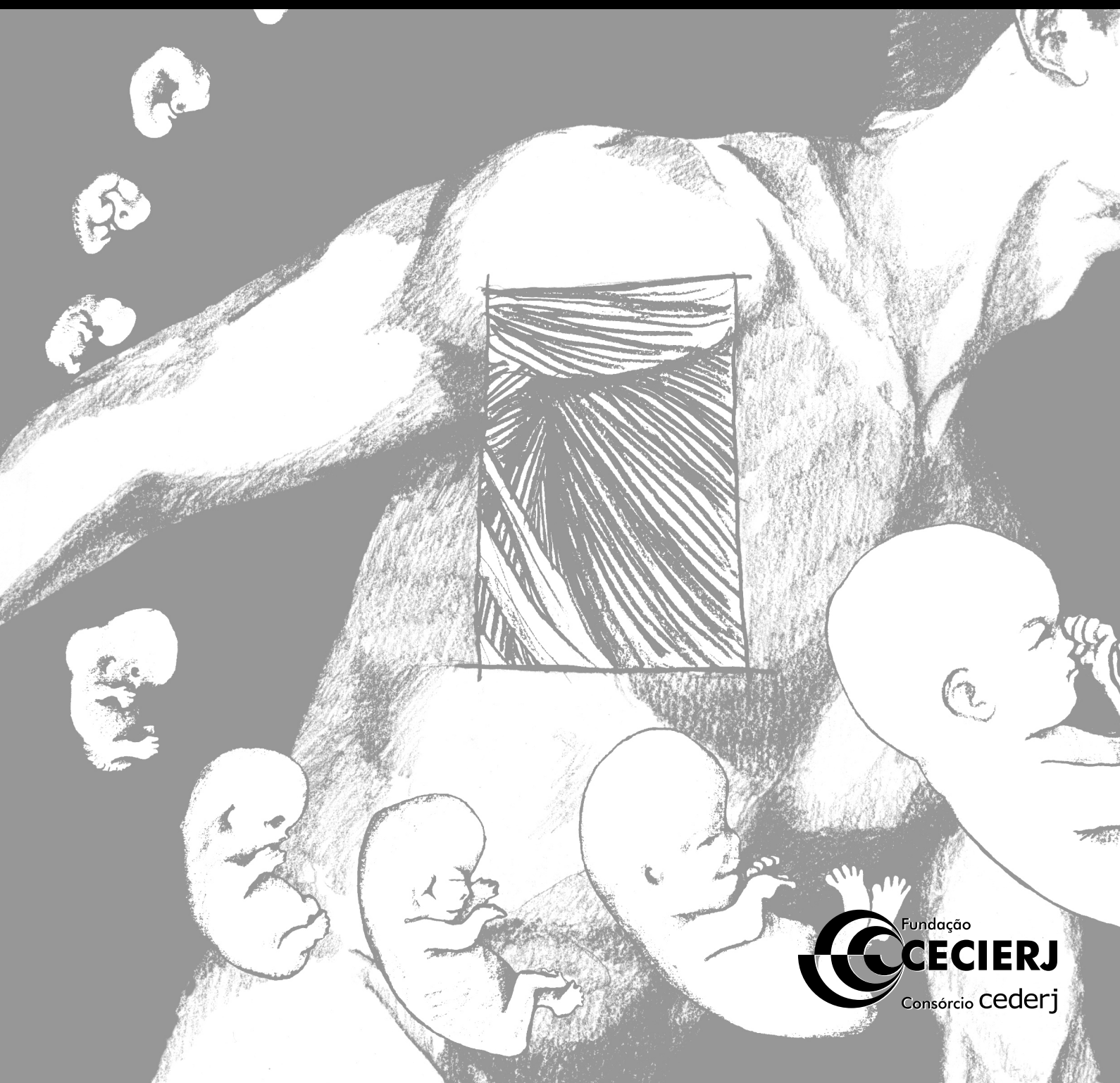


Alfred Sholl-Franco
Alessandra Alves Thole
Daniela Uziel
Neide Lemos de Azevedo

Volume | 1
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 1
2ª edição

Alfred Sholl-Franco

Alessandra Alves Thole

Daniela Uziel

Neide Lemos de Azevedo



**GOVERNO DO
Rio de Janeiro**

**SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

Ministério
da Educação



Apoio:



FAPERJ

Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo
à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro



**FUNDAÇÃO
SANTA CABRINI**

Provedora de acesso à Cidadania

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 - Cibebe Schwanke

Material Didático

ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO

Alfred Sholl-Franco

Alessandra Alves Thole

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

COORDENAÇÃO DE LINGUAGEM

Maria Angélica Alves

COORDENAÇÃO 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

Luciana Nogueira Duarte

Patrícia Paula

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO

Jorge Moura

PROGRAMAÇÃO VISUAL

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.

S559c

Sholl-Franco, Alfred.

Corpo humano I. v. 1 / Alfred Sholl-Franco; Alessandra Alves Thole; Daniela Uziel; Neide Lemos de Azevedo. – 2. ed. – Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2010.

264p.; 19x26,5 cm.

ISBN: 85-7648-350-5

1. Desenvolvimento embrionário humano. 2. Sistema nervoso. 3. Sistema tegumentar. I. Thole, Alessandra Alves. II. Uziel, Daniela. III. Azevedo, Neide Lemos. IV. Título.

CDD: 573

2010/1

Referências Bibliográficas e catalogação na fonte, de acordo com as normas da ABNT.

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 Vieiralves

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 1	– Desenvolvimento embrionário humano I – noções de aparelho reprodutor _____	7
	<i>Neide Lemos de Azevedo</i>	
Aula 2	– Desenvolvimento embrionário humano II – como somos gerados _____	33
	<i>Neide Lemos de Azevedo</i>	
Aula 3	– Desenvolvimento embrionário humano III – formação dos tecidos fundamentais _____	55
	<i>Neide Lemos de Azevedo</i>	
Aula 4	– Desenvolvimento embrionário humano IV – mudanças na forma do embrião. Placentação e placenta _____	79
	<i>Daniela Uziel</i>	
Aula 5	– Desenvolvimento embrionário humano V – organogênese, a formação de órgãos e sistemas do nosso corpo _____	97
	<i>Alessandra Alves Thole</i>	
Aula 6	– Organização geral do sistema nervoso _____	121
	<i>Daniela Uziel</i>	
Aula 7	– Sistema tegumentar: pele e anexos _____	153
	<i>Neide Lemos de Azevedo</i>	
Aula 8	– Como sentimos o mundo a nossa volta? _____	183
	<i>Daniela Uziel</i>	
Aula 9	– Como vemos o mundo que nos cerca _____	217
	<i>Daniela Uziel</i>	
Aula 10	– Sons e vozes: como ouvimos e nos comunicamos _____	239
	<i>Daniela Uziel</i>	
Referências	_____	261

Desenvolvimento embrionário humano I – noções de aparelho reprodutor

AULA

1

Meta da aula

Explicar o funcionamento dos aparelhos reprodutores feminino e masculino, visando à produção de gametas.

objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Descrever os aparelhos reprodutores feminino e masculino, com ênfase na produção de gametas.
- Definir a contribuição dos gametas para a formação da célula-ovo ou zigoto.

Pré-requisitos

Para um melhor aproveitamento desta aula, é importante que você já tenha estudado as Aulas 1, 2 e 12 de Biologia Celular II e Aula 3 de Genética Básica.

INTRODUÇÃO

Esta será nossa primeira aula de Embriologia, ramo da Biologia que estuda a formação e o desenvolvimento de um ser antes do seu nascimento. Você terá noções básicas sobre o desenvolvimento embrionário humano nas quatro primeiras semanas que se seguem à fertilização, embora algumas das informações disponíveis na literatura científica se refiram a outros animais que não o homem.

