Alzheimer) ou da noção de realidade (esquizofrenia) são importantes para que possamos compreender como pensamos e construímos os pensamentos.

A linguagem foi uma adaptação evolutiva que permitiu ampliar tanto a capacidade cerebral humana de processar as imagens que constroem o que chamamos de mente, como a capacidade de transmissão de informações e compreensão da realidade. Assim, a linguagem passa também a ser produto e instrumento do pensamento lógico e criativo, que possibilita a compreensão, análise e criação de uma realidade, individual ou coletiva, e a construção do conhecimento (cognição).

ATIVIDADES FINAIS

1. Diferencie no que diz respeito ao estado de consciência a Doença de Alzheimer da esquizofrenia.

RESPOSTA COMENTADA

A DA leva apenas a percepção do aqui e agora, pois há, progressivamente a perda de memórias passadas e a incapacidade de formação de memórias novas. Desta forma, nesta patologia a gênese da consciência está profundamente prejudicada, o que impede, progressivamente, o paciente de pensar, raciocinar e conduzir seus pensamentos. Por outro lado, o mesmo não ocorre na esquizofrenia, onde há a formação da consciência, mas esta é distorcida, fora da realidade.

2. Caracterize o papel da linguagem para a construção do pensamento.

RESPOSTA COMENTADA

A linguagem é o meio pelo qual as diferentes informações são categorizadas em nossa mente e a forma como traduzimos imagens que representam entidades, eventos, relações e inferências em palavras e sentenças. Assim, o processo de formação da nossa consciência e do nosso pensamento depende inicialmente dos mecanismos de interação mãe-filho e posteriormente dos fenômenos de inter-relação adulto-criança e criança-criança. A aquisição de uma linguagem será, desta forma, essencial para a gênese de um pensamento lógico.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, será iniciado um novo assunto, o tecido ósseo. Você verá como o nosso sistema ósseo-articular está organizado e como seus componentes participam da estrutura e do funcionamento do seu organismo.

AULA 16

Sistema locomotor – o esqueleto humano

Meta da aula

Destacar o osso como
uma estrutura dinâmica.

objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Descrever a estrutura microscópica do tecido ósseo.
- Definir os tipos de osso.
- Explicar os tipos de ossificação.
- Analisar o processo de reparação de fraturas simples.
- Descrever as articulações.

Pré-requisitos

É importante, para a compreensão desta aula, que você tenha entendido o conteúdo das Aulas 16, 17 e 20, de Biologia Celular I e das Aulas 7, 8 e 12, de Biologia Celular II.

INTRODUÇÃO

Relembre as Aulas 10 e 11 de Biologia Celular II, em que você estudou dois dos quatro tecidos fundamentais que constituem o nosso corpo, os tecidos nervoso e muscular. Vamos ver agora que além deles o nosso corpo é também formado pelos tecidos epiteliais e conjuntivos.

Os tecidos epiteliais podem ser originados a partir dos três folhetos germinativos primitivos: o ectoderma, o mesoderma e o endoderma (Aula 2 desta disciplina). Os epitélios formam o revestimento externo de todo o nosso corpo, bem como o revestimento de nossas vísceras e todas as nossas glândulas, tanto as exócrinas quanto as endócrinas. Os tecidos conjuntivos, por sua vez, são de origem exclusivamente mesodérmica, e suas principais funções são: sustentação estrutural e metabólica e de preenchimento. Enquanto os tecidos citados anteriormente são constituídos principalmente por células, os tecidos conjuntivos são constituídos, fundamentalmente, por matriz extracelular. A depender das características e da composição da matriz, podemos subdividir o tecido conjuntivo em vários subtipos: propriamente dito, adiposo, elástico, reticular, mucoso, sangüíneo, cartilagenoso e ósseo.

Nesta aula, você estudará os aspectos histológicos relativos ao tecido ósseo; assim, você verá as funções, a composição, os métodos de estudo e os tipos de ossos, além das atividades pertinentes ao assunto. Vamos lá!

FUNÇÕES

Quais seriam as funções do tecido ósseo? Vamos ver juntos?

O tecido ósseo é um tipo especial de tecido conjuntivo, cuja matriz se apresenta mineralizada. É o principal constituinte do esqueleto e apresenta as seguintes funções: a) suporte para as partes moles do corpo; b) proteção de órgãos vitais; c) alojamento e proteção da medula óssea, onde são produzidos os elementos figurados do sangue; d) apoio aos músculos esqueléticos, com os quais interagem para produzir movimentos. Além disso, o tecido ósseo funciona como importante reservatório de íons, principalmente íons cálcio e fosfato.

COMPOSIÇÃO

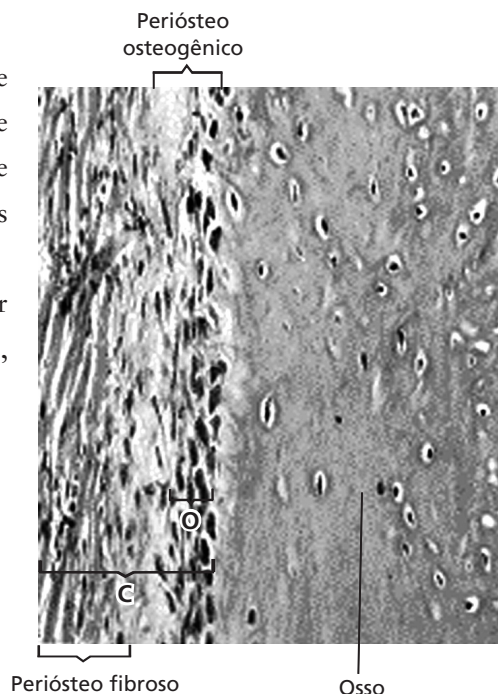
O tecido ósseo é composto por *células* e por *matriz extracelular*. As células são: os *osteoblastos*, responsáveis pela síntese da matriz orgânica do osso; os osteócitos, que se situam em pequenas cavidades no interior do osso e que são responsáveis pela manutenção do tecido; os

osteoclastos, células responsáveis pela reabsorção óssea. A matriz apresenta dupla constituição: a *orgânica* (ou *osteóide*) e a *inorgânica*.

Como a matriz óssea é mineralizada, para que os osteócitos no seu interior recebam nutrientes, ela se apresenta com muitos canalículos que formam as vias de acesso para a difusão de substâncias entre eles e os vasos sanguíneos.

Os ossos são recobertos externa e internamente por membranas conjuntivas que formam, respectivamente, o *perióstio* e o *endóstio* (Figuras 16.1 e 16.2).

Figura 16.1: Fotomicrografia mostrando a superfície de um osso longo em desenvolvimento. O perióstio (C) corresponde à cobertura externa do osso. Na região mais afastada do osso, você observa o perióstio fibroso, rico em fibras colágenas, e na mais próxima a ele, o perióstio apresenta-se rico em osteoblastos (O), e é chamado o perióstio osteogênico. H&E. (x480).



Na **Figura 16.1**, você pode observar que o perióstio é formado por tecido conjuntivo rico em fibras, na camada mais externa, e rico em células, na camada mais interna, constituindo, respectivamente, o perióstio fibroso e osteogênico. As células mais numerosas do perióstio osteogênico são os osteoblastos.

Já na **Figura 16.2** podemos notar que as superfícies internas do osso são também revestidas por uma membrana conjuntiva denominada *endóstio*. Essa membrana é muito delgada e é constituída por osteoblastos e osteoclastos.

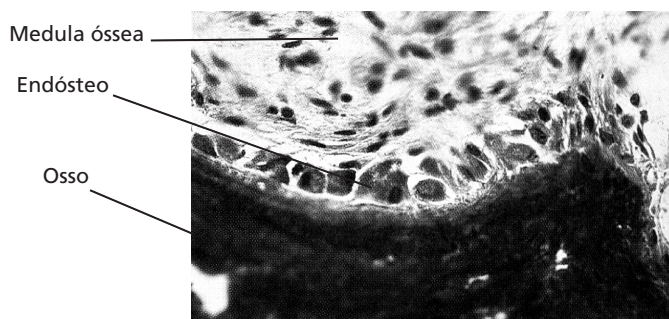


Figura 16.2: Fotomicrografia de osso esponjoso mostrando uma trabécula óssea revestida pelo endóstio. Observe que os osteoblastos se dispõem na superfície da trabécula óssea, formando uma camada contínua de células, semelhante a um epitélio de revestimento. A medula óssea em formação também é mostrada. Coloração Tricrômico de Goldner. (x320).

Osteoblastos

Agora que você já foi apresentado às células que compõem o tecido ósseo, vamos estudá-las mais detalhadamente.

Os *osteoblastos* são células de origem mesenquimal, responsáveis pela síntese da matriz orgânica do tecido ósseo. Essa matriz é também denominada osteóide. Os osteoblastos dispõem-se sempre nas superfícies ósseas (Figura 16.2) e são capazes de concentrar fosfato de cálcio, importante para o processo de mineralização da matriz. Quando estão em atividade, mostram um formato cubóide e intensa **BASOFILIA CITOPASMÁTICA**. Em repouso, apresentam-se achatados (Figura 16.3). Ao microscópio eletrônico, exibem grande quantidade de retículo endoplasmático rugoso e uma extensa área do Complexo de Golgi (Aulas 16 e 17, de Biologia Celular I), o que é compatível com a sua intensa síntese protéica. Os osteoblastos sintetizam a matriz orgânica do osso e nela ficam aprisionados, passando, então, a ser denominados osteócitos.

BASOFILIA CITOPASMÁTICA

Representa a afinidade da célula com corantes básicos. Numa coloração, os corantes básicos se ligam às substâncias ácidas das células. Se partirmos do princípio de que as principais substâncias ácidas das células são o DNA e o RNA, quando uma célula é rica em RNA citoplasmático, ou seja, em polirribossomas ou em retículo endoplasmático rugoso, seu citoplasma tomará a cor do corante básico. O corante básico mais utilizado em histologia é a hematoxilina, que tem cor azul-arroxeadas. Portanto, uma célula rica em RNA citoplasmático se mostrará, nas regiões do núcleo e de grande parte do citoplasma, intensamente basófila.

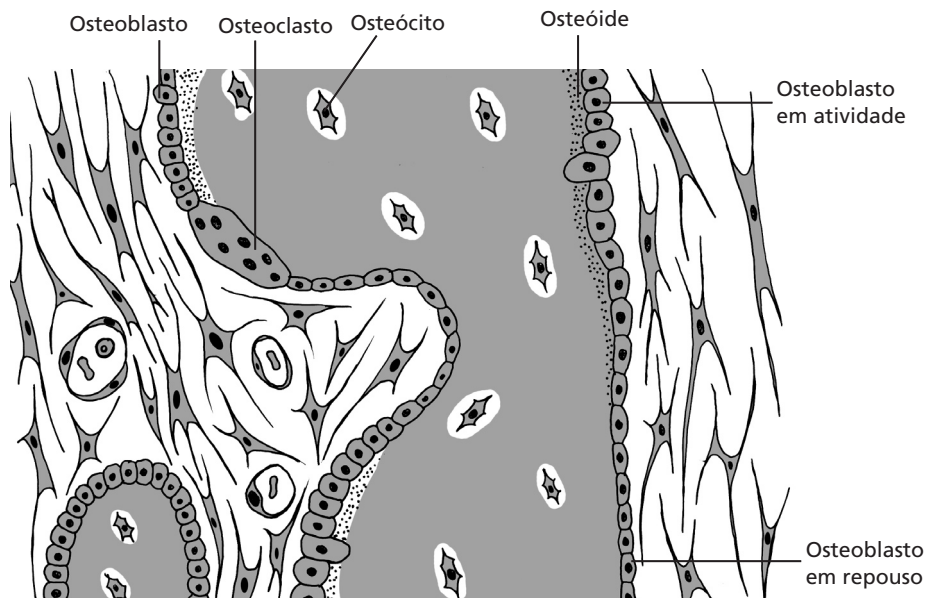
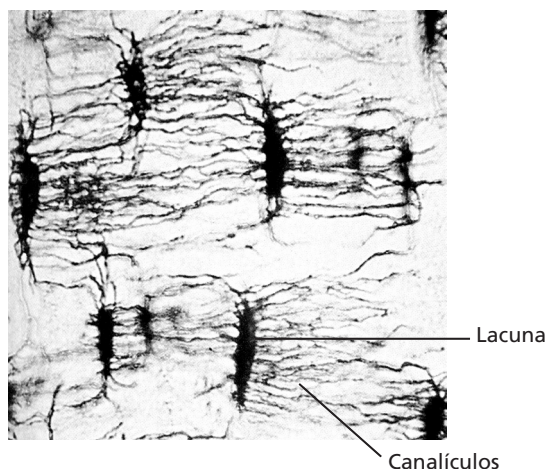


Figura 16.3: Esquema representativo da síntese de matriz óssea. Os osteoblastos, na superfície óssea, mostram dois fenótipos distintos: um achatado e outro cubóide. Observe que, à medida que os osteoblastos começam a sintetizar o osteóide, eles vão sendo aprisionados na matriz, originando os osteócitos. Observe que, entre vários osteoblastos, um osteoclasto pode ser visto na superfície óssea.

Osteócitos

Relembrando: os osteócitos são osteoblastos aprisionados na matriz óssea. Ao contrário dos osteoblastos, os osteócitos são células ricas em prolongamentos citoplasmáticos que apresentam *citoplasma acidófilo*. Quando a matriz óssea começa a se mineralizar, tanto o corpo da célula quanto os seus prolongamentos sofrem uma pequena retração, formando as lacunas e os canalículos da matriz óssea (Figura 16.4). Entre o citoplasma da célula e o canalículo, cria-se um pequeno espaço, importante para as trocas entre a célula e os vasos sanguíneos existentes no interior do osso. As características ultra-estruturais dos osteócitos são compatíveis com a sua baixa atividade de síntese, pois apresentam pequena quantidade de retículo endoplasmático rugoso e um Complexo de Golgi pouco desenvolvido (Aulas 16 e 17, de Biologia Celular I). Apesar disso, os osteócitos são essenciais para a manutenção da matriz óssea, tanto que, após a sua morte, a matriz é reabsorvida.

Figura 16.4: Fotomicrografia de osso preparado por desgaste. As lacunas e os canalículos cheios de ar desviam a luz e aparecem escuros. Aumento médio.



Osteoclastos

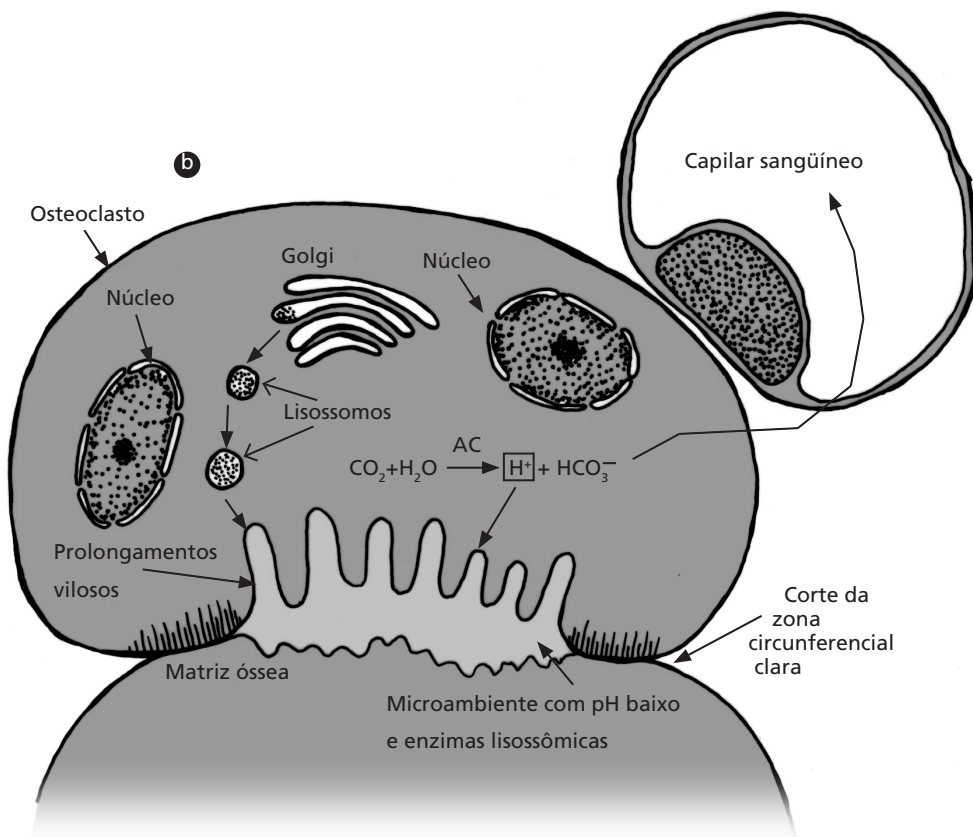
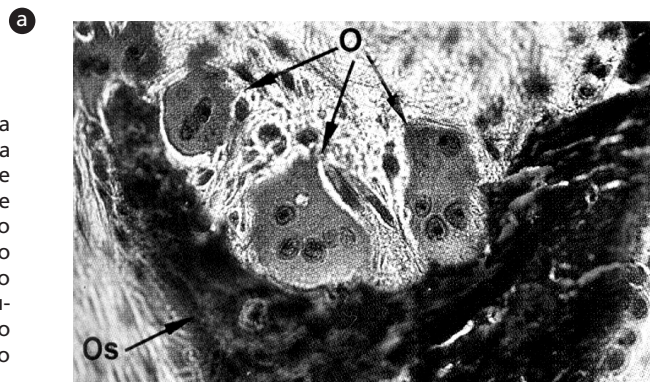
Observe a Figura 16.5.a. O que você verá nela são osteoclastos, células gigantes, multinucleadas, que podem ser encontradas nas superfícies ósseas. Trata-se de células originadas pela fusão de vários monócitos do sangue e que apresentam intensa **ACIDOFILIA CITOPLASMÁTICA**. Sua função é a de reabsorver o tecido ósseo. Na Figura 16.5.b, você poderá observar um osteoclasto num esquema de microscopia eletrônica, reabsorvendo matriz óssea. Quando em atividade, os osteoclastos se fixam a essa matriz pelas suas extremidades e desenvolvem uma borda pregueada na região central. Ultra-estruturalmente, a borda representa o que denominamos microvilosidades, ou seja, evaginações do citoplasma apical das células que ajudam a aumentar a superfície de contato delas

Você sabe o que é **ACIDOFILIA CITOPLASMÁTICA**? É a afinidade da célula com corantes ácidos. Um corante ácido tem afinidade pelas substâncias básicas da célula. Quando uma célula se apresenta rica em mitocôndrias, por exemplo, e sofre a ação de corantes ácidos, o seu citoplasma tomará a cor desse corante. O corante ácido mais utilizado na histologia é a eosina, que tem cor avermelhada. Apesar de acidófilo, esse corante não é específico como é a hematoxilina. Por isso, devido às propriedades inespecíficas da eosina, quando se faz uma dupla coloração com hematoxilina e eosina (H&E), primeiro se cora a célula ou o tecido com a hematoxilina, e, depois, com a eosina. Se o tecido for corado com a eosina antes da hematoxilina, tanto o núcleo quanto o citoplasma das células irão adquirir a sua cor.

com o meio e, assim, a otimizar o processo de reabsorção. Para isso, os osteoclastos contam com a capacidade tanto de produzir prótons (H^+) através da atividade da enzima anidrase carbônica (AC), quanto de liberar enzimas lisossomais (Aula 20, de Biologia Celular I) na superfície óssea.

Os prótons criam um ambiente ácido que permite a dissolução dos sais de cálcio. Após a dissolução desses sais, o que resta da matriz é somente o seu conteúdo orgânico, que é então digerido pelas enzimas lisossomais e fagocitado pela célula. O processo de digestão continua no meio intracelular, e seus produtos são transferidos para os capilares sanguíneos.

Figura 16.5: (a) Fotomicrografia mostrando osteoclastos (O) na superfície óssea (Os). Observe que são células gigantes e multinucleadas. (b) Desenho esquemático do osteoclasto ao microscópio eletrônico, mostrando sua adesão à matriz óssea, e algumas de suas atividades no processo de reabsorção. A – Tricrômico de Goldner. (x320).



Matriz óssea

O tecido ósseo, como você já pôde perceber, é uma estrutura viva, pois ele depende de células para a sua manutenção. Já falamos disso antes, lembra? Além das células, o osso é composto também por uma matriz mineralizada. O *componente orgânico* da matriz, sintetizado pelos osteoblastos, representa aproximadamente 30% da massa óssea. Cerca de 95% desse material é colágeno do tipo I (Aula 8, de Biologia Celular II). O restante é composto por proteoglicanas (Aula 7, de Biologia Celular II) e glicoproteínas adesivas (Aula 8, de Biologia Celular II).

O componente inorgânico do osso (70% da massa óssea) é constituído por íons, dos quais o cálcio e o fosfato são os mais numerosos e estão sob a forma de cristais de hidroxiapatita. Tais cristais são hidratados, o que facilita a troca de íons entre o cristal e o líquido intersticial. Além dos íons citados, há também pequenas quantidades de magnésio, potássio, sódio, bicarbonato, citrato.



Isto é que é sociedade!

Os cristais de hidroxiapatita, associados com as fibras colágenas, dão ao osso dureza e resistência. Esse processo pode ser comprovado de duas maneiras: 1) Descalcificação: se você descalcificar um osso, poderá manuseá-lo muito facilmente; verá que sua forma será mantida e você será capaz de dar um nó nele. 2) Incineração: se você incinerar um osso, sabe o que acontecerá? Você destruirá seu componente orgânico. Verá que sua forma também será mantida, mas agora será impossível manuseá-lo sem fraturá-lo, pois ele se tornará extremamente quebradiço.

MÉTODOS DE ESTUDO

Pelo fato de apresentar uma matriz mineralizada, o estudo do tecido ósseo ao microscópio requer técnicas especiais de preparação, pois dificilmente ele poderá ser cortado nos micrótomos comuns (Aula 1, de Biologia Celular I). Uma dessas técnicas é a *preparação por desgaste*, que consiste em lixar um pedaço de osso até que ele fique da espessura de uma folha de papel celofane. Essa técnica permite um estudo minucioso da matriz com suas lacunas e canaliculos (**Figura 16.4**). Outra técnica é a da descalcificação, em que, após a fixação, o fragmento ósseo é colocado em solução ácida ou em solução quelante até que todo o conteúdo mineral seja removido. Após essa etapa, o osso é preparado para observação ao microscópio de luz, como você viu na Aula 1, de Biologia Celular I (**Figura 16.2**).

ATIVIDADES



1. As células ósseas, responsáveis pela síntese e reabsorção do tecido ósseo, são, respectivamente:

- a. osteócito e osteoclasto;
- b. osteoblasto e osteócito;
- c. osteoclasto e osteoblasto;
- d. osteoblasto e osteoclasto;
- e. osteoclasto e osteócito.

RESPOSTA COMENTADA

No item Osteoblastos, você estudou que eles sintetizam a matriz orgânica do osso, enquanto os osteoclastos a reabsorvem. Os osteócitos são as células ósseas aprisionadas na matriz e são elas as responsáveis pela própria manutenção. Assim, o item correto é o **d**.

2. Os osteoblastos são células que:

- a. apresentam, ao microscópio de luz, citoplasma acidófilo;
- b. apresentam, ao microscópio de luz, citoplasma basófilo;
- c. são encontradas no interior da matriz óssea;
- d. além de apresentarem função secretora, são também fagocíticas;
- e. se localizam somente no endóstio.

RESPOSTA COMENTADA

O item correto é o **b**. Os osteoblastos são células ricas em organelas de síntese protéica, ou seja, retículo endoplasmático granular ou rugoso e Complexo de Golgi. Ao microscópio de luz, portanto apresentam intensa basofilia citoplasmática. São também células encontradas em grande número no endóstio e no perióstio e sua principal função é sintetizar a matriz orgânica do osso. As células ósseas que têm funções secretora e fagocítica são os osteoclastos. As células encontradas na matriz óssea são os osteócitos.

3. Os osteoclastos apresentam:

- a. borda pregueada (ao microscópio eletrônico);
- b. vários núcleos;
- c. origem monocítica;
- d. citoplasma acidófilo;
- e. todos os itens estão corretos.

RESPOSTA COMENTADA

Com base no que foi apresentado no item Osteoclastos, todas as respostas da atividade estão corretas. Se você marcou o item e, parabéns, acertou, pois os osteoclastos se formam pela fusão de vários monócitos do sangue, e em virtude disso, apresentam-se como células gigantes e multinucleadas. A riqueza em mitocôndrias lhes confere intensa acidofilia citoplasmática.

4. Cite os componentes da matriz óssea.

RESPOSTA COMENTADA

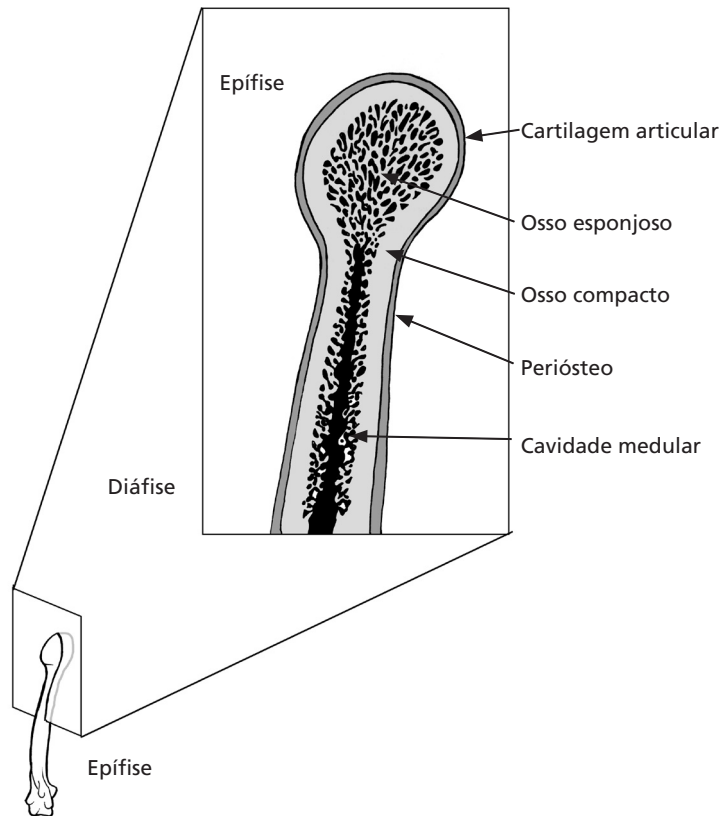
É importante lembrar que a matriz óssea tem cerca de 30% do seu conteúdo constituído por substâncias orgânicas. Destas, 95% é colágeno I. O restante é formado por proteoglicanas e glicoproteínas adesivas. A parte inorgânica é formada por íons, principalmente cálcio e fosfato que estão sob a forma de cristais de hidroxiapatita.

TIPOS DE OSSO

Agora vamos falar sobre tipos de osso.

Se você examinar macroscopicamente um osso serrado (Figura 16.6), verá que ele é formado por uma parte periférica sem cavidades visíveis, o osso *compacto*, e por partes internas com muitas cavidades intercomunicantes, o osso *esponjoso*. Essas cavidades são ocupadas por um tipo especial de tecido conjuntivo, conhecido como medula óssea, que constitui o local de produção das células sanguíneas. Não esqueça que esta classificação é puramente anatômica, pois, histologicamente, ambos os ossos apresentam a mesma estrutura.

Figura 16.6: Desenho de um osso longo mostrando sua estrutura macroscópica. As extremidades são as epífises, e a porção mediana, a diáfise. No osso serrado na altura da diáfise, você pode ver: a camada mais externa de osso compacto e o osso esponjoso, na porção mais central. As cavidades entre as trabéculas de osso esponjoso formam a medula óssea. O perióstio recobre o osso externamente.



Se você examinar a olho nu um osso longo, verá que ele apresenta duas extremidades: as epífises e um corpo (ou porção mediana) que é a diáfise. As epífises são formadas, principalmente, por osso esponjoso e por uma fina camada de osso compacto na periferia. Na diáfise, a camada de osso compacto é bem espessa e a de osso esponjoso é pouco desenvolvida.

Histologicamente, o osso é classificado em *primário* (ou *imaturo*) e *secundário*, (*maduro* ou *lamelar*). A principal diferença entre eles diz respeito à organização do colágeno. No osso imaturo, as fibras colágenas não apresentam orientação definida; já no maduro, o colágeno se apresenta organizado em lamelas paralelas ou em lamelas concêntricas em torno de um vaso sanguíneo. Você poderia, agora, fazer uma comparação entre as duas classificações? Você deve ter percebido que o osso compacto da anatomia corresponde ao osso maduro, cujas fibras colágenas se organizam concêntrica a um vaso sanguíneo, e que o osso esponjoso também corresponde ao osso maduro, cujas lamelas são paralelas entre si. Podemos concluir que o osso imaturo é um osso recém-formado, à medida que suas fibras se organizam, ele é substituído pelo osso maduro. Outro fato importante é que o conteúdo de minerais no osso maduro é maior do que no osso imaturo.

Tente diferenciar, ao microscópio de luz, o osso compacto do esponjoso. Agora, observe as duas figuras a seguir.

Na **Figura 16.7**, você estará vendo o esquema de um corte de osso compacto. Nele, você pode observar, em corte transversal, que as lamelas ósseas se dispõem concentricamente a um canal contendo tecido conjuntivo, vasos e nervos. É o que chamamos de *sistema de Havers* ou *ósteon*. Cada lamela tem cerca de 3 a 7 μm de espessura e cada sistema de Havers é formado por quatro a vinte lamelas concêntricas. Observe que as fibras colágenas de cada lamela têm orientações diferentes entre si. Não esqueça: todas as superfícies internas do osso são revestidas por endósteo. Então, no canal de Havers o endósteo também está presente.

Se na mesma figura você analisar, o osso em corte longitudinal, observará que existem outros canais que conectam os canais de Havers entre si, através do periósteo e do endósteo. Esses canais são denominados *canais de Volkmann*. Na diáfise dos ossos longos, a camada de osso compacto apresenta, além dos sistemas de Havers, os sistemas circunferenciais externo, interno e intermediário.

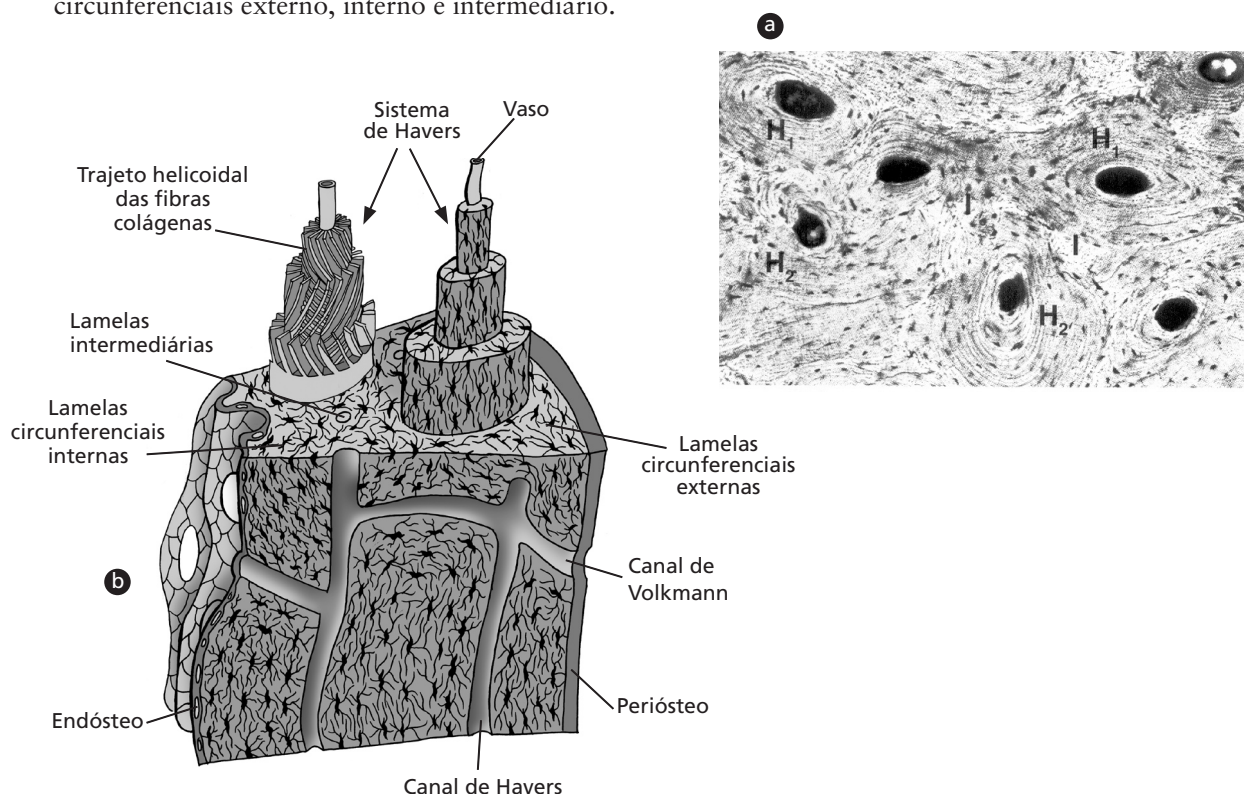


Figura 16.7: (a) Fotomicrografia de um corte de osso compacto cortado transversalmente, mostrando os sistemas de Havers (H₁ e H₂) e as lamelas intermediárias (I). (b) Desenho esquemático de osso compacto semelhante ao encontrado na diáfise dos ossos longos. Observe, no corte transversal, as lamelas ósseas concêntricas em torno do vaso sanguíneo, os sistemas de Havers, as lamelas circunferenciais externa, interna e as intermediárias. O periósteo e o endósteo estão também representados. No corte longitudinal, você pode ver os canais de Volkmann.

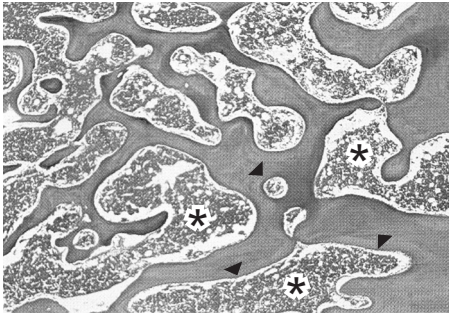


Figura 16.8: Fotomicrografia de osso esponjoso, mostrando uma rede de trabéculas ósseas revestidas pelo endósteo (►), separadas por uma rede de espaços intercomunicantes contendo a medula óssea (*). Coloração H&E. (x50).

Analise agora a **Figura 16.8** e a compare com a **Figura 16.7**. Você deve ter percebido que nessa figura há um corte de osso esponjoso. Os canais no seu interior alojam a medula óssea. Veja que a organização das lamelas ósseas é diferente da observada no osso compacto.

ATIVIDADE



5. Podemos diferenciar, ao microscópio de luz e ao eletrônico, o osso maduro do imaturo, através da observação de:

- a. fibras colágenas sem organização definida;
- b. fibras colágenas organizadas de forma lamelar;
- c. pouca quantidade de osteócitos na matriz;
- d. basofilia da matriz;
- e. todos os itens estão corretos.

RESPOSTA COMENTADA

*Após a leitura do item Tipos de osso, você deve ter observado que o osso maduro se apresenta ao microscópio de luz com matriz acidófila e com maior número de osteócitos. Ao microscópio eletrônico, ou mesmo em algumas técnicas de microscopia de luz, o osso maduro mostra suas fibras colágenas organizadas de forma lamelar. Por isso, o item **b** é o correto.*

FORMAÇÃO DE TECIDO ÓSSEO – OSSIFICAÇÃO

Você já estudou a estrutura e os tipos de osso e agora deve estar se perguntando como se formam os ossos. Vamos então responder a sua pergunta. Você deve lembrar que as células ósseas são de origem mesodérmica. Os osteoblastos e osteócitos se originam a partir de células mesenquimais indiferenciadas, ou seja, células com potencialidade para originar todos os tipos celulares do tecido conjuntivo. Você já estudou esse assunto na Aula 12, de Biologia Celular II, no item sobre células-tronco. Os osteoclastos, por sua vez, originam-se a partir da fusão de vários monócitos do sangue. Os ossos podem formar-se por dois processos de ossificação: *intramembranoso e endocondral*.

Ossificação intramembranosa

A ossificação intramembranosa ocorre no interior de uma membrana conjuntiva. O processo se inicia pela diferenciação de células mesenquimais indiferenciadas em células osteoprogenitoras, ou seja, células já comprometidas com a formação de osteoblastos. Acredita-se que um dos fatores que propicia essa linha de diferenciação seja o aumento das concentrações de oxigênio local, já que é possível observar um aumento no número de vasos sanguíneos na região em que o osso vai se formar. Como você pode observar na **Figura 16.9**, o blastema ósseo, formado por uma condensação de células osteoprogenitoras, é fonte de osteoblastos. Uma vez formados, os osteoblastos iniciam o processo de síntese do osteóide, aprisionam-se nele e originam os osteócitos. Vários desses grupos surgem quase simultaneamente no centro de ossificação. As trabéculas dos vários grupos confluem, dando ao osso um aspecto esponjoso. Os espaços entre as trabéculas ósseas são invadidos por vasos sanguíneos e por células mesenquimais indiferenciadas que vão dar origem à medula óssea. De forma semelhante, é formado o osso compacto, externamente ao osso esponjoso. O tecido mesenquimal ao redor do osso compacto formará o perióstio. Os ossos da cabeça, os maxilares e a mandíbula são formados por este processo. Também o processo de ossificação intramembranosa contribui para o crescimento dos ossos curtos e para o crescimento em espessura dos ossos longos.

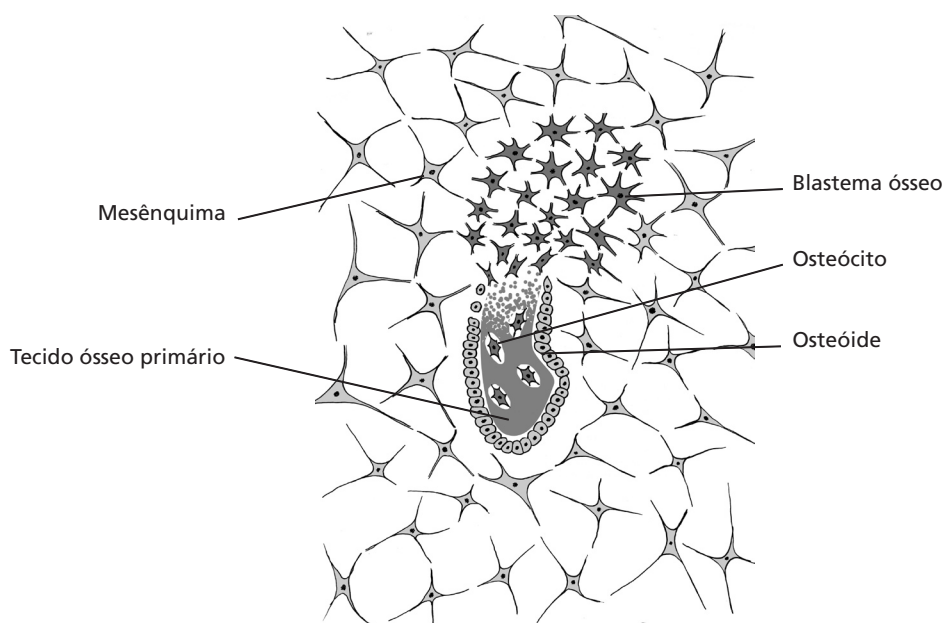


Figura 16.9: Desenho esquemático do processo de ossificação intramembranosa.

Ossificação endocondral

Continuando o assunto, você verá que o processo de ossificação endocondral ocorre a partir de um modelo cartilaginoso, cuja forma é a do osso que ali irá se formar. Assim como o tecido ósseo, o tecido cartilaginoso é também um tecido de sustentação, embora sua matriz não seja mineralizada. A cartilagem (do tipo hialina) é revestida externamente pelo pericôndrio, um tecido conjuntivo que contém as células sintetizadoras da matriz cartilaginosa, os condroblastos. Semelhante ao osso, os condroblastos, ao sintetizarem a matriz, ficam aprisionados no interior delas, originando os condrócitos. Esse tipo de ossificação é o principal responsável pela formação de ossos curtos e longos.



A depender, principalmente, das concentrações de oxigênio locais, as células mesenquimais indiferenciadas podem se diferenciar em osteoblastos (altas concentrações de oxigênio) ou em condroblastos (baixas concentrações de oxigênio).

Na **Figura 16.10**, há uma seqüência de eventos que mostram a completa substituição da cartilagem pelo osso. Vamos analisá-la.

Num osso longo em desenvolvimento, o primeiro tecido ósseo a aparecer é formado por ossificação intramembranosa.

Você acabou de estudar esse assunto. Isso acontece na região da diáfise, onde se observa um acentuado aumento na vascularização local. A proliferação vascular, como observado, aumenta as tensões de oxigênio no pericôndrio, levando os condroblastos à morte.

Células mesenquimais indiferenciadas trazidas pelo sangue diferenciam-se em osteoblastos, que substituem os condroblastos mortos e começam a sintetizar a matriz óssea. Esse osso aí formado por ossificação intramembranosa forma um colar ósseo em torno de todo o diâmetro da diáfise. A partir, daí os vasos começam a invadir a cartilagem no centro da diáfise. A área da cartilagem em que os condrócitos se apresentavam normais, formando uma zona de cartilagem em repouso, reage a essa invasão, proliferando e formando a *zona de cartilagem proliferativa* ou *seriada*.

Com o aumento das tensões de oxigênio, os condrócitos começam a hipertrofiar e formam a *zona de cartilagem hipertrófica*. Tem início a calcificação da matriz, pois são nela depositados os sais de cálcio trazidos pela corrente sanguínea. Os condrócitos morrem e a matriz calcificada forma a *zona de cartilagem calcificada*. Os espaços anteriormente ocupados pelos condrócitos vão alojar a medula óssea. Lembre-se de que

o sangue trazido pelos vasos contém células mesenquimais indiferenciadas. Tais células irão também se diferenciar em osteoblastos, que se alinharão na periferia dos tabiques de cartilagem calcificada e começarão a sintetizar osteóide. O osteóide é mineralizado, formando a *zona de ossificação*, que vai, gradativamente, substituindo a cartilagem calcificada.

O centro de ossificação descrito anteriormente constitui o ponto primário de ossificação. Posteriormente, aparece um centro secundário na epífise superior e, depois, na epífise inferior. Quando o osso formado nos centros secundários ocupa a epífise, o tecido cartilaginoso fica restrito a dois locais: à cartilagem articular, que persistirá por toda a vida do indivíduo, e à cartilagem epifisária, uma área cartilaginosa entre as epífises e a diáfise, não penetrada pelo tecido ósseo, que será responsável pelo crescimento do osso em comprimento. Essa área desaparecerá em torno dos 18-20 anos. Portanto, a partir do seu desaparecimento, o osso não mais crescerá em comprimento.

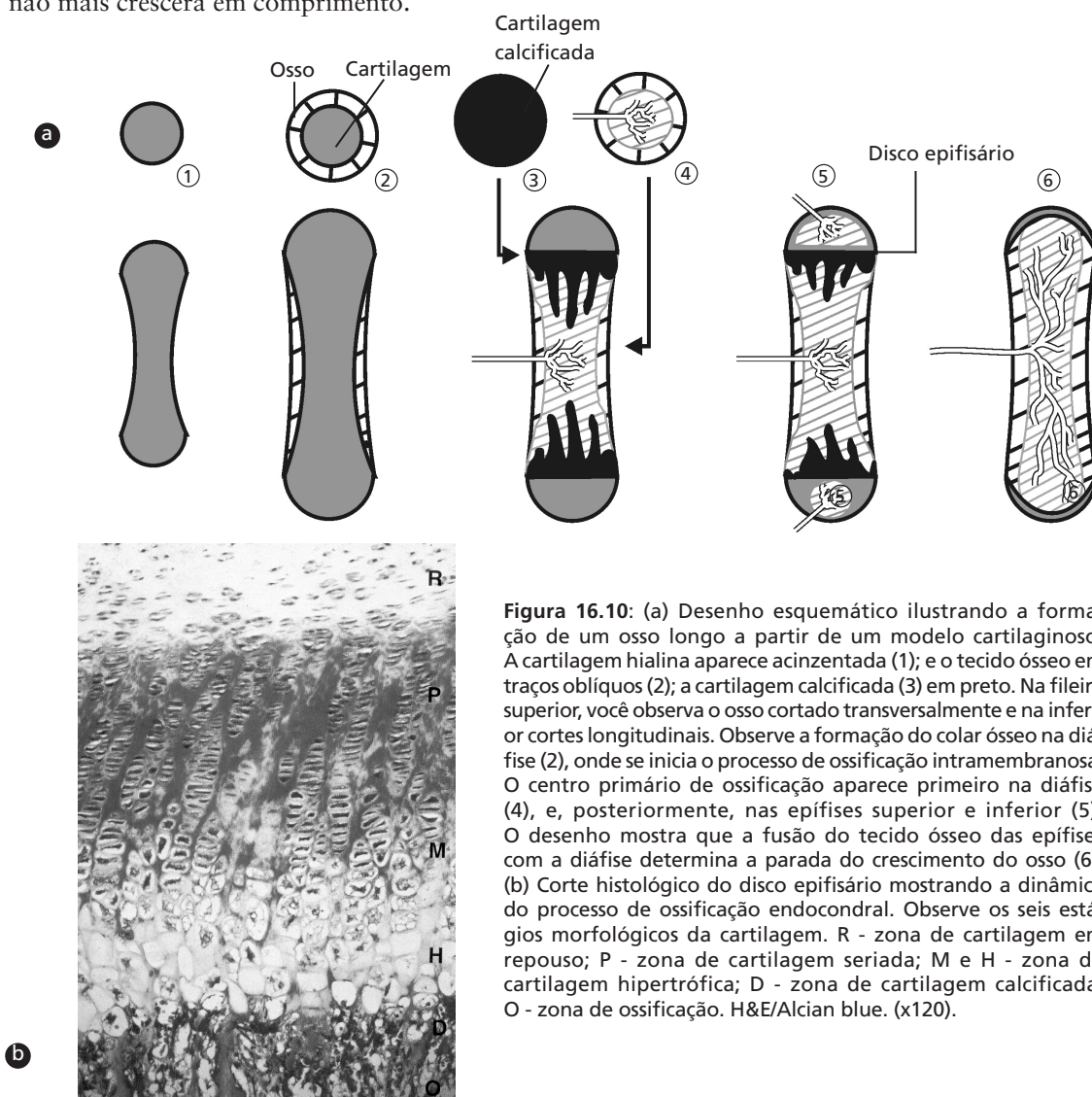


Figura 16.10: (a) Desenho esquemático ilustrando a formação de um osso longo a partir de um modelo cartilaginoso. A cartilagem hialina aparece acinzentada (1); e o tecido ósseo em traços oblíquos (2); a cartilagem calcificada (3) em preto. Na fileira superior, você observa o osso cortado transversalmente e na inferior cortes longitudinais. Observe a formação do colar ósseo na diáfise (2), onde se inicia o processo de ossificação intramembranosa. O centro primário de ossificação aparece primeiro na diáfise (4), e, posteriormente, nas epífises superior e inferior (5). O desenho mostra que a fusão do tecido ósseo das epífises com a diáfise determina a parada do crescimento do osso (6). (b) Corte histológico do disco epifisário mostrando a dinâmica do processo de ossificação endocondral. Observe os seis estágios morfológicos da cartilagem. R - zona de cartilagem em repouso; P - zona de cartilagem seriada; M e H - zona de cartilagem hipertrófica; D - zona de cartilagem calcificada; O - zona de ossificação. H&E/Alcian blue. (x120).

ATIVIDADES



6. Em relação ao processo de ossificação, podemos dizer que:

- a. na endocondral, há substituição de cartilagem por osso;
- b. na endocondral, há transformação de cartilagem em osso;
- c. na intramembranosa, o osso é substituído por uma membrana conjuntiva;
- d. os itens a e c estão corretos;
- e. os itens b e c estão corretos.

RESPOSTA COMENTADA

Se você marcou o item **a**, acertou! Em hipótese alguma você terá transformação de cartilagem em osso, pois nem condroblasto se transforma em osteoblasto, nem condrócito em osteócito. Você viu que os condroblastos e os condrócitos morrem e são substituídos por osteoblastos. Na ossificação intramembranosa, a membrana conjuntiva é substituída por tecido ósseo.

7. O processo de ossificação intramembranosa é caracterizado por:

- a. formação de moldes cartilagosos;
- b. invasão de vasos sangüíneos sobre o molde cartilaginoso;
- c. ossificação de células do mesênquima, com formação de molde cartilaginoso;
- d. ossificação de células do mesênquima, sem formação de molde cartilaginoso;
- e. nenhuma resposta está correta.

RESPOSTA COMENTADA

Se você respondeu que o item correto é o **d** é porque entendeu que os ossos podem formar-se a partir de uma membrana mesenquimal (conjuntiva), e deve saber que nesse tipo de ossificação não há formação prévia de tecido cartilaginoso.

8. O crescimento de osso longo em comprimento e em espessura se dá:

- a. somente por ossificação endocondral;
- b. somente por ossificação intramembranosa;
- c. por crescimento intersticial;
- d. por ossificação intramembranosa e endocondral respectivamente;
- e. por ossificação endocondral e intramembranosa respectivamente.

RESPOSTA COMENTADA

O item correto é o **e**, pois, como você observou na **Figura 16.10**, os ossos longos crescem em comprimento por ossificação endocondral e em espessura por ossificação intramembranosa.

9. Na cartilagem epifisária, durante a ossificação endocondral, distingue-se a seguinte sequência de zonas na cartilagem:

- a. de repouso, de cartilagem seriada, de proliferação, de maturação e de ossificação;
- b. de cartilagem seriada, hipertrófica, calcificada, de maturação e de ossificação;
- c. de repouso, de cartilagem seriada, hipertrófica, calcificada e de ossificação;
- d. de repouso, de cartilagem seriada, de maturação, hipertrófica e de ossificação;
- e. de cartilagem seriada, de multiplicação, hipertrófica, de maturação e calcificação.

RESPOSTA COMENTADA

A sequência de zonas vista na cartilagem epifisária está no item **c**, pois primeiro observa-se a cartilagem em seu estado normal, ou seja, em repouso. À medida que os vasos invadem a cartilagem, acontecem dois fenômenos: os condrócitos começam a se multiplicar, formando a zona de cartilagem seriada, e também a hipertrofiar, formando a zona hipertrófica. A partir daí, os condrócitos degeneram e a matriz torna-se calcificada, formando a zona de cartilagem calcificada. Essas trabéculas de cartilagem calcificada vão, então, servir de molde para que os osteoblastos neles ancorados iniciem a síntese de matriz óssea e substituam a cartilagem por osso.