Os primeiros estudos embriológicos estão registrados nos livros do médico grego Hipócrates (cerca de 460-377 a.C.), conhecido como o Pai da Medicina. Apesar disso, foi Aristóteles (cerca de 384-322 a.C.), um filósofo e cientista grego, quem escreveu o primeiro tratado de embriologia, onde foram descritos o desenvolvimento do pinto e de outros embriões. Aristóteles é considerado o fundador da Embriologia, embora tenha difundido a idéia de que o embrião surgia do sangue menstrual após ativação pelo sêmen. Dessa época, passando pela Idade Média e pela Renascença, surgiram várias hipóteses sobre o desenvolvimento embrionário humano, mas foi somente em 1775 que Lazzaro Spallanzani demonstrou que eram necessários o óvulo e o espermatozóide para o desenvolvimento de um novo ser.

De lá para cá, os rápidos avanços no campo da Genética e da Biologia Molecular, somados ao extenso conhecimento sobre o desenvolvimento embrionário humano e de outros animais, permitiram que, em 1997, Ian Wilmut e seus colaboradores clonassem o primeiro mamífero, a ovelha Dolly. Você certamente acompanha, na mídia, as discussões relacionadas com a clonagem humana para obtenção de células-tronco embrionárias humanas (veja a Aula 12 de Biologia Celular II). Essas são células pluripotentes, cujo isolamento e cultivo são a grande promessa para o desenvolvimento, no futuro, de terapias moleculares.

O desenvolvimento embrionário humano é um processo contínuo que se inicia quando um ovócito é fecundado por um espermatozóide. Este é um assunto que gera grande interesse e curiosidade nas pessoas. É surpreendente imaginarmos como o nosso organismo, tão complexo e com tantas potencialidades, se forma a partir de uma única célula, a célula-ovo ou zigoto. É sobre esse assunto fascinante que vamos agora estudar.

Antes de começar esta aula, você deverá relembra a Aula 3, sobre divisão meiótica, estudada em Genética Básica. Você verá que a meiose é um tipo especial de divisão celular que forma células-filhas com a metade do número

de cromossomos das células originais. Nesse processo, uma célula diplóide (ovogônia ou espermatogônia) sofre duas divisões sucessivas originando quatro células **HAPLÓIDES**, no caso da espermatogênese, e somente uma célula ativa, no caso da ovogênese (**Figura 1.1**). A meiose só ocorre nas células germinativas, e é responsável pela manutenção do número constante de cromossomos que passa, de geração para geração, em cada espécie animal pela dispersão e pela recombinação ao acaso do material genético.

HAPLÓIDE

Célula que apresenta metade do número de cromossomos da célula que a originou.

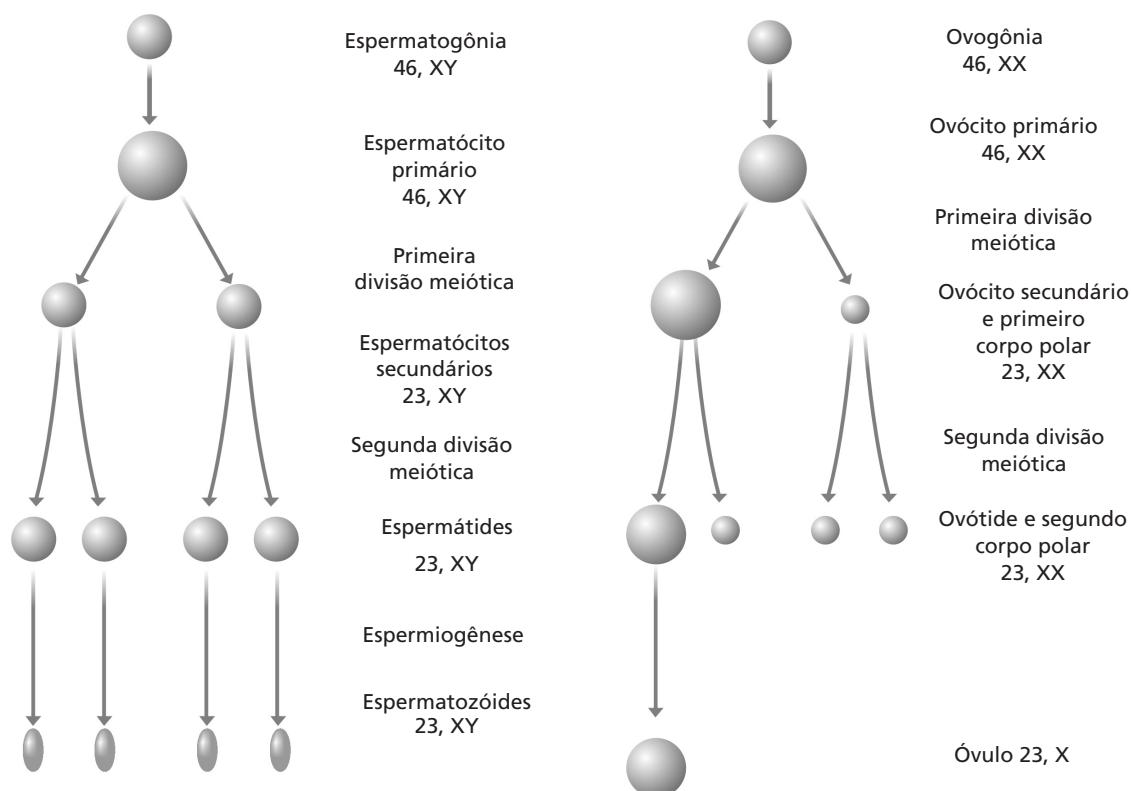


Figura 1.1: Gametogênese normal. Nesses esquemas, você poderá comparar a espermatogênese e a ovogênese. Observe que, ao final da segunda divisão meiótica, formam-se, a partir de uma espermatogônia, quatro espermatozoides, e a partir de uma ovogônia, somente um óvulo, ambos com número haplóide de cromossomos. Veja que, ao contrário da espermatogênese, na ovogênese as divisões são desiguais. Portanto, ao fim de cada divisão, formam-se duas células, sendo que uma delas recebe pouco citoplasma e origina os corpos ou corpúsculos polares.

A seguir, você terá noções básicas sobre a fisiologia dos aparelhos reprodutores feminino e masculino.

APARELHO REPRODUTOR FEMININO

O aparelho reprodutor feminino é constituído pelos ovários, tubas uterinas (trompas), útero, vagina, genitália externa e pelas mamas. Ele apresenta várias funções importantes integradas por um elegante sistema de mecanismos hormonais e nervosos. São elas:

- a produção dos gametas femininos, os ovócitos, pelo processo da ovogênese;
- a recepção dos gametas masculinos, os espermatozóides;
- o fornecimento de um local adequado à fertilização dos ovócitos pelos espermatozóides;
- o fornecimento de um ambiente para o desenvolvimento do feto;
- um meio para a expulsão do feto desenvolvido para o ambiente externo;
- a nutrição do recém-nascido.

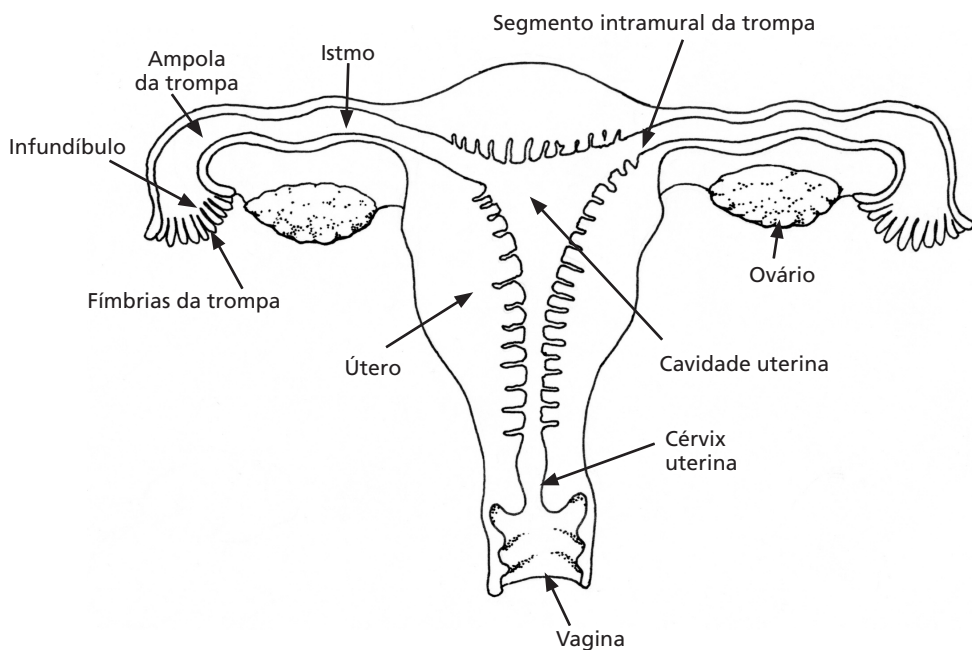


Figura 1.2: Desenho representando o aparelho reprodutor feminino.