REPARAÇÃO DE FRATURAS

Você sabe como ocorre o processo de reparação óssea após uma fratura simples? Na **Figura 16.11**, você poderá observar que, logo após uma fratura, ocorre hemorragia local e coagulação do sangue. Para o processo de regeneração da fratura, é necessário que o coágulo, os restos de matriz óssea e as células mortas sejam removidos da área, o que é realizado através dos macrófagos do tecido conjuntivo. O tecido

conjuntivo altamente vascularizado prolifera no local e é gradativamente substituído por tecido fibroso, menos vascularizado. Nessas condições, sob baixas tensões de oxigênio, as células mesenquimais indiferenciadas formam condroblastos, permitindo que o tecido conjuntivo fibroso seja substituído por cartilagem hialina. Forma-se, então, um *calo cartilaginoso* ou provisório na região externa das superfícies ósseas fraturadas, que vai sofrendo ossificação endocondral. Simultaneamente, osteoblastos do endóstio e do perióstio são ativados e começam a produzir matriz óssea por ossificação intramembranosa, tanto dentro quanto em torno do *calo cartilaginoso*, formando o *calo ósseo*. A fratura estará reparada quando o local da lesão estiver completamente unido ao novo osso. Não esqueça que o osso recém-sintetizado é do tipo imaturo. Sob a influência das forças funcionais, o calo ósseo é lentamente remodelado para formar o osso maduro.

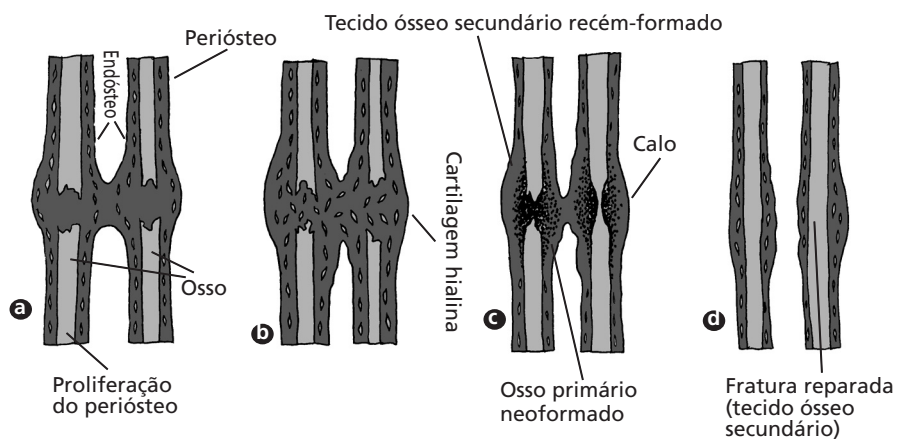


Figura 16.11: Desenho esquemático mostrando o processo de regeneração de uma fratura. (a) Mostrando a proliferação do tecido conjuntivo do perióstio. (b) Mostrando o calo cartilaginoso. (c) O tecido ósseo começa a ser observado. (d) Fratura já reparada.

ATIVIDADE



10. No processo de reparação de uma fratura, podemos dizer que:

- após a limpeza da área de fratura pelos macrófagos, forma-se um calo ósseo;
- o osso é formado exclusivamente por ossificação endocondral;
- o osso é formado exclusivamente por ossificação intramembranosa;
- o calo cartilaginoso formado é substituído pelo calo ósseo;
- o calo ósseo é substituído pelo calo cartilaginoso.

RESPOSTA COMENTADA

Se você marcou o item **d**, acertou. Após a limpeza do local, forma-se um revestimento conjuntivo que vai sendo gradativamente substituído por cartilagem hialina e por tecido ósseo. O osso é, portanto, formado por ossificação endocondral e intramembranosa.

ARTICULAÇÕES

Uma articulação pode ser definida como uma área de contato entre duas superfícies ósseas distintas, mediadas por diferentes tipos de tecido conjuntivo. No seu dia-a-dia, você certamente já percebeu que algumas de suas articulações permitem ou não movimentos limitados, enquanto outras permitem ampla movimentação dos ossos nelas envolvidos. Com base nessas características, você poderá classificar as articulações, respectivamente, em *sinartroses* e *diartroses*.

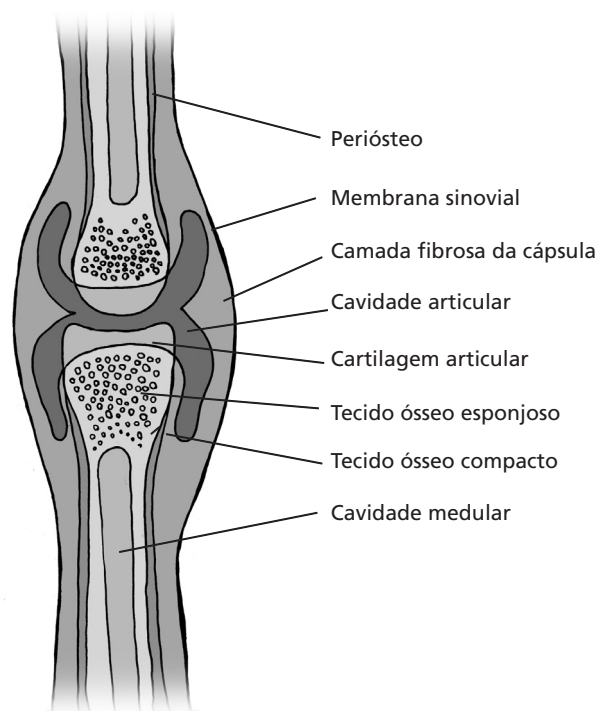
Em relação às *sinartroses*, de acordo com o tipo de tecido conjuntivo existente entre os ossos, ela poderá ser classificada em:

- Sinostose – o tecido que articula os dois ossos é do tipo ósseo. Esse tipo de articulação não permite movimentos entre os ossos envolvidos. Você poderá encontrá-la unindo os ossos chatos do crânio em pessoas idosas.
- Sindesmose – nesse caso existe um tecido conjuntivo denso na área de articulação. As sindesmose permitem movimentos limitados entre as superfícies ósseas envolvidas. Você poderá encontrá-las, por exemplo, nos ossos chatos do crânio de pessoas jovens e na sínfise púbica.
- Sincondrose – o tecido que você encontrará mediando essa articulação é do tipo cartilaginoso (cartilagem hialina). A articulação entre a primeira costela e o esterno é desse tipo. Semelhante à sindesmose, os movimentos numa sincondrose são limitados.

As diartroses são articulações dotadas de grande mobilidade e podem ser observadas unindo a maioria dos ossos longos. A estrutura de uma diartrose mostra uma *cápsula articular* unindo as superfícies ósseas e delimitando uma *cavidade articular*. Você pode observar na **Figura 16.12**, que essa cavidade contém um líquido articular incolor, transpa-

rente e viscoso, rico em ácido hialurônico (Aula 7, de Biologia Celular II), denominado *líquido sinovial*. Este líquido permite o deslizamento das superfícies articulares, as quais são revestidas por cartilagem hialina. Cabe ressaltar que a cartilagem hialina desses locais é desprovida da membrana conjuntiva que reveste a maioria das cartilagens hialinas, o que confere às extremidades ósseas uma superfície polida que certamente se somará ao efeito lubrificante do líquido sinovial. A cartilagem articular funcionará como um amortecedor das pressões mecânicas exercidas sobre ela. Com essa estrutura, torna-se fácil realizar movimentos.

Figura 16.12: Desenho esquemático de uma diartrose mostrando sua estrutura.



ATIVIDADE



11. Nas articulações do tipo sinostose, o tecido articular é do tipo:

- a. conjuntivo frouxo;
- b. conjuntivo denso;
- c. ósseo;
- d. cartilaginoso;
- e. elástico.

RESPOSTA COMENTADA

Relembrando: as sinostoses são articulações que não permitem mobilidade óssea. Sabe por que isso? Porque o tecido que une as duas peças ósseas é também ósseo.

CONCLUSÃO

Você estudou que o osso é uma estrutura dinâmica, apesar de sua falsa aparência estática. Ele está em constante processo de síntese e de reabsorção, permitindo sua modificação, com o decorrer do tempo, e sua adaptação às necessidades do nosso organismo.

RESUMO

O tecido ósseo apresenta sua matriz mineralizada e seu estudo ao microscópio pode ser abordado privilegiando as células e seus produtos de secreção ou o seu conteúdo mineral. As células ósseas realizam diferentes funções, de acordo com suas características citoplasmáticas. Os osteoblastos sintetizam o osteóide; os osteócitos mantêm a matriz óssea e os osteoclastos reabsorvem tanto o osteóide quanto a matriz inorgânica. Esse processo acontece durante toda a vida, visto que, mais uma vez, deve-se ter em mente a constante dinâmica do tecido ósseo. Histologicamente, o osso é classificado, principalmente, de acordo com a organização de sua matriz. Os ossos podem se formar por dois mecanismos distintos: ossificação intramembranosa e endocondral. Durante a fase de crescimento do indivíduo, os dois mecanismos estão constantemente em atividade. Cessada essa fase, a ossificação endocondral irá acontecer quando, por exemplo, o osso for fraturado. Já a intramembranosa ocorre durante toda a vida. De acordo com o grau de movimento, as articulações são classificadas em sinartroses e diartroses.

ATIVIDADES FINAIS

1. Descreva os mecanismos de crescimento de um osso longo.

RESPOSTA

Você estudou ao longo desta aula que, em indivíduos em fase de crescimento, os ossos longos crescem por dois mecanismos: em espessura, por ossificação intramembranosa, e em comprimento, por ossificação endocondral. O primeiro processo ocorre em uma membrana de natureza conjuntiva. O segundo ocorre a partir de um modelo cartilaginoso, que vai gradativamente sendo substituído por osso.

2. Caracterize, histologicamente, o osso compacto.

RESPOSTA

*Para responder a essa questão, vá à **Figura 16.7**. Lá você irá reparar que o osso compacto, que é um tipo de osso histologicamente maduro, apresenta-se organizado em lamelas ósseas concêntricas em um canal, contendo tecido conjuntivo, vasos e nervos. Nesse canal, em contato com o tecido ósseo, há uma membrana constituída por osteoblasto, denominada endóstio.*

3. Descreva o processo de regeneração de uma fratura simples.

RESPOSTA

*Na **Figura 16.11**, você observou que o tecido ósseo é bem vascularizado. Quando um osso é fraturado, imediatamente ocorre hemorragia (em virtude dos vasos lesados), destruição da matriz e morte das células ósseas. O processo de reparação requer, em primeiro lugar, a remoção do coágulo, da matriz e das células destruídas, o que é feito pelos macrófagos do tecido conjuntivo. O tecido conjuntivo do perióstio prolifera e logo é substituído por cartilagem hialina, isto é pelo calo cartilaginoso, que começa a sofrer*

ossificação endocondral. Simultaneamente, o endósteo e o periósteo, da área próxima à lesão, proliferam, originando células osteoprogenitoras que formam um calo ósseo em torno da fratura e entre as extremidades ósseas rompidas por ossificação intramembranosa. Esse osso formado por ambos os processos de ossificação é inicialmente imaturo, e vai, gradativamente, sendo substituído por osso maduro.

4. Cite e exemplifique os diferentes tipos de articulação.

RESPOSTA

Você lembra como podem ser as articulações? Elas podem ser do tipo sinartrose e diartrose. As sinartroses são articulações que permitem ou não movimentos limitados entre as duas superfícies ósseas. Elas são classificadas de acordo com o tecido presente entre os dois ossos em: sinostoses – quando as duas superfícies ósseas são unidas por tecido ósseo e podem ser encontradas nos ossos chatos do crânio em pessoas senis; sincondroses – o tecido que une as superfícies ósseas é do tipo cartilaginoso e se encontra na articulação entre a 1ª costela e o esterno; sindesmoses – o tecido que une os ossos é do tipo conjuntivo denso. É encontrado na sínfise púbica.

AUTO-AVALIAÇÃO

Você conseguiu responder a todas as atividades? É importante que a estrutura do tecido ósseo e os mecanismos de formação óssea tenham sido bem entendidos por você. Essas informações o ajudarão a compreender a fisiologia do tecido ósseo integrada ao restante do organismo. Se ainda tiver dúvidas, converse com seus colegas e com o tutor.

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, estudaremos o Sistema neurolocomotor – o esqueleto como História e não como Geografia. Até lá!

LEITURA RECOMENDADA

Seria muito proveitoso se você complementasse o conhecimento adquirido aqui, lendo e vendo as imagens deste assunto em:

UERJ. Departamento de Histologia. *Atlas digital de histologia*.

Disponível em: <<http://www2.uerj.br/~micron/atlas>>. Acesso em: 7 jul. 2004.

AULA 17

Sistema neurolocomotor – o esqueleto como História e não como Geografia

Meta da aula

Identificar o esqueleto como um sistema vivo e dinâmico que sofre modificações adaptativas por toda a vida.

objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Reconhecer a interação do sistema locomotor com os demais sistemas do organismo.
- Definir o osso como estrutura viva.
- Identificar os fatores que influenciam a resistência mecânica dos ossos às forças aplicadas.
- Descrever o crescimento e o desenvolvimento dos ossos.
- Analisar a plasticidade óssea na adaptação da morfologia do esqueleto às atividades do corpo.
- Descrever a ação dos fatores genéticos e ambientais sobre o esqueleto.

INTRODUÇÃO

O SISTEMA LOCOMOTOR FAZ PARTE DO NOSSO DIA-A-DIA?

Você já reparou de quantos passos precisou para chegar até a escola, ou quantas vezes respirou desde a hora em que acordou, ou o número de vezes que mastigou e engoliu o seu almoço ou, ainda, quantas vezes moveu a sua mão escrevendo uma carta para um amigo, com os seus olhos acompanhando o que você estava escrevendo? Pois é, estamos falando do sistema locomotor em sua vida!

O sistema locomotor não está só!

O sistema locomotor está relacionado diretamente aos movimentos do corpo, embora seus componentes desempenhem uma série de outras funções, como veremos mais adiante. Constitui-se de três elementos básicos: os ossos, as articulações e os músculos esqueléticos. Contudo, para o perfeito funcionamento deste sistema, necessitamos da interação funcional com os demais sistemas do organismo.

De que forma os demais sistemas do organismo podem interagir com o sistema esquelético? Veja, como exemplo, a importância da interação entre os sistemas esquelético e nervoso. O cérebro e a medula espinal são protegidos pelo crânio e pela coluna vertebral, respectivamente. Em contrapartida, o sistema nervoso, comandando os músculos do nosso corpo, produz movimentos que, em última análise, mantêm a estrutura óssea em perfeitas condições estruturais e funcionais. O efeito do movimento comandado pelo sistema nervoso é facilmente percebido quando observamos uma pessoa que está com as pernas paralisadas. Neste caso, os ossos, sem ação de movimento, perdem parte de seu conteúdo mineral. Assim, os sistemas esquelético e nervoso realizam uma efetiva cooperação funcional.

Analisando os movimentos de nossos corpos nas atividades diárias, podemos considerar as diversas práticas de esportes de competição, a entrada e a saída de ar dos pulmões, a mastigação e a deglutição dos alimentos, os atos da micção, da defecação e do trabalho de parto, além do piscar das pálpebras, dos movimentos oculares e das diversas formas de expressão facial que experimentamos com nossas emoções.

Além do mais, o simples fato de adotarmos a postura ereta, contrária à gravidade, já coloca em ação este complexo sistema. Como seria a adaptação do sistema locomotor a um ambiente sem gravidade? Seria mais ou menos fácil nos mantermos de pé? Como seriam os nossos

movimentos? De que quantidade de minerais precisaríamos em nossos ossos, nesta condição? Como seria a nossa massa muscular? Teríamos a mesma frequência de fraturas em nossos esqueletos, comparando com a vida na Terra? Desta forma, entenderemos que a manutenção de um esqueleto saudável é essencial em várias atividades do corpo humano, especialmente ligadas à locomoção. Vamos, então, examinar alguns detalhes dos componentes deste sistema.



O sistema locomotor, composto por ossos, articulações e músculos, atua em variados movimentos do nosso corpo. A forma e as funções destes componentes dependem diretamente da ação dos outros sistemas do organismo.



Figura 17.1

Devido à redução da força gravitacional em relação à Terra, o esqueleto dos astronautas sofre uma importante perda do conteúdo mineral, como o cálcio e os fosfatos, durante uma permanência prolongada no espaço, já que as forças que agem sobre eles diminuem. Quando eles retornam à Terra, precisam de um período de quarentena, pois com essa perda mineral, poderiam sofrer fraturas graves.



GENE KELLY (1912-1996)

Ator, dançarino e coreógrafo americano. Em 1952 protagonizou, no cinema, juntamente com Debbie Reynolds (então com 19 anos) e Donald O'Connor, o musical *Singin' in the Rain* (*Cantando na chuva*), da Metro Goldwin Mayer.

ATIVIDADES

1. Faça uma lista das atividades que envolvam ações do sistema locomotor quando, por exemplo, em um palco, um artista como Gene Kelly interpreta (cantado e dançando) a música *Singin' in the Rain*, considerando as partes do corpo envolvidas.

RESPOSTA COMENTADA

Como interpreta a música, **GENE KELLY** deve executar várias ações envolvendo os componentes do sistema locomotor, como mover lábios e língua para cantar, mover o tronco, as pernas e os braços na dança, mover os olhos para a câmera, mover o tórax para respirar, mover os lábios para sorrir e modificar a expressão facial.

Como você pode ver, estas ações envolvem os componentes básicos do sistema locomotor: ossos, articulações e músculos. Não se esqueça, contudo, de que a atividade dos outros sistemas do organismo também são essenciais na apresentação do ator/cantor, pois é necessário o auxílio dos pulmões (respiratório), da circulação do sangue (circulatório), do controle de todos os seus movimentos (nervoso) e experimenta um determinado nível de estresse para que ele interprete as canções (endócrino = hormônios = ativação do seu metabolismo).

2. Estabeleça relação entre as colunas, a partir do entendimento sobre as interações do sistema locomotor com os demais sistemas do organismo:

- | | |
|--------------------------|---|
| (1) Sistema Digestório | () Controle da coordenação dos músculos quando recortamos uma figura no papel com uma tesoura. |
| (2) Sistema Nervoso | () Movimentos do tórax, permitindo que possamos emitir a voz quando falamos. |
| (3) Sistema Endócrino | () Chegada de oxigênio aos músculos, durante uma corrida de longa distância. |
| (4) Sistema Respiratório | () Obtenção de nutrientes necessários à formação dos ossos, como o cálcio e o fósforo. |
| (5) Sistema Circulatório | () Ação do hormônio do crescimento sobre a formação dos ossos e da massa muscular. |

RESPOSTA COMENTADA

A seqüência correta será: 2 – 4 – 5 – 1 – 3.

O sistema locomotor auxilia algumas outras funções do organismo, como ocorre quando os músculos movem o tórax na respiração e, de forma inversa, os demais sistemas dão suporte ao sistema locomotor, como ocorre quando os hormônios (sistema endócrino) influenciam o crescimento dos ossos e o aumento da massa muscular. Desta maneira, você pode ver que o sistema esquelético interage com outros sistemas do organismo, mantendo uma perfeita integração funcional.

O NOSSO ESQUELETO ESTÁ VIVO?

Quando estudamos os ossos em um esqueleto humano, ficamos com a impressão de que eles são estruturas inertes, sem vida. Mas será que em nosso esqueleto os ossos não têm vida? Existem células vivas em seu interior? Estas perguntas serão o motivo principal deste tópico em nosso estudo.

Podemos obter as respostas observando a vida das pessoas. Os nossos ossos se formam e crescem e, ao longo da vida, sofrem modificações em sua estrutura. A **MASSA ÓSSEA** em nosso esqueleto aumenta até a terceira década de vida e depois começa a diminuir. Podemos nos recuperar das fraturas que ocasionalmente sofremos, graças a ações dos nossos próprios ossos. Isto não seria possível, se não tivéssemos células vivas agindo permanentemente em nosso esqueleto, pois as células ósseas como os osteoblastos, osteócitos e osteoclastos são responsáveis pela formação óssea e, é claro, pela absorção de osso antigo.

MASSA ÓSSEA

Corresponde a uma quantidade, em gramas, de osso total em um organismo.

Este valor pode ser estimado, nas pessoas vivas, por meio de tabelas, considerando o sexo, a idade, o peso e a altura dos indivíduos.



Os nossos ossos são estruturas vivas e, por isto, sofrem modificações, ao longo da nossa vida, devido à ação conjunta de fatores genéticos (como ocorre no envelhecimento) e ambientais (como podemos observar na atividade física e em relação ao estado nutricional).

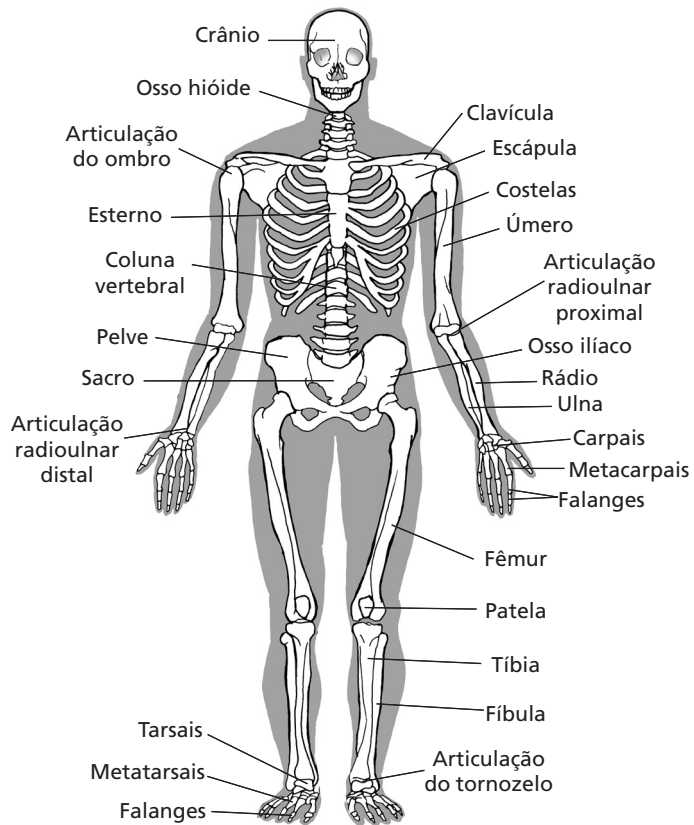


Figura 17.2

Examinando um esquema de um esqueleto humano completo, na **Figura 17.2**, podemos ver como os ossos se dispõem. Temos cerca de 206 ossos, pois o número real varia entre os indivíduos. Por exemplo, de 0,5 a 1% das pessoas tem um par adicional de costelas. Em valores médios, o peso dos nossos ossos corresponde a 20% do peso total do nosso corpo, ou seja, os ossos de um indivíduo adulto com 70kg pesam, em média, 14kg!

A massa óssea varia ao longo de nossas vidas? Ganhamos ou perdemos osso do nascimento até a morte? Durante o período de uma vida, nossos ossos são reabsorvidos (seus constituintes vão para o sangue) e ossos novos são produzidos em seu lugar, de tal forma que nos renovamos a cada dia. Renovar é sempre uma boa notícia! Na **Figura 17.4**, você poderá observar uma representação do que ocorre com a massa óssea do nosso esqueleto, de acordo com os ritmos de formação e de reabsorção ósseas.

Neste contexto, desde o nascimento até a terceira década de vida, em um organismo sadio, ocorre um aumento da massa óssea, porque a produção de osso novo (**OSTEOGÊNESE**) supera a perda diária (**OSTEÓLISE**). A partir desta idade, a **TAXA DE RENOVAÇÃO** vai sendo modificada, uma vez que a formação óssea vai sendo suplantada pela perda e, assim, começa a ocorrer uma redução progressiva da massa óssea, especialmente no sexo feminino. As mulheres, a partir da terceira década de vida, perdem, em média, 1% da massa óssea por ano. Esta perda se deve à redução da produção de estrogênio pelos ovários. O estrogênio estimula a osteogênese. Assim, a reposição de massa óssea sofre uma progressiva diminuição com a idade. Quando esta perda óssea começa a trazer riscos para a saúde, como, por exemplo, o aumento na frequência de fraturas, ela é denominada **OSTEOPOROSE**.

Na **Figura 17.3**, pode-se identificar a dificuldade que as pessoas mais idosas apresentam para se locomover, ou mesmo ficar de pé, devido à osteoporose.



Figura 17.3

OSTEOGÊNESE

Formação de tecido ósseo.

OSTEÓLISE

Absorção de tecido ósseo.

TAXA DE RENOVAÇÃO

Corresponde à quantidade de osso que se perde e se repõe por ano de vida.

OSTEOPOROSE

Condição comumente encontrada nos idosos e nas mulheres a partir da menopausa, em que a perda de massa óssea supera a formação, provocando redução dessa massa, tornando os ossos mais porosos e, portanto, mais enfraquecidos.

DENSITOMETRIA ÓSSEA

Exame, com uso de raios X, para analisar a densidade óssea de uma pessoa; permite estabelecer se essa densidade está de acordo com os padrões normais de referências internacionais.

DENSIDADE ÓSSEA

Quantidade de osso em uma determinada área do esqueleto, selecionada para estudo (expressa em gramas por cm^2). A massa óssea total de um determinado esqueleto pode estar dentro dos padrões normais, mas a sua distribuição pode não ser homogênea, ou seja, em algumas áreas poderá existir maior quantidade de osso do que em outras. Assim teremos densidades desiguais e uma massa óssea total normal.

Estima-se que, no Brasil, ocorram cerca de 100 mil fraturas por ano associadas à osteoporose, especialmente nas mulheres. Por esta razão, as mulheres, a partir dos 40 anos de idade, são periodicamente submetidas a um exame denominado **DENSITOMETRIA ÓSSEA**, para avaliar o estado de seus esqueletos e estimar o risco de fraturas a que estão sujeitas. Neste exame, a **DENSIDADE** de alguns de seus ossos é comparada com um padrão normal obtido de pessoas da mesma idade.



A quantidade de osso presente em nosso esqueleto (massa óssea) depende de um processo contínuo de formação (osteogênese) e reabsorção (osteólise). Quando estes dois processos ficam equilibrados, o nosso esqueleto se renova, mas a massa óssea total se mantém constante. Contudo, quando um dos processos predomina, nossa massa óssea aumenta ou diminui.

Na **Figura 17.4**, você pode observar que, nos casos em que a perda de osso (reabsorção) supera a formação, como ocorre nas pessoas idosas, ocorrerá uma redução na quantidade de osso. O esqueleto torna-se mais frágil e elas ficam sujeitas a fraturas.

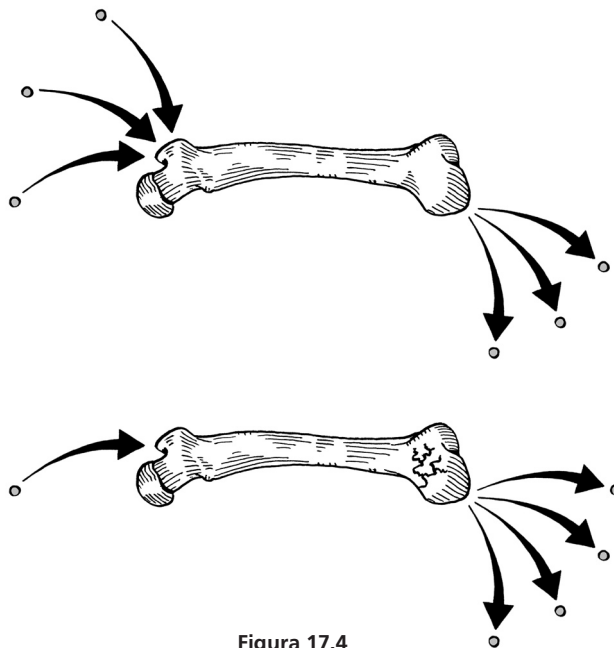


Figura 17.4

**ATIVIDADES**

3. Vamos considerar um experimento. Inicialmente, pegamos um osso de um animal morto e o fraturamos. Em seguida, o deixamos sobre a mesa por 30 dias, envolvido em um saco plástico para evitar a ação de insetos. Passado este tempo, você perceberá que nada foi modificado. Por que este osso fraturado não foi capaz de iniciar uma consolidação da fratura? O que aconteceria no período de 30 dias, se esta mesma fratura tivesse ocorrido em qualquer um de nós? Como você explicaria esta diferença no comportamento dos ossos?

RESPOSTA COMENTADA

Se você respondeu que os ossos de animais mortos não contêm mais células vivas e, por isso, não são mais capazes de repor as suas perdas ou restaurar lesões como as fraturas, você acertou. Muito bem! Neste caso, a fratura, provocada experimentalmente, continuará lá! Já os nossos ossos têm células vivas e com grande atividade metabólica. Assim, elas são capazes de consolidar a fratura e recuperar os ossos.

4. As pessoas, especialmente as do sexo feminino, após a terceira década de vida começam a apresentar uma redução no ritmo de osteogênese e, por volta da quarta década, sofrem, em maior ou menor grau, os efeitos da osteoporose. Considerando que por toda a vida elas são capazes de formar osso novo, por que razão esta perda de osso ocorre?

RESPOSTA COMENTADA

Como você já percebeu, o problema dos indivíduos com osteoporose não está na impossibilidade de realizar a osteogênese. Eles conseguem, por exemplo, consolidar as suas eventuais fraturas. O problema está no fato de que o ritmo de absorção de osso antigo (osteólise) supera o ritmo de reposição (osteogênese). O resultado desse desequilíbrio nos ritmos é uma perda progressiva de massa óssea que, em última análise, leva a um enfraquecimento do esqueleto, predispondo os indivíduos à ocorrência de fraturas.

COMO UMA ESTRUTURA LEVE COMO O OSSO PODE SER TÃO RESISTENTE?

Como é organizada a arquitetura dos ossos? Nossos ossos são maciços ou ocos? Por que razão uma estrutura relativamente leve pode resistir eficientemente às forças aplicadas, inclusive nos traumatismos? Para responder a estas questões, devemos olhar uma seção longitudinal de um osso longo de um indivíduo adulto, como o úmero ou o fêmur. Na **Figura 17.5**, identificamos as partes componentes de um osso e sua estrutura interna.

EPÍFISE

Nos ossos longos, corresponde às extremidades superior e inferior.

OSSO CORTICAL

Porção localizada na superfície dos ossos. Comumente chamado osso compacto.

OSSO ESPONJOSO

Porção localizada no interior dos ossos. Comumente chamado osso trabecular.

MEDULA ÓSSEA VERMELHA

Um tipo especializado de tecido conjuntivo (tecido mielóide) cuja função básica é produzir todos os tipos de células sanguíneas. Na criança, é encontrada no interior de todos os ossos, incluindo o canal medular. No adulto, está presente apenas nas áreas onde existe osso esponjoso, estando ausente, portanto, no canal medular.

HEMATOPOESE

Produção de células do sangue, na medula vermelha dos ossos, no interior dos ossos.

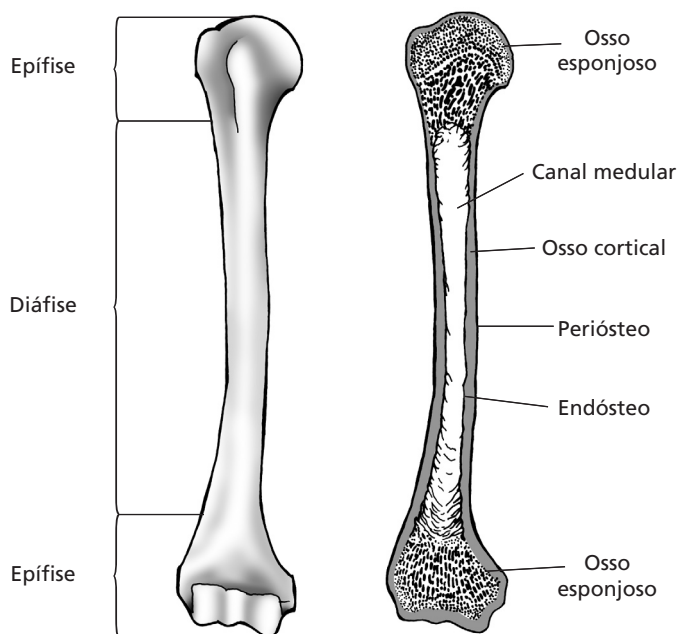


Figura 17.5

Assim, examinando um osso longo cortado longitudinalmente, podemos observar que ele apresenta duas estruturas básicas:

1. Em suas extremidades (**EPÍFISES**) observa-se uma delgada porção periférica compacta (**OSSO CORTICAL**) e, no interior, uma estrutura que lembra uma esponja de lavar louça (**OSSO ESPONJOSO**). Se examinássemos o osso esponjoso com uma lupa, veríamos que ele é composto por um grande número de lâminas (trabéculas) ósseas delgadas que se entrecruzam e se interligam, deixando pequenos espaços entre si. Daí vem o nome osso trabecular. Nestes espaços encontramos a **MEDULA ÓSSEA VERMELHA**, responsável pela produção das células sanguíneas (**HEMATOPOESE**);

2. Pode-se perceber que o corpo dos ossos longos (diáfise) é constituído por uma região cortical espessa. Em seu interior, no lugar de osso esponjoso, encontramos um canal oco, chamado **CANAL MEDULAR**. No adulto, este canal é ocupado por medula óssea amarela, de conteúdo gorduroso e sem atividade hematopoética. Cerca de 80% do esqueleto é composto por osso cortical e 20% por osso esponjoso. Portanto, o interior dos ossos não é maciço, mas relativamente oco, conferindo grande resistência às forças aplicadas.

CANAL MEDULAR

Canal encontrado exclusivamente no interior do corpo (diáfise) dos ossos longos e preenchido com medula óssea amarela (gordura), no adulto, e com medula óssea vermelha, na criança.

Examinando a **Figura 17.6**, podemos comparar a arquitetura do osso esponjoso às vigas metálicas da torre Eiffel. Comparando a resistência mecânica de ambas as estruturas, podemos entender como determinadas construções podem ser relativamente leves, com uma quantidade mínima de material. Para termos uma idéia mais clara sobre a importância de uma arquitetura trabecular, sabe-se que o osso é três vezes mais leve e 10 vezes mais flexível que o ferro fundido, mas com igual resistência. As pontes não são estruturas maciças, sendo compostas por vigas metálicas entrecruzadas que dissipam as forças aplicadas, não permitindo que elas se concentrem em um só ponto. Assim também funciona o osso esponjoso.

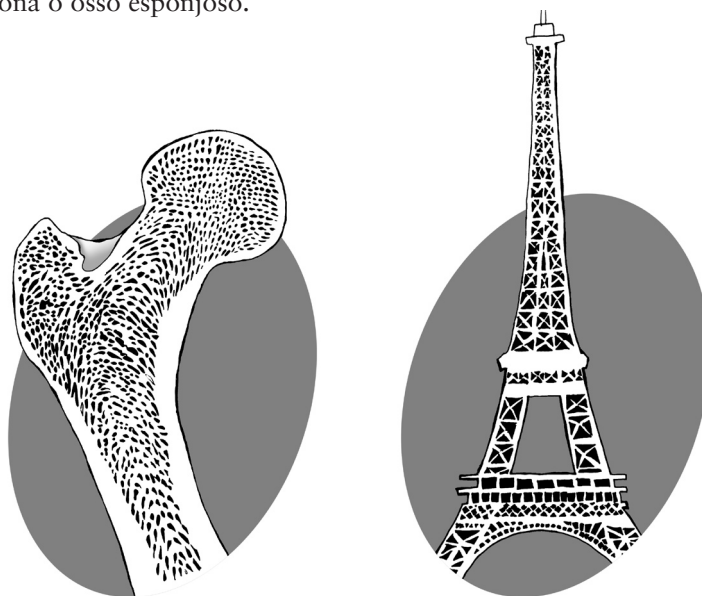


Figura 17.6

Na diáfise do osso longo, contudo, encontramos um outro tipo de organização: uma haste oca de paredes espessas, exatamente como na estrutura de um bambu ou dos postes de iluminação das ruas que, assim, suportam com grande eficiência as forças de inclinação. Por esta razão é que o bambu resiste ao vento forte do litoral, sem quebrar, e os pescadores sabem que os caniços (hastes ocas) envergam, mas não quebram com o peso do peixe.

Quando uma haste é submetida a uma inclinação, forças de grande intensidade são concentradas na sua periferia, ao passo que, na sua parte central, estas forças são praticamente nulas. Por esta razão, uma haste oca de paredes espessas é a estrutura mais adequada para resistir a esses tipos de força, como você pode ver na representação da **Figura 17.7**.

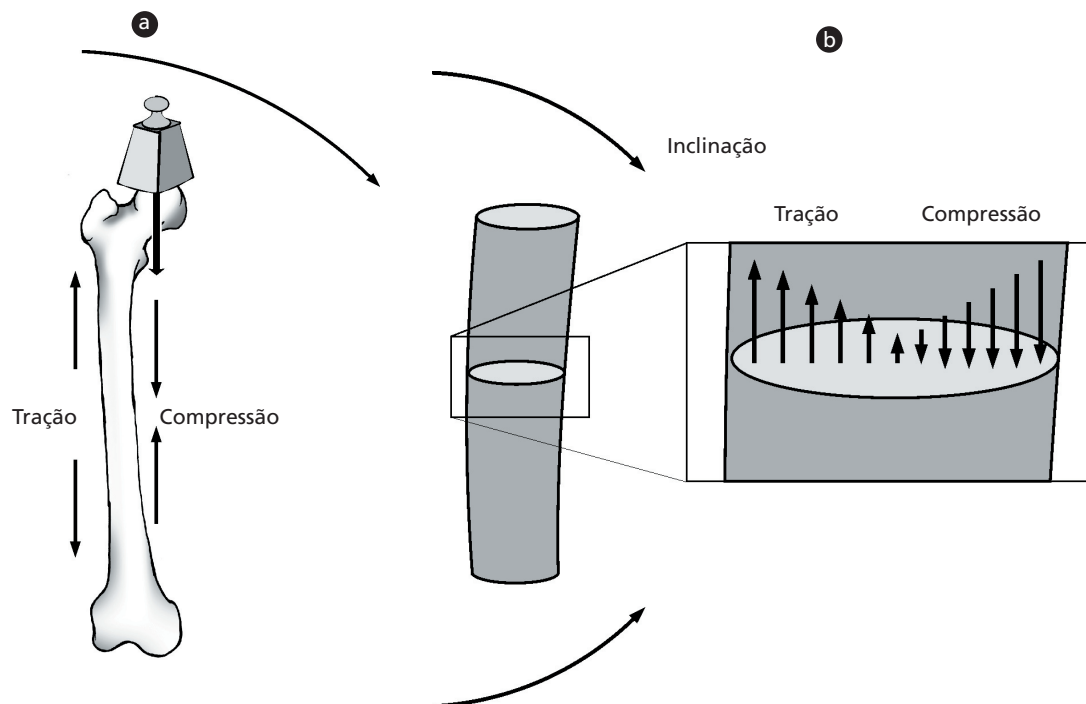


Figura 17.7.a: Fêmur humano submetido à ação de uma força normal que provoca a sua inclinação. Nesta inclinação haverá um efeito compressivo no lado côncavo e de tração no lado convexo.

Figura 17.7.b: Observe que as forças de compressão e de tração são máximas na periferia do osso (diáfise) e vão sendo reduzidas em direção ao centro do osso, onde se tornam nulas.



As estruturas esponjosa (trabecular) e compacta (cortical) dos ossos são igualmente eficientes ao conferirem resistência mecânica ao esqueleto.

Apesar de os ossos resistirem, com eficiência, às forças aplicadas sobre eles, podem sofrer fraturas por duas razões básicas: as forças aplicadas serem de grande intensidade e superarem esta resistência, como ocorre nos traumatismos, ou os ossos apresentarem algum tipo de doença prévia, como a osteoporose, e terem a sua resistência reduzida.



ATIVIDADE

5. Você seria capaz de estabelecer alguma semelhança entre a redução da quantidade de vigas da torre Eiffel, por desgaste de seu uso, e a diminuição do número de trabéculas do osso esponjoso, devido à osteoporose?

RESPOSTA COMENTADA

A redução do número de vigas ou de trabéculas traria as mesmas consequências, isto é, uma redução da resistência mecânica da estrutura. O resultado deste processo poderia ser a deformação estrutural ou a existência de fraturas. Assim, os engenheiros franceses fazem vistorias periódicas na torre e os médicos empregam a densitometria óssea para avaliar o sistema trabecular.

OS NOSSOS OSSOS SÃO EGOÍSTAS OU GENEROSOS?

Como os ossos são constituídos quimicamente? A reserva de material no interior dos ossos é para uso deles mesmos ou eles podem “socorrer” algum outro tecido mais necessitado?

Na **Figura 17.8**, podemos ver o intercâmbio de substâncias entre o osso e o sangue. O material existente nos ossos pode ser oferecido a outros tecidos, em situações de emergência. Da mesma forma, o tecido ósseo pode se recompor por meio do aporte de substâncias trazidas pelo sangue. Na **Figura 17.8**, podemos observar uma representação das trocas entre o osso e o sangue, necessárias tanto à atividade do esqueleto quanto às demandas do metabolismo do resto do organismo.

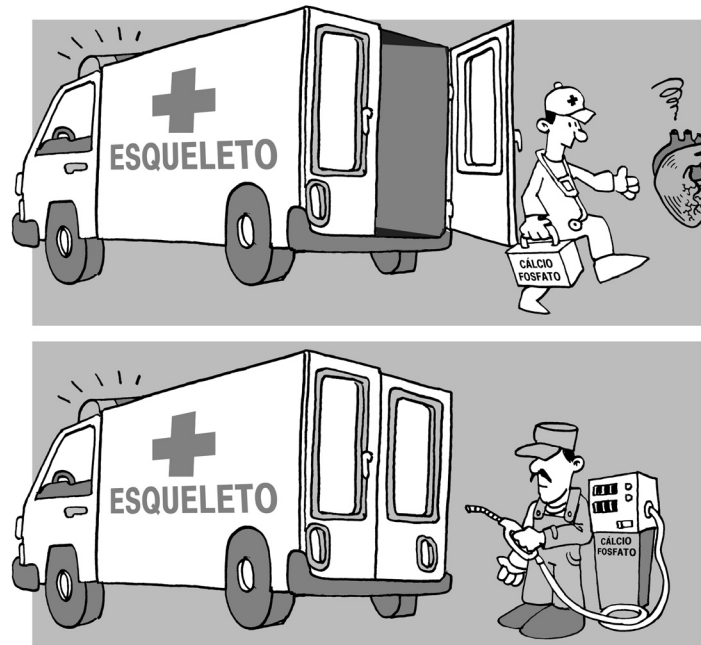


Figura 17.8

HIDROXIAPATITA

Cristais ricos em cálcio e fosfatos, além de outros elementos que constituem a porção mineral dos ossos.

RAQUITISMO

Condição observada em crianças nas quais, devido à redução da deposição de minerais nos ossos (especialmente o cálcio), observam-se alterações no esqueleto, que se manifestam pela presença de fraturas, deformidades e desvios no crescimento. Embora existam várias causas para esta doença, a principal é a desnutrição.

O tecido ósseo é constituído por substâncias minerais e orgânicas, essenciais para as suas funções. Tais substâncias representam uma importante reserva de material, que pode ser desviado para algum outro tecido, de acordo com as necessidades. Se uma pessoa, por exemplo, não recebe um aporte alimentar suficiente de cálcio ou de fosfato, correrá o risco de morrer. Neste caso, os sistemas de controle do organismo irão buscar o cálcio e os fosfatos nos ossos, para a manutenção da vida. Os ossos sofrerão a perda, mas a vida será mantida. Em valores médios, 30% de cada um dos nossos ossos são constituídos por material orgânico (proteínas, principalmente) e cerca de 70%, por mineral (cristais de **HIDROXIAPATITA**, ricos em cálcio e fosfato, dentre outros).

A combinação, em proporções adequadas, dos componentes minerais e orgânicos está diretamente relacionada à resistência mecânica do esqueleto.

Façamos uma experiência com um osso delgado e seco. Se colocarmos este osso em uma solução diluída de ácido forte, como o ácido nítrico a 10%, durante um curto período de tempo, o ácido removerá grande parte do conteúdo mineral, restando o componente orgânico. Este osso apresentará uma grande flexibilidade, permitindo que seja possível dar-se um nó em sua estrutura, como se fosse uma corda. Assim, a desmineralização produziu um osso muito deformável. Este modelo experimental pode explicar o que ocorre no **RAQUITISMO**.

Nesta situação, a criança apresentará uma redução do componente mineral dos ossos e mostrará graves deformidades no esqueleto, como o arqueamento das pernas.

Por outro lado, se colocarmos um fragmento de osso seco em um forno, ou diretamente no fogo, por um curto período de tempo (temperatura de 600°C), o componente orgânico (proteínas) será removido, e o osso vai se tornar quebradiço, assim como um biscoito crocante. A resistência óssea normal dependerá de uma certa proporção entre os dois componentes: mineral e orgânico.

Desta forma, pode-se perceber que a resistência do osso às forças aplicadas durante a vida dos indivíduos depende da sua composição química, da arquitetura interna e da densidade, isto é, da quantidade de material ósseo em um dado volume.

Por exemplo, a coluna vertebral humana, nos indivíduos jovens, pode suportar, sem quebrar, uma força de quase uma tonelada, e grande parte desta resistência está relacionada às características de seus ossos (vértebras). Contudo, em pessoas idosas, as vértebras podem quebrar apenas com o peso corporal aplicado sobre elas, pois, neste caso, com o passar do tempo, ocorreu uma expressiva perda de massa óssea e os ossos se tornaram mecanicamente ineficientes.



O tecido ósseo representa uma reserva de material orgânico e mineral que o organismo pode utilizar em casos de emergência. Assim, por toda a vida das pessoas, ocorrem trocas de material entre o osso e o sangue.

ATIVIDADES



6. Considerando as perdas que ocorrem nos ossos pela ação das altas temperaturas, o que acontece quando o corpo de uma pessoa é cremado, em relação ao material perdido? De que tipo de material são constituídas as cinzas que sobram? Se pesássemos um osso antes e depois de cremá-lo, que tipo de relação poderíamos estabelecer, a respeito do que se perdeu e do que se manteve?

RESPOSTA COMENTADA

As cinzas obtidas da cremação de corpos são constituídas de minerais. Como você estudou no texto, o calor remove o componente orgânico e, em especial, as proteínas. Se pesássemos o osso antes e depois da cremação, poderíamos definir os valores percentuais entre os dois componentes: orgânico e mineral.

7. Arqueólogos encontraram uma grande quantidade de ossos humanos no deserto de Atacama, no Chile. Os ossos mostraram excelente estado de conservação e eram de uma população que viveu naquela região entre 100 e 900 anos d.C. Uma das razões atribuídas para a boa preservação do material é o terreno altamente alcalino. Como você relaciona este dado com o experimento do osso submetido a altas temperaturas?

RESPOSTA COMENTADA

Como vimos, o aumento de acidez provoca a perda de grande parte do componente mineral e altera as propriedades físicas dos ossos, bem como o grau de preservação. Em contrapartida, o terreno alcalino preserva estes minerais, e os ossos se tornam mais resistentes às perdas após a morte, mesmo após muitos séculos do sepultamento, como ocorreu em San Pedro de Atacama, no Chile. Ossos exumados de sepultamentos antigos são, em geral, quebradiços, pela perda do componente orgânico (proteínas). Isso significa que, mesmo se eles mantivessem parte do seu componente mineral, em ambientes alcalinos não seriam capazes de manter sua resistência mecânica original.

A RESPEITO DO CRESCIMENTO E DO DESENVOLVIMENTO DOS OSSOS

Ao examinar radiografias da mão de uma criança e de um adulto, você verá, no adulto, oito pequenos ossos no **CARPO**, que não aparecem inteiramente no carpo da criança. Por que esta diferença? Isto se deve ao fato de que, na mão da criança, aqueles oito ossos do carpo ainda são placas de cartilagem não mineralizadas e, por isso, não aparecem nas radiografias. No adulto, estes ossos podem ser observados como imagens brancas. Logo, a relação material mineral/orgânico no esqueleto da criança é menor que no adulto. A criança ainda está com o esqueleto em formação.

CARPO

Região da mão situada próximo ao punho.

A formação e o desenvolvimento do esqueleto, bem como a manutenção de sua resistência mecânica dependem da interação dos fatores constitutivos (genético, hormonal) e ambientais (adquirido). Embora a organização do osso envolva, em última análise, a ação conjunta destes fatores, a expressão de uma determinada característica pode revelar um predomínio constitutivo ou ambiental. As dimensões dos ossos longos de determinados grupos humanos, por exemplo, podem ser o resultado da atuação de um fator genético (herança) ou do ambiente (estado nutricional, atividade física).



Embora o crescimento dos ossos seja completado por volta dos 20 anos de idade, o esqueleto continuará sendo modificado por toda a vida. Em outras palavras, mesmo após o término da fase de crescimento do nosso esqueleto, os ossos continuam a ser modificados, podendo sofrer alterações em sua estrutura e composição química, como vimos ocorrer, por exemplo, na osteoporose.

DOENÇAS GENÉTICAS

Produzidas por herança parental e transmitidas por meio dos genes.

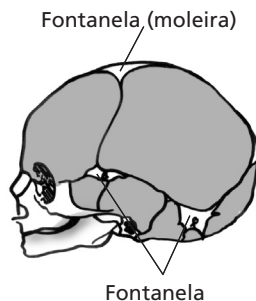
ACONDROPLASIA

Doença genética – autossômica dominante – caracterizada por redução no crescimento dos ossos longos dos membros, por distúrbios na ossificação cartilaginosa. Estima-se que surja um caso a cada 25 mil nascimentos.

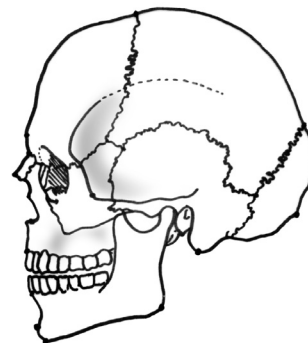
Quando as crianças apresentam alterações no seu crescimento ósseo, o problema pode estar nos fatores genéticos ou nos fatores ambientais. **DOENÇAS GENÉTICAS**, como a **ACONDROPLASIA**, podem provocar distúrbios no crescimento, ou, ainda, pode haver algum distúrbio hormonal, como a doença em alguma glândula endócrina. Fatores do ambiente, como a desnutrição e a falta de exposição à luz solar, também podem afetar o crescimento das crianças.

Você pode observar na **Figura 17.9**, algumas particularidades do crescimento dos ossos longos dos membros e dos ossos planos do crânio. Embora estes ossos cresçam por mecanismos diferentes, podem funcionar como indicadores biológicos do desenvolvimento da criança.

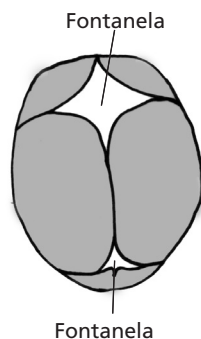
a



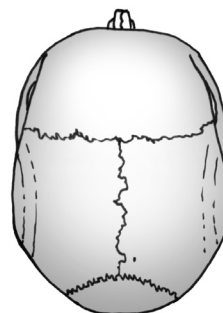
Vista lateral esquerda de um crânio de um recém-nascido



Vista lateral esquerda de um crânio de um adulto



Vista superior de um crânio de um recém-nascido



Vista superior de um crânio de um adulto

No caso dos humanos, o dimorfismo sexual não é tão acentuado assim e pode ficar bem complicado se considerarmos o diagnóstico de sexo a partir dos seus esqueletos. Afirmar que determinados ossos pertenceram a um homem ou a uma mulher torna-se uma tarefa difícil, mesmo para os especialistas, exigindo, antes de tudo, um olhar bem treinado.