Ovogênese

A ovogênese é o processo que se inicia antes do nascimento através do qual as *ovogônias*, células germinativas primitivas, originam *ovócitos maduros* após a puberdade.

Maturação dos ovócitos

Durante a vida fetal, as ovogônias, que são células diplóides, proliferam nos ovários por mitose (veja as Aulas 1 e 2 de Biologia Celular II). Antes do nascimento, elas crescem e originam ovócitos primários estacionados na prófase da primeira divisão meiótica. Esses ovócitos em prófase suspensa, assunto que você já estudou na Aula 3 de Genética Básica, logo são envolvidos por uma camada de células foliculares achatadas do tecido conjuntivo ovariano, constituindo o que denominamos *folículos primordiais*.

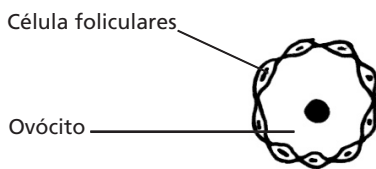


Figura 1.3: Desenho esquemático do folículo primordial contendo o ovócito primário envolvido por uma camada de células foliculares achatadas.

Ao nascer, uma criança do sexo feminino traz em seus ovários cerca de dois milhões de *folículos primordiais*. A maioria desses folículos regride durante o crescimento da criança. Quando ela atinge a puberdade, restam cerca de 40 mil folículos, dos quais aproximadamente 400 tornam-se ovócitos secundários durante toda a vida reprodutiva de uma mulher. Com a puberdade, iniciam-se os ciclos reprodutivos mensais ou ciclos menstruais, quando um grupo de até 20 folículos primordiais é ativado para iniciar o processo de maturação folicular. Em geral, apenas um folículo atinge seu desenvolvimento pleno e sofre ovulação. Esse processo envolve a atividade do **EIXO HIPOTÁLAMO-HIPOFISÁRIO** (você verá mais adiante na disciplina de Fisiologia em Corpo Humano II) e de todo o aparelho reprodutor feminino (ovários, trompas, útero, vagina e glândulas mamárias).

EIXO HIPOTÁLAMO-HIPOFISÁRIO

O hipotálamo é uma área anatômica do cérebro, que contém neurônios secretores que controlam a liberação dos hormônios hipofisários. Os dois, hipotálamo e hipófise, atuando em conjunto, formam um importante eixo de regulação funcional de vários órgãos alvo.



Quanto desperdício! Será mesmo?

Você viu que cerca de 20 folículos são ativados a cada ciclo menstrual, embora, em geral, somente um deles sofra ovulação. A razão para esse aparente desperdício de folículos não está esclarecida. Sabe-se, no entanto, que durante a maturação, os folículos têm uma função endócrina, que será visto mais adiante, ainda nesta aula. Você verá que a produção de estrógenos pelos folículos em maturação pode estar muito além da capacidade de produção de um só folículo. Portanto, o propósito primário dos demais folículos parece ser o de atuarem como glândulas endócrinas.

Você sabia que o número de ovócitos que ovulam é reduzido nas mulheres que tomam pílulas anticoncepcionais? Isto acontece porque os hormônios contidos nas pílulas impedem a ovulação.

Ciclo ovariano

Você observará a seguir que o ciclo ovariano se inicia por estimulação hormonal. A partir da puberdade, a hipófise começa a liberar para a corrente sanguínea o *hormônio folículo estimulante* (FSH), cujo alvo, como o próprio nome sugere, são os folículos ovarianos. Como vimos anteriormente, esses folículos primordiais contêm um ovócito em prófase suspensa, envolvido por uma camada de células foliculares achatadas que são altamente responsivas a este hormônio. Em resposta a esta estimulação, as células foliculares tornam-se cúbicas, multiplicam-se, e o ovócito começa a sintetizar um material de natureza glicoprotéica, a *zona pelúcida*, que se interpõe entre eles, originando o *folículo primário*. O tecido conjuntivo ovariano se organiza em torno das células foliculares, constituindo as tecas interna (tecido conjuntivo frouxo, altamente vascularizado e secretor) e externa (tecido conjuntivo denso). As células foliculares e a teca interna, estimuladas pelo FSH, começam a secretar estrogênio, hormônio ovariano que irá iniciar o preparo dos outros componentes do aparelho reprodutor feminino para receber e manter o **CONCEPTO**, caso haja a fecundação.

CONCEPTO

Do latim *conceptio*, derivados do zigoto. Inclui o embrião e todas as estruturas extra-embrionárias que se desenvolvem a partir do zigoto, ou seja, a parte embrionária da placenta e suas membranas associadas – âmnio, saco coriônico e saco vitelino.

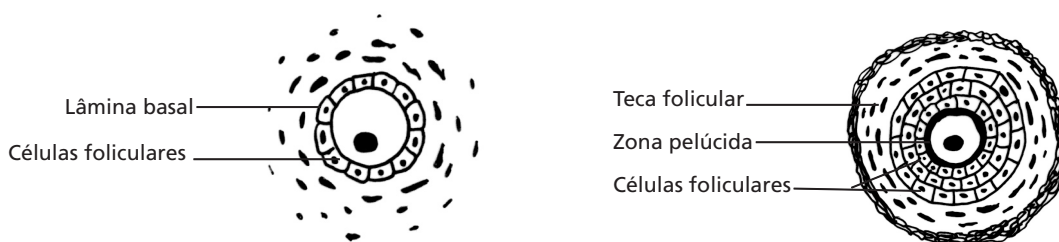


Figura 1.4: Desenhos ilustrando dois folículos primários em diferentes fases de maturação. Observe que as células foliculares, antes achatadas, aumentaram de volume e se multiplicaram. Paralelamente, visualizamos a zona pelúcida e a teca folicular.

Com o prosseguimento do ciclo, surgem em torno das células foliculares pequenos espaços preenchidos por fluido que pouco a pouco se juntam para formar uma cavidade única contendo fluido folicular, o *antro folicular*. Este processo desloca o ovócito primário, envolvido pela zona pelúcida e por algumas células foliculares (células da corona radiata), para um dos seus pólos, o *cumulus oophorus*. Com a formação do antro folicular, o folículo passa a ser conhecido como *folículo secundário*, que ainda contém um ovócito em prófase suspensa.

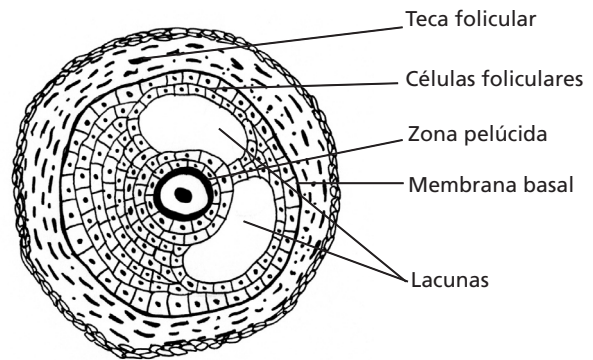


Figura 1.5: Desenho mostrando um folículo secundário. Observe que surgem pequenas cavidades, lacunas cheias de líquido entre as células foliculares.