Os locais do esqueleto humano nos quais o dimorfismo sexual é mais bem caracterizado são a bacia e o crânio. Nestes locais, as diferenças genéticas entre homens e mulheres são mais bem definidas. A influência genética deve ser distinguida da ação ambiental. Por este motivo, o crânio e a bacia são preferidos neste diagnóstico, pois ficam praticamente isentos da ação da atividade física. A formação dos ossos, nestas regiões, é predominada pela herança genética. As diferenças nos úmeros ou nos fêmures dependeriam do tipo de atividade física que o indivíduo, de qualquer dos sexos, exerceu em vida e, nesses casos, a influência genética ficaria mascarada.

A estimativa de idade e de sexo em material ósseo é particularmente importante em áreas como a Paleoantropologia (estudo do homem do passado) e a Antropologia Forense (área criminal). Atualmente, estes campos de investigação têm empregado recursos da genética na análise de esqueletos, mesmo antigos, por meio de técnicas que envolvem a análise de fragmentos de DNA.

Devido a diferenças genéticas, os homens são, em média, mais altos e robustos do que as mulheres. Esta diferença sexual pode desaparecer em populações cronicamente desnutridas. De alguma forma, a desnutrição afeta mais os homens do que as mulheres e, assim, os ritmos de crescimento ficam mais homogêneos.

ATIVIDADES



8. Um médico pediatra examina cuidadosamente um menino desnutrido, com cinco anos de idade, cujo crescimento encontra-se retardado. Além de medir a altura da criança, ele solicitou radiografias das mãos e dos pés para uma análise mais completa. Qual a relação entre a desnutrição e a altura da criança? O que o médico pretende observar nas radiografias de mãos e pés? Que outras causas poderiam ser relacionadas às reduções nas taxas de crescimento de uma criança, além da carência alimentar?

RESPOSTA COMENTADA

A desnutrição afeta o crescimento dos ossos, que depende de um aporte nutricional de proteínas, minerais e calorias. Os ossos que influenciam a altura das crianças são os dos membros inferiores e do tronco. Como, neste caso, está ocorrendo um retardo no crescimento, espera-se que a altura da criança seja afetada. Nas radiografias de mãos e pés, o médico poderá observar as imagens dos discos de crescimento e os ossos que estão em fase de ossificação, comparando esse aspecto da criança com os padrões normais. Para isto, o médico compara as imagens das radiografias das mãos e pés da criança com padrões radiográficos internacionais de crianças do mesmo sexo e idade. O retardo de crescimento pode ocorrer, também, em doenças genéticas, por problemas hormonais e pela falta de exposição ao sol, por exemplo.

9. Como já foi divulgado pela mídia, arqueólogos batizaram de Luzia o esqueleto de um indivíduo encontrado na região arqueológica de Lagoa Santa, MG. Luzia teria vivido naquela região há cerca de dez mil anos. A suspeita de que fosse do sexo feminino baseou-se em uma análise do crânio, pois os ossos da bacia não foram encontrados. Como você estudou no texto, a preferência por esses locais para a estimativa de sexo baseou-se no fato de que tais áreas são pouco influenciadas pela ação do ambiente. Em que região do esqueleto dos homens e mulheres de Lagoa Santa você esperaria encontrar marcas de atividades cotidianas como, por exemplo, o hábito de jogar lanças ou flechas?

RESPOSTA COMENTADA

As características morfológicas da bacia e do crânio, que são usadas na estimativa de sexo, são influenciadas por diferenças genéticas entre homens e mulheres, tendo pouca ou nenhuma influência do ambiente. Por outro lado, as atividades de arremessar lanças e flechas poderiam ser analisadas nos graus de desenvolvimento dos ossos do membro superior, como o úmero, o rádio e a ulna, por exemplo.

A FORMA DOS NOSSOS OSSOS É UM PRODUTO DO DESTINO?

Esta é uma questão aberta e polêmica ainda hoje. Como vimos, a forma e o desempenho do esqueleto são uma justaposição de dois fatores: o genético e o ambiental. Vamos examiná-los!

NOSSA HERANÇA GENÉTICA E NOSSOS OSSOS

A respeito da herança genética, sabe-se que há uma relação entre a estatura dos pais e dos filhos. Pergunte a um jovem muito alto de quem ele herdou esta estatura. Ainda que não se saiba quantos genes estariam envolvidos em uma simples determinação de estatura, suspeita-se que existam inúmeros. Uma alteração em um único gene, contudo, pode ocasionar profundas mudanças no crescimento do indivíduo. A acondroplasia, doença genética transmitida por uma determinada alteração cromossômica, provoca sérias modificações na ossificação cartilaginosa, afetando o crescimento, sobretudo dos ossos longos dos membros. Ocorre um caso de acondroplasia em 25 mil nascimentos.

As diferenças entre as características esqueléticas das populações podem depender da influência genética e expressar, assim, um elevado grau de herança. Os dincas, um povo que habita o Sudão (Nordeste da África), são extremamente altos; os pigmeus, da República do Congo, são muito baixos. Tais características são preservadas pelo elevado grau de endogamia presente em tais grupos, devido ao seu isolamento cultural, uma vez que não existe mais um absoluto isolamento geográfico, nestes casos. No entanto, devemos ter muito cuidado nestas observações, já que, freqüentemente, as diferenças populacionais devem-se muito mais a fatores ambientais, como dieta e diferenças culturais, do que à genética. Além disto, diante da grande mistura genética em populações atuais, podemos observar um aumento progressivo da variabilidade na morfologia dos ossos.



O aumento da troca de genes entre populações diferentes, como ocorre atualmente, vai provocando, ao longo do tempo, um aumento da variabilidade na forma e nas dimensões dos ossos.

Para que a formação óssea seja correta, é necessário que as células sintetizem proteínas, para a formação do colágeno do tecido ósseo, por exemplo. A síntese de proteínas depende da expressão do genoma destas células e, em caso de problemas genéticos, podem ocorrer erros nas proteínas formadas, produzindo profundas alterações no esqueleto.



ATIVIDADE

10. Imagine um grupo de indivíduos vivendo isolado em algum lugar distante da África ou da Amazônia. Por razões culturais, somente cruzam entre si (endogamia) e não fazem qualquer distinção de classe social, ou seja, as tarefas e as atividades diárias são desempenhadas igualmente por todos os indivíduos. Decorridos alguns milhares de anos, o que você acha que ocorreria com as diferenças na forma e nas dimensões dos ossos dos esqueletos destes indivíduos? Qual a relação entre o isolamento reprodutivo e as diferenças na morfologia dos ossos nestes grupos? Por que razão foi necessário considerar, nesta questão, a variável “sem distinção de classe social”?

RESPOSTA COMENTADA

O isolamento geográfico e/ou cultural possibilita a troca de genes exclusivamente dentro do grupo, fazendo com que determinadas características comuns se repitam. Desta maneira, esperamos que a forma e as dimensões dos ossos não variem muito, isto é, exista uma homogeneidade fenotípica. É indispensável que, dentre as características culturais desta população, esteja a igualdade de tratamento dos indivíduos; caso contrário alguns membros poderão apresentar alguma atividade física específica ou ter acesso a uma qualidade de vida melhor do que a de outros e, daí, aparecerão diferenças no desenvolvimento dos ossos. Este tipo de estudo mostra a influência do fator genético na morfologia e no crescimento dos ossos. Por esta razão é que todos os estudos a respeito dos ossos, comparando populações humanas, não podem desconsiderar as possíveis diferenças genéticas entre elas.

COMO OS NOSSOS HORMÔNIOS INFLUENCIAM OS OSSOS?

As glândulas endócrinas influenciam o crescimento e o desenvolvimento do esqueleto. Os hormônios atuam de forma intensa sobre o metabolismo mineral, orgânico e energético, promovendo uma série de efeitos sobre os mecanismos de osteogênese e osteólise, desde os primórdios da morfogênese até a vida adulta.

A hipófise, por exemplo, influencia o desenvolvimento ósseo de maneira direta ou indireta. O hormônio somatotrófico ou do crescimento (GH), por exemplo, controla o aumento generalizado dos tecidos corporais. Ele é indispensável na proliferação das células cartilaginosas das placas epifisárias dos ossos longos. O aumento ou a diminuição na secreção deste hormônio provoca desvios no crescimento conhecidos como gigantismo, acromegalia e nanismo. Os pigmeus da África Central, apesar de apresentarem uma secreção normal do hormônio do crescimento, têm baixa estatura em razão da ausência (fator genético) de resposta dos diversos tecidos ao hormônio.

As glândulas tireóide, paratireóides, adrenais, as gônadas e o pâncreas influenciam o crescimento, a composição química e a estrutura dos nossos ossos. Por esta razão, os distúrbios destas glândulas ou o uso de hormônios, na forma de medicamentos, podem provocar profundas deformidades nos ossos e comprometer a qualidade do esqueleto.

Um exemplo desse efeito hormonal pode ser observado nas pessoas que fazem uso prolongado de cortisona, um medicamento com ação análoga aos hormônios da glândula adrenal (cortisol). Embora tenha excelentes ações sobre um grande número de doenças, o emprego da cortisona em tratamentos prolongados deve ser acompanhado pelos médicos por causa do seu efeito sobre a osteoporose.



Os hormônios atuam de variadas formas sobre o esqueleto mantendo a sua estrutura normal e promovendo o seu crescimento e desenvolvimento. Em condições normais, a influência dos hormônios constitui-se em um fator genético. Contudo, a ação hormonal sobre os ossos pode sofrer a ação do ambiente, como ocorre nas adaptações à vida na altitude ou no frio extremo, no caso de doenças adquiridas das glândulas endócrinas, como vimos no caso do gigantismo de origem hipofisária. O uso prolongado de hormônios, por via oral ou injetável, pode produzir alterações no esqueleto e, neste caso, não se trata de fator genético.

**ATIVIDADE**

11. A respeito da ação de hormônios sobre o crescimento e a densidade óssea, analise o fato de que as mulheres, a partir da quarta década de vida, quando acometidas pela osteoporose, serem aconselhadas pelos seus médicos a realizar uma terapia de reposição hormonal, passando a ingerir doses diárias de estrogênio. Qual o efeito do estrogênio sobre a quantidade de osso? Por que estas mulheres começam a apresentar osteoporose? O que a terapia de reposição realmente faz?

RESPOSTA COMENTADA

O estrogênio estimula a osteogênese, isto é, estimula a produção de osso novo. Na quarta década de vida, as mulheres começam a apresentar uma redução da atividade ovariana, que causa uma diminuição progressiva da produção de estrogênio. Assim, começam a desenvolver osteoporose, uma vez que a produção de osso novo é superada pela reabsorção de osso preexistente. Por isto, os médicos recomendam, em muitos casos, a ingestão de estrogênio (medicamentos) em doses diárias, para compensar o quadro. Atualmente, são empregadas substâncias análogas ao estrogênio com ação exclusiva sobre o osso, sem os efeitos colaterais do próprio estrogênio. A osteoporose, neste caso, é um fator genético, pois a redução da atividade ovariana ocorre em todas as mulheres. Contudo, o uso de medicamentos à base de estrogênio introduz um fator ambiental na tentativa de recuperar a qualidade do osso nessas mulheres.

PODEMOS USAR OS OSSOS COMO INDICADORES DE QUALIDADE DE VIDA?

O estado nutricional do organismo é condição básica para a integridade do desenvolvimento esquelético. As situações de carência alimentar, entre outras consequências, provocam um retardo do crescimento e prejudicam a estrutura óssea. Nos adultos, embora o crescimento já tenha sido completado, a qualidade dos ossos fica profundamente comprometida. A ingestão de alimentos adequados é essencial para a formação e o desenvolvimento dos ossos. Assim, a redução na estatura das crianças é um valioso indicador de desnutrição crônica, ao passo que o baixo peso pode indicar uma carência alimentar mais aguda. Por esta razão é que nos estudos populacionais, os pesquisadores medem e pesam as crianças, além de investigar a renda de suas famílias e seus hábitos de vida.

Certas substâncias são fundamentais no crescimento: o iodo (síntese de hormônios tireoidianos); o cálcio, o fósforo, o magnésio e o manganês (mineralização óssea); o ferro (produção de hemoglobina) e o flúor (síntese do esmalte dentário).

A vitamina A estimula a reabsorção óssea. A carência desta vitamina produz espessamento ósseo, e orifícios existentes nos ossos tornam-se desproporcionalmente pequenos, principalmente no crânio.

A vitamina C é necessária à síntese de colágeno. Sua carência produz malformação cartilaginosa, de tal modo que o crescimento das placas epifisárias torna-se retardado ou distorcido. Contudo, é necessário um período prolongado de privação de vitamina C para que os sinais da avitaminose ocorram.

A vitamina D é essencial na absorção do cálcio proveniente da alimentação no intestino. Pode ser obtida por meio de alimentos ou de medicamentos. Uma fonte importante de vitamina D é a ação dos raios ultravioleta do sol sobre a pele, a partir da qual ocorre a sua ativação. Indivíduos, especialmente crianças, que não recebem doses diárias suficientes de sol podem desenvolver quadro de raquitismo.

Os aminoácidos, provenientes da degradação protéica, desempenham papel estrutural (colágeno) e constituem a base para a síntese de enzimas. Os lipídios e glicídios, além de participarem da construção da própria estrutura do organismo (papel plástico), garantem o substrato calórico às reações bioquímicas.



O crescimento do esqueleto sofre grande influência da qualidade e quantidade da nossa alimentação. Assim, a medida da estatura das crianças pode se constituir em valiosa informação a respeito do seu estado nutricional.

A vitamina D é parcialmente ativada na pele por meio da ação dos raios ultravioleta do sol. Em seguida, sofre novas ativações no fígado e nos rins para a sua ação final. Esta vitamina também pode ser obtida dos alimentos ou por meio da administração de medicamentos.



ATIVIDADE

12. Nos países e territórios do hemisfério Norte próximos do Círculo Polar Ártico – como o Alasca, o Canadá, o norte dos Estados Unidos, a Inglaterra, a Rússia etc. – o inverno é muito prolongado e a dose diária de sol é pequena. Surge, então, um problema de saúde pública nestas áreas. Caracterize bem a relação entre a radiação solar e a qualidade do esqueleto. Suponha que você é o Ministro da Saúde de um desses países. Que medidas você acha que poderia adotar para reduzir os efeitos da falta de exposição à luz solar efetiva, especialmente durante o inverno? Por que os Ministros da Saúde dos países do hemisfério Sul, como o Brasil, não têm esse tipo de preocupação, relacionado à ativação da vitamina D?

RESPOSTA COMENTADA

Os raios ultravioleta do sol, agindo na pele, iniciam o processo de ativação da vitamina D cutânea que, ao final de um complexo processo bioquímico, obtém sua ativação e permite que o cálcio da dieta seja absorvido, no tubo digestivo para ser incorporado ao osso. Na ausência desta vitamina, o cálcio alimentar não será absorvido, e o organismo será privado deste nutriente. Os ossos ficarão pouco mineralizados e enfraquecidos, como já vimos. Por isto, temos de expor a nossa pele a uma dose diária mínima de luz solar. E, sem dúvida, você, caro ministro, teria oferecido aos habitantes do seu país uma dose suplementar de vitamina D, por meio de medicamentos ou de alimentos ricos nesta vitamina.

Você também poderia expor as crianças a doses regulares e controladas de raios ultravioleta em um laboratório, da mesma forma que as mulheres fazem quando querem obter um bronzamento artificial. Em países como o nosso, a exposição solar é adequada, mesmo nos meses de inverno; assim, esse problema não nos afeta diretamente. Você poderá observar, pelas manhãs, as mães ou as babás conduzindo os bebês para um belo banho diário de sol nas pracinhas. Assim, podemos entender que a ausência da radiação solar adequada ou qualquer das soluções encontradas na solução do problema mostra, mais uma vez, a ação do ambiente sobre o esqueleto.

ALTERAMOS O NOSSO ESQUELETO APLICANDO FORÇAS NOS OSSOS?

JULIUS WOLFF (1836-1902)

Anatomista alemão, estabeleceu, em 1892, a denominada lei do osso (lei de Wolff), cujo fundamento é: “Um osso, normal ou anormal, desenvolve a estrutura mais adequada para resistir às forças que atuam sobre ele”.

ANTROPOLOGIA BIOLÓGICA

Estudo do Homem com um enfoque biológico. Comumente, estes estudos se estendem a outros primatas não-humanos.

PLASTICIDADE

É a propriedade pela qual os tecidos vivos podem sofrer modificações em sua forma ou estrutura diante da ação de diversos fatores do ambiente.

A partir dos trabalhos de **WOLFF**, anatomista alemão, publicados no final do século XIX, a participação das forças mecânicas na determinação da forma dos ossos e na manutenção do esqueleto normal é cada vez mais estudada. As forças aplicadas pela gravidade, pela contração muscular, pelas tensões de tendões e de ligamentos e os efeitos compressivos dos órgãos/tecidos vizinhos em crescimento agem sobre o esqueleto com grande influência sobre a sua morfologia. Em contrapartida, a ausência da ação normal destas forças, como ocorre na imobilização prolongada, nas paralisias ou nas longas viagens espaciais, pode provocar uma redução na massa óssea e comprometer a função esquelética.

Estes princípios do uso de forças mecânicas na modificação dos ossos podem ser mais bem entendidos em determinadas situações, como podemos observar em **ANTROPOLOGIA BIOLÓGICA**, nas quais deformações cranianas eram produzidas em grupos humanos no passado, quando placas de madeira eram aplicadas na cabeça de crianças, desde o nascimento, para modelar o seu crânio, em um viés cultural. Esta deformação craniana intencionalmente produzida foi uma prática que pode ser traduzida como um processo de estabelecimento de identidades ou de estratificação social. Da mesma forma, o uso de aparelhos em ortodontia e em ortopedia produz mudanças na forma dos ossos, com maior eficiência se aplicados em crianças. Estas modificações que ocorrem no esqueleto, durante a vida do indivíduo, devido à ação de fatores ambientais, como a atividade física, são denominadas **PLASTICIDADE**. Assim, a forma do nosso esqueleto é influenciada, em grande parte, pela nossa cultura.



O esqueleto vivo responde à lei de Wolff. Assim, os ossos podem ser hipertrofiados ou atrofiados pela presença ou ausência da ação de forças, respectivamente.

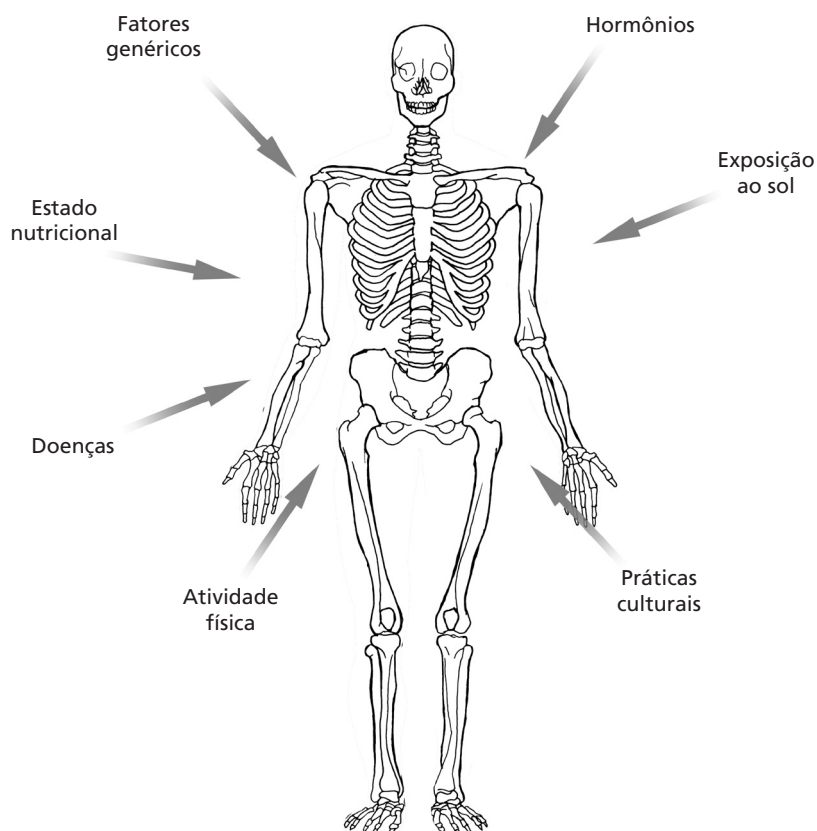


Figura 17.10

ATIVIDADE

13. Você já deve ter visto algum adulto ou criança com um aparelho dentário. Eles usam este incômodo aparelho para corrigir alguma deformação de alinhamento em suas arcadas dentárias. Entenda-se como arcada dentária o conjunto formado pelos dentes e os ossos (maxila e mandíbula). Sabendo-se que a forma dos dentes não se altera com as pressões aplicadas, como os aparelhos ortodônticos podem corrigir o alinhamento dentário? Por que razão os efeitos são mais eficazes quando o aparelho é aplicado na criança?

RESPOSTA COMENTADA

O aparelho é constituído de metais, plásticos e elásticos e, assim, provoca algum tipo de força nos dentes. Como os dentes estão articulados aos ossos da face, esta força é transferida aos ossos, que vão se modificando. Ocorre produção de osso em algum local e reabsorção em outro, e o efeito final é a modificação da forma das arcadas ósseas – no nível dos ossos – que permite o alinhamento dos dentes. Na criança, além do fato de estes processos de modificação óssea serem mais rápidos e seguros, elas ainda apresentam os discos de crescimento em atividade e, dessa forma, as modificações podem ser mais amplas e eficazes. Estes exemplos nos mostram que os ossos são dotados de grande plasticidade, isto é, são capazes de suportar alterações em sua estrutura sob a ação de variados fatores, como, nesse caso, as forças mecânicas. Trata-se, portanto, de mais um exemplo, dentre tantos, da ação de fatores do ambiente sobre a morfologia do esqueleto.

AS PESSOAS DE PELE NEGRA TÊM OSSOS MAIS FORTES QUE AS DE PELE BRANCA?

Quantas vezes você se deparou com as seguintes questões:

1. Os indivíduos da “raça negra” têm os ossos mais densos do que os indivíduos da “raça branca”;
2. Os “brancos” mostram melhor desempenho na natação do que os “negros”, devido às diferenças em suas massas ósseas;
3. No exame de densitometria óssea, existe uma tabela de valores normais para “negros” e outra para “brancos”.

Qual o real significado de tudo isso? Muito simples: o total desconhecimento sobre a genética. Em primeiro lugar, não podemos mais considerar o conceito de raça, entre os humanos, uma vez que a genética de populações tem mostrado que este conceito perdeu o significado biológico. O fluxo genético que experimentamos em nossa formação produziu tal mistura de genes que se torna impossível distinguir um grupo do outro. Além do mais, a massa óssea é um fenótipo que sofre uma expressiva ação do ambiente e, por este motivo, não se presta como um marcador racial. Neste contexto, o bom desempenho de atletas em determinadas atividades esportivas não pode ser explicado por uma característica biológica específica, mas pelo produto de um número significativo de variáveis, incluindo os aspectos sociais e culturais. Resumindo, para alguém se tornar um campeão na natação, deve começar a nadar já!



A quantidade de osso em nosso esqueleto é um fenótipo que sofre uma expressiva ação de fatores do ambiente (sol, atividade física, estado nutricional); portanto, não se presta como um marcador racial. O sistema ABO de tipo sanguíneo, por exemplo, é empregado como marcador populacional, pois é um fenótipo que não pode ser modificado pelo ambiente, sendo fruto da transmissão gênica.

CONCLUSÃO

Devemos entender os ossos como elementos vivos que sofrem constantes modificações durante as nossas vidas. Assim, podemos considerar que os ossos podem se constituir como verdadeiras testemunhas do nosso passado. Grande parte de informações a respeito de como vivemos, como nos alimentamos, como nos relacionamos e como morremos fica registrada em nossos ossos e dentes, e estes dados podem ser analisados, muitos anos depois, por arqueólogos para caracterizar determinados períodos de nossa história, compondo a chamada osteobiografia, que pode ser definida como o levantamento de dados biográficos dos indivíduos a partir de uma análise criteriosa do seu esqueleto.

Finalmente, para obtermos um conhecimento mais completo dos nossos ossos e de nossos ancestrais, devemos incorporar a idéia da interdisciplinaridade, pois somente com a união de anatomistas, biólogos celulares e moleculares, geneticistas, médicos, arqueólogos, historiadores e geólogos, dentre outros, é que se tornará possível entender um pouco mais o nosso esqueleto.

ATIVIDADES FINAIS

1. Quais as atividades do nosso cotidiano que dependem de uma perfeita estrutura do nosso esqueleto?

RESPOSTA COMENTADA

Além de serem importantes para os movimentos corporais – como andar, correr, sentar, mover mãos e pés –, os nossos ossos são importantes para proteger nossos órgãos internos (encéfalo, medula espinhal, coração, rins). São também peças essenciais em atividade, como a entrada e saída de ar dos pulmões, a mastigação e a deglutição dos alimentos, os atos da micção, da defecação e do trabalho de parto, além do piscar das pálpebras, dos movimentos oculares e das diversas formas de expressão facial que experimentamos com nossas emoções.

2. Que características devem ter os nossos ossos para resistir às fraturas e às deformações?

RESPOSTA COMENTADA

Para resistir à ação de forças de qualquer natureza, sem quebrar ou sofrer deformidades, os nossos ossos contam com três elementos básicos em sua constituição: a composição química (material mineral e orgânico em proporções adequadas), a arquitetura anatômica (osso esponjoso e osso cortical) e a densidade (quantidade de osso em um determinado volume). Qualquer alteração em um ou mais destes componentes poderá deixar o esqueleto, ou algum osso especificamente, predisposto a sofrer fraturas ou deformidades.

3. Ao lado de uma importante influência genética, que fatores do ambiente agem nas modificações da morfologia dos nossos ossos?

RESPOSTA COMENTADA

O ambiente influencia a morfologia do esqueleto de várias maneiras: a atividade física do nosso dia-a-dia, a qualidade da nossa dieta, a quantidade de sol que recebemos no ambiente em que vivemos, a pressão de oxigênio ambiental, o uso rotineiro de algum medicamento, como a cortisona ou os anabolizantes e, é claro, a existência de alguma doença que não seja genética, isto é, que foi contraída durante as fases embrionária, fetal (congenita) ou após o nascimento.

RESUMO

O sistema esquelético mostra uma interação direta com os outros sistemas do organismo. A forma dos nossos ossos é o resultado da interação de dois fatores: genético e ambiental. Assim, a forma do esqueleto depende tanto da herança que temos como do ambiente em que vivemos, do nosso estilo e qualidade de vida. Além de ter a função mecânica de resistir à ação de forças variadas, os ossos constituem uma importante reserva de material orgânico e mineral que o organismo necessita para suas atividades.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, estudaremos com você um outro importante componente do sistema locomotor: os músculos. Os ossos se reúnem nas articulações e o esqueleto, assim articulado, é movimentado por grupos de músculos denominados esqueléticos, que examinaremos em seguida. Até lá!

Uma galinha não voa sobre o abismo. A dinâmica de nossos músculos

AULA 18

Meta da aula

Apresentar a participação dos músculos estriados esqueléticos nas atividades humanas.

objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz:

- Definir a participação dos diferentes tipos de músculos no organismo humano.
- Identificar os atos voluntários e involuntários nas ações motoras humanas.
- Caracterizar organização morfológica dos músculos estriados esqueléticos.
- Resumir a influência do sistema nervoso, a estrutura e a função dos músculos estriados esqueléticos.
- Descrever a influência dos demais sistemas orgânicos sobre a atividade muscular.

Pré-requisito

Para um perfeito acompanhamento desta aula, você deverá rever a Aula 16 (outras aulas?), sobre a anatomia do sistema esquelético, uma vez que os ossos serão os elementos movimentados pela atividade dos músculos.

INTRODUÇÃO

OS ESQUELETOS PERSEGUINDO PESSOAS

Na Aula 17, vimos que os ossos são movimentados nas articulações, para que possamos realizar uma série de atividades no nosso dia-a-dia.

No cinema, podemos usar algum recurso de animação para que os esqueletos persigam as pessoas pelas ruas escuras. Mas os ossos não podem se movimentar sozinhos e, assim, alguma força ativa precisa movê-los. Tenho certeza de que você já percebeu que esta função de movimentar os ossos cabe aos músculos esqueléticos. Como podemos observar as atividades dos músculos em nosso corpo?

Na **Figura 18.1**, podemos observar a disposição de grande parte dos músculos esqueléticos do nosso corpo. Os movimentos que realizamos em nosso dia-a-dia dependem da ação combinada de vários deles.

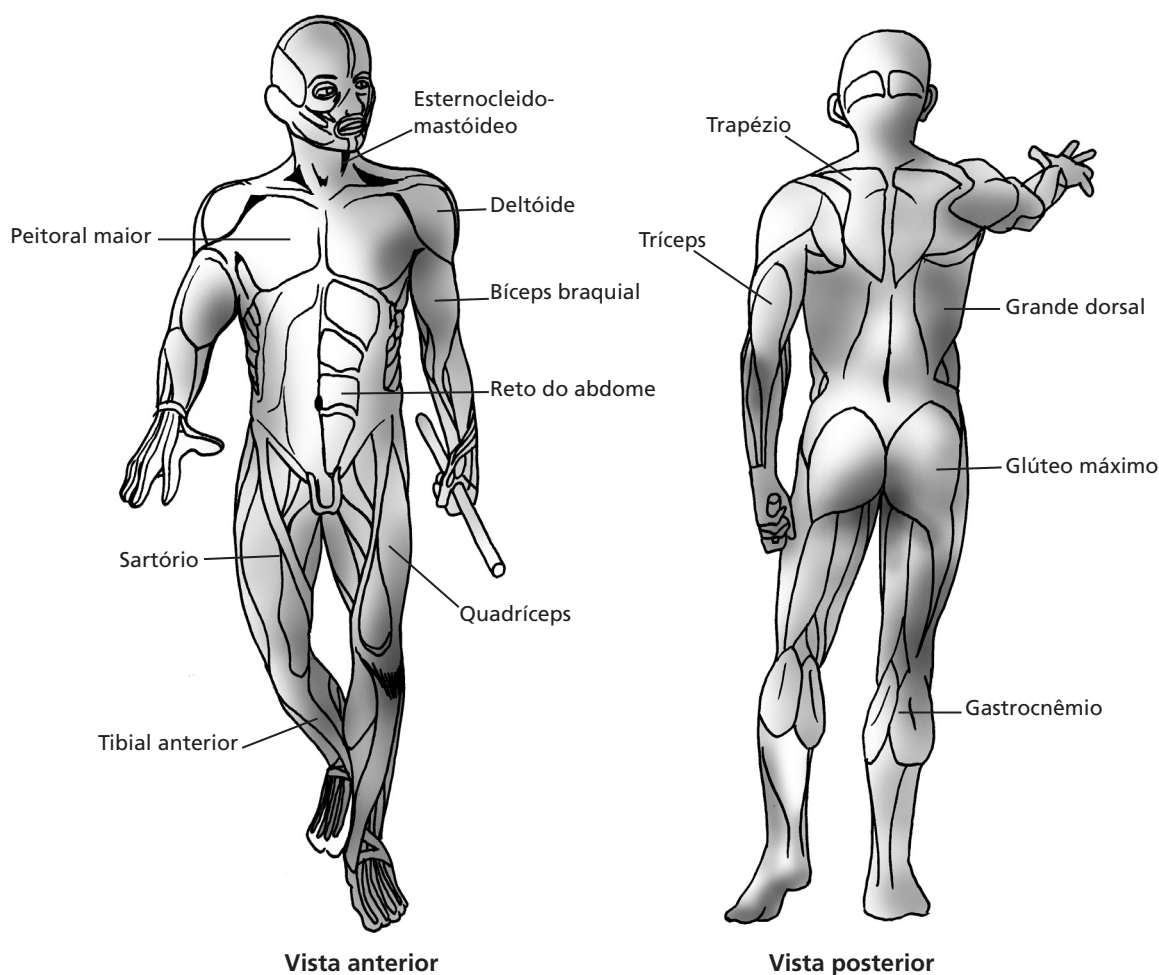


Figura 18.1

Antes de nos concentrarmos nos músculos esqueléticos, vamos analisar todo o conjunto de músculos do nosso corpo. Poderemos perceber que grande parte das nossas ações ocorre devido às suas atividades. As expressões da face, na tristeza ou na alegria; o movimento dos lábios, na fala, ou dos braços, no jogo de voleibol; os reflexos de defesa, quando caímos no chão; a regulação da pupila na exposição à luz; os movimentos do tubo digestivo impulsionando o alimento; a contração dos vasos na pele, quando nos expomos ao frio; o aumento da frequência cardíaca que ocorre quando levamos um susto, bem como inúmeras outras ações, só são possíveis pela contração de nossos músculos.

A atividade muscular é tão intensa e permanente que poderíamos, com algum exagero, resumi-las desta forma: hoje, no final do dia, meu coração terá batido 100.800 vezes; terei piscado 6.480 vezes; respirado 20.160 vezes e impulsionado alimentos pelos meus sete metros de intestinos. Estou exausto!

Para entender todas essas ações, devemos considerar, a princípio, dois tipos de músculo: o estriado e o liso. Esta classificação é fundamentada no aspecto da célula muscular ao microscópio óptico. A estriação, quando presente, deve-se a um arranjo regularmente espaçado dos filamentos de proteína no interior das células musculares e criam faixas escuras (**MIOSINA**) e claras (**ACTINA**), lado a lado, dando o aspecto caracteristicamente estriado observado nos músculos esquelético e cardíaco. Na **Figura 18.2**, você poderá observar a organização estrutural do músculo estriado esquelético desde o nível anatômico até o nível molecular, passando pela estruturação da célula muscular. O conhecimento dos músculos nestes três níveis é essencial para que uma série de movimentos possa ser bem entendida.

MIOSINA

Faz parte do filamento espesso das fibras musculares e é composto por unidades de proteínas que assumem uma conformação filamentar. Na imagem da microscopia eletrônica, corresponde à banda escura (banda A). O filamento espesso tem cerca de 15nm de largura (15×10^{-6} mm) e 1,5 micrômetros de comprimento ($1,5 \times 10^{-3}$ mm).

ACTINA

Faz parte do filamento delgado das fibras musculares e é composta por várias unidades de proteínas que assumem um formato filamentar (cordões). Na imagem da microscopia eletrônica, corresponde à banda clara (banda I). O filamento delgado possui cerca de 7nm (7×10^{-6} mm) de largura e 1micrômetro (10^{-3} mm) de comprimento.

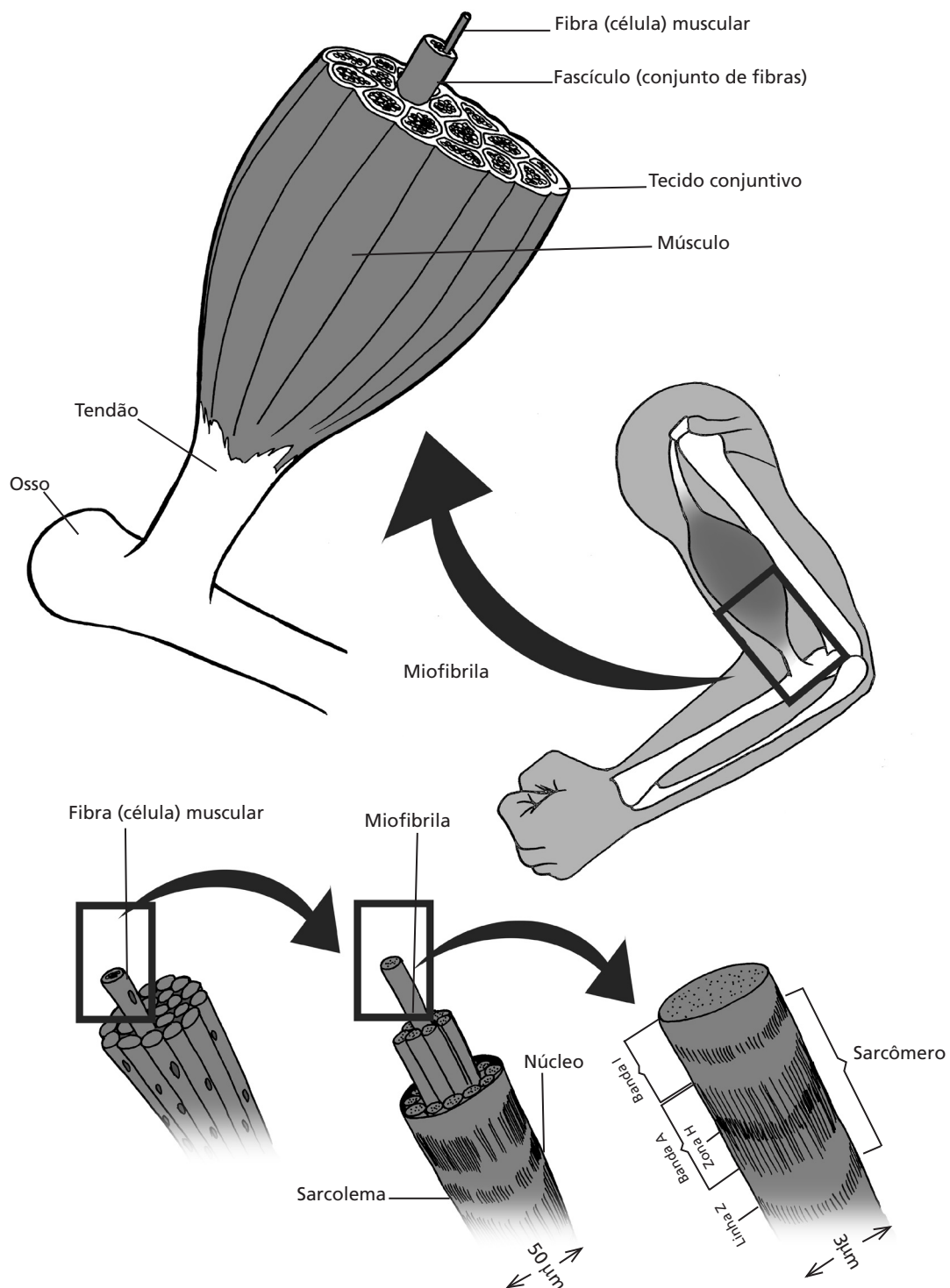


Figura 18.2: Do músculo às moléculas. Organização estrutural.

Embora o músculo liso, como o encontrado nas vísceras, tenha estes mesmos filamentos, eles não estão dispostos da mesma forma espaçada no interior da célula e, por isso, a estriação não é observada.



A contração de todos os tipos de músculo depende da interação entre cadeias de filamentos de proteínas. De acordo com o arranjo destes filamentos no interior das células musculares, podem-se observar ou não as estriações transversais.

A grande fraqueza muscular que ocorre na desnutrição se deve, em grande parte, à redução na quantidade de proteínas no corpo, especialmente, neste caso, àquelas relacionadas com a contração muscular (actina e miosina).

DA MÃO NA CHAPA QUENTE À DESPEDIDA: O QUE FAZEMOS COM OS MÚSCULOS ESQUELÉTICOS?

Um recém-nascido já pode realizar uma boa quantidade de movimentos, envolvendo todos os tipos de músculo a que já referimos. Podemos observar que ele chora, respira, suga, engole, move as mãos e os pés de forma desordenada, defeca e urina.

Quando o pediatra examina uma criança imediatamente após o nascimento, ele avalia alguns movimentos, como os da abertura dos dedos do pé, quando risca levemente a planta do pé. Todos os movimentos do recém-nascido são de natureza reflexa, pois são inatos, isto é, herdados geneticamente e, portanto, realizados de forma involuntária. Com o desenvolvimento psicomotor progressivo, a criança começa a incorporar uma quantidade cada vez maior de movimentos pela aprendizagem, o que denominamos movimentos voluntários. Alguns dos reflexos presentes no adulto ainda não são ativos na criança, pois, embora ela tenha os circuitos para isto, seus neurônios ainda não sofreram completa maturação para produzi-los. Em contrapartida, reflexos presentes na criança podem estar ausentes no adulto, devido a modificações nos controles centrais do sistema nervoso.

Surge, assim, uma classificação inicial de movimentos: voluntários e involuntários. Eles diferem, basicamente, na relação com a nossa vontade. Vamos discutir alguns exemplos com você!

Já consideramos alguns movimentos realizados pelo recém-nascido. Como vimos, todos eles são involuntários, isto é, o bebê não é capaz, nesta fase, de realizar qualquer movimento que você solicite verbalmente. Como essas ações foram herdadas, e não aprendidas, podemos chamá-las de reflexas. Todas as contrações musculares do recém-nascido são, portanto, de natureza reflexa.

Agora, um indivíduo adulto, como eu, você ou a Xuxa, pode realizar uma grande variedade de movimentos. Exatamente como vimos na criança, nós, adultos, também realizamos movimentos reflexos. Quando encostamos a mão em uma chapa muito quente, rapidamente a retiramos, sem que a nossa vontade esteja envolvida, ou, então, quando um inseto toca o nosso olho, prontamente piscamos. Estes são atos reflexos; portanto, involuntários. Assim, os músculos estriados esqueléticos agem em atos involuntários.

Em contrapartida, quando acenamos com a mão em uma despedida ou quando afastamos os dedos do pé para que o médico examine o espaço

entre eles, estamos realizando atos voluntários. A execução de movimentos voluntários, pressupõe o emprego da nossa vontade. Desta forma, são movimentos intencionais e realizados com atenção. E são aprendidos!



Os recém-nascidos executam movimentos involuntários, de natureza puramente reflexa. Os indivíduos adultos, além dos atos reflexos, podem realizar movimentos voluntários, devido à aprendizagem.

Os movimentos voluntários exigem três condições para serem assim denominados:

1. podermos realizar o ato ou não, de acordo com a nossa vontade;
2. estarmos conscientes e atentos durante a sua realização;
3. serem frutos de uma aprendizagem prévia.

“TINHA UMA PEDRA NO MEIO DO CAMINHO. NO MEIO DO CAMINHO TINHA UMA PEDRA...”

Quando repetimos algum movimento voluntário muitas vezes, ele pode ser executado com tal rapidez que, inadvertidamente, seria confundido com um ato reflexo puro. Os movimentos de caminhar, andar de bicicleta, frear subitamente o automóvel, reduzindo simultaneamente a marcha, são exemplos de movimentos que, pela rapidez e repetição de sua execução, poderiam parecer ações puramente reflexas. Contudo, estes movimentos rápidos exigiram uma fase prévia de treinamento e, por isto não têm o caráter inato. Podem ser considerados como movimentos automáticos, mas não são atos reflexos puros.

Diante deste quadro, como você classificaria os movimentos respiratórios? A inspiração e a expiração envolvem músculos esqueléticos ou lisos? A respiração é um ato voluntário? Lembre-se de que, desde o primeiro momento após o nascimento, os bebês começam a fazer o ar entrar e sair de seus pulmões. Ao dormirmos, mesmo profundamente, continuamos a respirar. Mesmo os indivíduos inconscientes, devido a lesões em seus cérebros ou sob anestesia geral, podem seguir respirando sem o auxílio de aparelhos.

É possível executar um ato suicida simplesmente prendendo a respiração? Você seria capaz de lembrar momentos em que a respiração pode ser controlada voluntariamente ou em que a respiração seja um ato puramente reflexo? Quando você entra em uma ducha de água gelada, sua respiração se modifica? Confesse! Claro que sim; a ação da água fria sobre o corpo provoca modificações no ritmo respiratório e você, então, aproveita para cantar aquela ópera no chuveiro!

Quando caminhamos, em geral, não estamos atentos a cada passo. Nem prestamos atenção a este ato: nós apenas andamos! Como o grau de atenção é uma das condições básicas para que um movimento seja considerado voluntário, você já pode antever que caminhamos de forma involuntária. Mas, vamos considerar os versos do grande poeta mineiro Carlos Drummond de Andrade (1902-1987): “Tinha uma pedra no meio do caminho/No meio do caminho tinha uma pedra...”, a questão será: ao desviar dessa pedra, o nobre poeta estaria realizando um movimento involuntário?

Imagine agora que você está subindo os degraus em um prédio e, de repente, acaba a luz. Não há luz de emergência; tudo parece perdido! Tenha calma! Você poderá continuar subindo, pois só falta um andar. Nesta completa escuridão, o ato de caminhar é voluntário ou involuntário? Neste caso, você precisa estar atento ao passo de cada perna, para se deslocar em alguma direção e desviar de possíveis obstáculos? O andar dos cegos é um movimento voluntário ou involuntário?

Compare os atos de andar e de respirar: como coincidem e como diferem? Agora considere o ato de piscar: é voluntário ou involuntário? Se fosse realizado para dar algum sinal para uma amiga ou fosse produzido por um leve toque em seu olho com a ponta de um pedaço de algodão, os músculos envolvidos, decerto, seriam exatamente os mesmos, mas o ato seria voluntário ou reflexo? Em qual dos casos?



Os músculos estriados esqueléticos participam de atos motores voluntários e involuntários, dependendo das vias pelas quais foram estimulados pelo sistema nervoso, ao passo que os músculos lisos ou o estriado cardíaco agem exclusivamente por meio de reflexos.

Logo, os músculos esqueléticos podem agir tanto em movimentos voluntários quanto involuntários, incluindo os reflexos. Na verdade, não são estes músculos que escolhem a natureza do movimento. Quem escolhe se um determinado músculo esquelético age voluntária ou reflexamente é o sistema nervoso. O músculo apenas responderá ao sinal que chega. Assim, é incorreto usar o termo “músculo voluntário” como sinônimo de músculo estriado esquelético.

Simultaneamente à realização dos movimentos voluntários, os circuitos reflexos também estão sendo ativados, especialmente na regulação e na coordenação dos movimentos. Sem os reflexos adicionados ao movimento voluntário, este movimento seria realizado de forma confusa.



ATIVIDADES

1. Vamos considerar uma situação na qual um indivíduo, com a pele bem clara, é colocado em uma sauna, com temperatura elevada, por alguns minutos. A nossa tarefa é observar as alterações que ocorrem em seu organismo ou as atitudes que ele adota na tentativa de conservar a sua temperatura interna. Percebe-se que, ao tentar impedir que a temperatura do corpo aumente, ele aciona uma série de atitudes motoras que devemos examinar, tais como: respiração ofegante, a pele muito quente e avermelhada, pode se abanar, aumento da frequência cardíaca (pulso acelerado). Assim, ao lado de cada alteração observada, defina que tipo de músculo foi acionado e se o ato motor foi voluntário ou involuntário.

RESPOSTA COMENTADA

A ação reflexa de músculos lisos pode ser identificada por meio da pele aquecida e avermelhada e se deve à dilatação dos vasos sanguíneos cutâneos (músculo liso vascular). O aumento da frequência cardíaca (pulso acelerado) envolve o músculo cardíaco que contrai, reflexamente, em um ritmo mais rápido. A aceleração da respiração envolve os músculos respiratórios (esqueléticos) que agem também de forma reflexa. O único ato motor voluntário presente é o de se abanar, envolvendo músculos esqueléticos do membro superior. Muito bem! Você esteve ótimo, mas não esqueça o indivíduo na sauna!

2. Vamos realizar um mesmo experimento com dois indivíduos: um adulto, que pode ser alguém que esteja ao seu lado (desde que não tenha lido este texto ainda), e um recém-nascido, ainda no berçário. O material para este experimento é apenas um balde de plástico vazio. Coloque o adulto na sua frente e, repentinamente, ameace jogar o “suposto conteúdo” do balde no rosto dele (atenção: o balde deve estar vazio!). Como ele vai reagir? Ele deverá piscar, contrair os músculos da face, desviar a cabeça e levantar as mãos em defesa do rosto, tudo isso rápida e simultaneamente.

Se você repetisse esse mesmo experimento com o recém-nascido, será que ele responderia da mesma forma? Não precisa fazer o experimento, pois nem vão deixar você entrar no berçário com esse balde. As reações descritas seriam voluntárias ou reflexas? Se a resposta no adulto é voluntária, quando ele aprendeu a produzi-la? Será que alguém ensinou o seu colega a se livrar de um balde, em algum momento da vida? Se a reação é de natureza reflexa e, portanto, inata, por que o recém-nascido não reagiu?

RESPOSTA COMENTADA

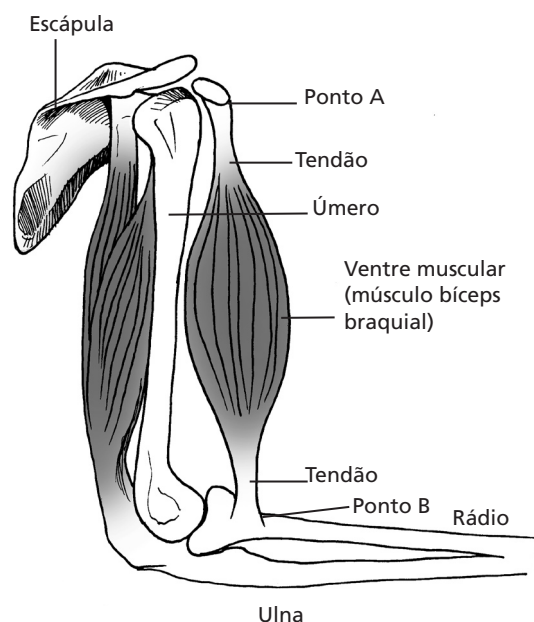
Perfeito! Já percebemos que você leu o texto com atenção e desvendou este mistério. O ato é reflexo. O seu colega adulto jamais teve alguma aula do tipo: “Como se livrar de algo jogado de um balde”. Essas reações surgem em algum momento na vida. Embora o recém-nascido tenha os circuitos nervosos para esta resposta, os seus neurônios ainda não adquiriram a capacidade de ativá-los, isto é, seus circuitos nervosos ainda não estão devidamente maduros, como vimos anteriormente e, por isso, ele jamais responderá a este estímulo, nesta fase.

APRENDENDO ANATOMIA COM BOIS E VACAS

Como é, afinal, a anatomia dos músculos esqueléticos? Para que esta leitura não canse muito a sua visão, vamos sair, dar uma chegada ao açougue da esquina e examinar algum músculo esquelético bovino, pois ele se assemelha, anatomicamente, aos nossos.

As partes componentes de um músculo esquelético típico podem ser observadas na **Figura 18.3**.

Figura 18.3: Por meio de tendões, os músculos se fixam nos ossos, para desenvolver tensões, nos movimentos.



VENTRE MUSCULAR

Porção contrátil do músculo esquelético, de coloração vermelha.

TENDÕES

Feixes de tecido conjunto fibroso, de coloração esbranquiçada e de grande resistência, através dos quais o músculo se fixa aos ossos.

APONEUROSE

Um tipo de tendão plano, como podemos observar nos músculos da parede do abdome.

FÁSCIAS

Lâminas de tecido conjuntivo delgado e transparente, com pequeno grau de tensão, que recobre músculos inteiros, feixes de um mesmo músculo ou até fibras individualmente. São essenciais no deslizamento das fibras na contração e relaxamento muscular.

O aspecto vermelho vivo que encontramos e que chamamos de “carne” corresponde a uma região ocupada por um grande feixe de fibras musculares e que, em Anatomia, chamamos **VENTRE MUSCULAR**. O termo fibra muscular é empregado como sinônimo de célula muscular. Logo, o ventre é a parte contrátil do músculo, isto é, aquela que recebe os estímulos dos nervos e contrai.

A coloração vermelha se deve à grande concentração de mioglobina, uma proteína que capta oxigênio no interior das fibras (a que nos referiremos mais adiante). Mas observe que, bem próximo a esta porção vermelha, podemos identificar um outro tipo de tecido, com o formato de um cordão espesso, de coloração esbranquiçada e brilhante, bem mais rígido, quando o manipulamos: são os **TENDÕES**.