Vá até a **Figura 1.8** e veja que, nesta fase, os altos níveis de estrogênio secretados pelos folículos inibem a liberação de FSH pelo eixo hipotálamo-hipofisário, que, por sua vez, começa a secretar o hormônio luteinizante (LH). Este hormônio atua sobre os folículos secundários, estimulando um deles (em geral, o mais desenvolvido e responsivo ao hormônio) a completar a primeira divisão meiótica, iniciar a segunda e estacionar na metáfase (você já viu na Aula 3 de Genética Básica). O término da primeira divisão meiótica origina o *ovócito secundário* e o *primeiro corpúsculo polar*. Como a divisão é desigual, o ovócito recebe quase todo o citoplasma, sendo, portanto, uma célula grande, e o corpúsculo polar recebe pouco citoplasma, tornando-se uma célula muito pequena e que irá, depois da formação do segundo corpúsculo polar, degenerar. Este folículo continua o seu desenvolvimento, cresce e forma o *folículo maduro* ou de *De Graaf*. Com o rápido crescimento do folículo maduro, forma-se uma pequena saliência na superfície ovariana.

Observe, na **Figura 1.7.a** que aparece nesta saliência um pequeno ponto avascular denominado *estigma*. O tecido conjuntivo ovariano sobre o folículo é comprimido, torna-se isquêmico e sofre necrose. O surto de LH parece aumentar a pressão do fluido folicular, o que provoca a ruptura da superfície ovariana, já frágil em decorrência da **ISQUEMIA**. A consequência é, portanto, a liberação do ovócito secundário envolvido pela zona pelúcida e pelas células da **CORONA RADIATA**. A este fenômeno denominamos *ovulação*.

ISQUEMIA

É a supressão da circulação sanguínea em determinada parte do organismo devido à constricção arterial.

CORONA RADIATA

Células foliculares que se dispõem radialmente em torno do ovócito.

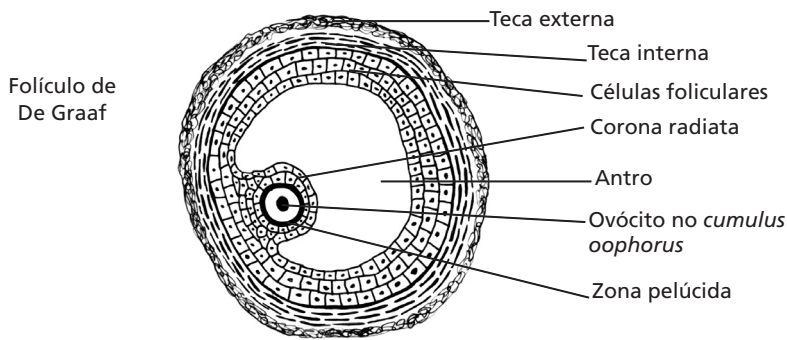


Figura 1.6: No folículo maduro ou de De Graaf, as pequenas cavidades já se uniram para formar uma grande cavidade, o antro folicular. Algumas células foliculares persistiram em torno da zona pelúcida e do ovócito, constituindo as células da corona radiata. Com isso, o ovócito envolvido pela zona pelúcida e pelas células da corona radiata é deslocado para a periferia do folículo. O local do folículo onde o ovócito está localizado chama-se *cumulus oophorus*.



Algumas mulheres apresentam ciclos anovulatórios, ou seja, sem ovulação, e, portanto, não podem engravidar. Isso acontece devido à secreção insuficiente de gonadotrofinas, que são hormônios hipofisários (FSH e LH) que estimulam a maturação dos folículos ovarianos.

Mulheres com ciclos anovulatórios podem ser tratadas com drogas que estimulem a secreção de gonadotrofinas e, conseqüentemente, a ovulação. Em geral, essas ovulações são múltiplas, o que leva a um grande aumento na incidência de gravidez múltipla.

Se você considerar um ciclo menstrual padrão (28 dias), a ovulação ocorrerá aproximadamente no 14º dia do ciclo, e o ovócito, com suas camadas envoltórias, será capturado pelas fímbrias da *trompa* e conduzido para o infundíbulo e daí para a ampola, por meio de leves movimentos peristálticos (contrações da musculatura lisa), estimulados pelo estrogênio (**Figura 1.7**).

Anatomicamente, a trompa é dividida em quatro regiões, como você pode ver na **Figura 1.2**: infundíbulo, ampola, istmo e região intramural.

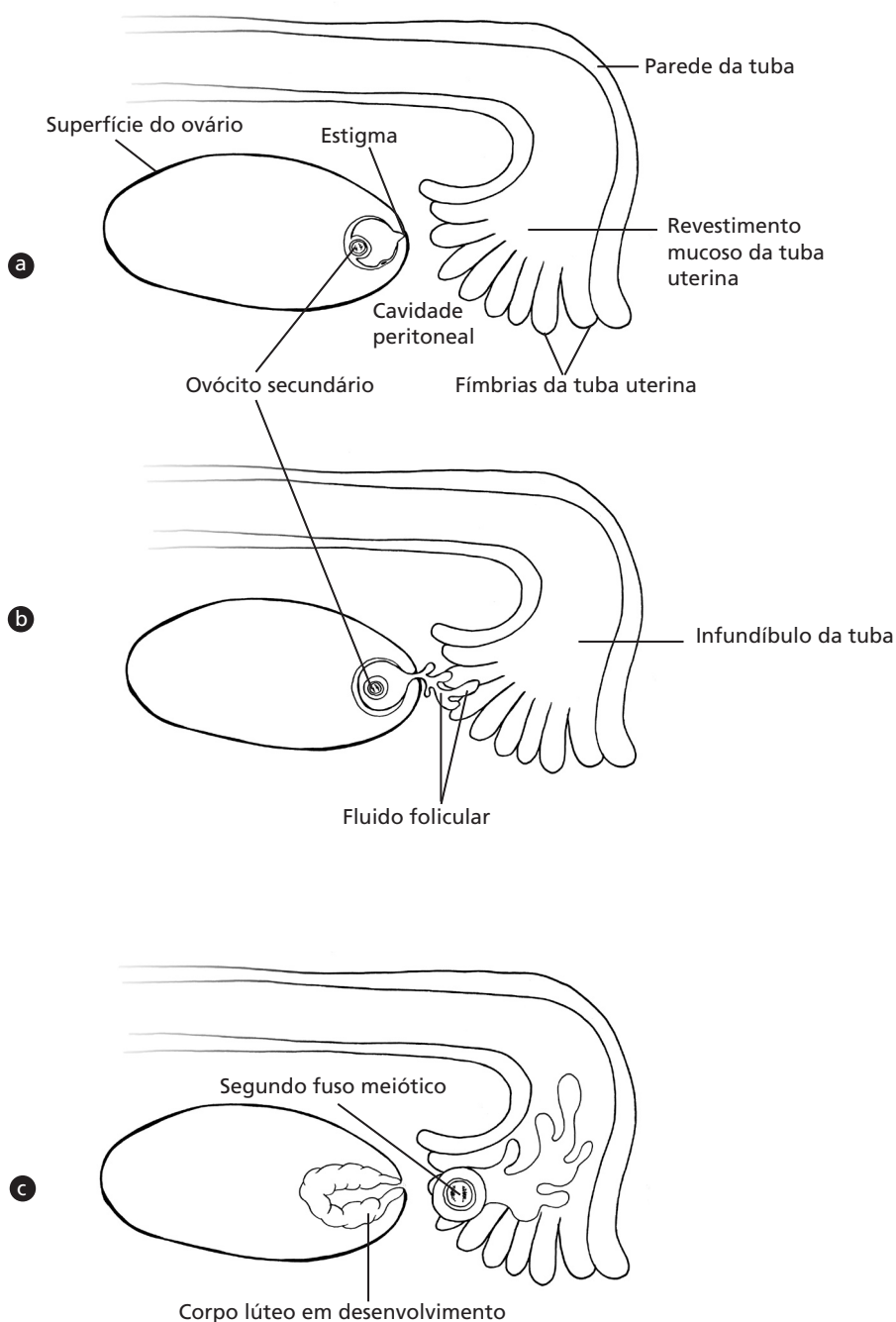


Figura 1.7: Esquemas (a-c) ilustrando a ovulação. O *estigma* se rompe e o ovócito secundário, envolvido pela zona pelúcida e pela coroa radiata, é expelido do ovário e capturado pelas fimbrias da trompa. O que resta do folículo, no ovário, forma o corpo lúteo.

O restante do folículo, ou seja, as células foliculares e as tecais não eliminadas na ovulação, em resposta ao LH, se desenvolverá como *corpo lúteo* (ver Figura 1.7), uma glândula que começará a produzir progesterona e continuará a sintetizar alguma quantidade de estrogênio. A progesterona será essencial para concluir o processo de preparação do aparelho reprodutor para receber o conceito.

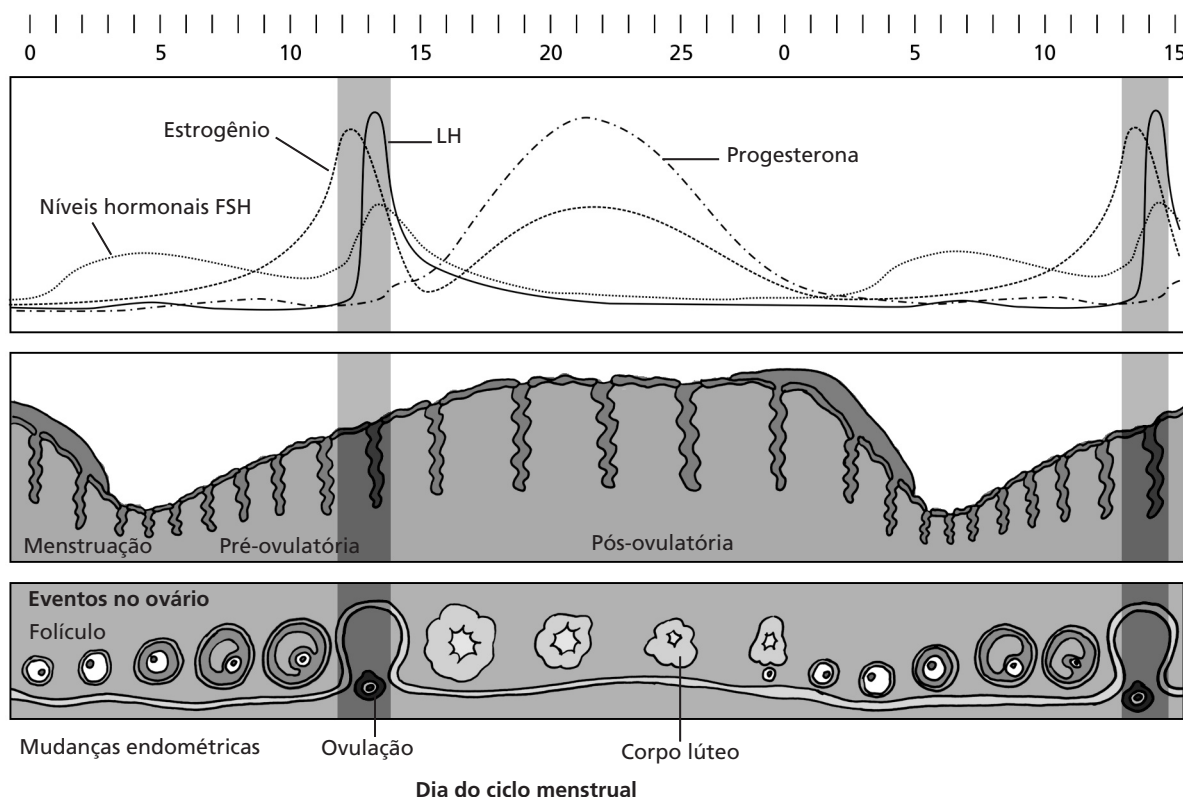


Figura 1.8: Desenho esquemático correlacionando os ciclos ovariano, uterino e hipofisário.

Caso não ocorra a fertilização, o corpo lúteo continuará funcionando, isto é, produzindo hormônios, por 10 dias após a ovulação. Sua regressão provocará a formação de uma pequena cicatriz no ovário, o *corpo albicans*, e, principalmente, uma queda abrupta nos níveis de estrógenos e progesterona. A queda hormonal levará à perda da camada funcional do endométrio, fenômeno conhecido como *menstruação*.

Ciclo uterino

O útero é um órgão **PIRIFORME** cuja parede é constituída pelo endométrio (epitélio cilíndrico simples, glândulas e tecido conjuntivo), miométrio (músculo liso) e perimétrio (peritônio).

PIRIFORME

Como você viu na Figura 1.2, o útero tem um formato semelhante a uma pêra. Daí o termo.

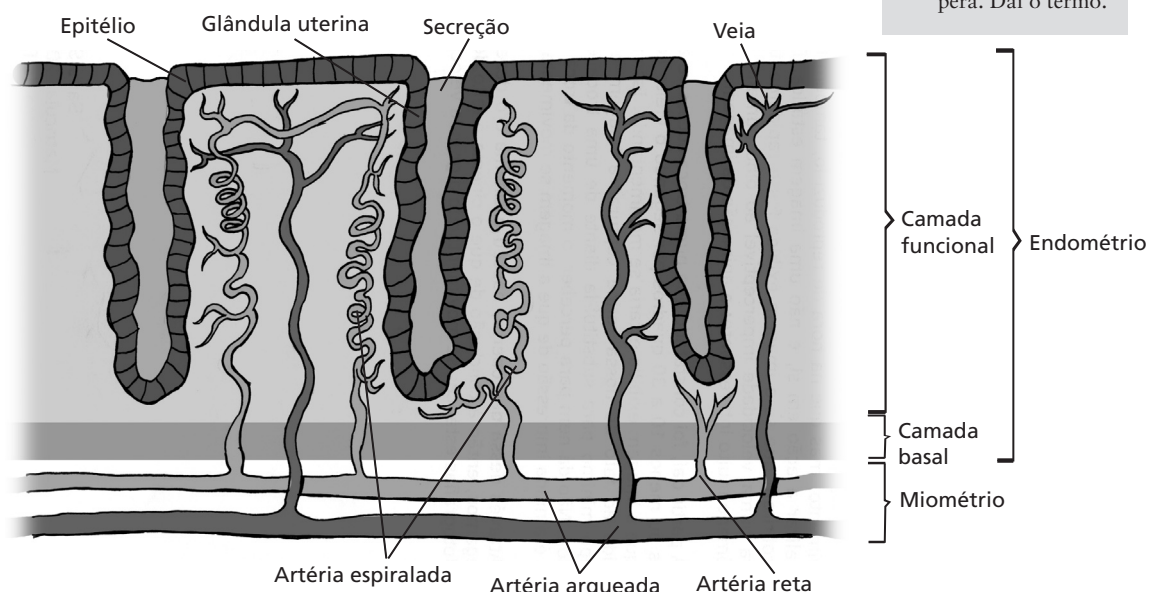


Figura 1.9: Desenho esquemático da parede do útero. Observe que o endométrio é constituído pelas camadas funcional e basal e que o fundo das glândulas endometriais e os vasos mais calibrosos situam-se na camada basal e no miométrio.

Vamos continuar considerando o ciclo endometrial ou menstrual. Este ciclo é, em média, de 28 dias (ver **Figura 1.8**). A primeira fase do ciclo, *fase menstrual*, se inicia no primeiro dia da menstruação, com a descamação e perda de parte do endométrio. Essa fase dura de quatro a cinco dias e consiste em sangue que extravasa de vasos rompidos e em pedaços de tecido endometrial.