Os tendões são compostos por fibras de tecido conjuntivo denso, ricas em colágeno, através das quais o músculo é fixado nos ossos. Esta porção, portanto, pode ser passivamente esticada ou afrouxada, mas não contrai. Quando um músculo tem um formato plano, como os que recobrem a parede do abdome, seu tendão também é plano e é chamado **APONEUROSE**. Logo, aponeurose é uma forma específica de tendão.

Envolvendo partes do músculo, podemos identificar, ainda, um terceiro tipo de estrutura, constituída por membranas delgadas, transparentes e facilmente destacáveis do resto do músculo: são as **FÁSCIAS**. As fásrias envolvem os músculos como um todo, ou parte deles, como se fossem envelopes, e, assim, criam condições para que as fibras musculares possam deslizar livremente umas em relação às outras, sem atritos. A partir deste momento, você não mais poderá chamar estes tecidos conjuntivos “pelanca” ou “nervos”. Mas não corrija o açougueiro, especialmente se ele estiver com o machado na mão! Acho que está na hora de sairmos do açougue.

Para que um músculo esquelético realize um determinado movimento, é necessário que ele esteja fixado, pelo menos, em dois pontos situados em ossos distintos do esqueleto. Esses locais de fixação óssea são chamados inserções. De forma geral, um dos pontos é fixado e o outro é movido.

Assim, a porção vermelha do músculo – o ventre ou corpo – contrai e transmite uma certa tensão aos ossos, por meio dos tendões – em suas inserções – e as fibras musculares, neste trabalho, deslizam sobre as fásrias. Deixaremos aqui registrado o nosso mais profundo agradecimento ao amigo açougueiro... e segue a aula...



Os músculos esqueléticos têm uma porção contrátil – o ventre muscular – e, pelo menos, duas extremidades – os tendões –, através das quais se fixam aos ossos para desenvolver tensões e produzir movimentos. As fâscias, membranas situadas ao redor dos feixes de músculos, são importantes por permitirem o suave deslizamento das fibras durante a contração e o relaxamento.

UMA GALINHA VOANDO DO PENHASCO

Em nossa produtiva visita ao açougue, vimos que o ventre do músculo bovino é vermelho e que esta coloração devia-se à presença de **MIOGLOBINA**. Será que todos os músculos são vermelhos, ou existem músculos brancos? Os músculos do peixe são vermelhos? Por que os músculos do peito da galinha têm uma coloração branca (clara) e das coxas uma cor vermelha (escura)?

Esta diferença (que na galinha é visualmente evidente) deve-se ao fato de que existem dois tipos básicos de fibras musculares esqueléticas: as fibras brancas (claras) e as fibras vermelhas (escuras)!

As fibras claras são de contração rápida, isto é, participam de ações de curta duração. Se a sua ação começa a se prolongar, essas fibras entram rapidamente em fadiga. Consomem um mínimo de oxigênio e produzem pouca quantidade de energia.

Já as fibras escuras, de contração lenta, exercem atividades mais prolongadas, exigindo, portanto, maior consumo de oxigênio e uma grande produção de energia. A galinha é uma ave que praticamente não voa; os músculos do seu peito, que movem a asa, são de ação rápida e, por conseguinte, suas fibras são claras. Como a galinha mantém-se permanentemente de pé, sobre as suas coxas, mesmo quando dorme nos poleiros, os músculos aí presentes possuem fibras escuras, mais adaptadas a uma atividade mais prolongada. A mioglobina é uma proteína armazenadora de oxigênio no interior da célula e, por esta razão, quanto maior o consumo de oxigênio, maior a concentração de mioglobina intracelular. Isto dá à fibra de contração lenta uma coloração vermelha. Podemos fazer o raciocínio inverso em relação às fibras brancas.

MIOGLOBINA

Proteína que possui um radical não-protéico, existente no interior das fibras musculares, que se liga ao oxigênio, armazenando-o para as eventuais necessidades da atividade motora.

O que você esperaria que acontecesse, se soltássemos uma galinha do alto de um penhasco para que ela pudesse alçar um vôo prolongado? Estaríamos, é claro, condenando a pobre galinha à morte, pois os músculos do seu peito jamais poderiam prover uma atividade de longa duração. Ou ela pousaria, rapidamente, em uma pedra logo abaixo ou entraria rapidamente em fadiga e morreria em uma queda. Acredite nisto! Não tente fazer este experimento. A galinha será grata a você!

Mas, o que dizer dos humanos? Temos músculos escuros e claros? Se olharmos os músculos humanos, não encontraremos a diferença de coloração que vimos na galinha e que também pode ser observada em alguns anfíbios. O que encontramos nos músculos humanos é um padrão misto, isto é, locais onde fibras escuras ou claras apenas predominam. Além do mais, encontramos fibras chamadas intermediárias, cuja coloração situa-se entre os tons claros e escuros.

Se usarmos algum tipo especial de coloração em uma amostra de tecido muscular humano, poderemos observar populações de fibras escuras, claras e intermediárias na mesma região. Este padrão tem grande importância, por exemplo, nos esportes. Atletas que se especializam em atividades de curta duração, como a corrida de 100m rasos, levantamento de peso ou natação, apresentam, em geral, maior percentual de fibras claras nos músculos envolvidos nas atividades. Já os atletas que obtêm excelentes desempenhos em provas de longa duração, como as maratonas ou o triatlo, mostram maiores percentuais de fibras escuras.

Na **Figura 18.4**, vemos uma seção fina do tecido muscular esquelético, na qual o uso de um corante específico permitiu que nós distinguíssemos as fibras de contração lenta e as de contração rápida.

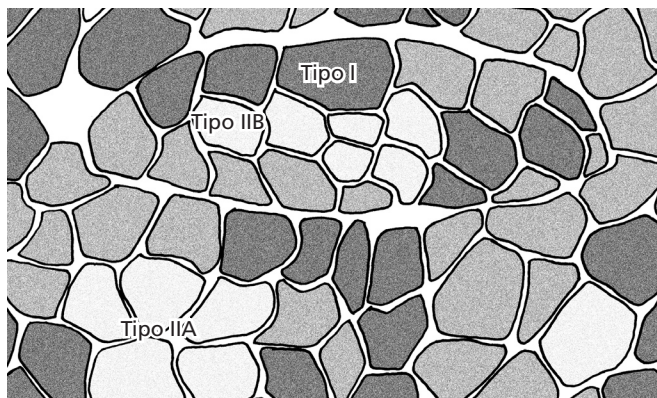


Figura 18.4: Fotomicrografia revelando as fibras escuras (tipo I = de contração lenta), claras (tipo IIA = de contração rápida) e intermediárias (tipo IIB). A coloração de cada fibra depende da concentração e mioglobina em seu interior.



Atividades físicas de longa duração exigem contrações musculares prolongadas e os músculos envolvidos devem apresentar um elevado percentual de fibras vermelhas, de contração lenta. Em contrapartida, as atividades de curta duração exigem a presença de fibras claras, de contração rápida.

O estudo dessas diferenças entre fibras vermelhas e brancas não interessa apenas à área esportiva. Existem situações em que os indivíduos experimentam fortes dores musculares pelo fato de manterem estes músculos contraídos por um longo período de tempo (vícios de postura ou estresse) e, pelo tipo de fibra inadequado, os músculos entram em fadiga e a dor aparece.

A despeito de uma influência genética, existem estudos em que se considera a possibilidade de se obter estes padrões de fibras por meio de treinamento especializado. Além do mais, como já tínhamos considerado na Aula 17, sobre o esqueleto, não devemos associar tais padrões de capacidade muscular à questão racial.

ATIVIDADES



3. Você certamente já ouviu dizer que a carne branca de peixes e de aves é mais saudável do que a carne vermelha bovina ou suína. Para quem é um bom churrasqueiro, isso é quase um sacrilégio! Mas, vamos ao principal: será que esta questão nutricional tem algo a ver com fibras brancas e vermelhas, que discutimos no texto? Comer fibras de contração lenta (vermelhas) provoca mais doenças cardiovasculares do que comer fibras de contração rápida (brancas)? Você viu nas fibras vermelhas, em algum lugar do texto, algo que fosse ameaçador para a saúde, como as mitocôndrias, a mioglobina ou o ATP? Então, por que este cuidado é tomado no aconselhamento nutricional?

RESPOSTA COMENTADA

Na verdade, caro(a) amigo(a), esta recomendação nutricional – que é correta – não está baseada nas diferenças morfológicas ou fisiológicas que examinamos no texto sobre fibras vermelhas e brancas, mas se refere ao fato de que a carne de bovinos e suínos tem maior quantidade de gordura no interior dos músculos do que a de peixes e de aves. A ingestão de elevado teor de gordura é um fator de risco nas doenças cardiovasculares. Mitocôndrias, mioglobina e ATP, portanto, nada têm a ver com isso!

4. Um atleta de 34 anos, com excelente rendimento em provas de ciclismo de longa distância, foi submetido a uma biópsia (retirada, com uma agulha fina, de um fragmento mínimo de tecido) do músculo quadríceps femoral, realizada no meio de sua coxa (um músculo muito empregado no ciclismo). Estudos laboratoriais revelaram que cerca de 80% de suas fibras eram vermelhas, isto é, de contração lenta. Este resultado é compatível com a atividade desempenhada pelo atleta?

Será que este atleta já nasceu com esta característica (genética) e, assim, teria herdado alguma vantagem neste tipo de atividade? O que deveria ser realizado para confirmar se esta característica é de natureza genética ou foi induzida pela atividade, considerando que o atleta começou a praticar este esporte aos 22 anos? Será que este percentual é correto, levando-se em conta que, em humanos, as fibras brancas e vermelhas estão misturadas neste músculo e que a agulha entrou em uma área muito pequena e uma única vez?

RESPOSTA COMENTADA

Como você já percebeu, as fibras vermelhas, de contração lenta, são ideais para atividades prolongadas, como as do atleta em questão. Assim, um músculo com predomínio de 80% dessas fibras seria adequado para a atividade referida. Até aí, nada de novo! Mas, para sabermos se a influência genética foi decisiva, ou se foi o treinamento que produziu estas fibras, seria necessário dispor de informações sobre este percentual desde a infância do atleta e que o tivéssemos acompanhado anualmente até a fase atual. O que temos, contudo, é um aspecto isolado aos 34 anos. Em segundo lugar, sabendo-se que as fibras vermelhas (80%) e brancas (20%) estão dispersas pelo músculo quadríceps, qual seria o resultado desta biópsia, se a agulha tivesse sido introduzida mais acima ou mais abaixo, na coxa do atleta? Ficamos eu, você e os pesquisadores sem saber. Na verdade, as conclusões deste experimento geram mais perguntas do que respostas. Ciência funciona assim!

ESSES NERVOS MARAVILHOSOS E SEUS TRANSMISSORES SALTADORES

A contração dos músculos estriados esqueléticos é comandada pelos nervos, um conjunto de neurônios que, saindo da medula espinal, estabelecem um contato fisiológico com a membrana da célula muscular. Por esta razão, estes neurônios são denominados neurônios motores, pois sua atividade produz a contração muscular. Um único neurônio motor é capaz de suprir, com as suas inúmeras ramificações, um número variável de células musculares.

O conjunto formado por um neurônio motor e as células musculares inervadas por ele é chamado **UNIDADE MOTORA** e, desta maneira, representa a menor quantidade possível de contração que um músculo pode executar, a partir do repouso.

A unidade motora – composta pelo neurônio motor (originado na medula espinal), suas ramificações periféricas e o contato com a placa motora na fibra muscular – pode ser vista no esquema da **Figura 18.5**.

UNIDADE MOTORA

É a unidade fisiológica do músculo esquelético, ou seja, a menor quantidade de contração que é possível realizar. É constituída por um neurônio motor, seus prolongamentos e as fibras musculares inervadas por ele.

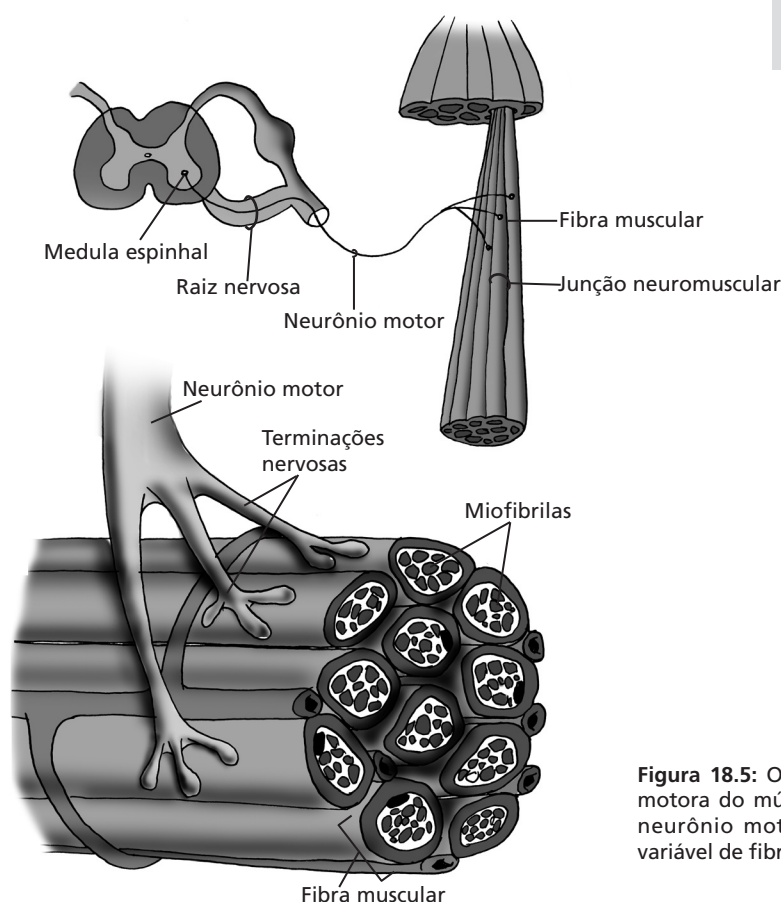


Figura 18.5: Organização da unidade motora do músculo esquelético. Cada neurônio motor inerva um número variável de fibras musculares.

SUBSTÂNCIA NEUROTRANSMISSORA

São substâncias liberadas pelos neurônios, que permitem a transmissão de uma determinada informação a outros neurônios ou a outros tecidos. Têm, portanto, uma ação restrita ao local da sua liberação.

ACETILCOLINA

Trata-se de um neurotransmissor excitatório produzido por diversos neurônios, incluindo os neurônios motores. Neste caso, a acetilcolina estimula as células musculares. É comumente referida como ACh.

POLIOMIELITE

Doença viral que acomete os neurônios motores, trazendo como consequência quadros graves de paralisia.

Por exemplo, cada um dos neurônios motores dos músculos do globo ocular, do polegar e do bíceps braquial inerva 15, 133 e 774 células musculares, respectivamente. À medida que o grau de precisão da ação de um músculo aumenta, o número de fibras musculares comandadas por um neurônio motor diminui.

A condução de estímulos elétricos pelos neurônios produz a liberação de uma **SUBSTÂNCIA NEUROTRANSMISSORA** chamada **ACETILCOLINA**. Este transmissor entra em contato com a membrana da célula muscular e estimula a sua contração.

Vamos considerar uma determinada questão: o que ocorreria se nós destruíssemos os nervos que suprem os músculos esqueléticos? Se o nervo fosse destruído ou a sua transmissão normal fosse bloqueada, os neurônios motores, aí situados, ficariam impossibilitados de liberar a acetilcolina, e estaríamos diante de um quadro de paralisia – o músculo esquelético não seria capaz de contrair. O vírus da **POLIOMIELITE**, por exemplo, destrói os neurônios motores que estimulam o músculo esquelético. E você já sabe o resultado disso: paralisia. Felizmente, Albert Sabin (1906-1993), o eminente médico americano, de origem russa, criou a vacina contra a poliomielite e reduziu muito a ocorrência de novos casos desta enfermidade.

OLHANDO PELA FECHADURA

Vamos dar uma olhada no interior das fibras musculares, para sabermos o que ocorrerá no espaço intracelular após a ligação da acetilcolina com a membrana da célula muscular?

Um esquema da disposição dos filamentos de proteína (actina e miosina) no interior da fibra muscular foi representado na **Figura 18.6** em duas situações: contração e relaxamento musculares.

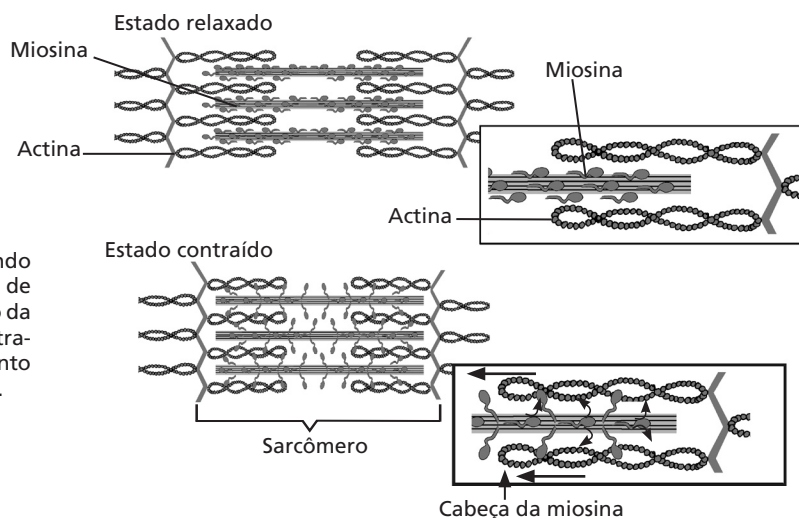


Figura 18.6: Esquema representando o deslizamento dos miofilamentos de actina, promovido pelo movimento da cabeça da miosina, durante a contração muscular. Observe o encurtamento do sarcômero no estado contraído.

Em outras palavras, o que ocorre no interior da fibra muscular quando a acetilcolina é ligada à sua membrana (**SARCOLEMA**)? Inicialmente, produz-se uma atividade elétrica após a ligação de uma determinada quantidade de acetilcolina ao sarcolema. Esta região do sarcolema à qual a acetilcolina se liga é denominada placa motora. Assim, um estímulo elétrico propaga-se por todo o sarcolema, a partir da interação da acetilcolina com a **PLACA MOTORA**. Esta atividade elétrica, propagada na fibra muscular, produz a liberação de uma determinada quantidade de cálcio do interior do **RETÍCULO SARCOPLASMÁTICO** para o **SARCOPLASMA**. O cálcio assim liberado promove a ligação da miosina na actina. Em seguida, a miosina desloca o filamento de actina, provocando um encurtamento no **SARCÔMERO**. Logo após, uma enzima denominada **ATPASE** provoca a separação dos filamentos de actina e de miosina. A miosina, então, volta a se ligar com um outro trecho de actina e um novo deslizamento ocorre. Este processo se repetirá até que o sarcômero atinja um encurtamento desejado. A volta do cálcio para o interior do retículo sarcoplasmático faz com que os filamentos de actina e de miosina se separem e o sarcômero recupere o seu comprimento inicial, levando ao relaxamento do músculo. Ufa! Merecemos, enfim, um descanso.



A contração muscular depende de uma interação entre os filamentos de actina e miosina, promovida pelo cálcio que se desloca do interior das vesículas do retículo sarcoplasmático para o sarcoplasma, onde estão os filamentos.

A velocidade de contração das fibras musculares depende da quantidade de ATPase presente. Um aumento da atividade desta enzima possibilita que os filamentos se desliguem e voltem a se ligar com maior rapidez.

COMO UM COCHILO PODE SER PEDAGÓGICO

Já vimos como os nervos estimulam a contração dos músculos esqueléticos. Mas, o que ocorre durante o repouso? Solicite que algum voluntário fique confortavelmente sentado e completamente relaxado em uma cadeira. Pegue o seu braço e palpe seu músculo bíceps. Observe que, mesmo em repouso completo, este músculo possui uma certa tensão

SARCOLEMA

Corresponde à membrana celular das fibras musculares.

PLACA MOTORA

Região especializada do sarcolema à qual a acetilcolina se liga para ativar a fibra muscular.

RETÍCULO SARCOPLASMÁTICO

Corresponde ao retículo endoplasmático das fibras musculares onde está armazenado o cálcio.

SARCOPLASMA

Corresponde ao citoplasma das fibras musculares.

SARCÔMERO

Distância entre duas linhas Z, correspondendo à soma dos comprimentos dos filamentos espessos (miosina) com dois segmentos (uma de cada lado) de filamentos delgados (actina).

ATPASE

Sigla comumente empregada para designar uma enzima que catalisa a reação de hidrólise do ATP, processo no qual há liberação de energia que pode ser utilizada pela célula. Esta enzima é de extrema importância no deslizamento dos filamentos de actina e de miosina.

TÔNUS MUSCULAR

Estado de tensão que um músculo apresenta no estado de repouso. Sua existência depende da ação de uma quantidade mínima de acetilcolina sobre a fibra muscular.

nas suas fibras. Esta tensão de repouso é o que se chama **TÔNUS MUSCULAR**. Este estado de tônus depende da chegada de pequenos impulsos dos neurônios às fibras musculares.

Assim, se seccionarmos os nervos que suprem os músculos, este tônus se perde. Esta redução de tônus é denominada de hipotonia muscular. Esta hipotonia, contudo, pode aparecer em pessoas normais, como ocorre nos idosos e durante boa parte do nosso sono. Aquela “batida de cabeça” que você experimenta, quando cochila, é apenas uma redução do tônus dos músculos do seu pescoço que, assim, perdendo esta tensão, não são capazes de sustentar o peso da cabeça e, desta forma, descobrimos que o aluno cochilou em plena aula. Ora, veja! Se isto acontecer com você, é melhor dar uma parada em seu estudo e ir até a cozinha tomar um bom café. Outra saída é disfarçar e dizer que o cochilo é parte do seu experimento!

De modo inverso, existem enfermidades do sistema nervoso, como a doença de Parkinson, nas quais o tônus muscular torna-se anormalmente aumentado e o indivíduo, assim, apresenta um certo enrijecimento do corpo, mesmo durante o repouso. Entretanto, em situações normais, o tônus pode temporariamente aumentar, como após um exercício intenso ou durante uma outra fase do sono, quando nós estamos sonhando (fase REM). As tensões emocionais que acumulamos em nosso dia-a-dia também podem responder por um breve aumento do tônus muscular, o que pode ocasionar alguns desconfortos ou, até mesmo, episódios de dor.

Assim, recapitulemos: o sistema nervoso é essencial para comandar e coordenar nossos movimentos e, agora acrescente, também para manter um determinado tônus de repouso.

ATIVIDADE



5. Um indivíduo está assistindo à televisão sentado no sofá da sala com o pé em cima daquela famosa mesinha. De repente, ele adormece e o controle remoto lhe cai das mãos. Quando está dormindo mais profundamente, em um dado momento, ele trinca fortemente os dentes, um fenômeno chamado bruxismo. Como você relaciona estes episódios com o tônus muscular?

RESPOSTA COMENTADA

Você já deve ter passado por essas experiências. No sono, passamos por fases em que o tônus muscular diminui e os músculos perdem até a sua tensão de repouso. É nesta fase que a mão larga o controle remoto, denunciando que nós cochilamos. É claro que a gente nega sempre! Dormindo? Quem? Eu? Estou vendo, estou vendo! Em seguida, o tônus é recuperado e, no sono profundo, até pode aumentar. Nesta situação, experimentamos uma contração muscular mais prolongada, que explica o bruxismo. Trata-se, portanto, de momentos de hipotonia e de hipertonia, respectivamente.

RECEITA PARA NOS TORNARMOS UM RAMBO: ANOTE AÍ!

Vamos dar uma chegada até uma academia de musculação e pedir ao responsável para olhar os arquivos. Retiramos a ficha de dados de Bruno, um menino magricela, logo que entrou para a academia. Ele foi, então, submetido a um exame de avaliação e o perímetro do seu braço foi medido, tendo, nesta ocasião, 18cm. Após seis meses de musculação, este exame foi refeito e o resultado foi 22cm!

O que você acha que aconteceu com o braço de Bruno? O que a atividade física da academia deve ter provocado em seu braço?

Você está no caminho certo! O trabalho muscular provocou um aumento da massa muscular. De forma geral, o aumento de um órgão ou de um tecido deve-se a dois fatores possíveis: aumenta-se o número de células (hiperplasia) e/ou o volume de cada uma das células (hipertrofia). No caso do Bruno, o que ocorreu foi o segundo caso, isto é, o músculo submetido à atividade física sofreu uma hipertrofia, ou seja, o número total de células não se alterou, mas o volume de cada célula aumentou.

O termo **TROFISMO** (hipertrofia/**HIPOTROFIA**) refere-se às propriedades metabólicas das células. Da mesma forma que ocorre com os ossos, os músculos, durante a vida de uma pessoa, sofrem ganhos e perdas de constituintes celulares, como proteínas ou até organelas.

O termo **ANABOLISMO** é empregado para os processos de síntese de proteínas e, portanto, de aumento da massa muscular, ao passo que o **CATABOLISMO** indica o processo de perda.

O que o nosso amigo Bruno experimentou, em seu trabalho na academia, foi um aumento do anabolismo muscular em relação ao catabolismo, e disto resultou o aumento da sua massa muscular.

HIPOTROFIA

Redução do volume de um tecido ou de um órgão, devido à diminuição do volume das suas células.

TROFISMO

Refere-se ao estado metabólico de um tecido. Está, pois, relacionado a um balanço entre produção e perdas de proteínas e de outras substâncias.

ANABOLISMO

Estado em que a formação de novas proteínas ou de outras substâncias supera as perdas.

CATABOLISMO

Estado em que a perda de proteínas ou de outras substâncias supera a sua formação.

Podemos, neste ponto, trazer algumas questões para você. Por exemplo: se as células musculares sofreram um aumento de seus volumes e, como consequência, houve um aumento do seu poder de contração, o que você acha que ocorreu com a quantidade de actina e miosina em cada célula? Será que a quantidade de mitocôndrias aumentou para produzir maior quantidade de energia?

Os trabalhos experimentais têm revelado que, com o aumento da atividade física, o sistema nervoso é capaz de modificar o seu padrão de estimulação nas fibras musculares e, dentre outras alterações, provoca um aumento na síntese de proteínas, incluindo a actina e a miosina. Observa-se, também, um aumento do número de mitocôndrias e de vasos sanguíneos locais.

Será que você pode imaginar outras situações que fossem compatíveis com o aumento ou diminuição do trofismo, alterando a massa muscular para mais ou para menos? Vamos lá! Você já reparou o volume do braço do ator Sylvester Stallone, no filme Rambo? Como você deve ter deduzido, a grande massa muscular do ator foi o resultado do treinamento físico a que foi submetido.

Mas será que podemos ganhar massa muscular de outra forma? Claro que podemos. O uso de hormônios anabolizantes pode provocar o mesmo efeito, embora seja extremamente perigoso empregá-los por conta própria, sem a devida prescrição do médico. Mas o efeito existe! São exemplos de hipertrofia.

Agora, veja. Você já reparou o que ocorre com a massa muscular de um indivíduo que ficou com o braço imobilizado por 45 dias, ao retirar o gesso? Claro! O braço fica mais fino, caracterizando uma hipotrofia muscular. O músculo, ficando sem atividade durante um determinado tempo, sofre perda de proteínas e tem a sua massa reduzida. E o que dizer de uma pessoa parálitica, em uma cadeira de rodas? Será que suas pernas ficam hipotrofiadas? Ou um paciente acamado por meses com uma doença grave? Você saberia explicar isso? A redução da atividade muscular ou a lesão do nervo que comanda os músculos leva a um estado de atrofia. Se algum dia você assistiu a uma paraolimpíada, onde os atletas jogavam basquete em cadeiras de rodas, deve ter notado que esses atletas mostravam as pernas com acentuada hipotrofia e os braços hipertrofiados, com grande aumento da massa muscular. Como seria possível explicar este fato?

Você acha que o sistema nervoso teve alguma participação na hipertrofia ou na hipotrofia muscular? Na poliomielite, como vimos, a falta de chegada de impulsos nervosos aos músculos causa paralisia, mas, com o tempo, os pacientes apresentam uma acentuada hipotrofia muscular. Assim, os nervos que suprem os músculos são essenciais nesse processo.

Vamos retomar, então, a relação entre nervos e músculos. Os nervos são essenciais no comando e na coordenação dos nossos movimentos, na manutenção do tônus de repouso e, acrescente ainda: no trofismo muscular.

Será que o estado nutricional de crianças e de adultos pode alterar o trofismo muscular? Você já viu alguma pessoa desnutrida? Como estará a sua massa muscular? E a força muscular seria normal, nesta condição? Bem, neste momento, você está pronto para responder a uma questão final sobre o trofismo muscular: que fatores do ambiente influenciam a nossa massa muscular?

Vamos deixar você com algumas reflexões. Os fatores genéticos exercem alguma influência no trofismo? Sendo geneticamente diferentes, homens e mulheres têm, em média, a mesma massa muscular? Será que a genética teria alguma influência na produção de actina e de miosina? Será que os hormônios produzidos pelas nossas glândulas endócrinas, como o hormônio do crescimento e os hormônios sexuais, teriam algum efeito na nossa massa muscular?



Os neurônios motores, uma vez estimulados no sistema nervoso, conduzem potenciais elétricos até as suas terminações, nas quais produzem a liberação de um transmissor denominado acetilcolina. Este transmissor está relacionado aos mecanismos de contração muscular, à manutenção do tônus de repouso dos músculos e à produção de proteínas musculares (trofismo).



ATIVIDADES

6. Vamos examinar mais um exemplo da influência do sistema nervoso sobre a função dos músculos esqueléticos. Um cirurgião plástico decide aplicar injeções de Botox® na face de uma paciente, para reduzir as rugas de expressão facial. Esta droga é um preparado comercial obtido a partir de uma neurotoxina (toxina para o nervo) chamada TOXINA BOTULÍNICA. O seu mecanismo de atuação baseia-se no impedimento temporário da liberação da acetilcolina nos terminais do neurônio motor. O que você espera que ocorra com as contrações dos músculos da face, após a aplicação desta substância? Qual a relação entre a contração dos músculos de expressão facial e as rugas cutâneas?

TOXINA BOTULÍNICA

Substância com ação tóxica sobre o sistema nervoso, produzida por uma bactéria denominada *Clostridium botulinum*, que pode ser encontrada em alimentos contaminados, especialmente em conservas.

RESPOSTA COMENTADA

A toxina botulínica bloqueia a liberação de acetilcolina pelos neurônios motores e, desta forma, impede que este neurotransmissor atue na placa motora. Assim, em última análise, ela bloqueia a contração dos músculos envolvidos. As rugas de expressão facial são produzidas pela atividade dos músculos locais e, assim, com a paralisia destes músculos, as rugas tenderão a diminuir.

CURARE

Substância de origem vegetal (alcalóide) que, atuando na placa motora, impede que a acetilcolina, liberada pelos neurônios motores, se ligue no receptor presente na membrana da placa motora, impedindo a contração muscular. Além do uso cotidiano pelos índios, esta substância é de grande aplicação em Medicina, tanto em cirurgias quanto no tratamento de algumas doenças neurológicas.

7. Se você ainda não está satisfeito com os exemplos da ação do sistema nervoso sobre os músculos esqueléticos, vamos sugerir uma cuidadosa visita a um ambiente indígena. Os índios Matis, em plena floresta amazônica, no Brasil, aplicam nas pontas de suas flechas uma certa quantidade de CURARE, uma substância extraída de plantas. Este curare, uma vez injetado na corrente sanguínea, não interfere na liberação da acetilcolina dos terminais nervosos, mas impede que a acetilcolina se ligue à placa motora e, assim, exerça o seu efeito. Deste modo, os índios podem imobilizar ou matar animais, durante a caça. Vamos ver as seguintes questões:

a. Por que motivo, sob a ação do curare, os animais ficariam paralisados?

b. Por que a droga pode levar à morte, uma vez que ela só bloqueia a contração de músculos esqueléticos, e não do cardíaco nem dos músculos lisos?

c. Qual a diferença entre o mecanismo de ação do curare e da toxina botulínica?

RESPOSTA COMENTADA

A paralisia muscular, no caso do envenenamento pelo curare, deve-se ao impedimento da ligação da acetilcolina na placa motora. Dependendo da dose injetada, o curare paralisa, dentre outros, os músculos da respiração, levando, assim, o indivíduo à morte por parada respiratória. A toxina botulínica age no impedimento da liberação da acetilcolina pelos neurônios motores, ao passo que o curare não impede esta liberação, mas bloqueia a ligação da acetilcolina com a placa motora. Assim, as duas substâncias provocam paralisia muscular.

O SANGUE TRAZENDO OS COMBUSTÍVEIS

Em suas atividades, os músculos esqueléticos precisam ser supridos por uma rica rede de vasos sangüíneos, e estes elementos podem ser vistos no próprio músculo bovino que examinamos em nossa ida ao açougue. Para que serve esta vasta rede de vasos sangüíneos musculares? Muito bem, você acertou mais uma vez! O sangue que circula no interior dos músculos é fundamental para a nutrição deles.

A contração muscular requer energia e eletrólitos, como o cálcio, o sódio e o potássio, dentre outros. De onde os músculos retiram a energia para a sua contração? A atividade muscular exige um grande consumo de energia, produzida pela glicólise, no citoplasma, e, em maior grau, pelo ciclo de Krebs e a cadeia respiratória, nas mitocôndrias.

Esta energia é proveniente do consumo de glicose e de oxigênio no interior das células musculares. Assim, a glicose e o oxigênio precisam ser continuamente oferecidos às fibras musculares, para a sua atividade. Para que a contração possa ocorrer é ainda necessário que eletrólitos sejam fornecidos aos músculos. Além do mais, o músculo produz gás carbônico, que precisa ser removido.

Você já deve ter percebido que tanto o papel de oferecer oxigênio, nutrientes e eletrólitos para as fibras musculares quanto o de remover o gás carbônico é desempenhado pelos vasos sangüíneos. As artérias levam o sangue para os músculos com as substâncias necessárias, e as veias recolhem o gás carbônico do tecido muscular para os pulmões.

Desta forma, os nossos músculos precisam receber uma boa quantidade de sangue e, no aumento da atividade física, esta quantidade de sangue tem que ser ainda maior. Se houvesse interrupção do oferecimento de sangue para os músculos, os indivíduos sentiriam dores intensas quando os movimentassem ou, em casos mais graves, mesmo em repouso.

Já deve ter ficado bem claro para você que a glicose proveniente da nossa dieta ou estocada nos tecidos, sob a forma de glicogênio, supre as necessidades energéticas das células musculares. Na ausência da glicose, os lipídios podem servir como fonte energética. O sistema digestório absorve a glicose e os lipídios da nossa alimentação.



Os vasos sangüíneos são essenciais na atividade muscular, fornecendo oxigênio, glicose e eletrólitos para que os músculos possam manter as suas atividades e para remover o gás carbônico produzido pelo metabolismo muscular.

O oxigênio é captado pelos pulmões na atmosfera. Também são os pulmões que removem o excesso de gás carbônico do nosso sangue. O sistema nervoso estimula e coordena toda a atividade muscular. Os hormônios agem na massa muscular. Bem, resumindo, os músculos precisam da ajuda de vários sistemas para um bom funcionamento.

Pessoas que apresentam obstruções das artérias ou das veias em seus membros inferiores sentem fortes dores ao caminhar, uma vez que os músculos não recebem o aporte de oxigênio necessário ao metabolismo aeróbico e a liberação de ácidos no local estimula as terminações nervosas que conduzem à sensação dolorosa.

UM OLHAR FINAL SOBRE OS MÚSCULOS

Os músculos estão envolvidos em diversos movimentos voluntários e involuntários, com o auxílio direto dos sistemas nervoso, circulatório e respiratório. A atividade contrátil exige, especialmente no músculo esquelético, um estímulo e um controle dos nervos, para que os movimentos ocorram e tenham qualidades como força, velocidade, precisão, dentre outras. A oferta de oxigênio, de nutrientes e a remoção do gás carbônico oriundo da atividade metabólica da fibra muscular são uma atribuição conjunta dos sistemas circulatório e respiratório. Além destes, outros sistemas agem na atividade motora e a perda dos movimentos poderá comprometer uma série de atividades normais do organismo.

CONCLUSÃO

Os músculos esqueléticos e os nervos medulares (espinais) formam uma unidade fisiológica que não apenas possibilita a contração muscular, mas também influencia o estado de repouso, a massa muscular e a coordenação motora. Qualquer comprometimento dessa relação poderá promover disfunções motoras, com sérias conseqüências para o funcionamento do corpo.

ATIVIDADES FINAIS

1. Faça uma lista de alguns movimentos que podem ser realizados tanto de forma voluntária quanto involuntária; e de movimentos que só podem ser realizados como um ato reflexo. Defina, ainda, quais as condições necessárias para que um ato seja considerado voluntário.

RESPOSTA COMENTADA

Movimentos como caminhar, andar de bicicleta, respirar, piscar os olhos, dentre outros, podem ser realizados de forma voluntária ou involuntária. Os reflexos puros podem ser observados nas atividades do coração e dos vasos sanguíneos, bem como nos movimentos do tubo digestivo e na respiração (a maior parte do tempo). Para que um ato seja caracterizado como voluntário, é necessário que ele seja realizado de acordo com a nossa vontade, de forma consciente e atenta, e que seja um ato aprendido em algum momento de nossas vidas.

2. Faça um resumo de todos os acontecimentos desde a chegada de um potencial elétrico no final de uma terminação nervosa até o relaxamento muscular, isto é, até que o sarcômero recupere o seu comprimento de repouso.

RESPOSTA COMENTADA

Com a chegada de um potencial elétrico na terminação de um neurônio, ocorrerá a liberação de uma determinada quantidade de acetilcolina. Este transmissor irá se ligar com a placa motora e, assim, produzir uma nova atividade elétrica que se propagará por todo o sarcolema. Esta atividade irá promover a saída do cálcio das vesículas do retículo sarcoplasmático para o sarcoplasma para produzir a ligação dos filamentos de miosina aos de actina. Esta ligação produzirá um deslizamento dos filamentos de actina, aproximando cada vez mais as linhas Z e, assim, encurtando o sarcômero. Após a contração desejada ter sido atingida, a ATPase irá provocar o desligamento final dos filamentos de miosina e actina e as linhas Z começarão a se afastar, aumentando o comprimento dos sarcômeros. Como consequência, teremos o relaxamento muscular.

3. Explique qual a vantagem de um atleta de maratona e de um arremessador de peso, ambos no nível olímpico, apresentarem um predomínio de fibras vermelhas e brancas, respectivamente, em seus músculos. O que poderia ocorrer se esses padrões de fibras fossem invertidos nesses atletas?

RESPOSTA COMENTADA

A maratona é uma atividade de longa duração, podendo durar horas. O arremesso de peso é uma atividade motora muito intensa, mas que dura poucos segundos. Assim, seria vantajoso para o maratonista contar com um elevado percentual de fibras de contração lenta (fibras vermelhas), pois estas fibras são capazes de manter uma atividade prolongada, pela elevada produção de energia que conseguem realizar e pelo seu baixo poder de fadiga. Em contrapartida, para o arremessador de peso, é necessário contar com fibras de grande poder contrátil, isto é, que desenvolvam grandes aumentos de tensão, mas durante um curto período de tempo. Caso os padrões fossem invertidos, o maratonista sentiria muito cansaço e fortes dores nos primeiros 20 ou 30 minutos de prova e, inevitavelmente, abandonaria a maratona. Já no caso do arremessador de peso, ele não teria a força necessária em seus músculos para o lançamento do peso a distância. Ou seja, um sairia logo no início e o outro arremessaria o peso no próprio pé!

4. Faça um esquema representando uma unidade motora e, em seguida, um resumo listando todos os efeitos que os neurônios motores produzem sobre as fibras musculares.

RESPOSTA COMENTADA

Em seu esquema, você seguramente demonstrou uma importante via de ligação entre o sistema nervoso e as fibras musculares. Veja se você deixou bem caracterizado que os neurônios motores são responsáveis pela contração dos músculos esqueléticos, pela manutenção do tônus de repouso, pelo estado metabólico, mantendo a integridade morfológica e a massa muscular (trofismo) e pela coordenação motora.

5. Sabendo que os vasos sangüíneos trazem oxigênio ou nutrientes para o músculo esquelético e levam, do músculo, o gás carbônico produzido, defina de onde se originam o oxigênio e os nutrientes que o sangue traz e para onde se dirige o gás carbônico que o sangue leva?

RESPOSTA COMENTADA

Os vasos sangüíneos transportam o oxigênio dos pulmões e os nutrientes do tubo digestivo ou dos estoques armazenados no fígado, por exemplo. O gás carbônico será levado, pelos vasos sangüíneos, do músculo até os pulmões, onde será eliminado pela respiração.

RESUMO

A atividade dos músculos estriados esqueléticos está envolvida em atos voluntários e involuntários e depende, em última análise, de um comando dos neurônios motores, nas unidades motoras que, ao liberarem acetilcolina, promovem o acoplamento dos filamentos protéicos de actina e miosina, e esta ligação é necessária para a atividade mecânica das fibras musculares. Além de comandar a contração, o sistema nervoso exerce importante ação sobre o estado de repouso dos músculos e o seu metabolismo.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, estudaremos com você as bases neuronais do controle dos movimentos. Nós discutiremos como o sistema nervoso central (encéfalo e medula espinal) interage com as unidades motoras para que os músculos possam participar dos movimentos de uma forma coordenada e harmônica, integrando as áreas motoras do sistema nervoso com os órgãos dos sentidos. Até lá!

SITES RECOMENDADOS

BASE Molecular da contração . Disponível em: <<http://www.icb.ufmg.br/~lbcd/prodabi4/grupos/grupo1/molecular.htm>>. Acesso em: 24 maio 2005.

CHIESA, Luiz Carlos. Fibras musculares: a interferência sobre o treinamento sobre as características das fibras musculares. Disponível em: <<http://www.copacabanarunners.net/indgeral.html?http://www.copacabanarunners.net/fibras-musculares.html>>. Acesso em: 24 maio 2005.

COSTA, Allan José. Musculação e crianças: incompatíveis ? Disponível em: <<http://www.efartigos.hpg.ig.com.br/fitness/artigo35.html>>. Acesso em: 24 maio 2005.

ESCUELA de Medicina P. Universidad Católica de Chile. Bases moleculares de la contracción muscular. Chile: PUC-CL. Disponível em: <<http://escuela.med.puc.cl/paginas/Cursos/segundo/histologia/HistologiaWeb/paginas/mu32235.html>>. Acesso em: 23 maio. 2005.

DESNERVAÇÃO crônica de músculo esquelético. Disponível em: <http://www.fcm.unicamp.br/departamentos/anatomia/musdesnerv.html>. Acesso em: 23 maio. 2005.

MORAES, Luiz Carlos. Fibras musculares. Disponível em: <<http://www.noticiasdocorpo.com.br/ano1n002/materia.htm>>. Acesso em: 24 maio 2005.

MOREA, Lucas. Actina. Disponível em: <<http://www.monografias.com/trabajos12/actina/actina.shtml>>. Acesso em: 07 jun. 2005.

MÚSCULOS: fontes de energia para contração muscular. Disponível em: <<http://www.geocities.com/amtavaresj/energiamusculo.htm>>. Acesso em: 24 maio 2005.

SISTEMA Muscular: os músculos. Disponível em: <http://www.corpohumano.hpg.ig.com.br/sist_muscular/sist_muscular.html>. Acesso em: 22 mar. 2005.

Uma questão de qualidade. O controle motor no cérebro

AULA 19

Meta da aula

Demonstrar a participação das áreas motoras do córtex cerebral, dos núcleos da base e do cerebelo, no controle motor, assim como as suas interações recíprocas.

objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de :

- Analisar a participação dos órgãos dos sentidos no controle dos movimentos.
- Descrever o significado da hierarquização filogenética dos centros motores, a partir da qual o organismo vai aumentando suas possibilidades de movimento.
- Analisar o que entendemos por engrama motor e como ele é criado em nosso cérebro.
- Descrever as áreas motoras do córtex cerebral e suas principais características em relação ao controle dos movimentos.
- Analisar a influência dos núcleos da base do cérebro no controle motor e suas principais interações com o córtex cerebral e com o cerebelo.
- Descrever a organização anatômica e filogenética do cerebelo, bem como a localização das suas principais funções.
- Listar as principais vias de entrada e saída de informações do cerebelo e como essas vias possibilitam conexões com outras áreas motoras.
- Definir o papel atribuído ao cerebelo em relação ao aprendizado motor.

Pré-requisitos

Para um bom acompanhamento deste assunto você deverá rever as Aulas 5 (Organização geral do sistema nervoso), 7 (Somestesia) e 17 (Sistema neurolocomotor – o esqueleto como História e não como Geografia), uma vez que o controle motor depende do conhecimento prévio das estruturas componentes do sistema nervoso, da sensibilidade corporal e da interação entre nervos e músculos.

CONTROLE MOTOR? ATENDA AO TELEFONE E DEPOIS CONVERSAMOS!

Você está em sua casa quando o telefone toca. Você estende o seu braço, pega o telefone e atende a chamada. É um colega do curso querendo esclarecer algumas dúvidas com você sobre as aulas de controle motor. Pronto! Você já está realizando uma atividade prática sobre este assunto. Seus movimentos irão seguir um determinado padrão de atividade e seus músculos serão acionados, em uma certa seqüência, para que isto tudo possa acontecer de uma forma adequada. Estamos falando, portanto, dos mecanismos pelos quais o sistema nervoso central controla os movimentos corporais.

Voltando ao experimento, vamos acompanhar suas ações motoras, desde o momento em que o telefone tocou até o instante em que você começou a falar com o seu amigo. Quando ouviu o som do telefone, é claro que você sabia o que fazer. Em seu cérebro existe um programa preparado para isto, uma vez que essa experiência não é nova para você; ou seja, você já atendeu ao telefone várias vezes. Assim, com o toque, você gira a cabeça e o tronco na direção da mesa, move o braço, estende o cotovelo, estende e afasta os dedos de sua mão e, então, apreende o aparelho.

Uma vez atingido esse contato com o telefone, você flexiona os dedos, segura o aparelho, o remove do gancho, flexiona o cotovelo, mexe o braço e, finalmente, posiciona a escuta em sua orelha. Pronto. Aí virá o já consagrado: alô! Ou, como dizem os nossos amigos de Portugal: está lá?

Este simples ato que se repete em todo o mundo, infinitas vezes a cada segundo, apresenta uma expressiva complexidade na sua construção. Exige, além da presença de nervos e músculos normais, uma complexa rede de neurônios centrais, na medula espinhal e no encéfalo, para que os atos tenham qualidade, isto é, sejam coordenados no espaço e no tempo. O cérebro tem essa programação armazenada em sua memória, mas é necessário que alguns centros vigiem a execução desses movimentos para que tudo ocorra de acordo com o que foi planejado.

Assim, não basta que os músculos contraíam. É necessário que eles sejam coordenados, e somente aí o movimento atenderá aos objetivos. Quando nos referimos à qualidade de movimentos, estamos admitindo que é necessário que essas contrações musculares estejam integradas dentro de um programa preestabelecido de controle motor. É disso que vamos tratar daqui por diante.

Para que um movimento, como este que você realizou, seja útil ao objetivo (pegar um telefone e levar à orelha), é necessário que os músculos envolvidos sejam controlados quanto à velocidade de contração (movimentos rápidos ou lentos), à força (pegar um telefone, um pequeno pássaro vivo ou uma fatia de torta), à seqüência (tronco, ombro, cotovelo e mãos, na ida e na volta), à direção (a mão é deslocada na direção do telefone), à distância (a mão não pode parar antes de atingir o telefone, nem passar por ele) e livre de movimentos adicionais (como os tremores). Se você, por exemplo, leva um copinho cheio de café quente em um corredor repleto de alunos adolescentes conversando, ao passar entre eles, sua mão terá de mostrar a firmeza de um neurocirurgião e não tremer!

Essas qualidades serão obtidas pela integração do sistema nervoso com os músculos e, assim, os movimentos serão perfeitamente ajustados, tanto no momento em que o cérebro aciona o programa motor, quanto em cada instante da sua execução. Resumindo, os centros de controle motor pretendem que o movimento programado pelo cérebro (para atender ao telefone) seja executado, nos músculos, com uma fidelidade absoluta.

Para que este controle seja exercido com eficácia, é necessária, além da presença de unidades motoras funcionantes, a atividade de outros centros, como o córtex motor, os **NÚCLEOS** da base do cérebro, o tronco encefálico, o cerebelo, a medula espinhal e uma série de vias que conectam esses centros entre si.

Já estudamos, na Aula 17, a importância das unidades motoras (neurônios motores e músculos esqueléticos) nos movimentos. Qualquer programa iniciado e corrigido pelos centros motores do sistema nervoso tem de passar, obrigatoriamente, pelas unidades motoras para que os músculos recebam os comandos de contrair ou relaxar.

Vamos, pois, examinar algumas características destes centros de controle do movimento.

NÚCLEOS

São aglomerados de corpos de neurônios localizados no sistema nervoso central (substância cinzenta). De maneira geral, estão relacionados a alguma função específica.



A qualidade dos movimentos realizados depende, em última análise, de uma perfeita integração entre o movimento planejado no cérebro e o controle permanente da sua execução. Este controle é exercido pelos núcleos da base, pelo cerebelo, por alguns centros no tronco encefálico e pela medula espinhal.

BRINCANDO DE “CABRA CEGA” AO TELEFONE OU DO QUE PRECISO PARA ME ORIENTAR?

Você já brincou de cabra-cega? Não é do seu tempo? Nada de gracinhas, vamos lá! Coloque um pano preto impedindo a sua visão e, em seguida, peça a alguém que posicione um telefone em algum local da sala, mas que você desconheça essa localização. Então, alguém ligará para este telefone a partir de um outro aparelho.

Você atenderia ao telefone? Qual a diferença entre este experimento e o que sugerimos no começo desta aula, quando a sua visão estava livre? Claro, esperamos que você seja capaz de atender. Como você chegará até o telefone? E se o som subitamente parar? Você seria capaz de encontrar o aparelho, em completo silêncio? Estas questões mostram a importância dos órgãos dos sentidos: visão e audição. Nesse caso, você já percebeu que o som do telefone tocando o levará até ele.

Neste contexto, convém lembrar que a sensibilidade (isto é, a atuação dos sentidos) é de extrema importância na execução correta dos movimentos.

No caso do telefonema, a função auditiva (percepção do som do telefone) permitirá que você tenha uma noção da localização do aparelho, orientando o seu corpo (movimento) na direção da mesa. O contato visual com o aparelho daria ao cérebro a sua real localização. O contato da sua mão com o telefone (tato) informará ao cérebro que uma parte do objetivo foi alcançada e que, a partir daquele momento começa o movimento de trazer o aparelho até a orelha. É por esse meio que uma pessoa cega localiza e atende ao telefone. E como uma pessoa completamente surda seria capaz de realizar essa atividade? Como uma pessoa surda faz para saber que o telefone está tocando? Evidente que o toque do telefone deve ser acompanhado, neste caso, de um sinal luminoso. Você já pode antever que, em muitos casos, a impossibilidade de executar movimentos estará relacionada a alguma deficiência nos órgãos dos sentidos e não diretamente a problemas nos centros motores.

ENGRAMA MOTOR

Dados armazenados em sua memória motora devido à repetição de algum ato que pode ser recuperado para execução.