A fase seguinte é a *fase proliferativa* ou *estrogênica*, que dura aproximadamente nove dias. Nessa fase, por estímulo dos estrógenos produzidos pelos folículos ovarianos em maturação, toda a camada funcional do endométrio perdida na fase menstrual anterior é regenerada a partir da camada mais profunda do endométrio (camada basal), que foi preservada e que contém o fundo das glândulas endometriais.

A *fase secretora* ou *progestacional* dura cerca de treze dias e coincide com a formação do corpo lúteo. Nessa fase, principalmente por estímulo da progesterona, o endométrio se espessa e as glândulas endometriais são estimuladas a secretar um material rico em glicogênio, que irá nutrir o conceito durante as primeiras fases do desenvolvimento, caso ocorra a fecundação.

A última fase, *fase isquêmica*, dura de um a dois dias e resulta da queda nos níveis de estrógeno e progesterona provocada pela regressão do corpo lúteo. Em resposta a esta interrupção hormonal, as glândulas uterinas param de secretar e as artérias uterinas espiraladas começam a sofrer constrictões (contrações) por períodos cada vez mais longos. Essas mudanças vasculares interrompem o fluxo sanguíneo local, provocando isquemia e ruptura dos vasos, o que leva à perda e ao extravasamento de sangue para a cavidade uterina, juntamente com o tecido endometrial.



Nos ciclos anovulatórios, as mudanças endometriais são mínimas. A primeira fase do ciclo menstrual (fase proliferativa) ocorre normalmente, pois alguns folículos ovarianos iniciam o seu desenvolvimento e secretam estrógenos. No entanto, como não ocorre ovulação, não há formação do corpo lúteo e, portanto, a segunda fase do ciclo (fase secretora) é prejudicada. O endométrio permanece na fase proliferativa até o início da menstruação. É dessa forma que agem as pílulas anticoncepcionais.

ATIVIDADES



1. Os folículos primários contêm:

- a. ovócitos secundários em metáfase suspensa;
- b. ovogônias;
- c. ovócitos primários em prófase suspensa;
- d. ovócitos secundários em prófase suspensa;
- e. ovócitos primários em metáfase suspensa.

RESPOSTA COMENTADA

Se você respondeu o item c, pode prosseguir, pois entendeu que nos ovários de uma criança existem milhões de folículos primordiais que contêm ovócitos primários na prófase da primeira divisão meiótica. Essa divisão só será concluída quando, após a puberdade, esse folículo passar para a fase de folículo maduro.

2. Qual (is) dos hormônios relacionados desencadeia a ovulação?

- a. progesterona;
- b. FSH;
- c. estrogênio;
- d. LH;
- e. estrogênio e progesterona;

RESPOSTA COMENTADA

O item correto é o **d**, porque você viu que: o hormônio luteinizante (LH) estimula o rápido crescimento do folículo maduro; estimula o término da primeira e o início da segunda divisão meiótica do ovócito, que é interrompida na metáfase, originando o ovócito secundário; e provoca o aumento de pressão do fluido folicular. Não esqueça que, a superfície ovariana é comprimida pelo folículo, sofre isquemia e necrose localizada, o que torna esta região muito susceptível ao aumento de pressão do fluido folicular, que, com a pressão aumentada, rompe os tecidos ovarianos e arrasta o ovócito para fora do ovário.

3. Em relação ao corpo lúteo, podemos afirmar que:

- a. sintetiza progesterona e estrogênio após a ovulação;
- b. regride após a fertilização;
- c. regride se não houver fertilização;
- d. os itens **a** e **b** estão corretos;
- e. os itens **a** e **c** estão corretos.

RESPOSTA COMENTADA

O item **e** está correto, pois, como você viu na **Figura 1.8**, após a ovulação, em resposta ao LH, o corpo lúteo continua produzindo estrogênio e inicia a produção de progesterona. Caso não ocorra a fertilização, ele regride dez dias após a ovulação.

4. Podemos associar a proliferação endometrial aos hormônios:

- a. LH e progesterona;
- b. LH e estrogênio;
- c. FSH e progesterona;
- d. FSH e estrogênio;
- e. os itens **a** e **d** estão corretos.

RESPOSTA COMENTADA

O item **d** está correto. Como você pode observar na **Figura 1.8**, o FSH estimula o desenvolvimento folicular e a secreção de estrogênio pelos folículos em desenvolvimento. O estrogênio atua sobre a camada basal do endométrio, estimulando a sua proliferação com o objetivo de recompor sua camada funcional perdida na menstruação anterior.

5. Após a menstruação, o endométrio se restaura sob a influência de hormônios ovarianos. Para que tal fato ocorra, a adeno-hipófise precisa secretar:

- a. hormônio luteinizante;
- b. hormônio folículo estimulante;
- c. hormônio do crescimento;
- d. prolactina;
- e. tiroxina.

RESPOSTA COMENTADA

O item correto é o **b**. Lembre-se de que o FSH é o hormônio hipofisário secretado na primeira fase do ciclo menstrual. Sob a sua influência, os folículos ovarianos em desenvolvimento produzirão estrogênio e este irá estimular a recuperação da camada funcional do endométrio.

6. A menstruação resulta:

- a. na perda da camada funcional do endométrio;
- b. da regressão do corpo lúteo;
- c. da interrupção do fluxo sanguíneo no endométrio em resposta à queda dos níveis de progesterona e estrogênio;
- d. na perda das camadas basal e funcional do endométrio;
- e. os itens a, b e c estão corretos.

RESPOSTA COMENTADA

O item **e** está correto. Você pode observar na **Figura 1.8** que a menstruação resulta, em primeiro lugar, da regressão do corpo lúteo. Com a sua regressão, caem os níveis sanguíneos de progesterona e estrogênio, que por sua vez provocarão constricções intermitentes das artérias espiraladas, com conseqüente isquemia e necrose da camada funcional do endométrio. O único item incorreto é o **d**, pois, como você viu na mesma figura, a camada basal do endométrio não é perdida na menstruação.

7. Diferencie morfologicamente os folículos primordiais, primários, secundários e de De Graaf.

RESPOSTA COMENTADA

Para identificar as fases foliculares, você deve lembrar em que fase da meiose estão os ovócitos.

Folículo primordial – é constituído pelo ovócito primário que está na prófase da primeira divisão meiótica envolvido por uma camada de células foliculares achatadas.

Folículo primário – é constituído pelo ovócito primário na prófase da primeira divisão meiótica, envolvido pela zona pelúcida, por duas ou mais camadas de células foliculares cúbicas e pelas tecas interna e externa.

Folículo secundário – é constituído pelo ovócito primário na prófase da primeira divisão meiótica, envolvido pela zona pelúcida, por várias camadas de células foliculares, pelas tecas interna e externa e apresenta uma cavidade contendo líquido por entre as células foliculares, o antro folicular.

Folículo de De Graaf – é constituído pelo ovócito secundário e pelo primeiro corpúsculo polar, envolvidos pela zona pelúcida, por várias camadas de células foliculares, pelas tecas interna e externa e apresenta uma grande cavidade contendo líquido por entre as células foliculares, o antro folicular. O antro desloca o ovócito e suas membranas envoltórias, a zona pelúcida e a corona radiata para um dos pólos do folículo. A região do folículo em que o ovócito está localizado recebe o nome de cumulus oophorus.

APARELHO REPRODUTOR MASCULINO

O aparelho reprodutor masculino é composto por dois testículos (contendo os túbulos seminíferos, túbulos retos, rede testicular e túbulos eferentes), epidídimo, ducto deferente, glândulas acessórias (vesículas seminais, próstata e glândulas bulbouretrais) e pênis.