Estou seguro de que, o tempo todo, você sabia que movimentos precisaria realizar para localizar o aparelho e atendê-lo. Afinal, você já atendeu ao telefone outras tantas vezes. Isto quer dizer que no seu cérebro existe um **ENGRAMA MOTOR**, um banco de memórias motoras que você foi incorporando à medida que ia passando da infância para a vida adulta.

Quando um determinado movimento é reproduzido pelo indivíduo, ele aciona este programa armazenado e o movimento é realizado com rapidez e eficiência. O cérebro (córtex motor) também é responsável pelos movimentos voluntários que já caracterizamos com você na Aula 17 e, ainda, é capaz de associar as áreas motoras com variados estímulos recebidos pelos órgãos dos sentidos que vimos nos exemplos.

Dessa forma, quando desejamos realizar o movimento de pegar o telefone, o córtex motor inicia uma série de atividades responsáveis por este movimento voluntário, considerando, ainda, a memória de que movimentos serão necessários para este ato e a associação entre as áreas: auditiva (som da campainha), visual (visão do aparelho) e tátil (apreensão do aparelho com a mão).



Embora nos textos de neurociências, por razões de organização de conteúdo, se separem o estudo da sensibilidade e da motricidade, na prática estes temas devem ser plenamente integrados, pois percepção e movimento são funções interdependentes.

ATIVIDADES



1. Imagine que você está lendo algum texto no computador, navegando em algumas páginas e marcando algumas partes do texto. Em um determinado momento alguém entra na sala chamando seu nome. Você interrompe a leitura, prontamente se vira na direção da pessoa e a cumprimenta. Após trocar algumas palavras com esta pessoa, você retorna ao texto. Examine todos os seus movimentos nesta condição e defina em que momentos você utilizou as informações visual, auditiva e tátil para guiar os movimentos do seu corpo.

[illegible]

RESPOSTA COMENTADA

O controle do mouse pela sua mão depende da visão do cursor na tela e do próprio contato (tato) de sua mão com ele. Assim, o mouse poderá ser deslocado em todos os sentidos e clicado com os dedos indicador e médio. A visão será, portanto, de grande auxílio no controle dos movimentos da mão. Quando alguém chama seu nome, a audição permite que você possa orientar seu corpo em uma determinada direção até que a visão da pessoa faça seu corpo ser fixado neste ponto. Ao identificar a pessoa (visão) você aciona seus músculos da fala, de forma coordenada, e a cumprimenta. Este é um exemplo de interação entre os sentidos e o controle motor.

2. Suponha que uma pessoa não apresente qualquer sensibilidade na pele de sua mão direita. Ela não sente dor, tato, pressão, vibração nem qualquer outra forma de sensação, como você estudou na Aula 7 (Somestesia). Se esta pessoa encostar a mão direita em uma grade eletrificada, será que ela vai retirar prontamente a mão como nós faríamos? O problema dela está nos centros motores? Por que, então esta pessoa não foi capaz de mover seu braço, afastando-o do choque?

RESPOSTA COMENTADA

Fica evidente que não há, neste caso, qualquer problema com as unidades motoras nem com os centros de controle motor, uma vez que ela será capaz de realizar os mesmos movimentos se você solicitasse verbalmente. A dificuldade em retirar a mão da cerca eletrificada está na falta de sensibilidade da pele. Assim a ruptura do ato reflexo (que estudamos na Aula 17) deixa o sistema motor sem as informações provenientes da mão e, por essa razão, ocorre a impossibilidade de emitir uma resposta motora.

CONTROLE MOTOR: UM SISTEMA HIERARQUIZADO NA EVOLUÇÃO

O controle motor pode ser entendido em um sistema hierarquizado em três níveis, de acordo com a evolução dos organismos (**FILOGÊNESE**). A medula espinhal é o nível mais antigo, dentre os organismos mais complexos, controlando, essencialmente, as ações reflexas.

Em um nível evolutivo superior, aparece a integração no tronco encefálico que controla a postura e os movimentos da cabeça e dos olhos. Mais recentemente na escala evolutiva, situa-se o terceiro nível, representado pelo córtex cerebral. Ao lado de cada um desses níveis, ocorreu o desenvolvimento do cerebelo e dos núcleos da base do cérebro, com importantes atividades motoras. Vamos estudar a participação de cada um desses níveis no controle dos movimentos corporais.

FILOGÊNESE

Corresponde às modificações observadas nos organismos durante a evolução. O termo pode ser referido ao conjunto de seres vivos ou, especificamente ao ser humano, desde o seu surgimento.

AS ESTAÇÕES SUPERIORES DO MOVIMENTO: O CÓRTEX MOTOR

Como você estudou na Aula 5 sobre organização geral do sistema nervoso, o córtex cerebral é uma camada de substância cinzenta com 2 a 5mm de espessura, recobrindo a superfície externa do cérebro. Como é uma área muito desenvolvida nos **PRIMATAS** (e, em especial, nos humanos), ela tem que se “dobrar” em giros e sulcos para que uma quantidade relativamente grande de substância cinzenta possa caber no interior do crânio. Cerca de 60% da superfície total do córtex cerebral está “escondida” no interior dos sulcos.

No córtex cerebral estão situados os corpos de muitos neurônios, cujas funções básicas são: integrar os estímulos que chegam (interpretando-os), armazenar uma série de dados (produção de memória) e tomar decisões enviadas para outros centros.

No exemplo do telefone que sugerimos, a área auditiva do córtex foi acionada pelo som do telefone, a área visual, ativada pela visão do aparelho e a área tátil (somestésica), ativada pelo toque da mão (estímulos).

As áreas de memória foram, inicialmente, acionadas no exato instante em que a atividade sonora foi projetada na área auditiva do córtex cerebral que, assim, reconheceu o som e ligou este barulho à imagem do telefone, uma vez que esta área auditiva foi capaz de consultar os dados da área de memória auditiva, como foi estudado na Aula 10 (Audição e linguagem).

PRIMATAS

São mamíferos de aparecimento relativamente recente na evolução, representados pelos macacos (pequeno e médio porte), os símios (chimpanzé, gorila, orangotango e gibão) e o ser humano.

Os macacos e os símios são conhecidos como antropóides (antropo=homem; óide=semelhante) e os símios e o homem são classificados como hominídeos.

Quando você viu o aparelho, a imagem formada no córtex visual foi levada ao banco de memórias visuais, onde já havia o registro armazenado de um telefone. Assim nós sabemos que aquele objeto serve para ser atendido quando toca e que alguém falará conosco. O toque da mão no telefone possibilitará que a área tátil do córtex cerebral compare o estímulo que chegou com a imagem do telefone armazenada na memória somestésica. Por isso é que, mesmo de olhos fechados, você seria capaz de reconhecer um telefone.

Uma vez que os estímulos tenham chegado pelos órgãos dos sentidos e interpretados, após uma consulta aos dados do banco de memória (corticais), o córtex toma suas decisões e aciona um programa motor. Neste momento da aula, estamos considerando o córtex motor, isto é, as áreas motoras do córtex cerebral. A partir daí será possível produzir os movimentos da cabeça, do tronco e do membro superior para atender ao telefone. E, ao conversar ao telefone, com o seu amigo, as áreas motoras estarão, ainda, movendo os músculos da fala. São essas áreas motoras do córtex que vamos examinar, a partir de agora.

Os movimentos voluntários dependem da atuação do córtex motor e das vias descendentes que aí se originam e que descem até a medula espinhal. O grau de motivação (vontade) e as idéias de realizar os movimentos voluntários são, inicialmente, organizados em múltiplas áreas de associação do córtex cerebral e então transmitidas às áreas motoras, para que se organize um plano de movimento. Este plano identificará os músculos que serão recrutados para contrair, como deverão atuar e qual a seqüência em que ocorre. Somente a partir dessa etapa o comando será enviado à medula espinhal por meio de vias descendentes. Contudo, como veremos, o planejamento e a execução dos movimentos serão influenciados pelos núcleos da base do cérebro e pelo cerebelo.

Mas, afinal de contas, onde fica exatamente a área motora no córtex cerebral? Vamos observar, nas Figuras 19.1 e 19.2, a representação das áreas motoras do córtex cerebral, bem como algumas outras áreas associadas.

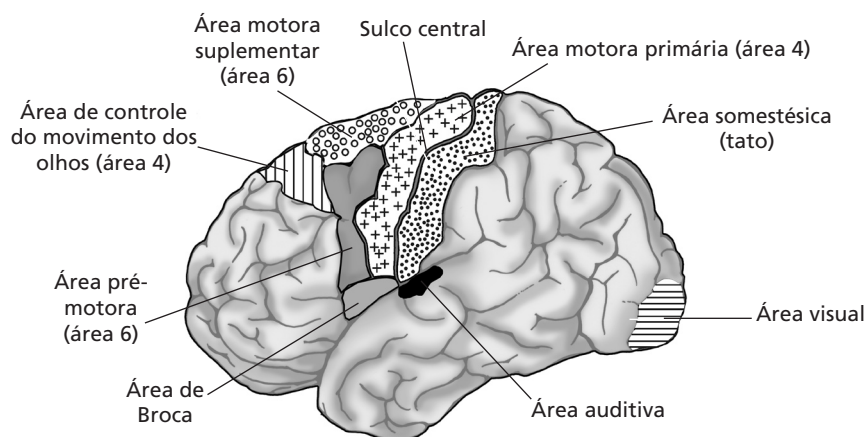


Figura 19.1: Visão lateral do hemisfério cerebral esquerdo com as indicações das principais áreas motoras e algumas áreas sensitivas associadas.

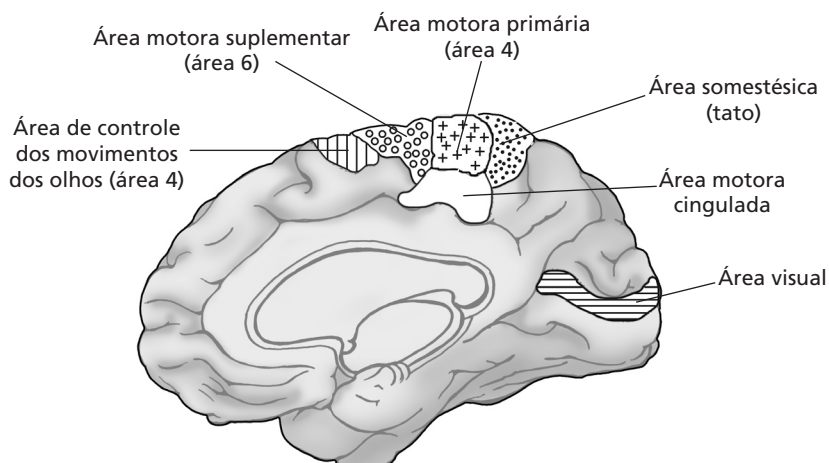


Figura 19.2: Visão medial do hemisfério cerebral direito com as indicações das principais áreas motoras e algumas áreas sensitivas associadas.

Inicialmente identifique o lobo frontal, ou seja, toda a região situada à frente do sulco central. Neste lobo existe um giro localizado imediatamente adiante deste sulco denominado giro pré-central onde fica localizada a *área motora primária*. Esta área é responsável pela execução dos movimentos voluntários e está representada nos dois hemisférios, possuindo um grande número de circuitos que controla os movimentos voluntários de regiões específicas do corpo. Estímulos elétricos aplicados em algum ponto específico desta área primária provocarão um movimento isolado de alguma parte do corpo do indivíduo.

Mais anteriormente à área motora primária, portanto, ainda no lobo frontal, podemos identificar, em qualquer dos dois hemisférios, as áreas *pré-motora* e *motora suplementar* (área 6). Estas áreas não estão relacionadas diretamente à execução dos movimentos voluntários, mas ao seu planejamento. O conhecimento é armazenado na área 6 para o controle dos movimentos aprendidos como aqueles necessários à prática de atividades esportivas.

Agora, observando apenas um dos hemisférios, de qualquer dos lados, e examinando o cérebro pela face medial, vemos a *área motora cingulada* que tem esse nome porque fica situada imediatamente acima de um giro do cérebro, denominado giro do **CÍNGULO**. Dados experimentais têm relacionado essa área motora com um determinado conteúdo emocional, estando associada com a sensação de recompensa. Um exemplo característico é a expressão do movimento que usamos para sorrir quando recebemos um elogio.

CÍNGULO

Giro do córtex cerebral situado medialmente, acompanhando a curvatura do corpo caloso. A palavra vem do latim (*Cingulum*), que significa “algo que contorne”, “algo ao redor”.

ATIVIDADE



3. A partir de estudos eletrofisiológicos ou com o uso de substâncias radioativas, demonstrou-se que a área motora primária é ativada quando realizamos movimentos voluntários sob algum comando verbal, como poderá ocorrer quando um examinador solicita que você levante a perna direita. Você acha que a área motora primária é a primeira área ativada no cérebro para a realização de algum movimento solicitado verbalmente por um examinador? A atividade elétrica (no eletroencefalograma) ou a incorporação do isótopo (na tomografia de emissão de positron-PET) faz-se inicialmente na área motora primária?

RESPOSTA COMENTADA

A idéia de que a execução de um movimento voluntário é iniciada na área motora primária é errada. A realização de um movimento, de forma espontânea ou sob solicitação, como nessa atividade, depende de como o comando foi acionado, seja por um estímulo visual, ou auditivo ou tátil, ou então, a simples vontade de realizá-lo, mesmo sem solicitação.

Logo, as áreas sensitivas (visual, auditiva) e de associação cortical serão ativadas (e os exames mostrarão essa seqüência de atividade) antes de o sinal passar pela área motora primária. Neste caso específico, o comando foi verbal e a sua percepção foi auditiva. Assim, a área motora primária é uma etapa essencial na realização destes movimentos, mas não inicia as ações entre o desejo de

Ainda temos de considerar mais duas importantes áreas motoras no córtex cerebral. Uma delas é denominada *área do controle dos movimentos dos olhos* e está associada ao desvio voluntário e sincronizado dos olhos, especialmente em relação aos **MOVIMENTOS SACÁDICOS**, ou seja, ao desvio extremamente rápido do olhar que estava fixado em um determinado ponto para um outro ponto. Um exemplo é quando você está olhando um barco distante no mar e, subitamente, ouve uma explosão à sua direita. Seu olhar é, então, rapidamente desviado de forma conjugada (envolvendo os dois olhos) na direção da fonte sonora de onde partiu o barulho.

MOVIMENTOS SACÁDICOS

São movimentos abruptos e em alta velocidade, como se fosse um “saque” realizado nos esportes.



Embora as áreas motoras do córtex, aqui examinadas, estejam localizadas em diferentes giros no cérebro, elas são interligadas por vias de associação, de tal forma que funcionam em conjunto.

Vale a pena salientar que o movimento conjugado dos olhos, quando seguimos um objeto que se move, é comandado por uma outra área situada no lobo occipital do cérebro, próximo à área visual; e não pela área referida nesta aula. Isto acontece quando você acompanha um carro que se move em uma corrida, da esquerda para a direita.

BROCA (fala-se “Brocá”)

Uma homenagem a Paul Pierre Broca (1824 - 1880), um neurocirurgião francês, que se notabilizou por descobrir o “centro da fala” no cérebro. Broca realizou, ainda, importantes estudos de antropologia física, sendo o fundador da Sociedade Antropológica de Paris, em 1859; e da Escola de Antropologia, em 1876.

Até agora descrevemos as áreas motoras corticais que se apresentam em ambos os hemisférios. Contudo, existe uma área motora, situada na porção mais inferior do lobo frontal e bem abaixo da área pré-motora que, diferente das outras, só existe no lado esquerdo, na grande maioria dos casos. É denominada de área de **BROCA**. Esta área está relacionada à fala, armazenando uma programação motora que é necessária para o comando dos músculos na emissão de fonemas, visando à formulação de palavras e frases na comunicação verbal. Logo, uma lesão na área de Broca impede que o indivíduo fale de uma forma clara, embora seus músculos não estejam impedidos de contrair. O que ele não consegue é coordená-los de uma maneira adequada.



ATIVIDADE

4. Algumas pessoas, infelizmente, são acometidas por lesões no cérebro e, além de ficar, em muitos casos, com algum grau de paralisia nos membros, podem ter dificuldades ao falar. Por isso, gostaria que você tentasse localizar o lobo e o lado da lesão, considerando este comprometimento da fala como você o explicaria, a partir do conhecimento das áreas motoras?

RESPOSTA COMENTADA

Se você afirmou que a lesão deve ter ocorrido no lobo frontal do hemisfério cerebral esquerdo (área 6), você acertou. Observe que, na parte mais inferior da área 6, existe, no lado esquerdo, a área da fala (de Broca). Uma vez comprometida, esta área impede que os músculos responsáveis pela fala sejam acionados em um movimento coordenado. A lesão, estendendo-se pelo restante da área motora, como a área 4, produz a paralisia dos membros. Se a mesma lesão tivesse ocorrido no hemisfério direito, haveria uma paralisia corporal, mas a fala seria preservada.

UM HOMENZINHO ESTRANHO DENTRO DA NOSSA CABEÇA

Voltando à área motora primária (ou área 4), os neurocientistas observaram que a estimulação elétrica de uma região localizada no lobo frontal do córtex cerebral, no hemisfério cerebral direito, produzia movimentos nos membros do lado esquerdo. Quando a estimulação ocorria na mesma posição, mas do lado esquerdo do cérebro, o movimento era produzido em um dos membros do lado direito do corpo.

Os neurônios aí localizados emitem longos axônios que formam feixes, projetados até a medula espinhal e, por esta razão, este feixe foi chamado corticoespinhal (do córtex cerebral à medula espinhal). Na medula espinhal, esses axônios entram em contato com os corpos dos neurônios motores que você estudou na Aula 17. Relembrando: estes neurônios motores saem da medula espinhal e vão compor as unidades motoras. Desta forma, eles levam o sinal até a placa motora das fibras musculares. Assim, da área motora do córtex cerebral até o músculo, forma-se uma longa via com dois neurônios: o primeiro neurônio no feixe corticoespinhal; e o segundo, o próprio neurônio motor.

Estudos eletrofisiológicos permitiram aos cientistas mapear o corpo humano na área motora primária, a partir de estimulações elétricas adequadas. Criou-se, assim, um mapa corporal na área 4, em cada um dos hemisférios cerebrais. Esta organização do corpo humano no córtex é denominada **SOMATOTOPIA** e, em última análise, estabelece uma correspondência entre porções da área motora e as partes do corpo humano.

SOMATOTOPIA

(Do grego *soma* = corpo; *topos* = local) significa que as partes do corpo (soma) são representadas em alguma parte (topos) do sistema nervoso central, como o cérebro ou o cerebelo, criando uma certa correspondência.

HOMÚNCULO DE PENFIELD

Corresponde a uma representação do corpo na área motora primária. Este mapeamento da área motora primária foi realizado pelo neurocirurgião norte-americano Wilder Graves Penfield (1891-1976), no início da década de 1950, a partir de eletroestimulação.

Você pode observar algumas características dessa somatotopia nas Figuras 19.3 e 19.4. A figura humana aí representada é conhecida como **HOMÚNCULO DE PENFIELD** (homúnculo = homem pequeno).

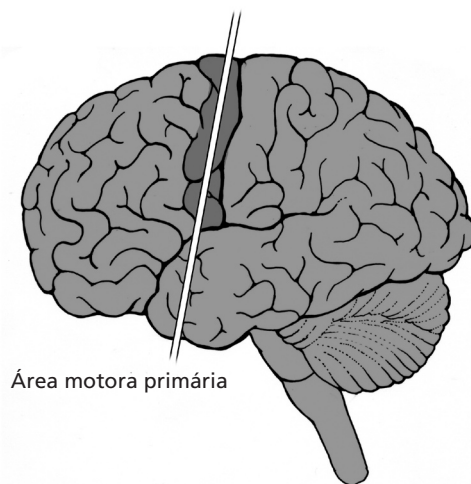


Figura 19.3: Visão lateral do hemisfério cerebral esquerdo mostrando o local da seção realizada na área motora primária, para evidenciar a sua organização somatotópica.

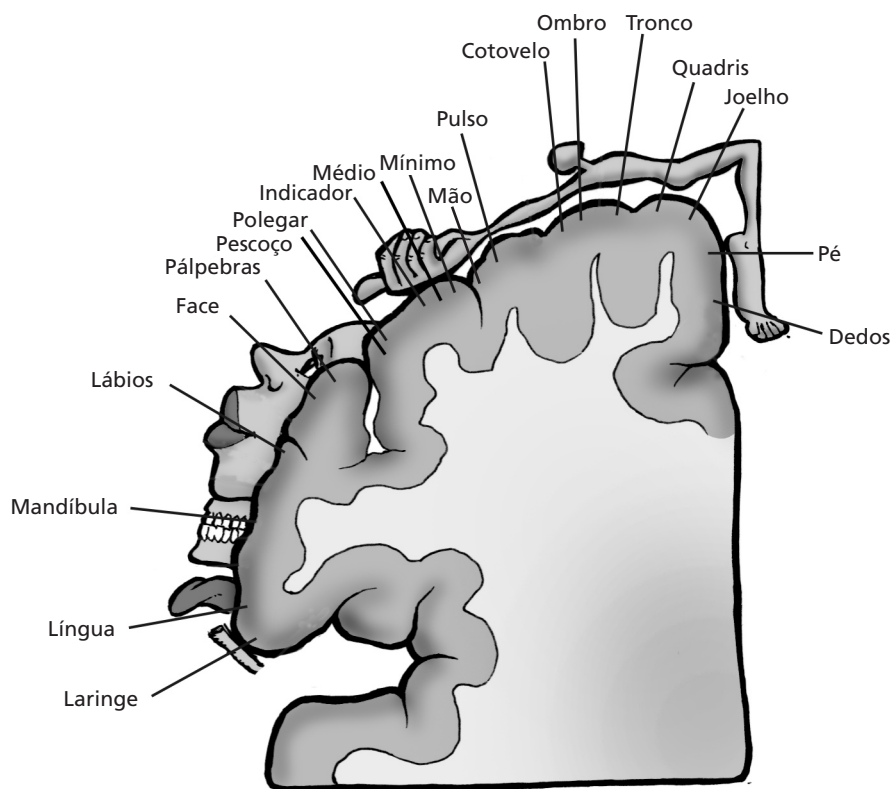


Figura 19.4: Seção frontal realizada na área motora primária, mostrando a organização somatotópica, com o homúnculo motor de Penfield representado.

Examinando esta estranha figura você poderá, em primeiro lugar, observar que ela está de cabeça para baixo. O que isto significa? A estimulação das regiões mais superiores da área motora produz movimentos no pé do indivíduo. Em contrapartida, a estimulação da porção mais inferior da área motora provoca um movimento da mão. Assim, cada área do córtex motor do cérebro é responsável por movimentos de uma área do corpo, considerando essa inversão corporal em sua representação cortical.

Uma outra característica que se pode observar desta projeção corporal, no córtex motor, é que somente a metade do corpo foi representada. E, como você já deve ter previsto, esta metade corresponde à imagem do corpo do lado oposto, uma vez que a maior parte dos axônios do feixe corticoespinhal, ao descer e atingir o tronco encefálico, cruza para o lado oposto e, assim, o hemisfério cerebral de um lado manda estímulos aos músculos do lado oposto do corpo.

Um terceiro aspecto que chama a nossa atenção é que esta figura humana é disforme, ou seja, existem grandes desproporções entre as áreas dos membros, do tronco e da face. As áreas que comandam o dedo polegar e os lábios, por exemplo, são relativamente grandes em seu mapeamento na área 4, ao passo que as áreas da coxa ou do tronco são pequenas. Qual a razão desta forma de representação? Muito bem, foi isso mesmo que você imaginou! Como os movimentos do polegar e dos lábios exigem um grau de precisão maior do que ocorre na coxa ou no tronco, o número de conexões de neurônios que movimentam o polegar ou os lábios é maior do que ocorre com a coxa ou o tronco. Exige, assim, uma área maior de representação cortical.



Na área motora primária do córtex cerebral está representada uma figura humana invertida da metade oposta do corpo, com proporções relacionadas não ao tamanho real das partes do corpo, mas ao grau de precisão no controle dos movimentos.

O conceito de comando cruzado entre a área motora e os músculos corporais (o hemisfério direito comandando os músculos do lado esquerdo, por exemplo), só é válido para os músculos dos membros. A musculatura da face e do tronco é suprida por comandos de ambos os hemisférios.

ATIVIDADE



5. A área de representação motora cortical das mãos é muito maior do que a dos pés e, por isso, os movimentos das mãos são mais precisos do que os movimentos dos pés. Então, como você explicaria a extrema habilidade encontrada nas pessoas que escrevem e pintam com os pés, por terem suas mãos incapacitadas por alguma doença? Como seriam as áreas corticais que representam as mãos e pés, nessas condições?

[illegible]

RESPOSTA COMENTADA

Em condições normais, as áreas que representam as mãos são nitidamente maiores, no córtex motor, do que as áreas em que são mapeados os pés. Contudo, diante da impossibilidade de usar as mãos em tarefas que exijam habilidade, as pessoas acometidas por essas incapacidades começam a realizar um treinamento progressivo. Isso resultará na adaptação de seus pés em atividades de grande destreza.

Os neurônios, situados na área onde se representa a mão, vão sofrendo um processo degenerativo, ao passo que os neurônios corticais, na área correspondente ao pé, vão expressando uma reorganização de seus circuitos, com aumento de suas conexões sinápticas e, ao final deste processo adaptativo, esta área será aumentada em sua representação cortical. Esta modificação estrutural é a base da neuroplasticidade e permitirá que o pé seja usado em movimentos de grande precisão, como os necessários nas artes plásticas naquelas pessoas. Embora as modificações adaptativas possam ocorrer em adultos, elas se tornam mais eficientes quando o treinamento se dá na infância.

DE OLHO NA QUALIDADE: OS NÚCLEOS DA BASE DO CÉREBRO E O CEREBELO

Vamos examinar o papel desempenhado pelos núcleos da base do cérebro (denominados núcleos da base) e pelo cerebelo no controle motor. Considerados inicialmente em conjunto, os núcleos da base e o cerebelo fazem parte de uma grande conexão de núcleos e axônios que modificam os movimentos a cada instante, atuando, em parte, no córtex motor. Estes centros, em última análise, controlam a qualidade dos movimentos do nosso corpo.

Na **Figura 19.5**, estão resumidas as principais interações entre estes centros e o córtex cerebral.

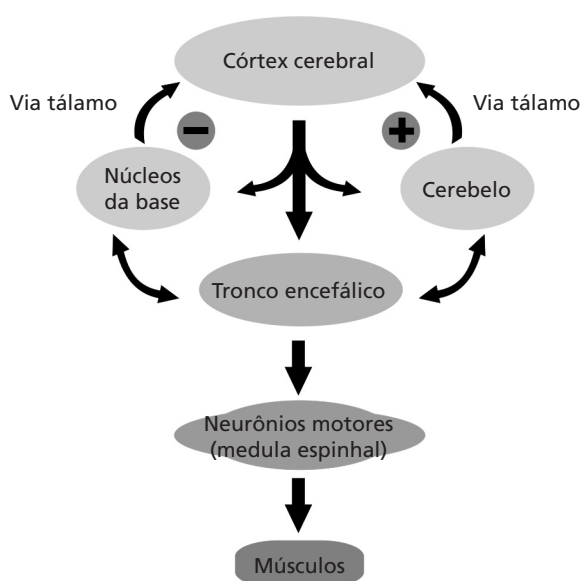


Figura 19.5: Conexões entre os núcleos da base, o cerebelo e o córtex cerebral, incluindo a participação do tronco encefálico e da medula espinhal.

Como se pode observar na figura acima, o cerebelo e os núcleos da base recebem, permanentemente, informações do córtex cerebral e, após um processamento, voltam a agir sobre o córtex motor, por meio de uma conexão intermediária realizada pelo tálamo. De uma forma geral, o cerebelo envia para o córtex um sinal excitatório, ao passo que o sinal dos núcleos da base é inibitório. Deste modo, há um equilíbrio entre esses dois sistemas que possibilita a realização de movimentos suaves e coordenados.

Os núcleos da base e o cerebelo recebem um fluxo constante de informações do córtex cerebral a respeito das ações motoras planejadas e, ao mesmo tempo, um outro conjunto de informações sobre o que está realmente acontecendo no corpo. Caso ocorra alguma discrepância entre os movimentos planejados e os executados, tanto os núcleos da base quanto o cerebelo passam a executar correções.

Muitos movimentos, no entanto, são realizados com extrema rapidez e, por isso, não haveria tempo hábil para que esses circuitos fossem prontamente acionados. Nestes casos, o sistema nervoso lança mão do aprendizado, ou seja, da execução de ações motoras que foram pré-programadas, a partir de dados coletados ao longo do tempo pelo treinamento, e repete os movimentos aprendidos em uma sequência correta que já foi armazenada, como você verá mais adiante.

As três diferenças básicas entre as conexões do cerebelo e as dos núcleos da base, em relação ao córtex cerebral, são:

CÓRTEX SENSÓRIO-MOTOR

Corresponde a uma associação funcional entre o córtex somestésico (estudado na Aula 7) e o córtex motor (áreas 4 e 6).

1. O cerebelo só recebe sinais do **CÓRTEX SENSÓRIO-MOTOR**. Já os núcleos da base recebem sinais de todo o córtex cerebral.

2. Os sinais ascendentes que saem do cerebelo destinam-se exclusivamente aos córtices motor e pré-motor, enquanto os núcleos da base também projetam informações ao córtex de associação pré-frontal.

3. O cerebelo tem conexões diretas com o tronco encefálico e, indiretamente, com a medula espinhal. Os núcleos da base têm poucas conexões com o tronco encefálico e não estão conectados com a medula espinhal.

INDO ÀS PROFUNDEZAS DO CÉREBRO: OS NÚCLEOS DA BASE

Estamos falando tanto dos núcleos da base e ainda não os apresentamos a você. Vamos então conhecê-los! O que são os núcleos da base e como se relacionam? Trata-se de um conjunto de núcleos profundos, situado no interior do telencéfalo (hemisfério cerebral), como pode ser visto no esquema da **Figura 19.6**.

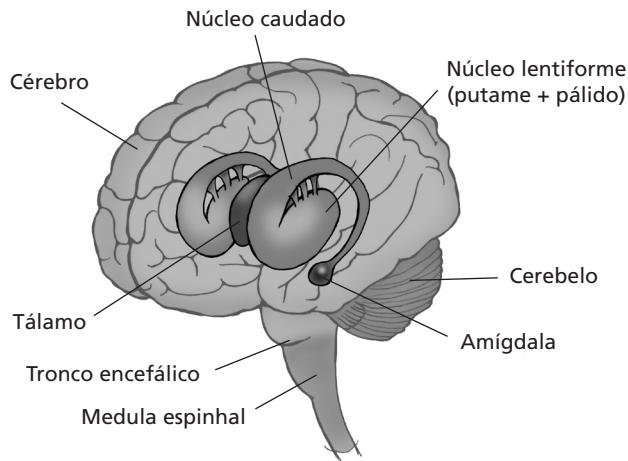


Figura 19.6: Pode-se observar um esquema do cérebro com os núcleos da base e o tálamo, mostrados por transparência.

Os núcleos da base são denominados: caudado, putame, globo pálido (ou apenas pálido) e, historicamente, o claustró e a amígdala. Os autores ainda incluem a substância negra e o núcleo subtalâmico no conjunto dos núcleos da base devido às suas conexões funcionais, embora a substância negra esteja situada no mesencéfalo e não no cérebro. O núcleo subtalâmico situa-se no diencefalo. O claustró e a amígdala não estão relacionados com os movimentos, nem estão interligados aos outros núcleos da base. Por este motivo, não serão considerados neste estudo.

É conveniente assinalar que esta amígdala, aqui referida, nada tem a ver com a nossa faringe. As amígdalas cerebrais e as amígdalas palatinas (na faringe) têm em comum apenas o nome. A palavra amígdala vem do grego (*amygdále*) e do latim (*amygdala*) e significam amêndoa, pelo formato da referida estrutura.

Nas Figuras 19.7 e 19.8, podemos identificar a localização dos núcleos da base no interior dos hemisférios cerebrais. Para facilitar a sua compreensão das interações funcionais, também representamos o tálamo e o córtex cerebral nas figuras.

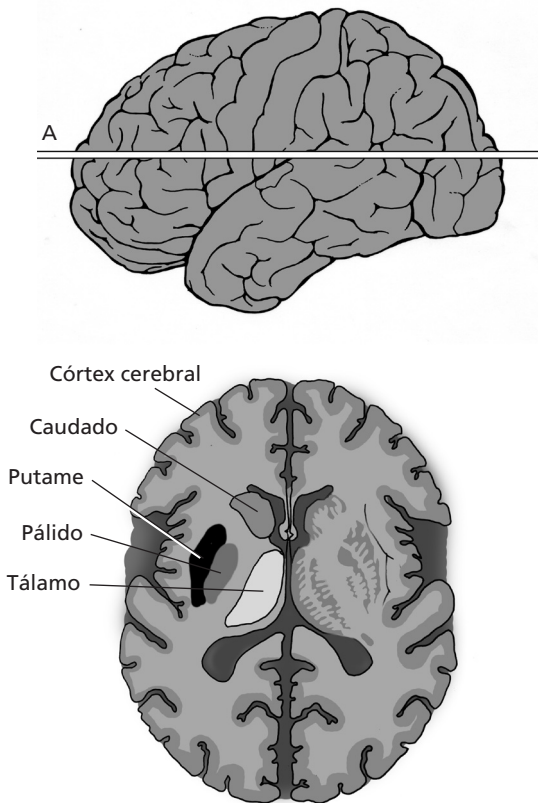


Figura 19.7: Esquema mostrando uma seção horizontal (A) do cérebro com os núcleos da base, o tálamo e o córtex cerebral assinalados. O nível da seção foi mostrado no esquema superior.

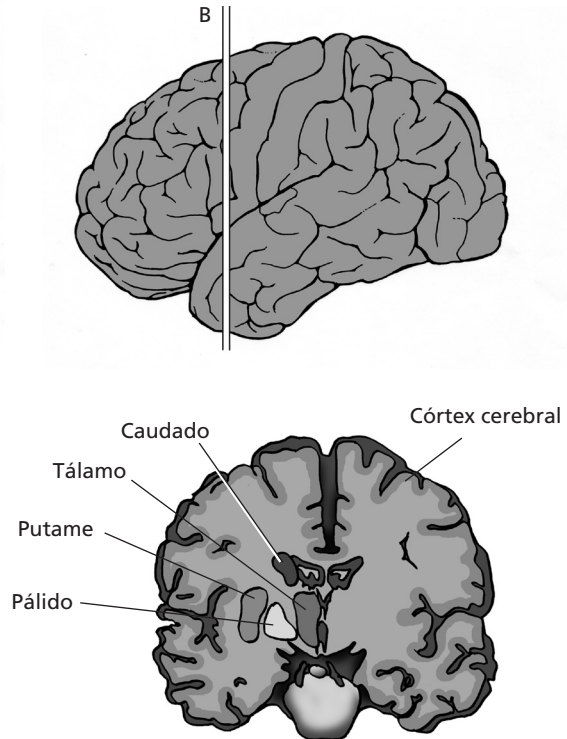


Figura 19.8: Seção frontal (B) do cérebro com os núcleos da base, o tálamo e o córtex cerebral assinalados. O nível da seção foi mostrado no esquema superior.

Denomina-se corpo estriado a reunião dos núcleos caudado e putame. Em contrapartida, o termo núcleo lentiforme é comumente empregado para designar os núcleos putame e pálido em conjunto.

Os núcleos da base, de uma forma geral, controlam os movimentos voluntários e estabilizam a postura. Não produzem movimentos diretamente, mas recebem impulsos do córtex, processam esses impulsos, de alguma forma, e os devolvem ao córtex (via tálamo).

As pesquisas e os dados obtidos a partir de doenças neurológicas permitem concluir que os núcleos da base têm alguma relação com algumas características dos movimentos:

1. facilitam alguns movimentos e suprimem outros;
2. comparam os programas motores do cérebro com os movimentos que estão sendo executados pelos indivíduos. Neste caso, funcionam em conjunto com o cerebelo;

3. envolvem-se com a iniciação de movimentos espontâneos, ou seja, são essenciais na iniciação dos movimentos voluntários, como o ato de levantar de uma cadeira, por exemplo.

De que forma os núcleos da base estabelecem conexões com os demais centros motores? Examine o esquema da **Figura 19.9**.

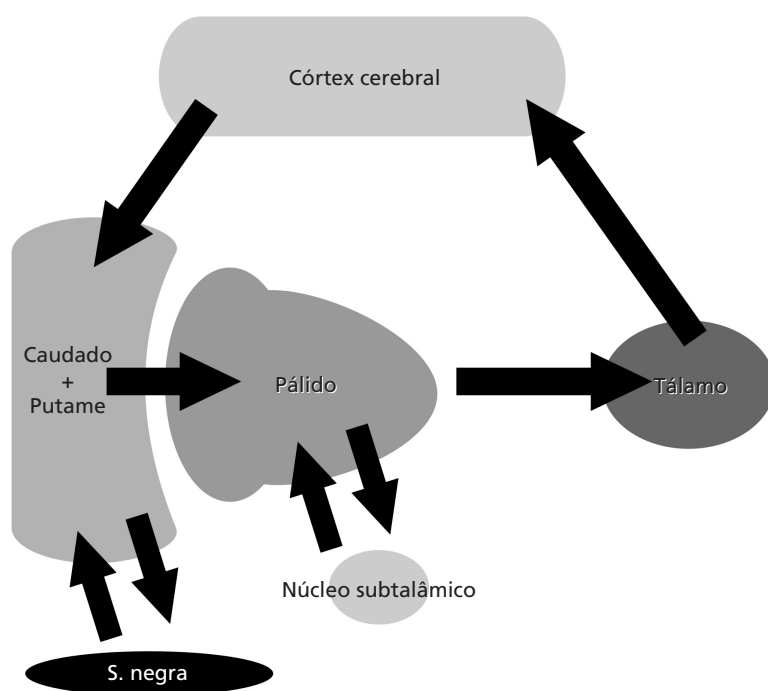


Figura 19.9: Diagrama mostrando as principais conexões dos núcleos da base empregadas no controle dos movimentos. As setas indicam o sentido da passagem de informações.

Resumidamente, como se pode ver no esquema, o caudado e o putame recebem a maior parte de suas aferências do córtex cerebral e se conectam com o pálido e, reciprocamente, com a substância negra, no mesencéfalo. O pálido estabelece conexões recíprocas com o núcleo subtalâmico, e, por meio do tálamo, conecta-se com o córtex cerebral.

Desta forma, as lesões dos núcleos da base, embora não causem paralisias, comprometem, de forma significativa, a qualidade dos movimentos.

Entre as doenças que afetam os núcleos da base, a mais conhecida é a **doença de Parkinson**. Para entendermos o que ocorre nesta enfermidade, vamos examinar o papel de um importante neurotransmissor: a **dopamina**. Produzida pelos neurônios da substância negra a dopamina tem ação crítica no controle motor. Os **neurônios dopaminérgicos** da substância negra exercem uma atividade de controle sobre o estriado (caudado + putame).

Na doença de Parkinson, observa-se uma lenta e progressiva perda dos neurônios dopaminérgicos na substância negra. Esta degeneração neuronal causa uma queda significativa na concentração da dopamina nesta região. A dopamina parece agir como um facilitador dos movimentos. De fato, esta substância mantém uma espécie de entrada para as influências do córtex.

Os três sinais mais comumente observados na doença de Parkinson são: o tremor, a rigidez e a bradicinesia. O tremor é mais aparente no repouso. Quando o paciente tenta realizar algum movimento voluntário, o tremor, em geral, desaparece ou diminui. A rigidez é o resultado de uma contração simultânea dos músculos flexores e extensores, dando o sinal do tremor. Contudo, como não existe paralisia, o paciente consegue mover o seu corpo, sempre que solicitado. A bradicinesia corresponde à “lentidão dos movimentos” e consiste em uma dificuldade de dar início aos movimentos voluntários.



Doença de Parkinson – inicialmente denominada paralisia agitante, a doença de Parkinson, caracterizada no texto, recebeu mais tarde este nome em homenagem ao médico, paleontólogo e ativista político inglês James Parkinson (1755-1824) que, em 1817, publicou um ensaio sobre a doença.

Dopamina – trata-se de um neurotransmissor encontrado em vários neurônios do encéfalo e participando de variadas funções, como o controle motor.

Neurônios dopaminérgicos – são os neurônios que sintetizam e secretam a dopamina em seus terminais, como os neurônios da substância negra.

Em verdade, a dopamina é produzida, não apenas na substância negra, como referido, mas também em outras regiões do encéfalo. Além do controle motor, parece estar envolvida com questões motivacionais, sensações de prazer e de recompensa, além de ter sido associada à esquizofrenia, uma doença mental crônica e grave.

As lesões dos núcleos da base estão, portanto, relacionadas ao bloqueio do desempenho dos movimentos seqüenciais, isto é, os movimentos que exigem uma certa ordem na sua realização. Como descrevemos, as anormalidades caem em duas categorias:

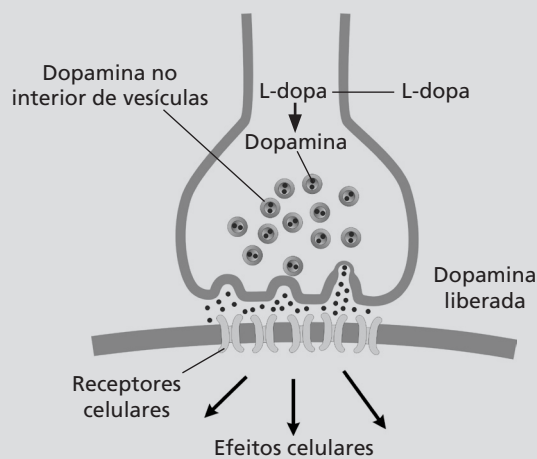
1. a existência de movimentos estranhos e indesejados;
2. uma dificuldade na realização dos movimentos voluntários.

ATIVIDADE



6. Pacientes portadores de doença de Parkinson tomam um medicamento denominado L-DOPA ($\text{DOPA} = \text{Dihydroxyphenylalanine}$). Este medicamento é capaz de aliviar a rigidez e a lentidão dos movimentos e reduz os tremores, além de melhorar o equilíbrio e a marcha. Os estudos têm mostrado que este medicamento chega ao cérebro dos pacientes e é convertido em dopamina, segundo o esquema a seguir. Baseado no texto a respeito dos núcleos da base, pede-se que você esclareça as seguintes questões:

- a. Como você definiria o papel da dopamina no sistema nervoso em relação ao controle motor?
- b. Em qual dos núcleos da base a dopamina está presente com altas concentrações em condições normais?
- c. Em qual (is) dos núcleos da base a dopamina exerceria seu efeito direto?
- d. Qual a relação entre a dopamina e a doença de Parkinson?
- e. Por que motivo a administração de comprimidos de L-Dopa melhora o quadro de parkinsonismo?

**RESPOSTA COMENTADA**

Estou seguro de que você não teve qualquer problema em cumprir esta atividade. Em primeiro lugar, sabe-se que a dopamina é um neurotransmissor inibitório presente em várias áreas do sistema nervoso, incluindo os núcleos da base. A substância negra, situada no mesencéfalo, é considerada funcionalmente como um núcleo da base e constitui a região que apresenta a dopamina em elevada concentração. A dopamina secretada pela substância negra age diretamente no estriado (reunião dos núcleos caudado e putame), reduzindo a sua atividade. A doença de Parkinson caracteriza-se por uma alteração degenerativa dos neurônios dopaminérgicos (que produzem e secretam a dopamina), comprometendo, assim, a função inibidora sobre o estriado e promovendo os sinais descritos da enfermidade. O uso oral de L-Dopa permite que a substância chegue ao cérebro e, nos neurônios da substância negra, seja convertida (esquema) em L-Dopa. Desta forma, recupera-se a transmissão nervosa normal.

SOBRE LAMPREIAS, PEIXES E MACACOS: O CEREBELO NA EVOLUÇÃO

Você já deve ter visto um equilibrista no circo andando na corda bamba e, ao mesmo tempo, fazendo malabarismos com pinos ou argolas. Ele precisa ter uma grande coordenação dos membros superiores, do tronco, da cabeça, dos olhos e, manter, todo o tempo, o equilíbrio. Esta significativa coordenação só é possível graças, em parte, à atividade do cerebelo. Assim, o cerebelo corresponde a um verdadeiro “cérebro do controle motor”. Ele é co-responsável pelo equilíbrio, pelo controle do tônus muscular e por uma coordenação motora mais precisa, como ocorre quando movemos os dedos da nossa mão, os nossos olhos ou os músculos envolvidos com a nossa fala (lábios, língua e laringe).

Mas o cerebelo, como será apresentado nesta aula, é uma estrutura relativamente recente na evolução. Retrocedendo na linha do tempo, na escala filogenética, podemos observar que os **VERTEBRADOS** mais antigos – os ciclóstomos (lampoas) – não têm membros e se movem de uma forma ondulatória e simples, em um ambiente líquido. Desenvolveram um arquicerebelo (*arqui*=mais antigo) que age, praticamente, na manutenção do seu equilíbrio. Mais recentemente na escala filogenética, surgiram os peixes, que além de apresentarem o arquicerebelo, já possuem uma outra região mais desenvolvida, constituindo o paleocerebelo (*paleo*=antigo). Esta nova estrutura cerebelar já dispõe de circuitos um pouco mais complexos para a movimentação das nadadeiras. Desta forma, os peixes já conseguem controlar o tônus dos seus músculos, além de possuírem um arquicerebelo para a regulação do equilíbrio.

Com o aparecimento dos mamíferos, surge o neocerebelo (*neo*=novo) que se incorpora ao arqui e ao paleocerebelo. O neocerebelo é uma parte bem mais complexa, que coordena os movimentos dos membros de uma forma precisa, e, por vezes, assimétrica. O neocerebelo atinge a sua maior complexidade estrutural e fisiológica com o aparecimento dos primatas e, sobretudo, do homem, no qual o uso das mãos exige um complexo sistema de controle fino.

O tamanho relativo do cerebelo (em relação ao restante do encéfalo) pode ser analisado examinando alguns exemplares na escala filogenética (Figura 19.10).

VERTEBRADOS

São animais que possuem um esqueleto interno (endoesqueleto) e são representados pelos primatas, anfíbios, répteis, aves e peixes.

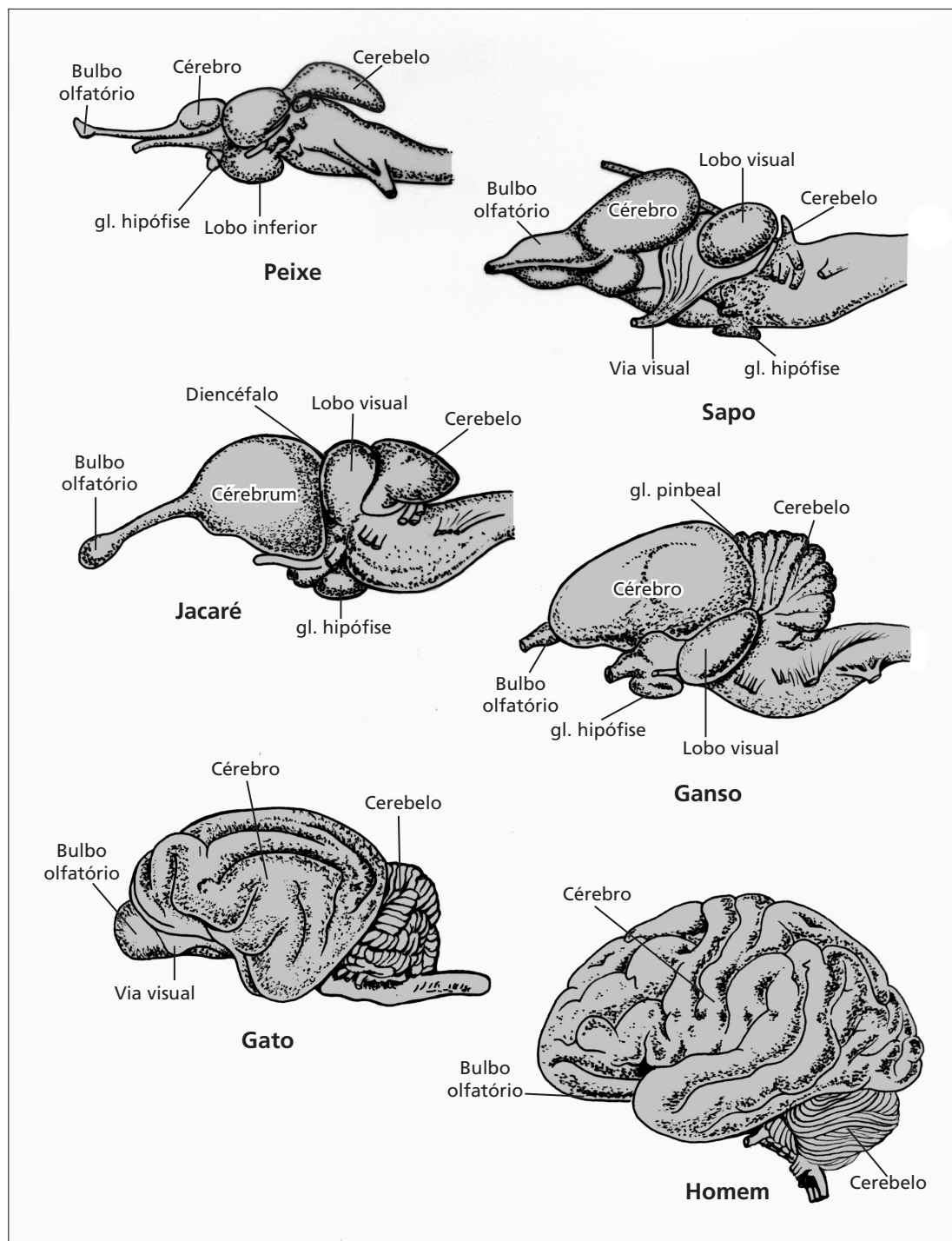


Figura 19.10: O cerebelo na escala filogenética, mostrando o seu grau relativo de desenvolvimento em relação ao cérebro. Os números em algarismos romanos correspondem aos nervos cranianos (que se originam do encéfalo).

DE QUATRO PÉS NAS ÁRVORES A DOIS PÉS NO CHÃO: O CEREBELO NA EVOLUÇÃO HUMANA

Estudos atuais a respeito da evolução do Homem admitem que os primeiros hominídeos começaram a adotar a postura ereta, na África, há aproximadamente 6-7 milhões de anos. Já o aumento do volume do encéfalo começou a se tornar significativo há aproximadamente 2 milhões de anos, quando começa a fabricação de utensílios variados e de ferramentas. Considerando as funções básicas do arqui, paleo e neocerebelos e o seu desenvolvimento, podemos questionar: será que os primeiros humanos tinham um cerebelo que suportasse a postura e a marcha ereta semelhante a nossa? Como seria a evolução do cerebelo nos hominídeos, considerando esta diferença de 4 milhões de anos entre o surgimento da postura bípede, o aumento do volume do encéfalo e a fabricação de ferramentas (cultura)?

O uso das mãos nas atividades humanas, produzindo cultura, é uma conquista bem mais recente do que a postura ereta e a marcha bípede (bipedalismo). Considerando a evolução filogenética do cerebelo, os ancestrais humanos mais antigos já possuíam o arquicerebelo e o paleocerebelo bem desenvolvidos que, com toda certeza, possibilitavam condições de equilíbrio e de controle do tônus muscular. O neocerebelo também já se apresentava relativamente bem estruturado, pois, mesmo na vida arborícola de nossos ancestrais, havia algum grau de habilidade motora dos membros.

Os primeiros hominídeos que andavam sobre os dois pés deveriam ter, contudo, um tipo de marcha diferente do adotado pelo homem moderno, mas o cerebelo já provia essas condições. Possivelmente, a forma do esqueleto ainda não devia possibilitar a postura e a marcha como a nossa. O retardo do início do uso das mãos, em relação à marcha bípede, deve ter exigido um determinado tempo para que o neocerebelo pudesse ser submetido a um desenvolvimento progressivo, uma condição essencial para o uso de todas as habilidades humanas com as mãos e, no mesmo viés, as condições necessárias para a fala, com o advento de uma comunicação verbal mais bem estruturada. Essas etapas foram essenciais no desenvolvimento da cultura humana.

Assim, os estudos atuais levam-nos a acreditar que a postura bípede precedeu, em milhões de anos, as habilidades das mãos que, em última análise, vieram a desenvolver ações que permitiram o aumento do cérebro.

DA EXPULSÃO DO PARAÍSO À SEDE DA ALMA: ENTENDENDO A ÁRVORE DA VIDA

PEDÚNCULOS CEREBELARES

Massas de substância branca que unem o cerebelo ao tronco encefálico, por onde passam os circuitos de entrada e de saída do cerebelo (Figura 19.12).

O cerebelo está situado no interior do crânio, apoiado no osso occipital, abaixo do lobo occipital do cérebro e atrás do tronco encefálico, com quem estabelece ligações anatômicas e funcionais. As conexões do cerebelo com o tronco encefálico são feitas por meio de estruturas denominadas **PEDÚNCULOS CEREBELARES**: superior (ligação com o mesencéfalo), médio (ligação com a ponte) e inferior (ligação com o bulbo). Os pedúnculos cerebelares conduzem todas as vias nervosas que entram ou que saem do cerebelo.

Nas Figuras 19. 11 e 19.12, você pode identificar a localização do cerebelo, bem como as regiões com as quais ele se relaciona anatomicamente.

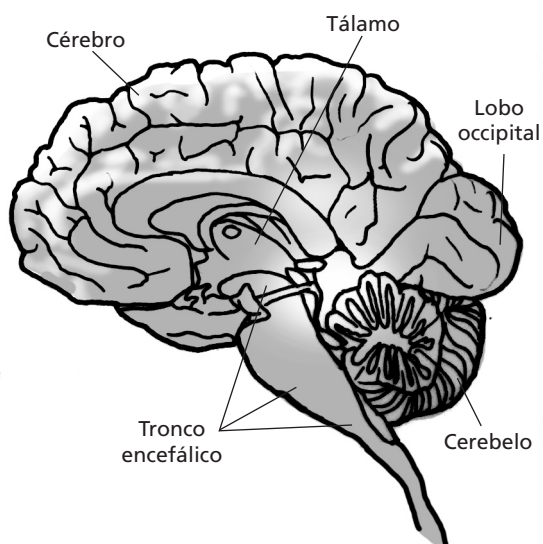


Figura 19.11: Esquema de uma seção sagital do encéfalo, mostrando o cerebelo, com a sua estrutura lembrando os galhos de uma árvore.

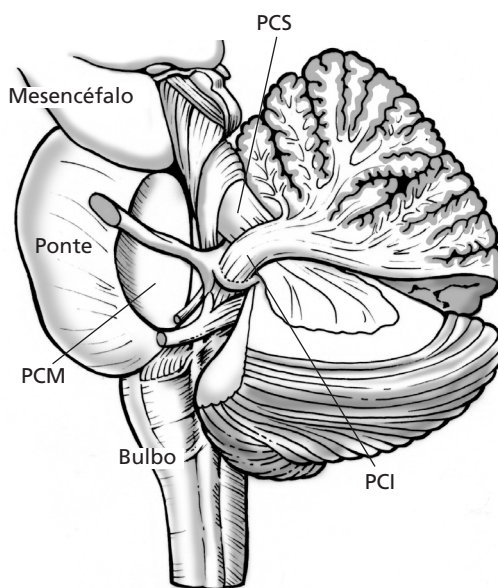


Figura 19.12: Esquema de uma dissecção do cerebelo, com os pedúnculos cerebelares superior (PCS), médio (PCM) e inferior (PCI).

Examinando o cerebelo (Figuras 19.13 e 14), vemos que ele é constituído por dois hemisférios (cerebelares), muito desenvolvido nos primatas, e uma região mediana: o verme.

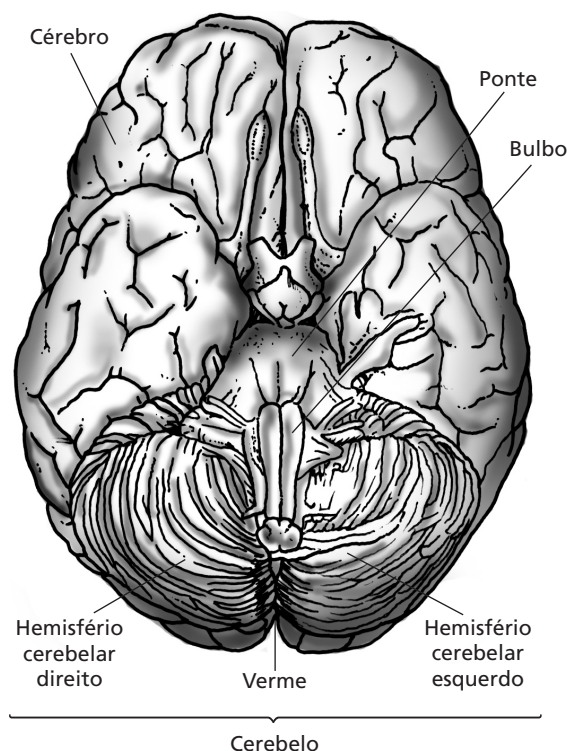


Figura 19.13: Visão inferior do encéfalo mostrando a localização do cerebelo, bem como a sua divisão no verme e nos hemisférios cerebelares.

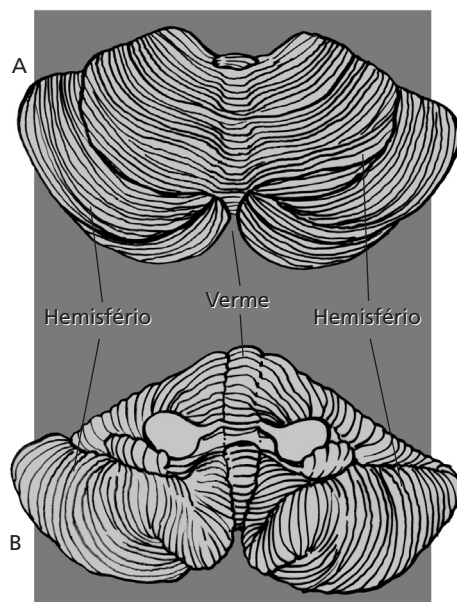


Figura 19.14: Vista posterior (A) e anterior (B) do cerebelo, com a localização do verme e dos hemisférios cerebelares.

Sua superfície externa mostra uma série de pequenos giros, chamados de folhas, separados por sulcos. Esses sulcos permitem a delimitação da divisão do cerebelo em lobos (anterior, posterior e flóculo-nodular).

Uma seção longitudinal, como vimos na Figura 19.11, mostra que a estrutura interna do cerebelo lembra a de uma árvore e, por essa razão, o cerebelo recebe a denominação de “árvore da vida”. Esse termo foi criado pelos anatomistas da Idade Média que, com muita frequência, empregavam formas já conhecidas da Natureza para designar as estruturas anatômicas.



Na bíblia (livro do Gênesis), há uma citação da “árvore da vida” cujos frutos foram proibidos a Adão e Eva após a sua expulsão do Jardim do Éden. Os gregos antigos, como Erasistratus de Chios, anatomista (304-250 a.C.), acreditavam que o cerebelo, junto com a glândula pineal, seria a sede da alma. Assim, mesmo nos tempos atuais, os termos “árvore da vida” e “folhas do cerebelo” foram preservados como uma homenagem a esta simbologia.

Na **Figura 19.15**, podemos observar uma seção do cerebelo onde esta estrutura fica bem evidente. Nesta secção, vemos que ele é formado por uma capa de substância cinzenta, denominada córtex cerebelar, envolvendo uma massa de substância branca cerebelar. No interior desta substância branca, podemos observar a presença dos chamados núcleos profundos do cerebelo que são (de lateral para medial): o dentado, o interpósito e o fastigial.

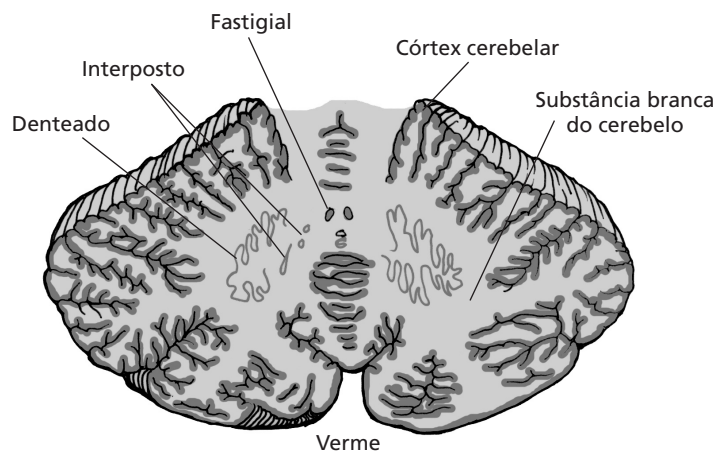


Figura 19.15: Esquema de uma seção horizontal do cerebelo mostrando a sua estrutura interna, composta pelo córtex, a substância branca e os núcleos profundos.

UM LUGAR PARA CADA COISA E CADA COISA EM SEU LUGAR: O SEGUNDO MARIDO DE DONA FLOR.

São as funções e as conexões do cerebelo organizadas em cada uma de suas partes? Será que nós podemos, nesta etapa, associar a divisão do cerebelo, a evolução filogenética, os núcleos profundos e as suas funções? Examinando os quadros a seguir perceberemos que estas associações são possíveis, o que facilita o nosso entendimento sobre este importante “pequeno cérebro motor”.

Vamos examinar como a divisão filogenética está posicionada nas partes anatômicas do cerebelo, observando a **Figura 19.16**.

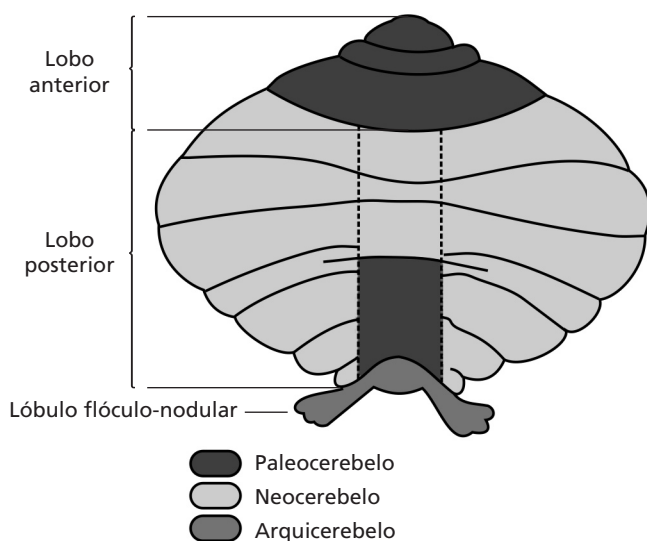


Figura 19.16: Esquema representando o cerebelo com uma visão posterior, onde foram demarcadas suas divisões anatômicas e a equivalência filogenética.

Pode-se observar na figura que o neocerebelo ocupa, especialmente, os hemisférios cerebelares. O paleocerebelo fica situado no lobo anterior e uma pequena parte do verme do lobo posterior e, finalmente, o arquicerebelo fica restrito ao lóbulo flóculo-nodular.

Vamos, então, associar as funções do cerebelo com a sua divisão anatômica e filogenética. Examine o **Quadro 19.1**:

Quadro 19.1: Divisão longitudinal do cerebelo e suas relações

Divisão	Filogênese	Núcleos profundos	Função
Verme	Arquicerebelo Paleocerebelo	Fastigial e Interpósito	Equilíbrio e controle do tônus muscular
Hemisférios	Neocerebelo	Denteado	Coordenação motora fina

Podemos observar que o neocerebelo, de aparecimento mais recente, é a parte situada nos hemisférios cerebelares. Por esta razão, os primatas mostram um grande desenvolvimento dos hemisférios do cerebelo. O verme (a sua parte mediana) é portanto, mais antigo e está relacionado às funções apresentadas pelos ciclóstomos e pelos peixes.

Também é possível estabelecer as mesmas relações, baseando-nos na divisão horizontal do cerebelo, como mostra no **Quadro 19.2**:

Quadro 19.2: Divisão horizontal do cerebelo e suas relações

Divisão	Grau de antigüidade	Núcleos profundos	Função
Lóbulo Flóculo-Nodular	Arquicerebelo	Fastigial	Equilíbrio
Lobo Anterior	Paleocerebelo	Interpósito	Controle do tônus muscular
Lobo Posterior	Neocerebelo	Denteado	Coordenação motora fina

De uma certa forma, a divisão do cerebelo em lobos acompanha, pelo menos parcialmente, a divisão filogenética e a distribuição de suas funções. Tudo parece bem arrumado no interior da estrutura cerebelar.

Você já pode prever, neste momento, que se alguma doença ou lesão acometer um dos hemisférios cerebelares (neocerebelo), provocará uma importante deficiência na coordenação motora fina e o indivíduo afetado terá dificuldades em mover as mãos, de forma coordenada, além de ter problemas na fala. Em contrapartida, uma doença que acometa o lóbulo flóculo-nodular criará, para o indivíduo, problemas na postura ereta e na marcha.

A frase empregada no título deste tópico foi proferida pelo metódico farmacêutico Doutor Teodoro Madureira, o segundo marido de Florípedes Paiva Madureira, conhecida como “Dona Flor”. Personagens do romance *Dona Flor e seus Dois Maridos*, do escritor baiano Jorge Amado (1912 – 2001), cujo cenário foi a Bahia da década de 1930. Esta forma precisa de organização séria, sem dúvida, foi elogiada pelo farmacêutico, mas desprezada pelo finado primeiro marido de Florípedes: o boêmio e infiel Vadinho.

UM CEREBELO PREVENIDO VALE POR DOIS (DESPREVENIDOS)

Como você já pode supor, para que algum centro controle os movimentos do corpo (como o cerebelo, por exemplo), é necessário que uma série de informações seja encaminhada a este centro. Neste contexto, para que o cerebelo saiba que músculo deve comandar para restabelecer o equilíbrio do artista que anda na corda bamba, é necessário que ele seja informado, dentre outras coisas, para qual lado o artista está tombando e com que velocidade.

Façamos um experimento, em relação ao equilíbrio. Inicialmente você deve pedir a um voluntário que se mantenha de pé, com os dois pés ligeiramente afastados e os braços próximos ao tronco. Você vai perceber que este voluntário não terá qualquer dificuldade em manter esta posição, até por um longo tempo.

Agora, solicite que ele junte bem os pés, mantendo os braços bem acolados ao tronco. E então? O esforço para manter o equilíbrio é o mesmo? Você poderá observar que o corpo dele oscila um pouco mais, pois neste caso, a área em que ele está apoiado é menor e, assim, o equilíbrio fica mais instável. Nesta condição, os músculos precisam agir com mais frequência para corrigir a postura e, por isso, ele oscila.

Peça para ele manter esta última posição, mas coloque um pano preto em seus olhos, para eliminar a função visual. E agora? O equilíbrio é mantido com a mesma facilidade? O que você acha que ocorreu? Você verá que ficou ainda mais difícil conservar o equilíbrio do corpo e, daí, o voluntário mostra maior grau de oscilação.

Aproveitando a boa vontade dele, faça uma última solicitação: peça que ele levante o pé direito do chão e fique apoiado apenas no pé esquerdo, mantendo os braços colados ao tronco. Nesta posição, a oscilação será muito grande e, em alguns casos, o voluntário poderá não conseguir manter a postura ereta e cair. Se, contudo, ele puder mover seus braços livremente, ele ainda tentará usá-los para restabelecer o equilíbrio, que é uma das funções do membro superior. Por esta razão, convém que você se mantenha por perto, para apoiá-lo. Se ele cair, você ficará famoso por jamais conseguir um novo voluntário para repetir o experimento!

Na tentativa de manter o equilíbrio, haverá a necessidade de que o tônus de uma série de músculos seja modificado, com o aumento de uns e a diminuição de outros. Desta forma, o equilíbrio e o controle do tônus muscular são funções relacionadas. Que informações o cerebelo usa para manter o equilíbrio e regular o tônus dos músculos? Veremos em um tópico, mais adiante, as vias de informação que chegam ao cerebelo.

AS PORTAS ABERTAS DO CEREBELO

A questão que agora se apresenta é: quais os sistemas que fornecem ao cerebelo as informações de que ele necessita para as suas funções motoras?

Para manter o equilíbrio e regular os movimentos, o cerebelo precisa receber algumas informações sensitivas (aférentes). Você já deve ter percebido que a visão é fundamental na regulação cerebelar. Lembre-se do que ocorreu com o equilíbrio do voluntário, no experimento anterior, quando você colocou um pano preto em seus olhos.

A posição da cabeça no espaço deve ser informada ao cerebelo por meio da função vestibular, ou seja, da atividade dos receptores do labirinto, situados na orelha interna, no interior do osso temporal, em nossas cabeças. Quando a cabeça é movimentada, estes receptores disparam uma atividade e o cerebelo é informado. Isso auxilia a manutenção do nosso equilíbrio. A parte do cerebelo envolvida com a informação que parte do labirinto é o arquicerebelo. Podemos concluir, então, que a função vestibular é muito antiga na escala filogenética.

Em contrapartida, informações variadas das articulações, dos músculos e dos tendões chegam por determinadas vias ao cerebelo e, assim, ele toma conhecimento dos ângulos articulares, do comprimento e do grau de contração de cada músculo e das tensões aplicadas nos tendões. A sensibilidade que chega ao cerebelo é denominada propriocepção, ou seja, a percepção do próprio corpo. Contudo, estas informações trazidas ao cerebelo são inconscientes. A parte do cerebelo que recebe a propriocepção inconsciente é o paleocerebelo. Esta informação é de grande importância no controle do tônus muscular. Por isso, os peixes já dispunham esta forma de controle. A função proprioceptiva será examinada na próxima aula.

O neocerebelo, de aparecimento recente na história evolutiva, recebe informações provenientes do córtex cerebral e, daí, é informado a respeito dos programas motores a serem executados. Nas Figuras 19.17 e 19.18 podemos observar um resumo das principais informações que o cerebelo utiliza em suas funções motoras.

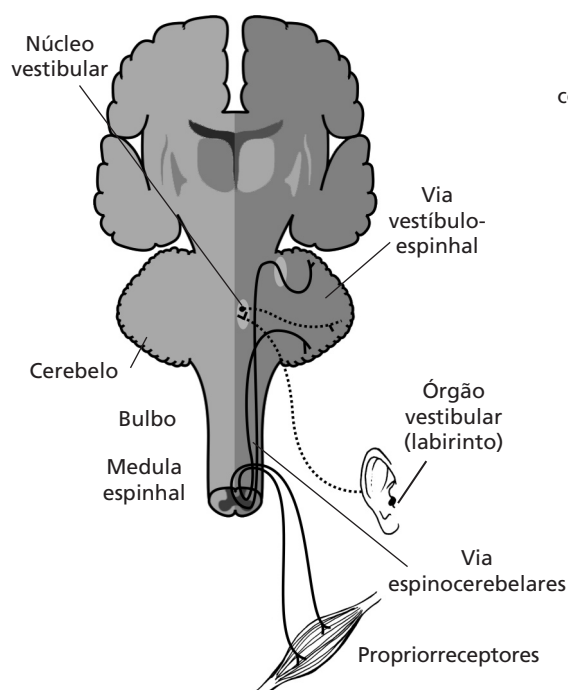


Figura 19.17: Esquema das vias espino-cerebelares (paleocerebelo) e vestibulo-cerebelares (arquicerebelo) que trazem informações sobre os movimentos que estão sendo realizados a cada instante.

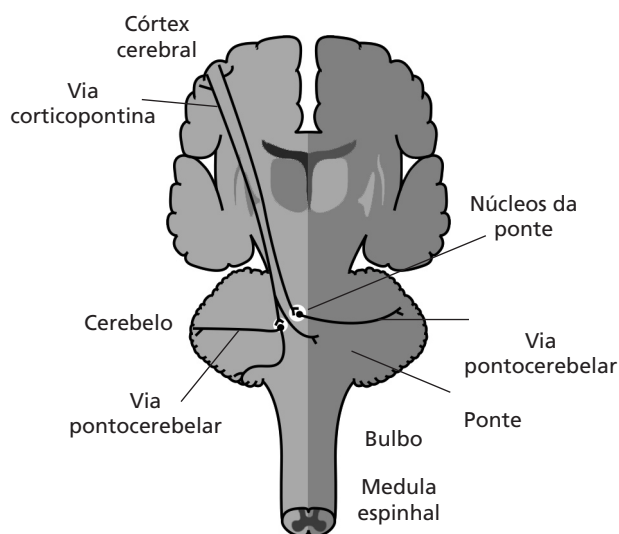


Figura 19.18: Esquema da via cortico-pontocerebelar que traz informações sobre o movimento planejado pelo córtex cerebral (neocerebelo).

Além destas funções de apoio, o cerebelo recebe ainda outras informações, como por exemplo, a audição, o tato e a pressão na pele. Quando um som é emitido, você poderá se mover em relação a ele, como pudemos observar no experimento do toque do telefone, que vimos com você. Se você, na posição ereta, fechar os olhos e deslocar o seu corpo para frente e para trás, perceberá que a pele do seu pé será comprimida ora nos dedos, ora no calcanhar. Esta pressão cutânea será de extrema

ajuda para que o cerebelo saiba como manter a sua postura. Quando um indivíduo cego lê em Braille, as sensações táteis que ele experimenta o auxiliam a deslocar os dedos no texto. O tato pode ser, então, de grande utilidade no controle dos nossos movimentos.

Quadro 19.3: Principais informações que chegam ao cerebelo e suas vias

Origem	Localização	Via de entrada no cerebelo	Localização no córtex cerebelar	Informações
Órgão vestibular	Orelha interna	Vestibulocerebelar	Arquicerebelo	Posição da cabeça
Propriorreceptores	Articulações e músculos	Espinocerebelares	Paleocerebelo	Posição das articulações, tensões e comprimentos de músculos e tendões.
Córtex cerebral	Telencéfalo	Corticopontocerebelar	Neocerebelo	Programa motor (planejado)

O que o cerebelo faz, no momento em que recebe algum destes tipos de informações? A partir da entrada dos sinais sobre o movimento do corpo, os circuitos cerebelares e – em especial, os neurônios do córtex cerebelar, – são capazes de modificar o desempenho do sistema motor, agindo nos centros motores do tronco encefálico e no próprio córtex motor, relacionando a intenção do movimento com o seu desempenho. Age, portanto, como um sistema comparador.

O que se entende por um sistema comparador? Muito simples. O cerebelo compara os sinais provenientes do corpo – onde estão ocorrendo os movimentos – com o programa motor planejado pelo córtex cerebral. Ao estabelecer esta comparação, o cerebelo “pretende” que o movimento executado pelos músculos, no corpo, seja fiel aos movimentos que foram planejados pelo córtex motor. Se o movimento executado não é exatamente igual ao que foi planejado pelo córtex motor, o cerebelo acusa um sinal de erro e, imediatamente, envia sinais de correção. Consulte a **Figura 19.19** para uma melhor visualização deste processo comparador executado pelo cerebelo.

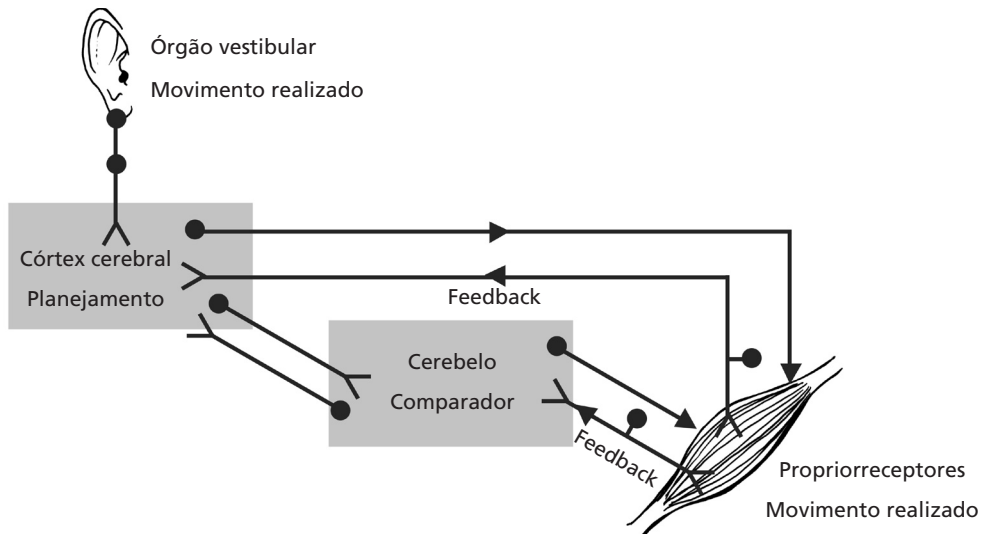


Figura 19.19: Diagrama mostrando as conexões utilizadas pelo cerebelo para estabelecer o sinal de erro entre o movimento programado no córtex cerebral e o movimento real (que está sendo realizado).

O termo *feedback* (retro-alimentação) vem da língua inglesa e seu uso foi consagrado em ciências no Brasil. Um sistema deste tipo possibilita que um centro de controle seja informado de alguns acontecimentos periféricos e, em resposta, envie sinais de correção. A resposta do centro (saída) dependerá do tipo de informação que chega da periferia (entrada).

ATIVIDADE



7. Examinaremos o papel do cerebelo em um experimento na marcha. Vamos marcar no chão, próximo a uma parede, e paralela a ela, uma linha reta com 5m de comprimento, usando um pedaço de giz. Em seguida, pediremos a um voluntário que caminhe sobre ela, de tal forma que esta linha fique sempre situada entre os seus dois pés (experimento 1). O voluntário deverá dar cinco passos para frente e, em seguida, cinco passos para trás. Ele terá de repetir essas ações por 10 vezes, sem interrupção. Você verá que ele não terá qualquer dificuldade de realizar a tarefa proposta. Muito bem! Agora coloque um pano preto nos olhos dele e peça que ele repita a mesma tarefa (experimento 2). Você verá que o voluntário vai desviar desta linha à medida que o movimento vai se repetindo.

Agora, um último experimento: mantendo os olhos fechados, mas permitindo que ele toque a parede com uma das mãos (experimento 3), você verá que o desempenho do voluntário nessa tarefa vai ser melhorado. Então solicitamos que você responda às seguintes questões:

a. que porções filogenéticas do cerebelo agiram nestes experimentos?

b. Por que o desempenho no experimento 2 foi o pior de todos, e no experimento 3, o rendimento foi melhor, considerando como referência o experimento?

c. O que se pode concluir a respeito das informações que o cerebelo precisou para controlar os músculos nestas atividades?

[illegible]

RESPOSTA COMENTADA

Na execução dessas atividades, o arquicerebelo (responsável pelo equilíbrio) e o paleocerebelo (controle do tônus muscular) foram diretamente envolvidos. Como não houve envolvimento da coordenação motora fina, o neocerebelo não foi acionado. Como já discutimos em outra oportunidade, a função visual auxilia o desempenho da marcha, uma vez que ela orienta o cerebelo em relação ao espaço da sala e à linha de referência que você desenhou no solo.

O mesmo pode ser aplicado para uma pessoa que escreve algum texto em um caderno com pauta. Quando a visão foi impedida (experimento 2), a execução da atividade foi prejudicada. Percebemos que o voluntário vai e volta cruzando cada vez mais a linha traçada.

Contudo, como explicar que ter apoiado a mão na parede da sala tivesse melhorado o desempenho da atividade (experimento 3)? Muito simples! A mão permite que o voluntário mantenha uma distância fixa entre o corpo e a parede e, assim, as variações dos ângulos do ombro, do cotovelo e do punho (isto é, a propriocepção) informam ao paleocerebelo, especificamente, que o corpo estava na direção certa. Caso o cotovelo sofresse alguma flexão, o cerebelo “saberia” que o corpo estaria se aproximando demais da parede e, por conseguinte, desviando da linha traçada. Assim, a visão, o tato e a propriocepção funcionaram como mecanismos de informação cerebelar.



ATIVIDADE

8. Você está dormindo e o relógio o(a) desperta. Você se levanta, olha pela janela e finalmente recupera a sua vida bípede. Baseado no que você estudou no tópico anterior, como o cerebelo sabe que você se levantou da cama e para que ele precisa dessa informação?

RESPOSTA COMENTADA

O cerebelo é informado pelo órgão vestibular, uma vez que a disposição espacial dos canais em sua orelha interna mudou e, com ela, o deslocamento dos líquidos em seu interior (cabeça). Em segundo lugar, a informação veio dos propriorreceptores, pois houve mudanças significativas em sua coluna e membros. Em terceiro lugar, como seu peso foi aplicado sobre seus pés, ao levantar, é claro que os receptores (cutâneos) plantares constituíram-se em fontes valiosas de informação. O cerebelo usa todas estas mensagens para acionar os músculos necessários para a manutenção da sua postura bípede, uma vez que nada disso era necessário quando você estava confortavelmente deitado.

“MESMO QUE EU MANDE EM GARRAFAS, MENSAGENS POR TODO O MAR”. O CEREBELO DE JOÃO BOSCO!

Vamos examinar um pouco mais o que se entende por coordenação motora fina, uma das funções cerebelares. Eu sei, você deve estar exausto(a) com a quantidade de informações até aqui.

Assim, que tal fazermos um intervalo para que possamos assistir a um show, gravado ao vivo, do João Bosco? Demos sorte, ele está interpretando a música *Corsário*! Sugestão: Acompanhe a minha descrição do show como ele emprega as duas mãos ao mesmo tempo, realizando, contudo, movimentos bem diferentes. Com a mão direita ele dedilha, com os cinco dedos, as cordas do violão; e com a esquerda ele executa as posições, da mesma forma, usando os cinco dedos. Uns subindo e outros descendo.

Observe como as duas mãos precisam se mover em harmonia. E isto não é tudo. Ele ainda se dá ao luxo de cantar, modificando, todo o tempo, as formas de emitir a voz, sincronizando os sons dos acordes com aqueles falsetes. Deus do céu! E mais ainda, movendo os olhos, o artista fixa o olhar ora no violão, ora na câmera, ou em algum outro ponto. Isto é extraordinário: “...meu coração tropical partirá esse gelo e irá...”. Vamos, deixe que a emoção tome conta de você. Use seu cerebelo, coordene sua mão com a outra e aplauda!

Acabou o recreio e voltemos à aula! Isso é que chamamos coordenação motora fina. Movimentos extremamente precisos das mãos, olhos, lábios, língua, laringe. É claro que estamos falando de movimentos voluntários, mas o cerebelo é essencial para que tudo ocorra dentro do planejado. O neocerebelo é o grande responsável por este desempenho. Claro, nem precisávamos examinar o virtuosismo do grande artista mineiro para entender uma das funções do cerebelo. Bastaria que olhássemos alguém escrevendo, falando, tentando enfiar uma linha na agulha ou, ainda, pegar um telefone no gancho e levar até a orelha.

ATIVIDADE

9. No exemplo anterior no qual João Bosco interpreta a música, o neocerebelo mostra uma grande participação motora. De que tipos de informação o cerebelo precisaria para que o cantor pudesse modular a sua voz, alternando tons graves e agudos, sons altos e baixos, fazer as pausas necessárias e associar a voz com os acordes do violão?

RESPOSTA COMENTADA

Você já deve ter percebido que o controle da voz exige uma coordenação motora fina, ou seja, os músculos envolvidos com a fala são de grande precisão. Se você já viu João Bosco cantar, deve ter percebido que, em grande parte do tempo, ele canta de olhos fechados. Assim, a visão não é uma informação relevante para isto. A propriocepção vinda dos seus membros superiores e o tato de suas mãos com o violão são importantes, não para cantar, mas para sincronizar o violão com a voz. Logo, o que nos resta como informação de grande importância é a audição. Os sons que ele emite são capturados pela orelha e enviados como informação para o cerebelo. Assim, a função auditiva que você estudou na Aula 10, além de permitir que as pessoas possam ouvir os sons do mundo, age na orientação espacial e na regulação dos movimentos.

COMO O CEREBELO AGE NA SAÍDA?

Como você já percebeu, o córtex do cerebelo examina uma série de sinais que chegam de várias partes. Estas informações são interpretadas e comparadas nos complexos circuitos deste córtex cerebelar. E agora? O que o cerebelo faz com isso? Lembra da função comparadora? O cerebelo entendeu as alterações do corpo e as comparou com o programa do córtex cerebral. Suponha, então, que ele acusou um sinal de erro ou seja, que existe algum desvio de trajetória no movimento executado. Então, as células do córtex cerebelar vão ter de agir. E rápido!

Vamos entender o que acontece neste momento. Os neurônios cerebelares corticais emitem seus axônios de saída que fazem sinapses nos núcleos profundos (denteado, interpósito e fastigial). Assim, um grupo de axônios dos neurônios destes núcleos sai do cerebelo levando os sinais de correção do movimento. E para onde vão estes sinais? As vias de saída (eferentes) do cerebelo, destinam-se ao tronco encefálico e ao córtex cerebral, e são:

(1) do núcleo fastigial para os núcleos vestibulares;

(2) do núcleo interpósito e denteado em direção à formação reticular e ao núcleo rubro, no tronco encefálico. A via que segue do cerebelo para o córtex cerebral projeta-se do núcleo rubro ao tálamo e, daí, finalmente ao córtex motor.

Na **Figura 19.20** você pode observar as principais conexões de saída (eferentes) do cerebelo.

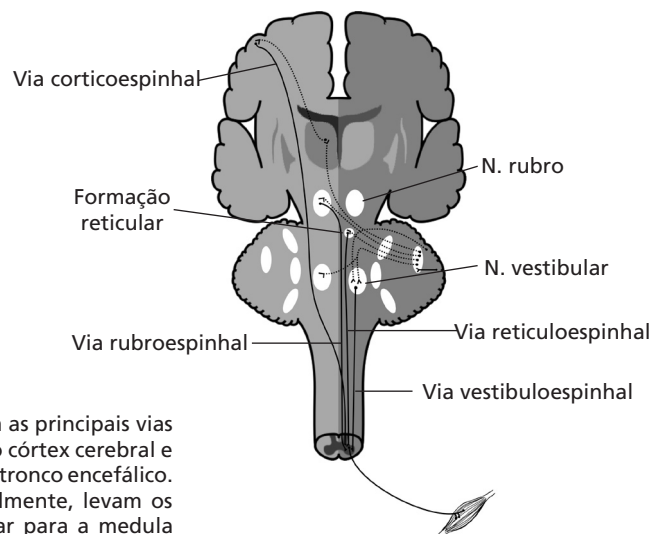


Figura 19.20: Esquema com as principais vias de saída do cerebelo para o córtex cerebral e para os núcleos motores do tronco encefálico. As vias descendentes, finalmente, levam os sinais da correção cerebelar para a medula espinhal, onde estão situados os neurônios motores.

Do **Quadro 19.4** consta um resumo das principais vias de saída do córtex do cerebelo.

Quadro 19.4: Principais vias cerebelares de saída

Origem	Núcleos Envolvidos	Conexões	Via motorar	Conexões na medula espinhal*(neurônios motores)
Arquicerebelo	Fastigial	Núcleo vestibular	Vestibuloespinhal	Sistema medial
Paleocerebelo	Interpósito	Formação Reticular	Reticuloespinhal	Sistema medial
Neocerebelo	Denteado	Núcleo RubroTálamoCórtex cerebral	Rubroespinhal Corticoespinhal	Sistema lateral

*O significado de sistemas medial e lateral será esclarecido mais adiante nessa aula.

Sim, até aí, entendemos. Agora, só falta explicar como os sinais de correção chegam aos músculos, sem os quais alteração alguma seria possível. Calma companheiros, chegaremos lá! O córtex motor e os núcleos motores do tronco encefálico fazem como aquele ascensorista no último andar do prédio: desce!

Você já deve ter percebido que todas as correções de movimentos devem, ao final, ser enviadas à medula espinhal, pois, como estudamos na Aula 17, ali estão localizados os corpos dos neurônios motores, a partir dos quais, o sinal, enfim, chegará aos músculos.

As correções que o cerebelo promove, no nível do córtex motor, chegarão à medula por uma via direta denominada feixe corticoespinhal. Em contrapartida, as correções realizadas nos centros motores do tronco encefálico, serão enviadas à medula espinhal, por uma série de outras vias resumidas no **Quadro 19.4** e que, na próxima aula, detalharemos um pouco mais.

SOMATOTOPIA SIM, MAS SEM CRUZAR!

Como já havíamos estudado na área motora primária, existe um mapeamento do corpo humano que chamamos somatotopia. Naquela oportunidade, vimos que a representação do homúnculo(?) estava de cabeça para baixo, envolvendo a metade oposta do corpo, e as proporções pareciam estranhas. No cerebelo também encontramos a mesma somatotopia.

Contudo, como as vias cerebelares não cruzam, a representação é do mesmo lado, ou seja, no hemisfério cerebelar direito está mapeada a metade direita do corpo e no hemisfério esquerdo, a metade corporal esquerda. Em relação à inversão da figura e às proporções, a somatotopia cerebelar é análoga à cerebral. Na **Figura 19.21**, você pode ver este mapeamento.

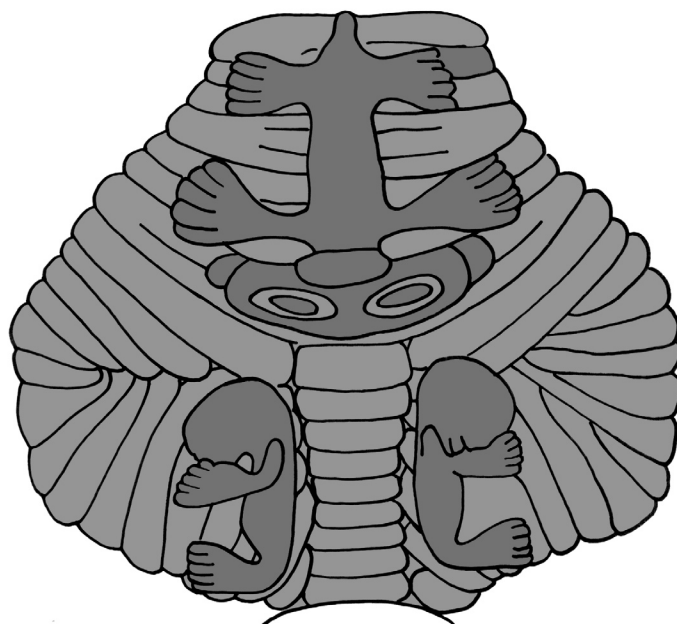


Figura 19.21: Representação somatotópica do corpo humano no córtex cerebelar, em que um homúnculo também foi mapeado.

ATIVIDADE



10. Examinando o homúnculo cerebelar percebe-se que o tronco e grande parte da cabeça estão representados no verme, ao passo que os músculos da face e das extremidades (mãos e pés) foram mapeados nos hemisférios. Como você interpretaria este mapeamento, considerando a filogênese do cerebelo?

RESPOSTA COMENTADA

Associando o grau de precisão dos movimentos com a divisão filogenética e anatômica do cerebelo, torna-se fácil entender que os hemisférios cerebelares correspondem ao neocerebelo, ao passo que o verme representa o cerebelo mais antigo (arqui e paleo). Assim, o controle postural, exercido pelo tronco, e os movimentos da mastigação e deglutição, providos pela musculatura da cabeça, projetam-se no verme, uma ação motora mais antiga na escala filogenética. A face (fonação) e os movimentos de habilidade das extremidades são de aquisição filogenética mais recente (neocerebelo) e, por isto, são representados no hemisfério. Agora, você vai me dizer que isso é difícil?

UM CEREBELO QUE APRENDE COM A EXPERIÊNCIA

Estudos atuais têm revelado que o cerebelo parece estar envolvido no aprendizado motor. Assim, a repetição de um determinado movimento poderia, em última análise, gerar sinais repetitivos que criariam uma espécie de memória motora no interior do cerebelo. Dessa forma, as correções que o cerebelo faz nos movimentos podem ocorrer, tanto no momento em que eles são realizados, quanto por meio de uma memória armazenada destas correções. Portanto, o cerebelo poderia emitir sinais com tal rapidez que se anteciparia ao erro cometido. Admite-se que esta função antecipatória seria necessária, uma vez que a correção direta no movimento realizado seria muito demorada.

Alguns neurocientistas acreditam que o cerebelo seria capaz de “aprender” com as experiências motoras passadas do indivíduo, aperfeiçoando o desempenho motor seguinte, quando aquele mesmo movimento fosse executado. Este mecanismo poderia estar relacionado ao desempenho de atletas em determinadas atividades esportivas, (como os ginastas), que precisam agir com grande rapidez e precisão.

Contudo, esta questão ainda é polêmica e alguns pesquisadores acreditam que a atuação do cerebelo em movimentos aprendidos estaria limitada ao controle do ato motor, não havendo, qualquer tipo de memória armazenada no interior do cerebelo.

Como seria o cerebelo de João Bosco? Como vimos, uma das funções do cerebelo é a coordenação dos movimentos finos. Neste contexto, incluímos os movimentos das mãos, dos músculos da face e da laringe (voz) e dos olhos. Você acha que o João Bosco tem um cerebelo mais desenvolvido do que o seu e o meu? Não existem dados disponíveis na literatura sobre o tamanho do cerebelo dele, mas tenho a convicção de que é igual ao nosso.

Então, o que o faz tão diferente em relação a nós, a respeito do desempenho motor? Será que o cerebelo dele está apenas respondendo a uma maior quantidade de informações devido ao treinamento a que ele se impôs no exercício da profissão? Um cerebelo submetido a uma maior e mais prolongada quantidade de estímulos é capaz de executar seu controle com maior eficiência, especialmente os movimentos seqüenciais, como ocorre ao se tocar violão e cantar. Mas não precisa, para isto, que o cerebelo seja maior do que o nosso.

O CEREBELO DOENTE

Mas, infelizmente, o cerebelo também fica doente. Para entender as disfunções do cerebelo, basta lembrar as suas funções básicas: a regulação do equilíbrio, o controle do tônus muscular e a coordenação motora fina. Comumente o termo **ATAXIA** é empregado para designar a existência de movimentos descoordenados.

Assim, as pessoas que tem algum tipo de enfermidade no cerebelo podem apresentar problemas relacionados com o equilíbrio. Isto pode ser facilmente percebido quando se examina esta pessoa na postura ereta. Ela mostra grande dificuldade de ficar em pé, especialmente quando solicitamos que ela feche os olhos ou fique apoiada apenas em um dos pés.

Este distúrbio no equilíbrio também se manifesta durante a marcha. Quando a pessoa caminha, ela se desequilibra como se caísse para um dos lados. Como este tipo de marcha lembra o caminhar de pessoas alcoolizadas, é chamada **MARCHA EBRIOSIA**.

ATAXIA

Corresponde a qualquer situação na qual exista uma incoordenação motora.

MARCHA EBRIOSIA

Um tipo de marcha em que o indivíduo oscila o corpo, caindo alternadamente para um lado e o outro.

Outro problema comumente observado é a redução do tônus muscular, condição chamada hipotonia muscular. Em outras palavras, durante o repouso, os músculos dessas pessoas parecem flácidos quando os palpamos.

Finalmente, os movimentos de precisão são comprometidos, ficando o indivíduo com dificuldades em escrever, falar com fluência, mover os olhos acompanhando objetos, pegar algum objeto como um copo ou um telefone, tocar algum instrumento de corda, por exemplo.

A escrita, por exemplo, é irregular. O indivíduo tem dificuldades de juntar as letras das palavras e escrever em linha reta; sua fala é comprometida, com separação anormal das sílabas, uma condição chamada **DISARTRIA** e, por vezes, tende a ser explosiva e algumas sílabas podem ser suprimidas; os olhos mostram um tremor permanente denominado **NISTAGMO**.

Os movimentos tendem a ser decompostos, ou seja, a pessoa move uma parte do corpo de cada vez. Outro sinal bem característico é denominado **DISMETRIA** (dis=dificuldade; metria=medida) caracterizada pela dificuldade em acertar o alvo. Quando o indivíduo tenta pegar algum objeto sobre a mesa, a sua mão esbarra nele e o ultrapassa, tendo de retornar para uma correção. Além disso, os pacientes tornam-se incapazes de realizar movimentos opostos e rápidos, como o que fazemos ao tocar insistentemente o botão do *mouse*. Os pacientes têm, ainda, um tipo de tremor nas mãos, sempre que necessitam executar atos de precisão, chamados tremor de ação. Lembre-se de que, no caso de dano cerebelar, não ocorre qualquer paralisia dos músculos nem distúrbios da sensibilidade. O problema está na incapacidade do cerebelo em coordenar as ações motoras.

DISARTRIA

Desarticulação da fala, na qual a palavra é separada em sílabas ao serem verbalizadas, com a supressão ocasional de algumas sílabas.

NISTAGMO

Tremor rápido e incessante dos olhos que pode ocorrer em pessoas normais, mas por pouco tempo.

DISMETRIA

Dificuldade em cumprir um trajeto de distância mínima ao tentar alcançar um objeto com as mãos ou os pés.



Observe que o tremor da doença de Parkinson é de repouso, isto é, manifesta-se quando a pessoa está distraída. Em contrapartida, o tremor da doença cerebelar é de ação, aparecendo quando o paciente tenta usar a mão para a realização de alguma tarefa.



ATIVIDADE

11. Em muitas situações de disfunção cerebelar é possível relacionar os sinais apresentados pelos enfermos e as regiões do cerebelo acometidas, especialmente em relação às divisões filogenéticas e anatômicas. Pede-se que você relacione tais divisões com os seguintes sinais: a. dificuldade de escrever um texto simples de 10 linhas e de ler outro texto fluentemente; b. tendência em cair para um dos lados ao caminhar; c. redução da resistência das articulações aos movimentos passivos (executados pelo médico nas articulações do paciente).

RESPOSTA COMENTADA

Esta questão mostra a grande importância do cerebelo na coordenação da atividade muscular. A dificuldade de escrever e/ou de ler um texto está ligada ao neocerebelo, uma vez que a disfunção envolve a incoordenação de músculos de precisão como os da mão e da face. A tendência em cair ao caminhar, já foi definida no texto como marcha ebriosa e está relacionada a doenças do arquicerebelo que se encarrega do equilíbrio do corpo.

Finalmente, a reduzida resistência aos movimentos passivos é uma característica da doença paleocerebelar, pois envolve a redução do tônus dos músculos. De maneira geral, a lesão no lóbulo flóculo-nodular é traduzida como uma disfunção do arquicerebelo. A lesão de verme, especialmente no lobo anterior, é representada como um distúrbio do paleocerebelo e as enfermidades dos hemisférios, especialmente no lobo posterior traz conseqüências ao neocerebelo.

RESUMO

Nessa aula, vimos que a nossa postura contra a ação da gravidade e os movimentos que realizamos todos os dias com o nosso corpo devem ser coordenados de tal forma que atendam aos objetivos de cada uma das ações, com um esforço mínimo despendido. No comando dos movimentos voluntários e no controle da qualidade de nossas ações motoras, agem as áreas sensitivas e motoras do córtex cerebral, os núcleos da base e o cerebelo, dentre outros centros. O resultado da interação dessas áreas controladoras deve, finalmente, chegar à medula espinal por meio de vias descendentes para que as unidades motoras sejam ativadas em cada situação funcional.

ATIVIDADES FINAIS

1. Suponha que você está fazendo anotações de uma aula onde o professor expõe algum assunto. Nessa tarefa você move seu membro superior, a cabeça e os olhos para escrever algumas frases no seu caderno. Qual é a participação dos órgãos dos sentidos no controle dos movimentos das partes do seu corpo citadas?

RESPOSTA COMENTADA

Para que você anote o que o professor está dizendo, é necessário que sua visão esteja dirigida para o quadro negro, onde ele anota esporadicamente alguma palavra que queira ressaltar ou de difícil entendimento verbal. A sua audição é essencial ao escutar o que ele diz. O contato de sua mão com a caneta e com o caderno auxilia na condução da escrita. Assim, visão, audição e tato são importantes nessa atividade. Finalmente a propriocepção, orientando os centros de controle a respeito do posicionamento de cada articulação do membro superior, foi essencial nessa tarefa.

2. Ainda no exemplo anterior, para falar claramente de tal forma que você entenda sem dificuldades, o professor utiliza que área do córtex motor? E em que momentos você usa as áreas de controle do movimento conjugado dos seus olhos, tanto na região frontal (movimento sacádico) quanto na região occipital foram ativadas?

RESPOSTA COMENTADA

Quando você move seus olhos acompanhando o movimento do professor, ou do que ele escreve no quadro; ou, ainda, do que você está escrevendo em seu caderno, você ativa a área que controla o movimento conjugado dos olhos, no lobo occipital, próximo à área visual, pois, nestes casos, os olhos acompanham o que está sendo visto. Em contrapartida, quando você deixa subitamente de olhar o professor e volta a sua visão para o caderno ou executa o movimento oposto, a área ativada é a do controle do movimento conjugado dos olhos no lobo frontal, pois, nesse caso, trata-se de movimento sacádico.

3. Ao fazer, no seu caderno, as anotações sobre a aula, que parte do cerebelo (divisões anatômica e filogenética) foi ativada para o controle de sua mão? Que informações o cerebelo usou para o controle sua mão, supondo que, neste momento exato em que escrevia, você olhava para o professor, mas não olhava o caderno?

RESPOSTA COMENTADA

O controle do movimento de precisão de sua mão é tarefa do neocerebelo, que está situado nos hemisférios cerebelares, particularmente no lobo posterior do cerebelo. Se você olhava o professor mas não o caderno, a visão não poderia guiar a sua mão nas pautas e, assim, o tato da mão com a caneta e o caderno e a propriocepção, informando a respeito dos ângulos articulares de ombro, cotovelo e punho, foram as informações empregadas nessa ação.

4. Como você estudou, o cerebelo e os núcleos da base agem no controle da postura e dos movimentos do nosso corpo. Quais as diferenças básicas entre o papel do cerebelo e dos núcleos da base neste controle?

RESPOSTA COMENTADA

Como visto, o cerebelo recebe sinais do córtex sensório motor e os sinais para os núcleos da base originam-se de todas as áreas corticais. Em contrapartida, os sinais que saem do cerebelo são excitatórios e se destinam ao córtex motor, ao passo que os núcleos da base, além do córtex motor, enviam sinais inibitórios ao córtex associativo na área pré-frontal. Finalmente o cerebelo apresenta conexões diretas com as áreas motoras do tronco encefálico de forma, indireta, com a medula espinhal. Os núcleos da base se conectam, basicamente com o córtex cerebral.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, continuaremos a examinar esse tema sobre controle motor, uma vez que entram em cena novas personagens como o tronco encefálico, a medula espinhal, as vias de projeção descendentes e os receptores que alimentam o sistema com informações. Você, certamente, vai ter um panorama dos meios pelos quais todo o comando e o controle chega, finalmente aos músculos. Espero você lá!