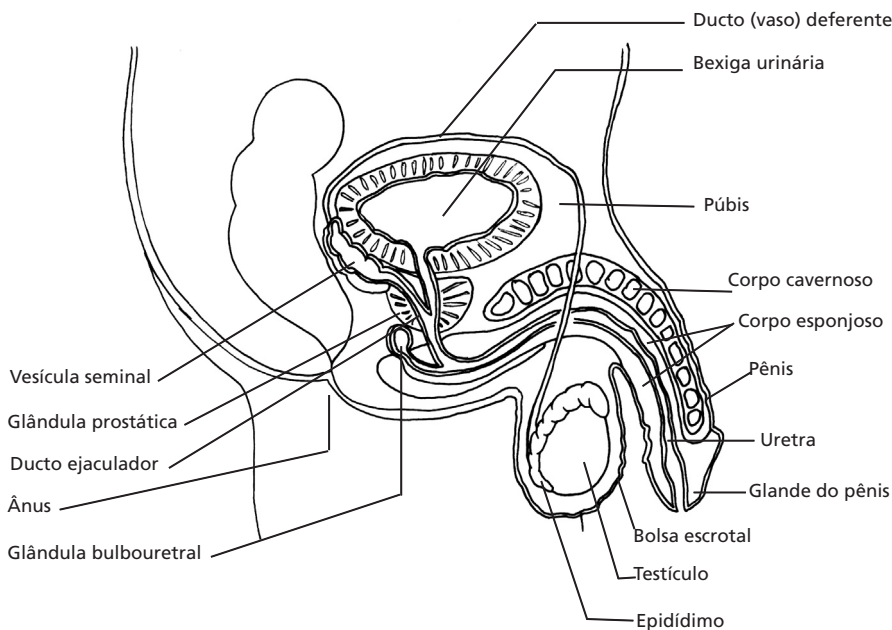


Figura 1.10: Desenho esquemático mostrando os componentes do aparelho reprodutor masculino.

Espermatogênese

O processo pelo qual as células germinativas primitivas masculinas, as *espermatogônias*, se transformam em células germinativas maduras, os *espermatozóides*, é denominado espermatogênese.

Os espermatozóides são produzidos nos túbulos seminíferos que se localizam na bolsa escrotal. Após a puberdade, por estímulos hormonais, as espermatogônias começam a se multiplicar. Após várias divisões mitóticas, algumas delas crescem e se transformam em *espermatócitos primários*, que entram na primeira divisão meiótica, originando, cada um deles, dois *espermatócitos secundários*. Estes espermatócitos secundários passam por uma segunda divisão meiótica originando quatro *espermátides*. Por um processo de diferenciação denominado *espermio gênese*, as espermátides, células de pequeno tamanho e de formato arredondado, se transformam em espermatozóides (ver **Figura 1.1**) e caem na luz dos túbulos seminíferos.

Como você pode ver na **Figura 1.11**, essa é uma fase de modificações complexas, que incluem: formação de uma vesícula acrossômica a partir do aparelho de Golgi; formação do capuz acrossômico a partir da vesícula acrossômica, que reveste cerca de 2/3 do núcleo da célula e que contém enzimas hidrolíticas; migração dos centríolos da célula para o pólo oposto ao do capuz acrossômico e a formação, a partir de um deles, do flagelo, que formará a cauda do espermatozóide; deslocamento do citoplasma em direção ao flagelo, cobrindo parte dele; migração das mitocôndrias em direção ao flagelo, formando uma espiral em torno da parte inicial da cauda do espermatozóide; mudança de forma do núcleo. Ainda na figura, você pode ver que o espermatozóide é formado por três componentes principais: a *cabeça*, constituída principalmente pelo núcleo da célula, o *colo* e a *cauda*. O colo é um curto segmento que conecta a cabeça à cauda, que por sua vez, é composta por um segmento inicial denominado *peça intermediária*, seguida pela *peça principal* e pela *peça terminal*. O anel mitocondrial, que se localiza na peça intermediária, fornece a energia necessária para o movimento flagelar.

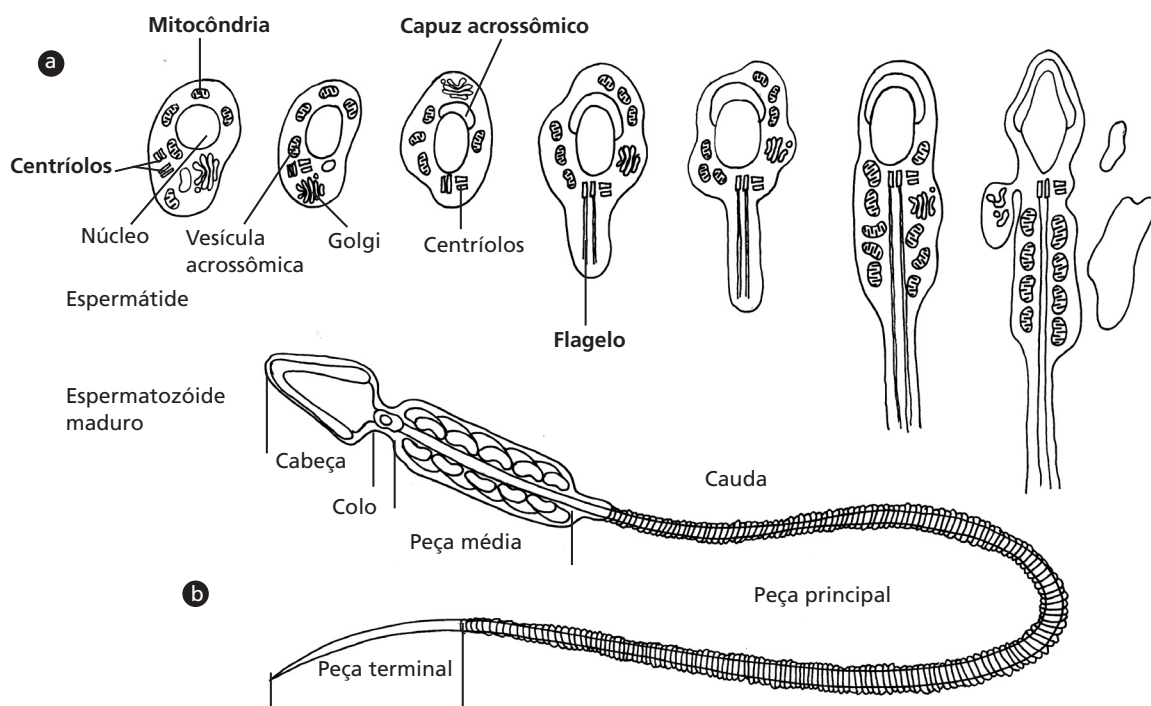


Figura 1.11: (a) Desenho esquemático ilustrando as modificações sofridas pela espermatíde para originar o espermatozóide. (b) Um espermatozóide maduro mostrando seus componentes.



Você sabia que o processo inteiro da espermatogênese leva cerca de dois meses?

Além de células da linhagem germinativa, os túbulos seminíferos são também constituídos pelas *células de Sertoli*, que sustentam, nutrem e regulam a espermatogênese. Abaixo desse epitélio, no tecido conjuntivo denominado intersticial, encontramos as *células intersticiais de Leydig*, responsáveis pela produção de testosterona.

Como você pode ver na **Figura 1.12**, o processo da espermatogênese é regulado por hormônios hipofisários: o hormônio folículo estimulante (FSH) e o luteinizante (LH).