Descendo a rua da Ladeira ou como todos os caminhos chegam à medula

AULA 20

Meta da aula

Descrever a participação dos núcleos do tronco encefálico no controle dos movimentos corporais e a relação entre as vias motoras descendentes e a organização do controle motor na medula espinal.

objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Descrever o órgão vestibular, caracterizando sua forma de atuação e como o seu funcionamento influencia a atividade muscular.
- Definir os núcleos motores do tronco encefálico e as vias motoras descendentes que originam.
- Descrever a origem e o trajeto da via corticoespinal, bem como o local de decussação.
- Estabelecer a organização motora da medula espinal, definindo os sistemas lateral e medial no controle motor.
- Descrever as relações entre as vias descendentes e os neurônios motores medulares.
- Listar as formas de operação dos proprioceptores e como eles contribuem para o controle motor.
- Definir a organização dos circuitos reflexos medulares profundos e cutâneos e como a via corticoespinal age sobre eles.

Pré-requisitos

Para um bom acompanhamento deste assunto, você deverá rever as Aulas 6 (Organização geral do sistema nervoso), 8 (Somestesia), 17 (O esqueleto como História e não como Geografia) e 18 (Uma galinha não voa sobre o abismo. A dinâmica de nossos músculos), uma vez que o controle motor depende do conhecimento prévio das estruturas componentes do sistema nervoso, da sensibilidade corporal e da interação entre nervos e músculos.

INTRODUÇÃO

Vimos, na Aula 19, alguns aspectos relativos ao controle dos movimentos corporais. Estudamos a participação do córtex cerebral, dos núcleos da base e do cerebelo no controle da postura e dos movimentos corporais. Nesta aula, seguiremos com o mesmo assunto, enfocando o papel do tronco encefálico e da medula espinal no movimento voluntário e reflexo, bem como a valiosa participação dos receptores proprioceptivos e do órgão vestibular na coordenação dos movimentos. Vamos lá!

BUSCANDO O EQUILÍBRIO DO CORPO NOS LABIRINTOS

Quando você estudou o sistema auditivo, na Aula 10, na qual observou a morfologia da cóclea que seus professores compararam a um caracol, pois eles adoram fazer isso! A cóclea é constituída por um grupo de tubos enrolados ao redor de um eixo incrustado no interior do osso temporal e está envolvida com a função auditiva. Neste mesmo conjunto encontramos, mais posteriormente, um outro sistema de canais conhecido como órgão vestibular que, em última análise, está relacionado com o equilíbrio do nosso corpo.

No interior dos espaços do órgão vestibular, observam-se dois elementos importantes na função vestibular: em primeiro lugar, um epitélio especializado no qual existe um conjunto

de receptores sensíveis ao movimento e, em segundo lugar, um fluido conhecido como endolinfa que circula no interior desses canais. O que faz este sistema? Para que servem estes receptores? Como age a endolinfa? Que tipos de informação os receptores fornecem ao sistema nervoso central? Qual a relação deste sistema com o controle dos movimentos? Vamos examinar a **Figura 20.1** para identificar a localização do órgão vestibular no interior do crânio.

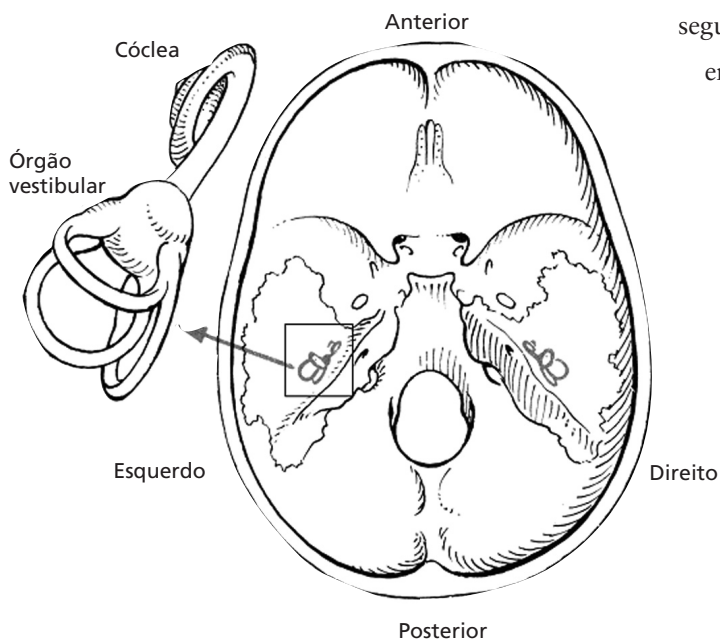


Figura 20.1: Desenho da base do crânio mostrando a posição do órgão vestibular (e da cóclea), no interior do osso temporal.

O órgão vestibular, bem como a cóclea, é constituído por um labirinto formado no interior do osso temporal, cujas paredes são formadas pelo próprio osso, mas, em seu interior, destacam-se duas vesículas denominadas utrículo e sáculo, e um conjunto de três dutos conhecidos como dutos semicirculares que se comunicam entre si e com as vesículas. Na **Figura 20.2**, você poderá observar um esquema da organização do órgão vestibular.

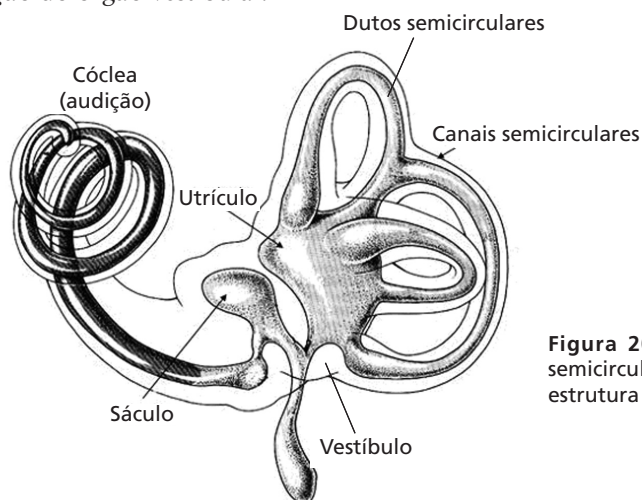


Figura 20.2: Disposição espacial dos canais semicirculares, do utrículo e do sáculo. Observe a estrutura labiríntica desses canais e vesículas.

Existe, na verdade, um labirinto ósseo e, em seu interior, um labirinto membranoso. Nestas cavidades membranasas, cheias de endolinfa, existem epitélios sensoriais onde se localizam os receptores vestibulares. O utrículo, o sáculo e os dutos semicirculares fazem parte deste labirinto membranoso.

O aspecto labiríntico deve-se ao fato de que os espaços são interligados. Assim, os movimentos da cabeça produzem um deslocamento da endolinfa no interior do labirinto, que estimula mecanicamente as células sensoriais desse epitélio e produz um potencial receptor, da mesma forma que você estudou em outros sistemas na Aula 8 (somestesia). Este potencial receptor é captado por neurônios sensitivos que formam o nervo vestibular e, assim, o sinal irá se dirigir ao sistema nervoso central. Desta forma, o encéfalo será informado a respeito da posição da cabeça em cada instante.

O utrículo e o sáculo informam sobre o estado de repouso e de deslocamentos lineares da cabeça, com movimentos de translação. Já os canais semicirculares são estimulados por movimentos rotacionais da cabeça. Observe, na **Figura 20.2**, que cada um dos três dutos



Se você está parado, ou se sobe ou desce em um elevador, os órgãos otolíticos são essenciais como meios de informação, pois o movimento é linear. Em contrapartida, se você gira a cabeça quando resolve olhar para o céu, os dutos semicirculares são estimulados, pois, neste caso, trata-se de um movimento rotacional.

semicirculares está orientado segundo um plano diferente no espaço, a que permite que um conjunto de informações seja passado ao sistema nervoso central a respeito dos planos de movimentação da cabeça.

O utrículo e o sáculo constituem o que se denomina órgão otolítico, pois em seu epitélio repousam os otólitos (ou otocônias), um grupo de pequenos cristais de 3 a 30 micrômetros de comprimento ($3 \text{ a } 30 \times 10^{-3} \text{ mm}$), compostos por carbonato de cálcio e essenciais na transdução dos sinais.

Na Figura 20.3, podemos observar as vias neuronais envolvidas com a função vestibular.

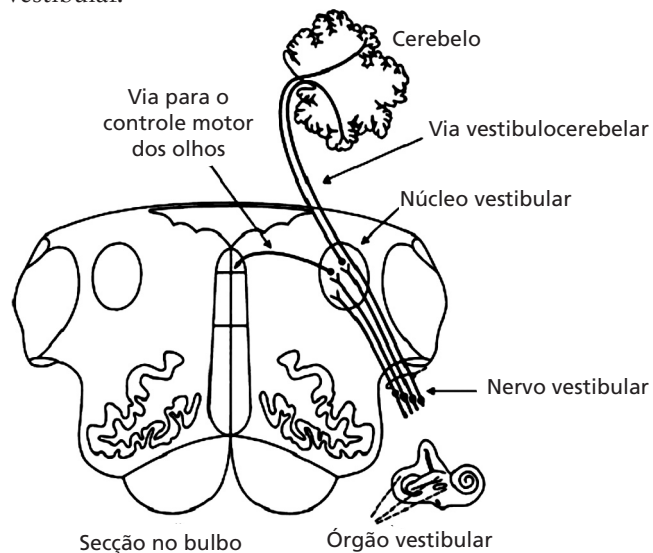


Figura 20.3: Esquema de um corte horizontal no bulbo, onde estão presentes a entrada do nervo vestibular, proveniente do órgão vestibular, e as vias centrais que conectam as informações vindas do labirinto com o cerebelo e outras partes do encéfalo.

A partir da combinação de estímulos provenientes de cada um dos seis canais semicirculares e dos órgãos otolíticos, o sistema nervoso central ficará “sabendo” se a cabeça continua parada ou se está movendo-se de uma determinada forma. Estas informações são levadas ao bulbo pelo nervo vestibular e repassadas ao cerebelo, por meio de uma via denominada vestibulocerebelar e, assim, o córtex cerebelar é informado a respeito da posição da cabeça em cada momento.

Este sistema é, portanto, essencial na regulação da nossa postura. Trata-se de um controle cerebelar que não passa pela nossa consciência. Contudo, é conveniente lembrar que os sinais do órgão vestibular são, simultaneamente, projetados no córtex somestésico primário por uma outra via e, neste caso, temos a noção consciente da posição da nossa cabeça, mesmo com os olhos fechados e sem que precisemos pôr a mão para conferir. Portanto, a despeito de, na maior parte das vezes,

não estarmos conscientes de suas funções, o sistema vestibular é um componente fundamental nos reflexos posturais e nos movimentos dos nossos olhos.

Assim, a função do sistema vestibular aciona mecanismos que controlam o posicionamento dos olhos, da cabeça, do tronco e dos membros, especialmente envolvidos com o controle do tônus muscular. Se o sistema estiver comprometido, o equilíbrio, o controle dos movimentos dos olhos (quando a cabeça está se movendo) e o sentido de orientação espacial serão profundamente afetados.

O movimento da endolinfa, no interior do labirinto, também pode ser produzido por estimulação térmica. Um jato de água morna ou fria, aplicado no meato auditivo, com uma seringa, produz um deslocamento da endolinfa, simulando movimentos da cabeça. O indivíduo, poderá, neste teste, ter uma crise de tonteira, náuseas, vômitos e um tremor demorado nos olhos (nistagmo). Este teste térmico é empregado pelos médicos para avaliar o grau de sensibilidade do labirinto e é conhecido como prova calórica.

ATIVIDADES



1. Você está dormindo e o relógio o desperta. Você se levanta, recuperando a sua vida bípede, para mais um dia de trabalho. Assim, você teve que modificar rapidamente o tônus dos seus músculos para que eles se adaptem à postura ereta e, como foi visto na Aula 19, o cerebelo tem uma grande participação neste ajuste postural. Baseado no que você estudou nesta Aula 20, responda: como o órgão vestibular informou ao cerebelo que você se levantou da cama e que, por isto, precisa de uma rápida atividade muscular que sustente o seu corpo?

RESPOSTA COMENTADA

Tenho certeza de que você acertou! A modificação de uma posição deitada para a posição ereta da sua cabeça possibilitou que a endolinfa sofresse um movimento que, em última análise, estimulou os receptores do sáculo, do utrículo e dos dutos semicirculares, e que esta estimulação foi conduzida como informação ao cerebelo pelo nervo vestibular e, em seguida, pela via vestibulocerebelar. Assim, o cerebelo prontamente ajustou o tônus dos seus músculos para mais um dia de trabalho.

2. Imagine que exista algum problema no órgão vestibular, como uma labirintite, ou seja, um processo inflamatório aí localizado. Este processo estimula os receptores e envia informações erradas ao cerebelo, em relação à posição da cabeça. Que região do cerebelo (em relação à divisão anatômica e à filogenética) recebe sinais enviados pelo órgão vestibular? O que ocorreria com o cerebelo, diante da chegada de informações equivocadas sobre a posição e os movimentos da nossa cabeça? O que você acha que ocorreria com o nosso corpo? Ficaríamos de pé? Andaríamos com facilidade?

RESPOSTA COMENTADA

Os sinais oriundos do órgão vestibular (labirinto) chegam ao arquicerebelo, que está localizado no lóbulo flóculo-nodular, como vimos na Aula 19. Nestas condições anômalas, o cerebelo seria informado sobre posicionamentos e movimentos da nossa cabeça que não estariam ocorrendo de fato. Assim, o cerebelo enviaria respostas aos centros motores para corrigir deslocamentos e quedas inexistentes, acionando músculos desnecessariamente. Isto criaria dificuldades na manutenção da nossa postura ereta e impediria uma marcha normal e, daí, sentiríamos tonteiras (com quedas), náuseas, vômitos e nistagmo. Este quadro é denominado crise labiríntica, e quem já experimentou jamais esquecerá!

É UM AVIÃO? É UM ASTERÓIDE? É O SUPER-HOMEM? NÃO, É UM SINAL MOTOR VINDO DO ALTO

O córtex cerebral constitui-se no centro motor mais elevado do sistema nervoso. Uma via descendente, aí originada, envia sinais para baixo até chegar aos neurônios motores da medula espinal. Trata-se da via corticoespinal, que já vimos na Aula 19. Os corpos dos neurônios estão situados no córtex cerebral, especialmente na área motora primária. Os axônios originados desta área dispõem-se em um trajeto descendente atravessando o cérebro, o tronco encefálico e, chegando, finalmente, à medula espinal, onde fazem sinapses com os neurônios motores. Na **Figura 20.4** podemos examinar um esquema da via corticoespinal, desde sua origem no córtex cerebral até a chegada na medula espinal.

No nível do bulbo, logo após penetrar nas pirâmides bulbares, a maior parte das fibras da via corticoespinal cruza para o lado oposto. Desta maneira, os músculos dos lados direito e esquerdo do corpo são comandados pelos córtices motores dos hemisférios esquerdo e direito, respectivamente. Assim, uma lesão dessa via, acima do cruzamento das fibras, provocará paralisia do lado oposto do corpo. A via corticoespinal está envolvida com os movimentos voluntários de precisão. Ao lado dessa via existem outras, que se originam dos núcleos do tronco encefálico, e que vamos estudar mais adiante.



O cruzamento das fibras da via corticoespinal é conhecido como decussação das pirâmides. O termo decussar vem do latim: *decussare* = cruzar.

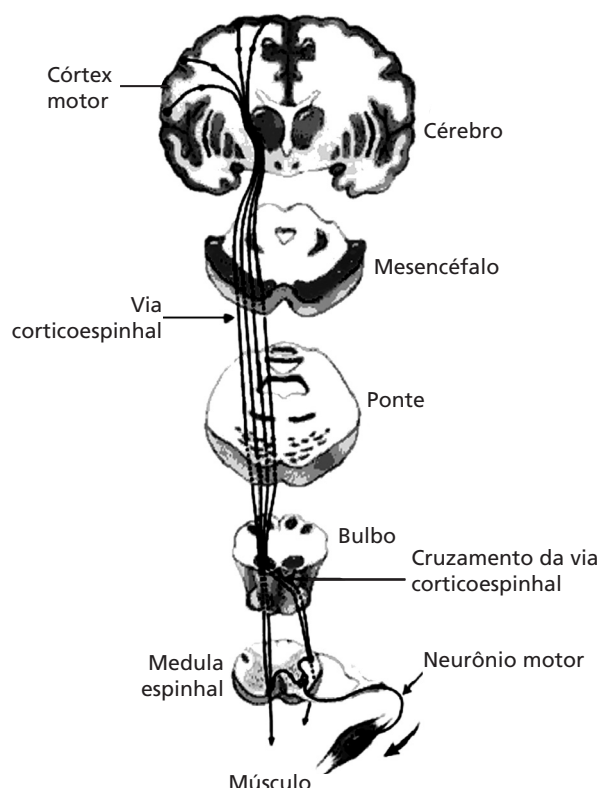


Figura 20.4: Esquema com a via corticoespinal originando-se no córtex cerebral, atravessando todo o tronco encefálico e conectando-se, finalmente, com os neurônios motores (unidades motoras), na medula espinal. Observe o cruzamento da maior parte das fibras dessa via, no nível do bulbo.

ATIVIDADE



3. Uma lesão da via corticoespinal, tanto no cérebro quanto na medula espinal, comprometerá, da mesma forma, o movimento voluntário dos indivíduos, especialmente dos membros. Uma das grandes diferenças é em relação ao lado do corpo acometido: direito ou esquerdo. Assim, considerando o trajeto dessa via, explique qual a diferença, em relação ao lado do corpo paralisado, a respeito da localização encefálica ou espinal da lesão referida.

RESPOSTA COMENTADA

Uma rápida olhada na **Figura 20.4** permitirá que você cumpra essa atividade sem problemas. Do córtex cerebral até a chegada às pirâmides, no bulbo, a via corticoespinal segue de um mesmo lado; mas, ao atingir a pirâmide, grande parte da via (incluindo a que supre os membros) cruza para o lado oposto (decussação das pirâmides). Assim, se a lesão ocorre antes do cruzamento (do córtex à pirâmide), o comprometimento do movimento voluntário

será no lado oposto do corpo, ou seja, uma lesão no lado direito comprometerá o(s) membro(s) esquerdo(s) e vice-versa. Em contrapartida, se a lesão estiver situada abaixo do cruzamento, como se dá na lesão espinal, a perda motora será do mesmo lado da lesão.

O TRONCO ENCEFÁLICO: UM LUGAR DE ENCONTROS

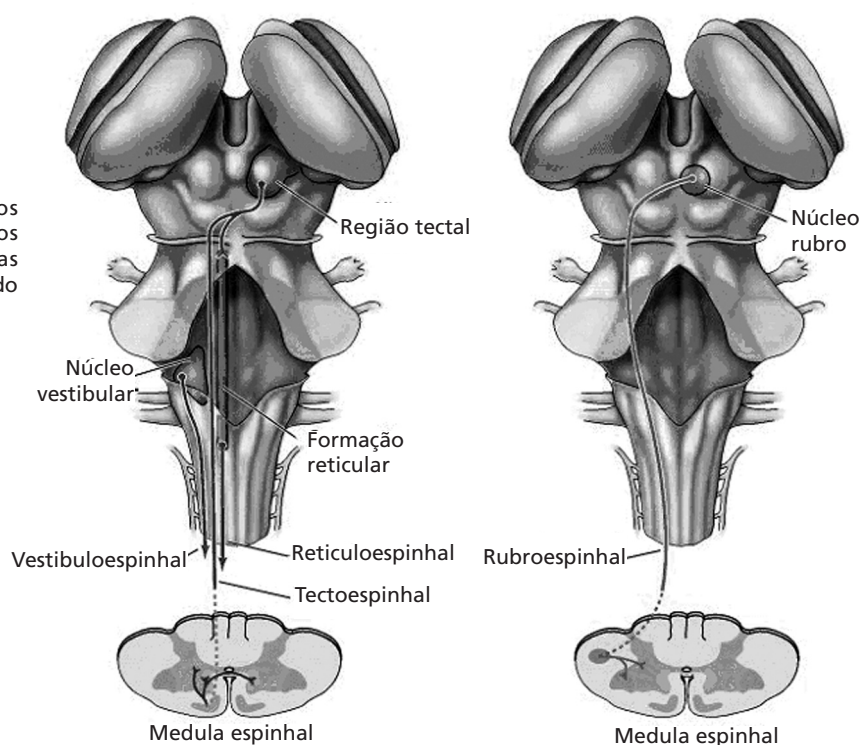
Uma Boa parte do controle motor está localizada no tronco encefálico (mesencéfalo, ponte e bulbo). O tronco encefálico tem, em sua estrutura interna, uma série de centros (núcleos) e de vias relacionados com o controle dos movimentos. Todas as conexões que estudamos com você, envolvendo o córtex cerebral, os núcleos da base e o cerebelo, passam, obrigatoriamente, pelo tronco encefálico.

Vamos, em primeiro lugar, examinar os núcleos do tronco encefálico associados ao controle motor. Em seguida, vamos relacionar estes núcleos com as principais vias descendentes que estabelecem conexões com os neurônios motores, na medula espinal.

Na **Figura 20.5**, você poderá identificar os principais núcleos do tronco encefálico envolvidos com o controle motor, cuja participação nos movimentos examinaremos neste tópico.

O tronco encefálico tem uma série de outras funções, como o controle do sistema cardiorrespiratório, do ciclo sono e vigília, os centros da deglutição e do vômito, o controle da secreção salivar. Contudo, nessa aula, enfocaremos exclusivamente seus centros motores.

Figura 20.5: Principais núcleos do tronco encefálico envolvidos com o controle motor e as vias descendentes que levam o comando motor até a medula espinal.



Observe na **Figura 20.5** que, no mesencéfalo, encontramos o núcleo rubro, que está associado ao cerebelo, aos núcleos da base, ao tálamo e ao córtex motor, constituindo uma rede complexa de circuitos para o controle dos movimentos. Deste núcleo parte uma via denominada rubroespinal, que desce até a medula espinal, estabelecendo conexões com os neurônios motores medulares e, daí, com os músculos. Esta via está envolvida, especialmente, com os movimentos voluntários de precisão, juntamente com a via corticoespinal cuja origem, principalmente, é o córtex motor.

Ainda no mesencéfalo, você pode identificar na **Figura 20.5**, o núcleo tectal de onde se origina a via tectoespinal que desce até a medula espinal conectando-se com os neurônios motores medulares. Esta via parece estar envolvida com a coordenação reflexa dos movimentos simultâneos da cabeça, do tronco e dos olhos, seguindo estimulações visuais e auditivas, como ocorre, por exemplo, quando giramos reflexamente a cabeça ao ouvir algum barulho repentino.

Mais inferiormente, na **Figura 20.5**, encontramos, dispersos por todo o tronco encefálico, grupos de núcleos e de axônios conhecidos como formação reticular, devido ao seu aspecto “em rede”. Esta formação tem uma importante função no controle motor. Regula os movimentos dos olhos, o tônus muscular e, por isso, age no controle da postura do corpo. A formação reticular está conectada ao cerebelo, ao cérebro e aos núcleos da base e, finalmente, emite uma via de saída, denominada via reticuloespinal, que chega até a medula espinal, estabelecendo sinapses com os neurônios motores. Diferentemente das vias rubroespinal e corticoespinal, a via reticuloespinal não está relacionada aos movimentos voluntários, mas à regulação reflexa da postura.

Ainda na **Figura 20.6**, você pode identificar os núcleos vestibulares, na ponte e no bulbo. São conectados ao órgão vestibular da orelha interna e, pela via vestibulocerebelar, conduzem informações ao cerebelo, como já vimos. Os núcleos vestibulares são capazes de influenciar a atividade dos neurônios motores da medula espinal e, daí, agir sobre os músculos, através da via vestibuloespinal. A via vestibuloespinal age na regulação reflexa da postura da cabeça e do tronco em resposta aos movimentos da cabeça.

Desta forma, os núcleos vestibulares e a formação reticular fornecem informações à medula espinal para a manutenção da postura.

Os núcleos vestibulares fazem ajustes na postura e no equilíbrio, de acordo com as informações que chegam da orelha interna. As projeções diretas dos núcleos vestibulares para a medula espinal asseguram uma resposta compensatória rápida a qualquer instabilidade postural percebida pelo labirinto. Em contrapartida, os centros motores da formação reticular são, em grande parte, controlados por outros centros motores no córtex ou no tronco encefálico. Os neurônios da formação reticular mantêm contato funcional com o cerebelo e iniciam ajustes que estabilizam a postura durante a execução de algum movimento.

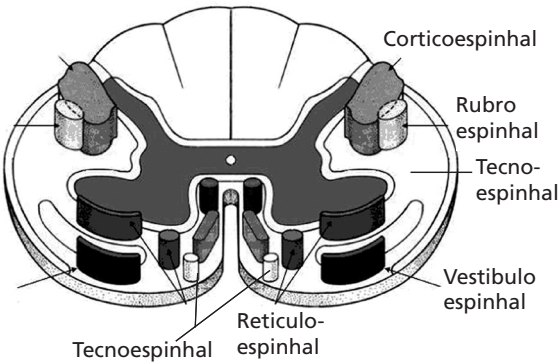


Figura 20.6: Uma seção horizontal da medula espinal com a localização das principais vias motoras descendentes na medula espinal (ambos os lados). Observe que as vias cortico e rubroespinhal situam-se mais lateralmente (para fora) e as vias retículo e vestibuloespinhal posicionam-se mais medialmente (para dentro).

Na **Figura 20.6**, representamos um esquema da localização dessas principais vias motoras descendentes na medula espinal.

Assim, todos os núcleos situados no tronco encefálico originam vias descendentes que chegam à medula espinal e estabelecem conexões sinápticas com os neurônios motores medulares. Vamos, então, reunir as informações até aqui apresentadas, a respeito das vias descendentes. No **Quadro 20.1** apresentamos um resumo dessas vias motoras.

Quadro 20.1: Resumo das principais vias motoras descendentes

Vias motoras	Origem	Região de origem	Função	Informações extras
Corticoespinhal	Córtex cerebral	Hemisfério cerebral	Movimentos voluntários	
Rubroespinhal	Núcleo rubro	Mesencéfalo	Movimentos voluntários	
Tectoespinhal	Região tectal do mesencéfalo	Mesencéfalo	Movimento reflexo da cabeça e do tronco em resposta a estímulos visuais e auditivos	
Reticuloespinhal	Formação reticular	Distribuído em todo o tronco encefálico	Controle do tônus muscular (postura e equilíbrio)	
Vestibuloespinhal	Núcleos vestibulares	Ponte e bulbo	Controle do tônus muscular (postura e equilíbrio)	Depende das informações do órgão vestibular

Em alguns livros, vocês poderão encontrar essas vias descendentes divididas em sistemas piramidal e extrapiramidal. Neste contexto, a via corticoespalinal compunha o sistema piramidal, pois essa via passa no interior da pirâmide bulbar. As demais não passam pelas pirâmides e são chamadas de extrapiramidais. Contudo, nos livros mais recentes há uma tendência em substituir estes termos por sistemas: sistema lateral e sistema medial, respectivamente, pois a terminologia antiga carece de significado funcional.

ATIVIDADE



4. Como você já viu neste tópico, um grupo de núcleos do tronco encefálico está relacionado ao controle dos movimentos, tanto em relação à regulação da postura corporal e do equilíbrio quanto aos movimentos voluntários. Estes núcleos originam vias motoras descendentes que chegam à medula espinal. Pede-se que você resolva as seguintes questões: Quais os núcleos do tronco encefálico que estão relacionados com a postura e o equilíbrio? Qual desses núcleos controla o equilíbrio a partir de informações do labirinto? Qual o núcleo que está envolvido com os movimentos voluntários dos membros?

RESPOSTA COMENTADA

Aposto o meu álbum de figurinhas completo que você respondeu acertadamente a essas questões! Os núcleos vestibulares e a formação reticular estão envolvidos com o controle postural e com o equilíbrio do corpo. Particularmente, os núcleos vestibulares controlam o equilíbrio a partir de informações provenientes do labirinto (órgão vestibular). O núcleo rubro, situado no mesencéfalo, está relacionado aos movimentos voluntários dos membros.

TODOS OS CAMINHOS LEVAM À MEDULA ESPINAL

Neste momento, imagine o cenário que encontramos na medula espinal. Um grupo de quatro vias (de cada lado) está descendo na direção da medula espinal, vindo dos mais variados recantos do encéfalo. O que será que estas vias encontrarão? Onde depositarão suas mensagens? O que as espera na medula espinal? Para responder a essas perguntas, precisamos saber de que forma se organiza a medula espinal em relação ao controle motor.

CORNOS OU COLUNAS

São regiões de substância cinzenta, situadas na medula espinal, nas quais estão localizados os corpos dos neurônios espinais.

Vamos examinar a estrutura interna da medula espinal, por meio de um esquema de uma seção horizontal que passe por uma de suas porções, como você poderá ver nas Figuras 20.7 e 20.8. Você poderá observar a distribuição das substâncias branca e cinzenta da medula espinal. A substância cinzenta situa-se no centro e, ao corte, lembra a letra H, com uma barra transversa e duas projeções: direita e esquerda. Estas projeções são chamadas **CORNOS** ou **COLUNAS**. Os neurônios motores que estudamos na Aula 18 têm os seus corpos situados no corno ventral da substância cinzenta. Seus longos axônios saem da medula espinal pelas raízes ventrais e, finalmente, atingem o nervo espinal para chegar aos músculos correspondentes.

Figura 20.7: Esquema de uma seção horizontal da medula espinal, mostrando a formação do nervo espinal. Observe que os nervos espinais são formados pela união de neurônios sensitivos e motores.

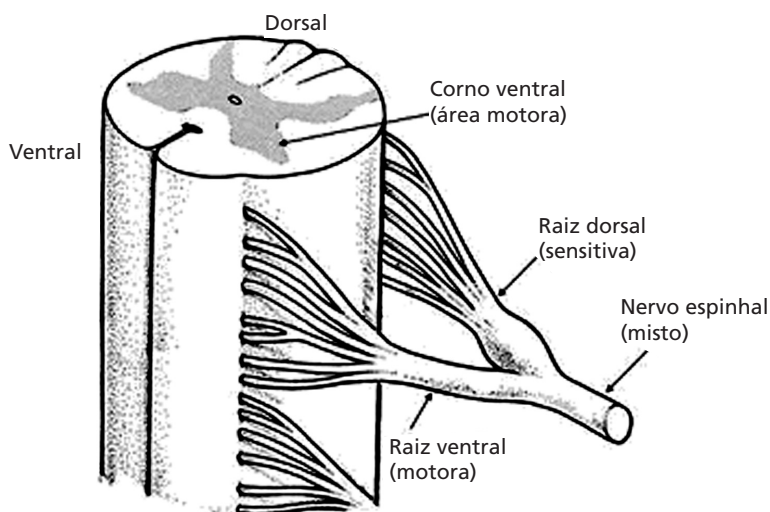
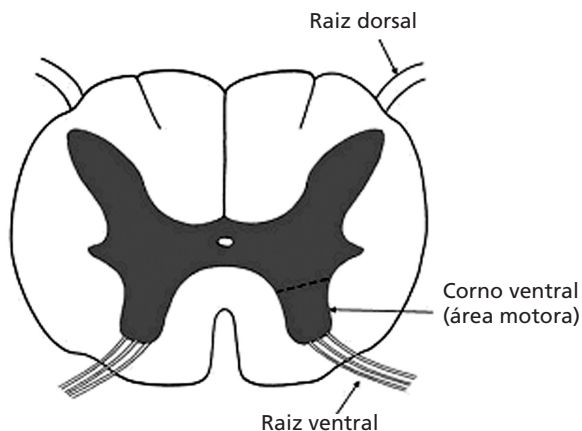


Figura 20.8: Esquema de uma seção horizontal da medula espinal, no qual se pode observar a substância cinzenta com a forma de uma letra H. Na área motora, (corno ventral) estão situados os corpos dos neurônios motores.



Nesta aula, vamos, contudo, nos concentrar na organização motora, ou seja, na contribuição da medula espinal, na contração e na coordenação dos movimentos que envolvem músculos estriados esqueléticos.

Na Figura 20.9, podemos observar a origem, o trajeto e a terminação do neurônio motor, na medula espinal, compondo a unidade motora que vimos com você na Aula 18.

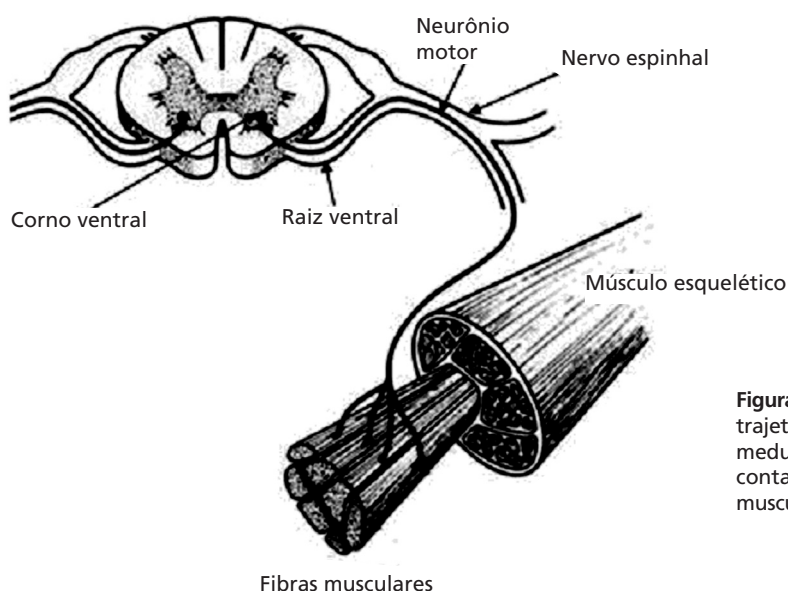


Figura 20.9: Esquema mostrando o trajeto de um neurônio motor da medula espinal até estabelecer contato funcional com as fibras musculares.

Assim, a medula espinal tem um grupo de neurônios motores, cujos corpos estão situados no corno ventral da substância cinzenta. Seu longo axônio sai da medula, pela raiz ventral e, sem seguida, penetra no nervo espinal. Daí, segue até encontrar as fibras musculares. Como você estudou na Aula 18, cada terminação de um neurônio motor faz um contato fisiológico com a placa motora, onde libera acetilcolina para a contração.

A medula espinal e, conseqüentemente, os nervos espinais estão envolvidos com o controle da musculatura do pescoço, do tronco e dos membros. Os músculos da cabeça (e alguns poucos do pescoço) são controlados pelos nervos cranianos originados no tronco encefálico, e não na medula espinal.

Exatamente no corno ventral da medula espinal, as quatro vias descendentes motoras estabelecem conexões. Os neurônios motores são chamados via final motora comum, pelo fato de que para ele convergirão todos os sinais provenientes dos centros encefálicos.

Será que os corpos de neurônios motores estão espalhados ao acaso na substância cinzenta do corno ventral? A resposta é não. O corno ventral pode ser subdividido em duas regiões: lateral e medial.

Os neurônios motores, que inervam os músculos das extremidades dos membros superiores e inferiores, estão situados na região lateral (antebraço, mão, perna e pé). Em contrapartida, os neurônios motores que inervam os músculos das raízes dos membros (ombro, braço, bacia, coxa) situam-se na região medial do corno ventral. Essa organização é mais um exemplo de somatotopia que você viu na Aula 19. Você poderá identificar nas Figuras 20.10.a e 20.10.b a organização somatotópica do corno ventral da medula espinal.

Figura 20.10.a: Seção horizontal da medula espinal com a disposição dos grupos medial e lateral de núcleos de neurônios motores no corno ventral da substância cinzenta.

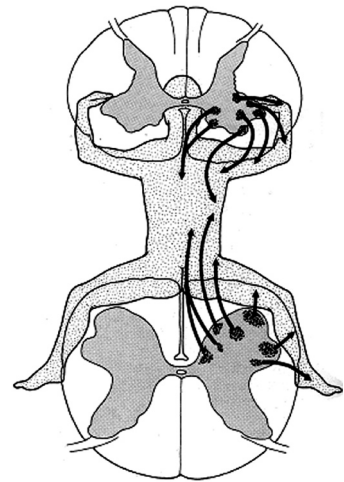
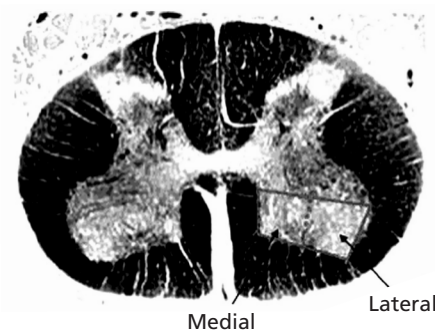


Figura 20.10.b: Observe que os neurônios motores situados no grupo medial inervam os músculos proximais dos membros, bem como os do tronco. Já os neurônios motores do grupo lateral suprem os músculos distais dos membros. Esta é a organização somatotópica da medula espinal, em relação à motricidade.

Aqui cabe uma questão: qual dos grupos de neurônios deverá estar encarregado do controle dos músculos posturais e qual se encarregará dos músculos de precisão? Claro que você, espertamente, já percebeu que os músculos de precisão estão situados nas extremidades dos membros e são, por conseguinte, inervados pelos neurônios do grupo lateral. Muito bem! Já os músculos mais próximos ao tronco agem na manutenção da postura dos membros. Sua inervação provém dos neurônios do sistema medial.

OS CONTATOS IMEDIATOS DE PRIMEIRO E DE SEGUNDO GRAUS

Bem; vamos retomar uma questão que havíamos deixado para ser esclarecida. Vimos que as quatro vias motoras descendentes chegam à medula espinal e que nesta região existe uma parte da substância cinzenta onde residem neurônios motores: o corno ventral.

O que você acha que pode ocorrer entre os axônios descendentes e os neurônios motores dos grupos medial e lateral do corno ventral? Se você respondeu que eles se conectam, então, caro aluno, você acertou em cheio! De que forma as vias descendentes se conectam com os neurônios motores medulares, no corno ventral? As conexões são feitas de duas formas: primeiro, de forma direta, ou seja, os axônios que chegam fazem contato direto com os neurônios motores e, segundo, por meio de pequenos neurônios de associação que se ligam aos neurônios motores.

Qual seria a importância de existir esta forma indireta de conexão entre as vias motoras descendentes e os neurônios motores medulares? Será que o contato direto não seria suficiente para que os sinais provenientes do encéfalo chegassem aos neurônios motores? Qual seria a contribuição desses neurônios de associação? A resposta é relativamente simples. As vias motoras descendentes podem excitar ou inibir os neurônios motores no corno ventral. Assim, quando algum sinal descendente chega à medula, ele pode ser passado para um grupo de neurônios de associação que são inibidores e, dessa forma, haveria uma inibição na atividade dos neurônios motores medulares. A via direta seria responsável pelos sinais de ativação. Como se sabe, para que algum movimento seja produzido, é necessário que alguns músculos se contraíam e que outros relaxem. Além do mais, a existência de neurônios de associação criaria um maior número de sinapses medulares, o que possibilita uma maior interação entre músculos, em movimentos mais complexos.

Existe ainda uma questão envolvendo as conexões entre as vias motoras descendentes e os neurônios motores medulares: como os neurônios dos sistemas descendentes (lateral e medial) se distribuem, ao chegar à substância cinzenta da medula espinal? As vias reticuloespinal e vestibuloespinal estabelecem contatos, predominantemente, com os neurônios motores situados no grupo medial do corno ventral da medula espinal e as vias corticoespinal e rubroespinal fazem sinapses, especialmente com os neurônios motores situados no grupo lateral do corno ventral. Estamos, afinal, entendendo que o sistema medial, representado pelas vias reticuloespinal, vestibuloespinal e tectoespinal, cuida basicamente dos ajustes posturais, ao passo que as vias do sistema lateral estão envolvidas com os movimentos de precisão das extremidades dos membros. Viu só? Tudo muito simples e chique! Um abraço, e segue a aula!



ATIVIDADE

5. Suponha que você está manipulando um *mouse* em uma tarefa do curso. Seu braço desloca o *mouse* sobre uma base (*mouse pad*), em vários sentidos, e quando o cursor do *mouse* chega a algum alvo, você aciona o seu dedo e uma ação ocorre na tela, ou você começa a fazer algum desenho ou, ainda, pintar alguma gravura. Neste caso, estão atuando, simultaneamente, os músculos de controle postural e de precisão. Será que você poderia estabelecer onde se localiza, em seu membro superior, cada um dos músculos (postural e de precisão)?

Relacione esses músculos com os neurônios motores do grupo medial e lateral da medula espinal. Quais os papéis dos sistemas medial e lateral no uso do *mouse*? Que vias estariam envolvidas com o uso do *mouse*, considerando os dois sistemas? O que ocorreria, se as vias motoras do sistema lateral envolvidas com o uso do *mouse* fossem destruídas?

RESPOSTA COMENTADA

Os músculos (distais) que controlam o movimento preciso dos dedos de sua mão são comandados por neurônios motores cujos corpos estão situados na porção lateral do corno ventral da substância cinzenta medular. Este sistema lateral se encarrega de ações motoras finas, como as necessárias para desenhar linhas ou polígonos e, ainda, para colorir ou apagar algum desenho. Neste comando participam, especialmente, as vias motoras corticoespinal e rubroespinal. Em contrapartida, a ação precisa de seus dedos necessita de uma atitude postural dos músculos do ombro, do cotovelo e do punho que deslizam a mão e a mantêm em uma determinada posição para o clique do mouse. Tratam-se, portanto, de músculos proximais ou posturais controlados por neurônios motores do sistema medial que recebem sinais das vias reticuloespinal, vestibuloespinal e tectoespinal.

Se o sistema lateral estivesse comprometido, seria possível posicionar corretamente o tronco, o ombro e o cotovelo para manipular o mouse, mas haveria uma impossibilidade de realizar os movimentos precisos com a mão e os dedos nas tarefas mais finas, como o desenho e a pintura propostos na atividade. Como você viu, cada um dos sistemas executa uma tarefa diferente, mas todos estão integrados em um determinado objetivo de ação.

UM REFLEXÓDROMO: OS CAMINHOS DOS REFLEXOS

Vamos fazer um resumo do que vimos até o momento. Estudamos as formas pelas quais determinados centros situados no encéfalo, incluindo o córtex motor, os núcleos da base, o cerebelo e o tronco encefálico, influenciam a atividades dos neurônios motores situados no corno ventral da medula espinal. Também já sabemos que estas interações do controle motor entre o encéfalo e a medula espinal servem para a regulação do tônus muscular e a realização de movimentos voluntários bem coordenados. Resta-nos, ainda, estudar os movimentos reflexos: as respostas musculares (involuntárias e inatas) aos estímulos aplicados na superfície de pele ou, mais profundamente, nos próprios músculos e seus tendões.



Os reflexos são classificados em superficiais e profundos. Os reflexos superficiais são obtidos a partir de estímulos aplicados na superfície da pele e os reflexos profundos são evocados por estimulação em músculos ou tendões. A reação de retirada da mão quando tocamos, inadvertidamente, em uma superfície muito quente envolve um reflexo superficial. A contração reflexa do músculo quadríceps femoral, para amortecer o peso do corpo nos joelhos, quando um ginasta atinge o solo após um salto, é um exemplo de reflexo profundo.

A medula espinal é uma região do sistema nervoso central na qual se integram determinados reflexos. Em primeiro lugar, vamos examinar um esquema da medula espinal onde foi representado um circuito reflexo simples (Figura 20.11).

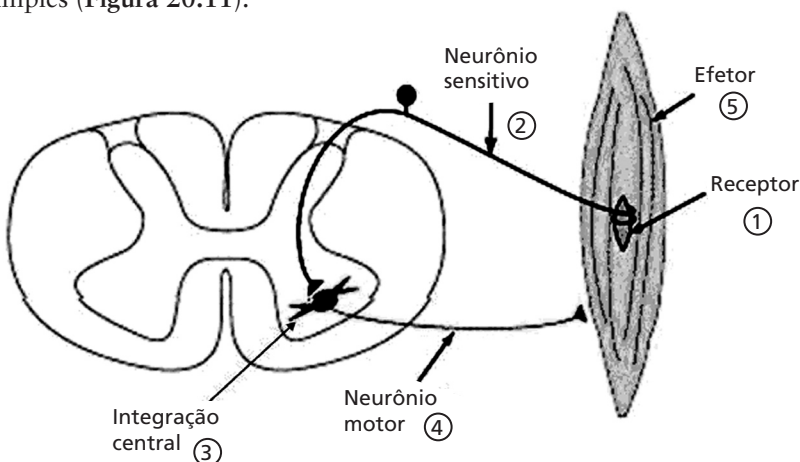


Figura 20.11: Componentes básicos de um circuito reflexo simples. Observe que só existem dois neurônios e uma única sinapse nesse circuito.

No esquema, podemos observar que um ato reflexo simples exige cinco níveis de atividade: um receptor, que receberá o estímulo aplicado; um neurônio sensitivo, que leva este sinal até a medula espinal; uma integração na medula espinal; um neurônio motor, que levará a resposta, e o efetor que, neste caso, será o músculo.

Contudo, é conveniente lembrar que existem outros tipos de circuitos reflexos não tão simples como este. Nos reflexos mais complexos, existem neurônios de associação entre o neurônio sensitivo e o neurônio motor e a resposta envolverá vários músculos. Vamos demonstrar a diferença básica entre um circuito reflexo simples e outro mais complexo.

Vamos inicialmente analisar um exemplo de reflexo simples no circuito da **Figura 20.12**.

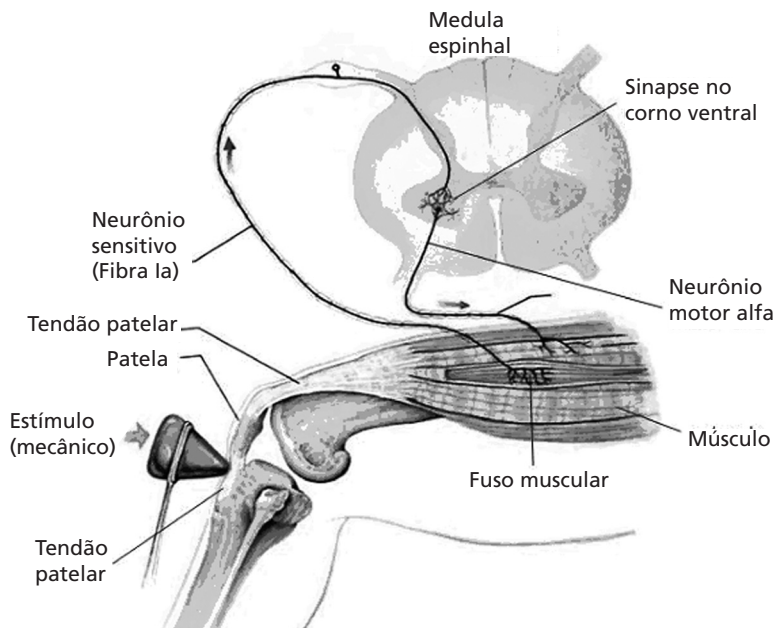


Figura 20.12: Circuito de um ato reflexo simples. A percussão do tendão provocará um estímulo mecânico no fuso muscular e, em resposta, o músculo contrairá, movendo a perna. Este circuito simples envolve apenas dois neurônios no trajeto (um sensitivo e outro motor).

Um médico, examinando um indivíduo sentado, faz uma leve percussão, com um martelo de reflexos, no tendão do músculo quadríceps da coxa, logo abaixo do joelho. Em resposta, o músculo quadríceps se contrai e a perna será movida leve e rapidamente para frente. Se o médico repetir a percussão, a contração e o movimento serão reproduzidos da mesma forma. A resposta é conhecida como reflexo patelar.

Vamos seguir o trajeto deste reflexo pelo circuito correspondente. O estímulo foi aplicado ao tendão e provocou um rápido e discreto estiramento do músculo. O estiramento das fibras musculares produziu uma deformação temporária no receptor (denominado fuso muscular), situado no interior do músculo.

O receptor ativado provocou uma estimulação no neurônio sensitivo associado ao músculo referido. Este sinal sensitivo entra na medula espinal, no nível do segmento lombar, pela raiz dorsal. Em seguida, projeta-se até o corno ventral, onde estabelece sinapse direta com o neurônio motor. Este neurônio motor sai pela raiz ventral da medula e, finalmente, chega até o músculo quadríceps, provocando a sua contração. Observe que este circuito reflexo envolveu apenas dois neurônios e uma sinapse entre eles no corno ventral. Este tipo de reflexo está presente nos animais mais antigos na escala evolutiva, sendo também encontrado nos humanos e conhecido como reflexo miotático.

Mas, então, como seriam os reflexos mais complexos, envolvendo vários neurônios, sinapses e músculos? Vamos lá! Consulte o esquema da Figura 20.13.

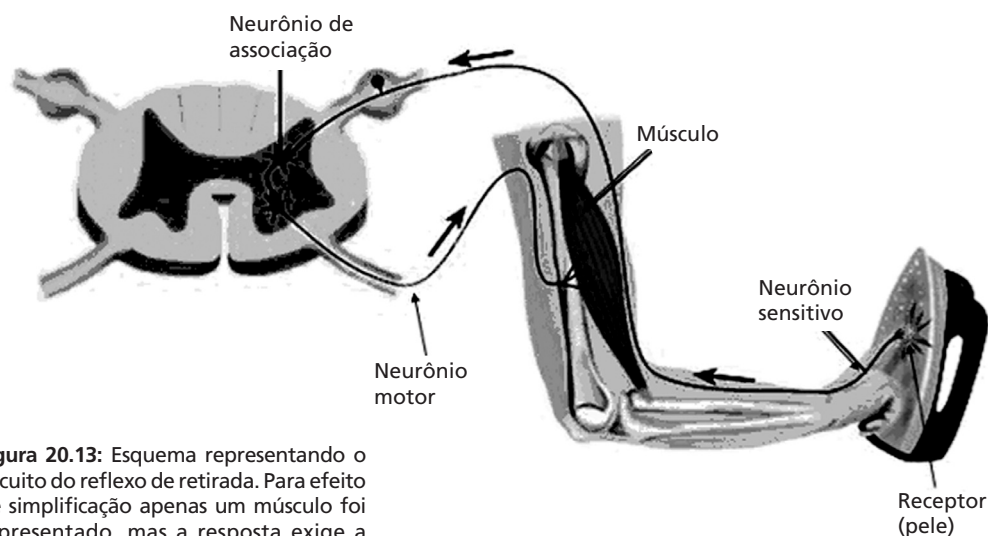


Figura 20.13: Esquema representando o circuito do reflexo de retirada. Para efeito de simplificação apenas um músculo foi representado, mas a resposta exige a ação de vários músculos.

Você tenta limpar, com o dedo, uma sujeirinha na chapa de um ferro de passar roupa, acreditando que ele está frio. Acontece que ele ainda estava muito quente. Quando o seu dedo toca o ferro, o que acontece? De uma forma involuntária (e reflexa), seu membro superior será flexionado, afastando-se do estímulo. Quais as diferenças entre esta resposta reflexa e a do martelinho no tendão patelar? Em primeiro lugar, o estímulo, neste caso, foi aplicado na pele, e não em um receptor profundo (fuso muscular). Em segundo lugar, o número de neurônios foi maior, surgindo, neste caso, neurônios de associação entre o sensitivo e o motor.

Da mesma forma, o número de músculos em ação aumentou neste experimento, pois a retirada da mão envolveu vários movimentos do membro superior. Este é um exemplo típico do denominado reflexo de retirada. Claro, se você xingar o ferro ou quem o deixou ligado, o número de músculos envolvidos aumentará.

Mas, afinal de contas, para que servem os reflexos? Eles têm alguma utilidade em nossas vidas? Vamos examinar os seus significados. A primeira questão apresentada a você será: qual a importância de flexionar o braço e o cotovelo ao tocar em um ferro quente? Ao tropeçar e cair, por que prontamente esticamos nossos membros superiores? Quando pisamos descalços em um cigarro aceso, por que uma perna é flexionada e a outra estendida, simultaneamente? Você já pode perceber que grande parte de nossos reflexos, como esses mais complexos, funciona como uma espécie de proteção e nos afasta de algum agente agressor ou permite que nos resguardemos quando caímos.

O que dizer, então, dos reflexos profundos? O martelinho percutindo o tendão do músculo quadríceps e provocando a contração muscular tem alguma utilidade em nosso dia-a-dia? Vamos responder a você no tópico seguinte.

ATIVIDADE



6. Vamos fazer a um teste, utilizando cinco voluntários confortavelmente deitados em uma maca. Utilizando um objeto não-cortante nem perfurante, como uma tampa de caneta esferográfica, riscamos a região plantar de ambos os pés dos voluntários. O estímulo deve ser levemente aplicado e iniciado no calcanhar, seguindo a borda lateral (de fora) do pé, cruzando por baixo do pé até atingir as proximidades do primeiro dedo. Execute um movimento rápido neste trajeto. Você vai observar que o pé estimulado será flexionado, junto com os dedos. Pergunta-se: 1. Que tipo de receptor foi estimulado na pele (lembre-se da Aula 8, sobre somestesia)? 2. Quais os tipos de neurônios que foram acionados neste reflexo? 3. Este reflexo é simples ou mais complexo e porque razão? Trata-se de um reflexo superficial ou profundo? A resposta de cada um dos cinco voluntários é semelhante?

RESPOSTA COMENTADA

A estimulação com a tampa da caneta foi aplicada aos receptores táteis, situados na pele. O reflexo é, portanto, superficial. Os neurônios envolvidos foram os sensitivos (que levaram a informação até a medula espinal), os neurônios de associação medulares (pois se trata de um reflexo mais complexo) e os neurônios motores (que estimulam os músculos). Embora a resposta de todos os voluntários seja do mesmo tipo, a intensidade do movimento reflexo poderá ser diferente e exigir um estímulo maior ou obrigar você a estimular mais vezes. Isto indica que a sensibilidade na resposta a esses estímulos é individual, ou seja, alguns indivíduos respondem mais rápida e intensamente do que outros. Este reflexo é denominado reflexo cutâneo plantar, e é muito empregado pelos médicos no exame dos pacientes. Ele permite avaliar a integridade dos neurônios sensitivos e motores do membro inferior, na transmissão de sinais.

VIGIANDO MÚSCULOS E TENDÕES POR 24 HORAS

Para entender o significado desses receptores profundos, vamos analisar dois tipos principais: o fuso muscular e o órgão tendinoso de **GOLGI**. Estes receptores profundos são conhecidos, em conjunto, como propriorreceptores.

Vimos, no tópico anterior, a existência de um receptor situado no interior dos músculos esqueléticos denominado fuso muscular, que está relacionado com os reflexos simples. O que representam esses fusos e para que servem? Vamos consultar as **Figuras 20.14.a e 20.14.b**.

BARTOLOMEO CAMILLO GOLGI (1843-1926)

Médico e neurocientista italiano, agraciado com o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina, em 1906, pelo reconhecimento de suas descobertas sobre a estrutura do sistema nervoso, sendo responsável pela descrição do órgão tendinoso que leva o seu nome.

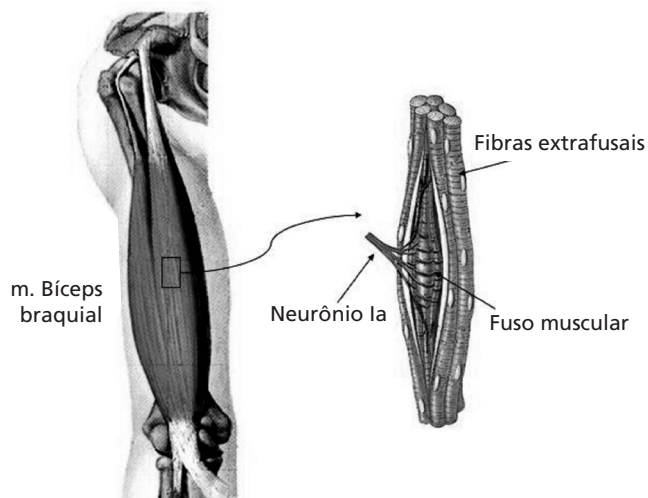


Figura 20.14.a: Esquema mostrando a relação entre as fibras extra e intrafusais do m. bíceps braquial.

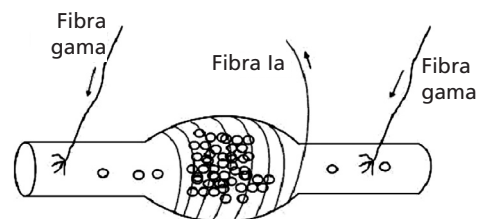


Figura 20.14.b: Esquema simplificado de um fuso muscular com seus núcleos e as terminações nervosas principais: sensitiva (Ia) e motora (gama).

Nas Figuras 20.14.a e 20.14.b, pode-se observar a localização e a estrutura básica do fuso muscular. Trata-se de uma estrutura alongada, envolta por uma cápsula, com cerca de 1,5mm de comprimento e 0,5mm de largura, constituído por fibras musculares especializadas denominadas fibras intrafusais, imersas em um fluido. As fibras musculares que estudamos na Aula 18 são denominadas fibras extrafusais, isto é, estão situadas fora dos fusos. Quando um músculo é esticado (estirado), ocorre um aumento em seu comprimento, que é acompanhado por um alongamento das fibras intrafusais. Este alongamento intrafusal estimula terminações nervosas sensitivas (fibras nervosas do tipo Ia) que levam até a medula espinal informações sobre a ocorrência desse alongamento.

Em contrapartida, a contração muscular produz um encurtamento das fibras extrafusais, seguido por um verdadeiro afrouxamento das fibras intrafusais. Em princípio, este afrouxamento do fuso reduziria a atividade dos neurônios Ia. Como consequência, o fuso pararia de informar à medula espinal as variações no comprimento do músculo. Como podemos resolver este problema e manter o fuso ativando permanentemente as fibras Ia? Só existe uma possibilidade a este respeito: o encurtamento do músculo, sem o consequente encurtamento do fuso. Aí entra em ação um outro tipo de neurônio denominado neurônio gama. O que é o neurônio gama e para que serve?

Até agora, estudamos um tipo de neurônio motor que faz parte da unidade motora, ou seja, provoca a contração muscular. Este neurônio, já conhecido, é chamado neurônio alfa. Seu longo axônio termina, como já vimos na Aula 18, na placa motora logo, ele inerva as fibras extrafusais. Agora, surge o neurônio motor gama que inerva as fibras intrafusais. Para que serve este neurônio?

Da mesma forma que ocorre com o neurônio alfa, o corpo do neurônio gama localiza-se no corno ventral da medula espinal. Seu longo axônio emerge da medula pela raiz ventral e segue pelo nervo espinal até o músculo. Suas terminações chegam até as fibras intrafusais, provocando a sua contração e, um alongamento da porção central do fuso, impedindo assim que ele seja afrouxado quando as fibras extrafusais contraírem.



Os neurônios alfa inervam as fibras extrafusais e são responsáveis pela contração dos músculos. Os neurônios gama suprem as fibras intrafusais e mantêm o fuso permanentemente ativado.

Os termos alfa e gama estão relacionados ao calibre e ao grau de mielinização dos neurônios, como você viu na Aula 6 (Organização geral do sistema nervoso). Os neurônios alfa são mais calibrosos e contêm maior quantidade de mielina em seus axônios do que os neurônios gama e, por isso, mostram maiores velocidades de condução dos sinais transmitidos. A velocidade média de transmissão dos neurônios alfa é de 120m/s (432Km/h!).

Vamos usar um diagrama da **Figura 20.15**, para que você entenda um pouco melhor esta interação entre neurônios em relação ao funcionamento do fuso muscular.

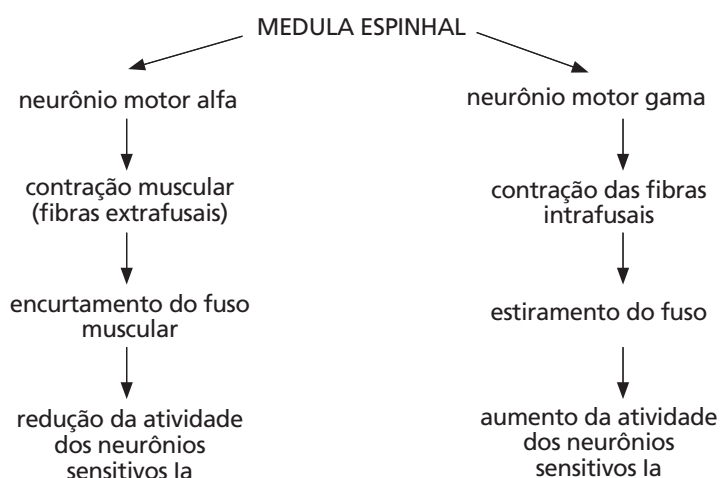


Figura 20.15: Diagrama mostrando a co-ativação alfa-gama, para manter o fuso muscular em atividade. Vê-se que a função isolada dos neurônios alfa removeria importantes informações dos neurônios Ia, o que é impedido pela atuação simultânea (co-ativação) dos neurônios motores gama.

Quando ocorre um estiramento fisiológico do músculo, o fuso é tensionado, simultaneamente e, assim, a fibra nervosa Ia é ativada, informando à medula espinal o que está ocorrendo. Contudo, quando o músculo se contrai sob o comando do neurônio motor alfa, o fuso tenderia a relaxar, desativando o neurônio Ia. Nesta condição, para manter o fuso muscular em contínua atividade quando ocorre a contração, é necessário que a medula espinal ative, simultaneamente, os neurônios alfa e gama, uma condição denominada co-ativação alfa-gama.

Desta forma, os neurônios sensitivos Ia manterão uma atividade permanente, levando à medula espinal informações a respeito dos comprimentos estáticos dos músculos e das variações nesse comprimento.

No reflexo miotático, o súbito alongamento muscular, provocado pela batida do martelinho, estira o fuso, e as fibras Ia levam a informação à medula espinal, onde excitam o neurônio alfa. Como consequência, o músculo se contrai.

ATIVIDADE



7. Considerando a função do fuso muscular em monitorizar o sistema muscular, defina que informações são enviadas ao cerebelo, pelos neurônios Ia que o córtex cerebelar utilize para o controle, por exemplo, do tônus muscular e, ainda, que parte (divisão filogenética) do cerebelo integrará essa informação?

RESPOSTA COMENTADA

Os fusos musculares são exemplos de proprioceptores ativados de duas formas: primeiro, pelo alongamento do músculo e, segundo, por uma contração muscular, graças à co-ativação alfa e gama. Assim, qualquer variação no comprimento muscular é informada ao cerebelo, de tal forma que o córtex cerebelar saiba se um determinado músculo está sendo encurtado ou alongado.

Estas informações são essenciais para que o cerebelo controle o tônus muscular, por exemplo. A região do córtex cerebelar envolvida nesse caso será o paleocerebelo, que se encarrega do controle do tônus muscular.

E para que serve o órgão tendinoso de Golgi? Trata-se de um outro tipo de proprioceptor, localizado no interior dos tendões, com aproximadamente 1mm de comprimento e que é ativado quando produzimos um grau significativo de estiramento no tendão, como ocorre quando procedemos a um alongamento após um exercício prolongado. Em outras palavras, é ativado pela tensão aplicada ao tendão pelas contrações musculares ou por estiramentos intensos. Observe, nas Figuras 20.16.a e 20.16.b, o órgão tendinoso e as relações com o fuso muscular.

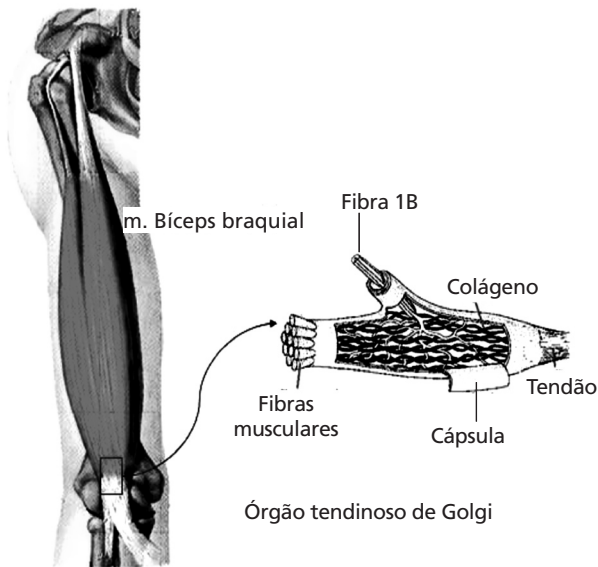


Figura 20.16.a: Localização e estrutura do órgão tendinoso de Golgi.

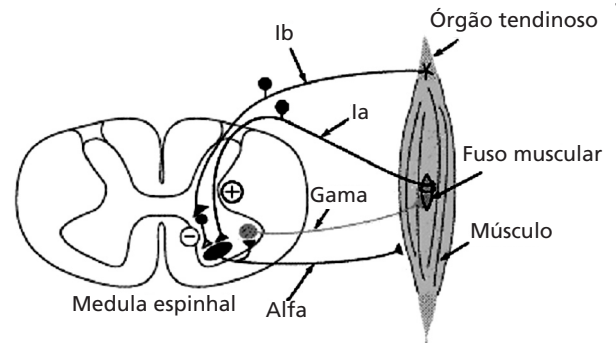


Figura 20.16.b: Circuitos do órgão tendinoso, do fuso muscular e os neurônios motores alfa e gama.

A ativação do órgão tendinoso estimula neurônios sensitivos Ib, que penetram na medula espinhal e estabelecem sinapses com neurônios inibitórios de associação que, assim, inibem os neurônios motores e, finalmente, produzem um relaxamento muscular.

Algumas vezes, os reflexos que envolvem o órgão tendinoso são chamados reflexos inibidores ou reflexos miotáticos invertidos. Assim, quando um determinado músculo encurta ou alonga, contraindo-se, relaxando ou sendo estirado, passivamente, esses receptores entram em atividade e o sistema nervoso central é prontamente informado.



Ativação do fuso muscular, no reflexo miotático, produz uma contração muscular, enquanto a ativação do órgão tendinoso de Golgi, no reflexo inibidor, provoca um relaxamento do músculo em questão.

O limiar para a ativação do órgão tendinoso de Golgi é mais elevado do que para a ativação do fuso muscular e, por isto, um estiramento leve do músculo somente ativará o fuso muscular. O órgão tendinoso exige maior grau de tensão de estiramento para ser excitado.

PROPRIORECEPTORES: NÃO SAIA DE CASA SEM ELES!

Como esses receptores agem em nossas vidas? Vamos voltar a um exemplo já apresentado a você nesta aula. Imagine que um ginasta salte sobre um aparelho e aterrisse no solo com os joelhos ligeiramente flexionados. Sob a ação deste impacto, o peso do atleta tenderia a dobrar os joelhos e ele cairia. Contudo, o músculo quadríceps da coxa contrai-se reflexamente e impede este efeito, permitindo que os joelhos amortecem a queda. O que ocorre no controle motor, neste caso? Muito simples: quando os pés se chocam contra o solo, os joelhos são rapidamente flexionados, e este movimento provoca um estiramento no músculo quadríceps da coxa de ambos os lados, pois ele está situado na frente dos joelhos. Este estiramento muscular alonga rápida e subitamente os fusos musculares, produzindo um reflexo miotático. O estímulo segue para a medula espinal pelas fibras Ia e, no interior do corno ventral de medula, ocorre a ativação dos neurônios motores alfa e, por conseguinte, as fibras extrafusais do músculo contraem, amortecendo a queda nos joelhos e impedindo que a flexão ocorra. Os aplausos e a elevada pontuação recebidos pelo atleta devem ser, em parte, creditados ao reflexo miotático, a quem prestamos a nossa homenagem.

ATIVIDADE



8. Imagine um atleta correndo em uma maratona e, subitamente, caindo no chão acometido por uma contratura muscular, ou seja, uma contração mantida, na qual o músculo, pelo esforço despendido, não consegue relaxar. Esta contratura é extremamente dolorosa e impede que o atleta prossiga na competição. Imediatamente, ele é socorrido e o músculo acometido é fortemente alongado por uma manobra manual. Considerando a atividade do órgão tendinoso de Golgi, dos neurônios envolvidos e os caminhos seguidos pelos sinais elétricos, pede-se que você explique a relação entre o alongamento tendinoso provocado pelo tratamento e o desaparecimento da contratura. Por que motivo o alongamento deve ser intenso para produzir o relaxamento muscular desejado?

RESPOSTA COMENTADA

Acredito que você teve menos dificuldades em responder a estas questões do que um maratonista para correr 42Km e desviar de qualquer escocês de saia que cruze o seu caminho. É claro que um alongamento tendinoso estimula mecanicamente o órgão tendinoso e, assim, esse receptor estimula os neurônios Ib que levam a informação à medula espinal. Entram na medula pela raiz dorsal e, no interior da substância cinzenta, estabelece uma sinapse com neurônios de associação, que são inibidores dos neurônios motores alfa.

Esta inibição dos neurônios motores alfa produz um relaxamento das fibras extrafusais do músculo acometido pela contratura, reduzindo as dores e o enrijecimento muscular.

CONCERTO DE UM PIANISTA CEGO

Além desses propriorreceptores descritos, existem outros tipos encontrados nas cápsulas das articulações que informam ao sistema nervoso central a respeito dos ângulos articulares e de suas variações. Mas, afinal, as informações originadas nos propriorreceptores chegam à nossa consciência? Vamos ver! Se você fechar os olhos, seria capaz de saber, exatamente, onde estão os seu pés, joelhos, mãos e nariz, mesmo sem tocá-los ou vê-los? Se deixássemos o joelho direito flexionado e o esquerdo estendido, você seria capaz de diferenciar uma posição da outra, sem olhar? Claro, isto significa que as informações originadas dos propriorreceptores chegam ao seu córtex cerebral, constituindo o que chamamos *propriocepção consciente*.

Vamos analisar um exemplo do uso desta propriocepção consciente em uma situação real. Como o pianista profissional sabe que as teclas que emitem as notas dó ou lá estão exatamente ali, quando ele baixa a mão esquerda no teclado do piano? Ah, ele olha? Claro que não, ele está olhando a partitura e não o teclado. Lembre-se do extraordinário desempenho dos cantores norte-americanos Ray Charles (1930-2004) e Stevie Wonder (1950-) ao piano, mesmo sendo cegos. O tato? Você acha que ele aperta a tecla para senti-la nos dedos antes de acertar a nota? Ele usa o tato para sentir a tecla, mas não para acertar a nota, pois quando ele estabelece um contato físico com a tecla já acertou. Vamos lá, como ele sabe? O que ele faz é memorizar os ângulos articulares e, em cada instante, vai corrigindo os movimentos no trajeto até o teclado,

com ajuda de todos os centros de controle motor. Ou seja, ele emprega a propriocepção consciente. Por que o pianista, ao sentar ao piano, posiciona a cadeira para que possa se colocar bem no meio? Isso daria a ele as coordenadas necessárias para poder partir de um ponto de base para alcançar as teclas adequadas, usando cada uma das mãos. Quando você está aprendendo piano em sua casa, e ainda não é um virtuoso, você precisa usar a visão das teclas e o tato, mas o número de erros que vai cometer será maior. É por isso que os seus vizinhos adoravam tanto ouvir as suas primeiras aulas de piano na hora da novela!

Assim, as informações sobre as variações dos ângulos articulares são essenciais no controle dos nossos movimentos. É por esse meio temos consciência da localização do nosso corpo no espaço e das relações entre um segmento corporal e outro.

ATIVIDADE



9. Peça a um voluntário que use a ponta do dedo indicador de cada uma das mãos, alternadamente, para tocar a ponta do nariz, mantendo os olhos fechados! Você perceberá que existe alguma dificuldade em realizar essa prova, mas que ele consegue realizar a tarefa. Como foi possível fazer o encontro entre dedo e nariz, com razoável precisão, se ele não foi auxiliado pela visão?

RESPOSTA COMENTADA

Como você já deve ter percebido, esse caso se assemelha ao do pianista, referido anteriormente. Mesmo com os olhos fechados, o indivíduo sabe onde está o nariz, uma vez que dispomos da noção espacial do nosso próprio corpo. Neste caso, o órgão vestibular é de grande importância como fonte de informação. A posição dos nossos dedos também é conhecida pela atuação dos propriorreceptores articulares. Então, esse sistema se encarrega de promover o encontro entre o dedo e o nariz. Caso o braço movido não esteja no caminho exato, as variações dos ângulos articulares vão informando aos centros de controle que corrigirão a trajetória e, então, o dedo tocará o nariz, sem grandes problemas. Esse teste é realizado pelo médico para avaliar a função proprioceptiva dos seus pacientes e se chama prova dedo-nariz. Mas atenção, não é para enfiar o dedo dentro do nariz, mas apenas tocar a ponta do nariz por fora!

TENTATIVAS PARA ENLOUQUECER NEURÔNIOS ESPINAIS

Diante destas novas informações, podemos concluir que os neurônios motores, situados no corno ventral da medula espinal, recebem informações das seguintes fontes:

1. das vias descendentes do sistema medial (reticuloespinal, vestibuloespinal e tectoespinal);
2. das vias descendentes do sistema lateral (corticoespinal e rubroespinal);
3. dos neurônios sensitivos (nos circuitos dos reflexos simples);
4. dos neurônios de associação (nos reflexos mais complexos).

Com tantas e tantas entradas de sinais, provenientes de variados centros, informando várias coisas, como os neurônios motores podem selecionar o comando desejado e, por último, repassá-lo aos músculos? Imagine que o neurônio motor seja como o diretor de uma empresa dirigindo uma reunião, em que vários assessores informam coisas diferentes ao mesmo tempo. Como o diretor seria capaz de acolher todas as informações e, finalmente, tomar uma decisão?

Na verdade, o neurônio motor da medula espinal recebe, em um dado momento, sinais excitatórios e inibitórios simultâneos. Como ele procederá? Será que ele “enlouquece” com tantas vias enviando sinais opostos, ao mesmo tempo? O músculo está esperando para saber se se contrai ou relaxa.

O que você acha? Será que alguma informação é mais forte ou predomina? Claro, é isso mesmo! Em um determinado instante, os sinais excitatórios predominam e o neurônio motor é ativado e, assim, ele estimula os músculos que, então, contraem-se. Se, mais adiante, os sinais inibitórios predominarem, os neurônios motores serão inibidos e os músculos em questão relaxam. Desta maneira, os centros do sistema nervoso controlam a atividade muscular usando, como via de acesso, os neurônios motores.

Os circuitos reflexos medulares agem independente das conexões com as vias motoras descendentes que chegam à medula espinal. Como já vimos, para se produzir um ato reflexo medular, é necessário que apenas as fibras sensitivas e motoras medulares estejam funcionando. Se cortássemos a ligação entre a medula e o encéfalo (e isso ocorre em acidentes com lesão espinal), todo o movimento voluntário seria perdido, mas as respostas reflexas ainda estariam presentes.

Isto não quer dizer que os centros encefálicos não exerçam influências sobre os circuitos reflexos medulares. Um exemplo bem característico dessa influência pode ser observado na lesão da via corticoespinal. A remoção da atividade dessa via motora descendente mostra, em um primeiro momento, a ausência completa de resposta reflexa (arreflexia). Entretanto, decorridos alguns dias, as reações reflexas não apenas retornam, como se tornam mais fortes; um quadro denominado hiperreflexia. Como explicar esse aumento da resposta reflexa após a lesão da via corticoespinal? O que ocorre é que essa via motora, em condições normais, provoca uma certa inibição por meio de neurônios inibitórios de associação no circuito reflexo.

Com a lesão presente, esta inibição é removida e, daí, os circuitos reflexos, ficando liberados no sinal inibitório, passam a se mostrar exaltados, ocorrendo a hiperreflexia. Da mesma forma, um indivíduo pode voluntariamente bloquear a resposta reflexa, pela ação da mesma via corticoespinal sobre a medula espinal.

ATIVIDADES FINAIS

1. Imagine o seguinte experimento: um voluntário, mantendo o dedo indicador da mão direita no chão, começa a girar o corpo ao redor do próprio braço. Executa dez voltas rápidas e, em seguida, interrompe a rotação e tenta se manter de pé. Você observa o grau de dificuldade que ele tem em ficar de pé, de tal maneira que pode até sofrer uma queda. Baseando-se no seu conhecimento sobre o órgão vestibular, responda: a) por que ele fica tonto? b) por que motivo, cerca de 1 minuto após o término do experimento, ele recupera o equilíbrio?

RESPOSTA COMENTADA

Ao girar o corpo, imediatamente a endolinfa começa a se deslocar no interior dos dutos semicirculares. Essa informação é passada ao cerebelo, para que ele possa acionar os mecanismos de equilíbrio, representados, em última análise, pelo controle dos músculos. Quando o voluntário termina de rodar e fica em pé, a endolinfa continua se movendo durante algum tempo e o cerebelo é informado de que a rotação continua. Só que o indivíduo não está mais rodando. Ai, os músculos acionados não mais auxiliam o equilíbrio e, então, a tonteira e a queda tornam-se inevitáveis. Se você quiser realizar pessoalmente este, teste vai sentir, ainda, uma náusea adorável. Boa sorte!

2. De onde partem os sinais descendentes que levam até os neurônios motores, na medula espinal, as informações dos centros de controle encefálico e que foram apresentados nesta aula?

RESPOSTA COMENTADA

Os sinais partem do córtex cerebral e dos núcleos do tronco encefálico (núcleos rubro e vestibular e da formação reticular). Lembre-se de que nem o cerebelo nem os núcleos da base originam, diretamente, qualquer via que desça à medula.

3. Considerando ainda os sinais descendentes referidos, quais as vias que se relacionam com: a) os núcleos motores dos sistemas lateral e medial? b) os movimentos voluntários e posturais? c) os músculos proximais e distais dos membros?

RESPOSTA COMENTADA

Ora, convenhamos, essa é muito fácil! As vias corticoespinal e rubroespinal estão envolvidas com os movimentos voluntários distais ou de precisão e, por essa razão, terminam no sistema lateral. Em contrapartida, as vias reticuloespinal e vestibuloespinal estão relacionadas ao sistema medial, isto é, aos músculos proximais ou de controle postural.

4. Quais as diferenças básicas entre as atividades do fuso muscular e do órgão tendinoso de Golgi, em relação aos reflexos?

RESPOSTA COMENTADA

O fuso muscular informa a respeito do comprimento do músculo e de suas variações. Já o órgão tendinoso está envolvido no monitoramento das tensões aplicadas nos tendões, pela contração muscular ou por alongamento passivo. O limiar de sensibilidade do fuso muscular é bem menor do que o do órgão tendinoso. Por esta razão, um estímulo de pequena intensidade somente estimulará o fuso. Outra importante diferença é que, no circuito neuronal envolvido com a resposta reflexa do fuso, apenas dois tipos de neurônios são acionados: o sensitivo e o motor, e o sinal passa apenas por uma sinapse entre eles. Já o órgão tendinoso exige neurônios de associação medular entre o sensitivo e o motor. Finalmente, a resposta reflexa que envolve o fuso muscular produz uma contração muscular, enquanto que no caso do órgão tendinoso, a resposta é o relaxamento muscular.

5. Vimos que os neurônios de associação medular são importantes em alguns circuitos reflexos mais complexos por duas razões. Quais as razões que tornam tão importantes os neurônios de associação?

RESPOSTA COMENTADA

Os neurônios de associação medular são importantes por duas razões básicas: em primeiro lugar, cria possibilidades da existência de sinais inibitórios, além dos excitatórios e, em segundo lugar, sua presença viabiliza o recrutamento de uma maior quantidade de músculos na resposta reflexa.

RESUMO

A função vestibular e sua importância na regulação da postura do corpo, bem como a localização dos principais núcleos motores do tronco encefálico, cujas relações fisiológicas você já tinha examinado na Aula 19. Analisamos, ainda, a disposição espacial e as funções das vias dos sistemas lateral e medial que atingem à medula espinal e estabelecem conexões com os neurônios motores. Além do mais, vimos a participação dos propriorreceptores no controle motor, tanto em atividades voluntárias quanto reflexas. Por fim, interpretamos o funcionamento de uma série de circuitos reflexos mais importantes em nossas atividades motoras.

SITES RECOMENDADOS

ABC da Saúde e prevenção. Tontura, vertigem e labirintite. Disponível em: <<http://www.abcdasaude.com.br/artigo.php?542>>. Acesso em: 11 maio 2005.

ANDRADE, Alexandro Andrade; LUFT, Caroline de Bernardi; ROLIM, Martina Kieling Sebold Barros. O desenvolvimento motor, a maturação das áreas corticais e a atenção na aprendizagem motora. Disponível em: <http://www.efdeportes.com/efd78/motor.htm>. Acesso em: 11 maio 2005.

BRANDÃO, M. L. Controle da postura e do movimento. Disponível em: <http://www.psicobio.com.br/pt/livro_cap3.htm>. Acesso em: 11 maio 2005.

_____. Linguagem. Disponível em: <http://www.psicobio.com.br/pt/livro_cap11.htm>. Acesso em: 11 maio 2005.

CENTRO DE SÃO PAULO. Formação Contínua para Fisioterapeutas. Fisioterapia Estática. Disponível em: <<http://www.centrodesaopaulo.com.br/fisest/fisest7.htm>>. Acesso em: 11 maio 2005.

CHUDLER, Eric. Aventuras em neuroanatomias: as divisões do sistema nervoso. Disponível em: <http://geocities.yahoo.com.br/neurokidsbr/Divisoaes_do_SN.html>. acesso em: 11 maio 2005.

ENCICLOPÉDIA Digital Master 2005. Disponível em: <<http://www.encyclopedia.com.br/MED2000/pedia98a/anat31dj.htm>>. Acesso em: 11 maio 2005.

FRAPORTI, Luciene Schmitz. Neurofisiologia sensorial e motora: abordagem sensorial, circuitos neuronais para processamento de informações. Disponível em: <http://www.wgate.com.br/conteudo/medicinaesaudefisioterapia/neuro/neurofisiologia_sensorial.htm>. Acesso em: 11 maio 2005.

INSTITUTO CIÊNCIA HOJE. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/materia/view/400>. Acesso em: 11 maio 2005.

KAVALKO, Karine. Aparelho vestibular. <http://www.biociencia.org/fisiologia/apvestibular.htm>. Acesso em: 11 maio 2005.

MEDULA Espinal Lombo – sacra normal de criança. Disponível em: <http://www.fcm.unicamp.br/departamentos/anatomia/lamneuro2.html>. Acesso em: 11 maio 2005.

NÚCLEOS da base. Disponível em: <<http://www.fog.br/anatomia/nucleos.htm>>. Acesso em: 11 maio 2005.

PARAÍZO, Marilise de Andrade. Principais síndromes Afásicas. Disponível em: http://www.neurologia.ufjf.br/artigos/nol_num_4_afasias.htm. Acesso em: 11 maio 2005.

QUESTIONÁRIO e estudo dirigido: neuroanatomia macroscópica. Disponível em: <http://www.ib.unicamp.br/institucional/departamentos/anatomia/gradua/310/quest.html>. Acesso em: 11 maio 2005.

REFLEXOS Mono e Polissinápticos. Disponível em: <http://planeta.terra.com.br/saude/athelsonbittencourt/Ufes/ReflexMonoPoliSin.htm>. Acesso em: 11 maio 2005.

ROSA NETO, Nilton Salles, MORI, Bruno Lochio. Conceitos básicos de neuro anatomia. Disponível em: <http://members.tripod.com/themedpage/an_neuroanato.htm>. Acesso em: 11 maio 2005.

TEIXEIRA, Luis Augusto; DUARTE, Marcos. Controle motor. São Paulo: USP. Disponível em: <<http://www.usp.br/eef/lob/md/efb224/>>. Acesso em: 11 maio 2005.

TRONCO Encefálico. Disponível em: <<http://www.geocities.com/epamjr/neuro/neuro1.html>>. Acesso em: 11 maio 2005.

VARELLA, Drauzio. Palavra de cérebro. Disponível em: <<http://www.drauziovarella.com.br/cerebro/palavracerebro.asp>>. Acesso em: 11 maio de 2005.

Corpo Humano I

Referências

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

KANDEL, Eric R.; SCHWARZ, James H.; JESSEL, Thomas M. (Ed.). *Fundamentos da neurociência e do comportamento*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

LENT, Robert. *Cem bilhões de neurônios*. 2.ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004. 698 p.

SACKS, Oliver. *O homem que confundiu sua mulher com um chapéu*. Rio de Janeiro: Cia. das Letras, 1999.

SAVIC, Ivanka. Imaging of brain activation by odorants in humans. *Current Opinion in Neurobiology*, v. 12, p. 455–461, 2002.

SITES SUGERIDOS

CARNEIRO, Thatiane A. *Aparelhos sensoriais: olfato e gustação*. Disponível em: <<http://www.corpohumano.hpg.ig.com.br/variados/thaty/tathy3.html>>. Acesso em: 14 jan. 2005.

LEVY, Isabel. Descoberto os mistérios do nariz. *Ciência Hoje*, out. 2004. Online. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/view/1364>>. Acesso em: 14 jan. 2005.

MALNIC, Bettina. *Neurociência molecular*. Disponível em: <<http://www.iq.usp.br/wwwdocentes/bmalnic/bettina1.html>>. Acesso em: 14 jan. 2005.

ROCHA JÚNIOR, Paulo N. *Aparelhos sensoriais: gustação*. Disponível em: <http://www.corpohumano.hpg.ig.com.br/apr_sensoriais/gusto/gusto.html>. Acesso em: 14 jan. 2005.

THE NOSE knows. Disponível em: <<http://faculty.washington.edu/chudler/nosek.html>>. Acesso em: 14 jan. 2005.

VOKSHOOR, Amir; MACGREGOR, John. *Anatomy of olfactory system*. E-medicine. Disponível em: <<http://www.emedicine.com/ent/topic564.htm>>. Acesso em: 14 jan. 2005.

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2. ed. São Paulo: Artes Médicas, 2002.

DAMÁSIO, António. *O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano*. São Paulo: Cia. das Letras, 1996.

JAMES, William. *What's an emotion?* *Mind*, v. 9, p. 188-205, 1884.

KANDEL, Eric R.; SCHWARTZ, James H.; JESSEL, Thomas M. *Fundamentos da neurociência e do comportamento*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

KLUVER, Heinrich; BUCY, Paul.C. As bases neurais da emoção: uma revisão desde o século XIX à atualidade. *American Journal of Physiology*, v. 119, p. 352-353, 1937.

LeDOUX, John E. *O cérebro emocional: os misteriosos alicerces da vida emocional*. Rio de Janeiro: Objetiva, 1998.

LENT, Roberto. *Cem bilhões de neurônios*. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004. 698 p.

MACHADO, Angelo. *Neuroanatomia funcional*. Rio de Janeiro: Ateneu, 1993.

MARTIN, John H. *Neuroanatomia: texto e atlas*. 2. ed. São Paulo: Arte Médica, 2002.

PAPEZ, J.W. *Archives of Neurology and Psychiatry*, v. 79, p. 217-224, 1937.

PURVES, Dale et al. *Neuroscience*. Sunderland: Sinauer Associates, 1997.

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2. ed. São Paulo: Artes Médicas, 2002.

KANDEL, Eric R.; SCHWARTZ, James H.; JESSEL, Tthomas M. *Fundamentos da neurociência e do comportamento*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

LENT, Roberto. *Cem bilhões de Neurônios*. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004. 698 p.

MARTIN, John H. *Neuroanatomia: texto e atlas*. 2. ed. São Paulo: Arte Médica, 2002.

PURVES, Dale et al. *Neuroscience*. Sunderland: Sinauer Associates, 1997.

Aula 14

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2. ed. São Paulo: Artes Médicas, 2002.

KANDEL, Eric R.; SCHWARTZ, James H.; JESSEL, Thomas M. *Fundamentos da neurociência e do comportamento*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

LENT, Roberto. *Cem bilhões de neurônios*. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004. 698 p.

Aula 15

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2. ed. São Paulo: Artes Médicas, 2002.

BRITO, G. Mind from genes and neurons: a neurobiological model of Freudian psychology. *Medical Hypotheses*, v. 59, p. 438-445, 2002.

CHOMSKY, Noam. *Linguagem e pensamento*. Petrópolis: Vozes, 1971.

ECCLES, J. *Cérebro e consciência: o self e o cérebro*. Lisboa: Instituto Piaget, 2000.

GARDNER, Howard. *A nova ciência da mente*. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1996.

KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSEL, T. M. *Fundamentos da neurociência e do comportamento*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

LENT, Roberto. *Cem bilhões de neurônios*. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004.

MARTIN, John H. *Neuroanatomia: texto e atlas*. 2. ed. São Paulo: Médica, 2002.

NOGUCHI, M. S. A linguagem na doença de Alzheimer: considerações sobre a função cognitiva da linguagem. *Cadernos de Estudos Lingüísticos*, Campinas, SP, IEL, v. 32, p. 93-103, jan./jun. 1997.

NOGUEIRA, Pablo. Penso, logo não existo. *Galileu Medical*, p. 14-21, 2002.

PURVES, Dale et al. *Neurociências*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

VARELA, Francisco. *Conhecer: introdução à ciência cognitiva*. Lisboa: Instituto Piaget, 1994.

VYGOTSKY, Lev Semenovietch. Pensamento e palavra. In: _____. *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 1934.

_____. *Thought and language*. Cambridge: John Wiley & Sons, 1962.

Aula 16

JUNQUEIRA, Luis Carlos; CARNEIRO, José. *Histologia básica*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 488p.

KIERSZENBAUM, Abraham L. *Histologia e biologia celular: uma introdução à patologia*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 654p.

YOUNG, Barbara; HEATH, John W. *Wheater's histologia funcional*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 415p.

Aula 17

CARNEIRO, José; JUNQUEIRA, Luis Carlos Uchoa. *Histologia básica: texto e atlas*. 10.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 540 p.

DÂNGELO, José Geraldo; FATTINI, Carlo Américo. *Anatomia humana básica*. São Paulo: Atheneu, 1997. 184p.

HENBEST, Nigel. *Músculos e ossos: os alicerces do corpo*. Direção e produção: Bárbara Burst. São Paulo: Vídeo Abril, 1995. 1 videocassete (25 minutos), NTSC/VHS, color. (Discovery Channel).

JACOB, Stanley; FRANCONI, Clarice; LOSSOW, Walter. *Anatomia e fisiologia humana*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990. 569p.

O ESQUELETO Humano em 3 CD. Porto: Porto Editora Multimédia, 2000.

SPENCE, Alexander P. *Anatomia humana básica*. 2. ed. São Paulo: Manole, 1991. 713p.

SITES RECOMENDADOS

DESNERVAÇÃO crônica de músculo esquelético. Disponível em: <<http://www.fcm.unicamp.br/departamentos/anatomia/musdesnerv.html>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

ESCUELA de Medicina P. Universidad Católica de Chile. Bases moleculares de la contracción muscular. Chile: PUC-CL. Disponível em: <<http://escuela.med.puc.cl/paginas/Cursos/segundo/histologia/HistologiaWeb/paginas/mu32235.html>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

FONTES, Helio. *Fibras musculares*: a interferência do treinamento sobre as características das fibras musculares. Disponível em: <<http://www.copacabanarunners.net/indgeral.html?http://www.copacabanarunners.net/fibras-musculares.html>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

GEOCITIES. *Tecido muscular*. Disponível em: <<http://geocities.yahoo.com.br/biologiamackenzie/humanos.html>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS. Universidade Federal de Minas Gerais. Base molecular da contração. Disponível em: <<http://www.icb.ufmg.br/~lbcd/prodabi4/grupos/grupo1/molecular.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

JPAULON.ROCHA.JR. Sistema *Muscular*: os músculos. Disponível em: <http://www.corpohumano.hpg.ig.com.br/sist_muscular/sist_muscular.html>. Acesso em: 22 mar. 2005.

MORAES, Luiz Carlos de. *Notícias do corpo*: fibras musculares. Disponível em: <<http://www.noticiasdocorpo.com.br/ano1n002/materia.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

MOREA, Lucas. *Monografias*. Disponível em: <<http://www.monografias.com/trabajos12/actina/actina.shtml>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

Aula 18

ANDRADE, Carlos Drummond. *As impurezas do branco*. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1973. Em 1998 este livro passou a ser publicado pela Record.

CARNEIRO, José; JUNQUEIRA, Luis Carlos Uchoa. *Histologia básica*: texto e atlas. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 540p.

DÂNGELO, José Geraldo; FATTINI, Carlo Américo. *Anatomia humana básica*. São Paulo: Atheneu, 1997. 184p.

HENBEST, Nigel. *Vídeo músculos e ossos: os alicerces do corpo*. Direção e produção: Bárbara Burst. São Paulo: Vídeo Abril, 1995. 1 videocassete (25 minutos), NTSC/VHS, color. (Discovery Channel).

JACOB, Stanley; FRANCONI, Clarice; LOSSOW, Walter. *Anatomia e fisiologia humana*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990. 569p.

O ESQUELETO Humano em 3 CD. Porto: Porto Editora Multimídia, 2000.

SPENCE, Alexander P. *Anatomia humana básica*. 2. ed. São Paulo: Manole, 1991. 713p.

SITES RECOMENDADOS

DESNERVAÇÃO crônica de músculo esquelético. Disponível em: <<http://www.fcm.unicamp.br/departamentos/anatomia/musdesnerv.html>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

ESCUELA de Medicina P. Universidad Católica de Chile. *Bases moleculares de la contracción muscular*. Chile: PUC-CL. Disponível em: <<http://escuela.med.puc.cl/paginas/Cursos/segundo/histologia/HistologiaWeb/paginas/mu32235.html>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

FONTES, Helio. *Fibras musculares: a interferência do treinamento sobre as características das fibras musculares*. Disponível em: <<http://www.copacabanarunners.net/indgeral.html?http://www.copacabanarunners.net/fibras-musculares.html>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

GEOCITIES. Tecido muscular. Disponível em: <<http://geocities.yahoo.com.br/biologiamackenzie/humanos.html>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS. Universidade Federal de Minas Gerais. Base molecular da contração. Disponível em: <<http://www.icb.ufmg.br/~lbcd/prodabi4/grupos/grupo1/molecular.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

JPAULON.ROCHA.JR. *Sistema Muscular: os músculos*. Disponível em: <http://www.corpohumano.hpg.ig.com.br/sist_muscular/sist_muscular.html>. Acesso em: 22 mar. 2005.

MORAES, Luiz Carlos de. *Notícias do corpo: fibras musculares*. Disponível em: <<http://www.noticiasdocorpo.com.br/ano1n002/materia.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

MOREA, Lucas. *Monografias*. Disponível em: <http://www.monografias.com/trabajos12/actina/actina.shtml>. Acesso em: 22 mar. 2005.

AMADO, Jorge. *Dona Flor e seus dois maridos*. Rio de Janeiro: Record, 1997. 448p.

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002. 841p.

HERCULANO-HOUZEL, Suzana. *O cérebro nosso de cada dia: descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana*. Rio de Janeiro: Vieira&Lent, 2002. 206p.

LENT, Roberto. *Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociência*. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004. 698p.

MACHADO, Ângelo. *Neuroanatomia funcional*. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2005. 363p.

CÉREBRO: o computador humano. São Paulo: Abril Vídeos, 1995. 1 videocassete (25 min.), VHS, son., color. (Super Interessante Coleções. Discovery Channel)

SITES RECOMENDADOS

BRANDÃO, M.L.,PhD. *Controle de postura e de movimento*. Cap. 3. Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.psicobio.com.br/pt/livro_cap3.htm>. Acesso em: 31 mar. 2005.

_____. *Linguagem*. Cap. 11. Disponível em: <http://www.psicobio.com.br/pt/livro_cap11.htm>. Acesso em: 31 mar. 2005.

ANDRADE, Alexandro; LUFT, Caroline di Bernardi; ROLIM, Martina Kieling Sebold Barros. *O desenvolvimento motor, a maturação das áreas corticais e a atenção na aprendizagem motora*. Disponível em: <<http://www.efdeportes.com/efd78/motor.htm>>. Acesso em: 31 mar. 2005.

CEREBELO. Disponível em: <<http://www.guia.heu.nom.br/cerebelo.htm>>. Acesso em: 31 mar. 2005.

FACULDADE DE MEDICINA DE PETRÓPOLIS. Instituto de Anatomia. Núcleos da base. Disponível em: <<http://www.fog.br/anatomia/nucleos.htm>>. Acesso em: 31 mar. 2005.

FRAPORTI, Luciene Schmitz. *Neurofisiologia sensorial e motora*. Rio de Janeiro, Instituto Metodista Benett. Disponível em: http://www.wgate.com.br/conteudo/medicinaesaude/fisioterapia/neuro/neurofisiologia_sensorial.htm. Acesso em: 31 mar. 2005.

HOUZEL, Suzana Herculano. Cérebro nosso de cada dia. *Ciência Hoje On-line*. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/materia/view/400>>. Acesso em: 31 mar. 2005.

MARTIN, John H. et al. *Cerebelo*. Disponível em: <<http://www.geocities.com/epamjr/neuro/cerebelo.html>>. Acesso em: 31 mar. 2005.

ROCHA JÚNIOR, Paulo N. *Sistema nervoso: cerebelo*. Disponível em: <http://www.corpo humano.hpg.ig.com.br/sist_nervoso/cerebelo/cerebelo.html>. Acesso em: 31 mar. 2005.

PARAÍZO, Marilise de Andrade. *Principais síndromes afásicas*. Disponível em: http://www.neurologia.ufjf.br/artigos/nol_num_4_afasias.htm. Acesso em: 31 mar. 2005.

PARKINSON *On Line*. *Doença de Parkinson*. Disponível em: <<http://www.parkinson.med.br/pagina.php?q=doenca/ganglios>>. Acesso em: 31 mar. 2005.

PEREIRA, Márcio Alexandre Pena. *Doença de Parkinson*. Disponível em: <<http://www.infomed.hpg.ig.com.br/parkinson.html>>. Acesso em: 31 mar. 2005.

TEIXEIRA, Luiz Augusto; DUARTE, Marcos. *Controle motor*. São Paulo, USP. Disponível em: <<http://www.usp.br/eef/lob/md/efb224/>>. Acesso em: 31 mar. 2005.

VARELLA, Drauzio. *Palavra de cérebro*. Disponível em: <<http://www.drauziovarella.com.br/cerebro/palavracerebro.asp>>. Acesso em: 31 mar. 2005.

Aula 20

BEAR, Mark F., CONNORS, Barry W, PARADISO, Michael A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2002. 841p.

HERCULANO-HOUZEL, Suzana. *O cérebro nosso de cada dia: descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana*. Rio de Janeiro: Vieira&Lent, 2002. 206p.

LENT, Roberto. *Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociência*. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004. 698p.

MACHADO, Ângelo. *Neuroanatomia funcional*. 2.ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2005. 363p.

CÉREBRO: o computador humano. São Paulo: Abril Vídeos, 1995. (SuperInteressante Coleções. Discovery Channel.)

SITES RECOMENDADOS

ABC da Saúde e Prevenção. *Tortura, vertigem e labirintite*. Disponível em: <<http://www.abcdasaude.com.br/artigo.php?542>>. Acesso em: 23 mar. 2005.

ANDRADE, Alexandro; LUFT, Caroline di Bernardi; ROLIM, Martina Kieling Sebold Barros. *O desenvolvimento motor, a maturação das áreas corticais e a atenção na aprendizagem motora*. Disponível em: <<http://www.efdeportes.com/efd78/motor.htm>>. Acesso em: 23 mar. 2005.

CENTRO de São Paulo: formação contínua para fisioterapeutas. Fisioterapia estática. Disponível em: <<http://www.centrodesaopaulo.com.br/fisest/fisest7.htm>>. Acesso em: 23 mar. 2005.

CHUDLER, Eric, PhD. *Aventuras em neuroanatomia*: as divisões do sistema nervoso. Disponível em: <http://geocities.yahoo.com.br/neurokidsbr/Divisoes_do_SN.html>. Acesso em: 23 mar. 2005.

ENCICLOPÉDIA Digital Master On-Line. *Canais semicirculares*. Disponível em: <http://www.encyclopedia.com.br/MED2000/pedia98a/anat4fqp.htm>. Acesso em: 23 mar. 2005.

FACULDADE de Ciências Médicas. *Medúla espinal lombo*: sacra normal de criança. Disponível em: <<http://www.fcm.unicamp.br/departamentos/anatomia/lamneuro2.html>>. Acesso em: 23 mar. 2005.

FACULDADE de Medicina de Petrópolis. *Núcleos da base*. Disponível em: <<http://www.fog.br/anatomia/nucleos.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2005.

FRAPORTI, Luciene Schmitz. *Neurofisiologia sensorial e motora*. Disponível em: http://www.wgate.com.br/conteudo/medicinaesaude/fisioterapia/neuro/neurofisiologia_sensorial.htm. Acesso em: 23 mar. 2005.

INSTITUTO Ciência Hoje. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/materia/view/400>>. Acesso em: 23 mar. 2005.

KAVALCO, Karine. *Aparelho vestibular*. Disponível em: <<http://www.biociencia.org/fisiologia/apvestibular.htm>>. Acesso em: 23 mar. 2005.

PARAÍZO, Marilise de Andrade. *Principais síndromes afásicas*. Disponível em: <http://www.neurologia.uff.br/artigos/nol_num_4_afasias.htm>. Acesso em:

QUESTIONÁRIO e estudo dirigido: neuroanatomia macroscópica. Disponível em:<<http://>

www.ib.unicamp.br/institucional/departamentos/anatomia/gradua/310/quest.html. Acesso em: 23 mar. 2005.

REFLEXOS Mono e Polissinápticos. Disponível em: <http://planeta.terra.com.br/saude/athelsonbittencourt/Ufes/ReflexMonoPoliSin.htm>. Acesso em: 23 mar. 2005.

TEIXEIRA, Luiz Augusto; DUARTE, Marcos. *Controle motor*. Disponível em: <http://www.usp.br/eef/lob/md/efb224/>. Acesso em: 23 mar. 2005.

VARELLA, Drauzio. *Palavra de cérebro*. <<http://www.drauziovarella.com.br/cerebro/palavracerebro.asp>>. Acesso em: 23 mar. 2005.

ISBN 978-85-7648-369-4



9 788576 483694



UENF
Universidade Estadual
do Norte Fluminense



Universidade Federal Fluminense



**GOVERNO DO
Rio de Janeiro**

SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA



**Ministério
da Educação**