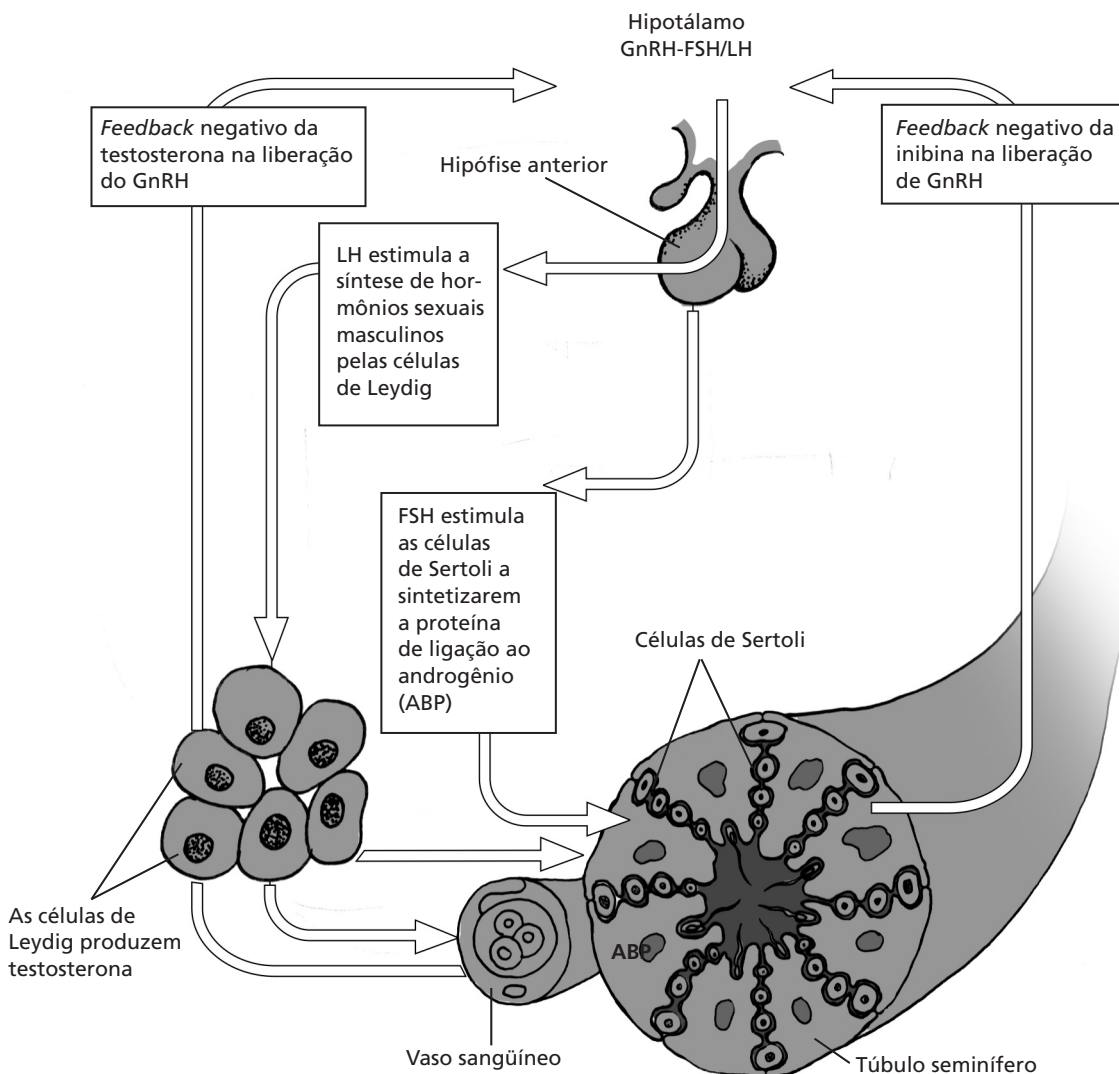


Figura 1.12: Esquema mostrando o controle hormonal da espermatogênese.

O LH estimula as células de Leydig a produzirem testosterona (hormônio sexual masculino), enquanto o FSH estimula as células de Sertoli a produzirem uma proteína de ligação a andrógenos, ABP (do inglês *androgen binding protein*), que se liga à testosterona nos túbulos seminíferos, estabilizando-a e, conseqüentemente, mantendo-a em níveis adequados para que ocorra a espermatogênese normal.

Os espermatozóides produzidos são conduzidos por uma série de túbulos intratesticulares até o epidídimo, onde são armazenados e adquirem movimentos próprios.

Como você verá a seguir, apesar de móveis, os espermatozóides ainda não estão aptos a fecundar o gameta feminino. A maturação final dos espermatozóides só irá ocorrer quando eles entrarem em contato com as secreções do aparelho reprodutor feminino, ou seja, quando sofrerem o processo de capacitação.

Após estimulação sexual, os espermatozóides saem do epidídimo e, ao passarem pela ampola do ducto deferente, recebem a secreção das vesículas seminais. Esta secreção é rica em nutrientes, tais como frutose e vitamina C, imprescindíveis para a manutenção da viabilidade desses gametas durante o trânsito pela uretra. Ao passarem pela uretra prostática, recebem a secreção da próstata, que, além de conter nutrientes, é ligeiramente alcalina. Essa alcalinidade ajuda a neutralizar o pH ácido da uretra. Daí, são conduzidos para a uretra peniana já lubrificada pela secreção das glândulas bulbouretrais.



Ao ejacular, o homem libera em média 3,5ml de sêmen (espermatozóides suspensos nas secreções das glândulas acessórias) contendo cerca de 300 a 350 milhões de espermatozóides.

Você sabia que existem métodos contraceptivos para homens? O mais eficaz deles é a vasectomia, que consiste na excisão cirúrgica de um pequeno segmento dos ductos deferentes. Após a vasectomia, o ejaculado não contém espermatozóides.

ATIVIDADES



8. Correlacione as colunas:

- | | |
|-------------------------|--|
| (a) FSH | () maturação dos espermatozóides |
| (b) LH | () secreção de substâncias nutritivas |
| (c) túbulos seminíferos | () células de Leydig |
| (d) epidídimo | () produção de espermatozóides |
| (e) vesículas seminais | () células de Sertoli |

RESPOSTA COMENTADA

Como você viu na **Figura 1.12**, o FSH é o hormônio hipofisário que estimula as células de Sertoli a sintetizarem ABP, uma proteína de ligação a andrógenos que estabiliza a testosterona e a mantém em níveis adequados para a produção de espermatozóides; o LH é também um hormônio hipofisário que estimula a síntese de testosterona pelas células de Leydig; os túbulos seminíferos são os locais onde ocorre a espermatogênese; o epidídimo é o local onde os espermatozóides são armazenados e adquirem mobilidade; e as vesículas seminais são glândulas acessórias do aparelho reprodutor masculino, cuja secreção é importante para nutrir os espermatozóides quando estes deixam o epidídimo.

9. Em relação aos espermatozóides, podemos afirmar que:

- são células haplóides;
- após a sua produção, estão aptos a fecundar o ovócito;
- são um dos componentes do sêmen;
- os itens a e c estão corretos;
- todos os itens estão corretos;

RESPOSTA COMENTADA

O item **d** está correto. Os espermatozóides são células que passaram por duas divisões meióticas que os tornaram haplóides e são também um dos componentes do sêmen. Além deles, o sêmen contém as secreções das vesículas seminais, da próstata e das glândulas bulbouretrais. Como você viu anteriormente, os espermatozóides só se tornam aptos a fecundar o ovócito após sofrerem capacitação no aparelho reprodutor feminino, por isso a letra **b** está incorreta.

10. Quais são os componentes do sêmen?

RESPOSTA COMENTADA

Você viu que o sêmen é um líquido viscoso composto por espermatozóides e por secreções das glândulas acessórias do aparelho reprodutor masculino. Ao ejacular, o homem libera cerca de 3,5ml de sêmen contendo aproximadamente 100 a 150 milhões de espermatozóides/ml.

11. Cite algumas das funções exercidas pelas glândulas acessórias do aparelho reprodutor masculino.

RESPOSTA COMENTADA

São várias as funções das secreções das glândulas acessórias ao aparelho reprodutor masculino. Dentre elas, você pode citar: a secreção das glândulas bulbouretrais lubrifica a uretra; a da próstata, além de nutrir os espermatozóides, neutraliza o pH da uretra; a das vesículas seminais é rica em substâncias nutritivas para os espermatozóides, como a vitamina C e a frutose.

CONCLUSÃO

Como você pôde observar, os aparelhos reprodutores feminino e masculino são essenciais para a geração da vida, pois é nos ovários e nos túbulos seminíferos que ocorrem, respectivamente, o desenvolvimento e a maturação dos ovócitos e a produção dos espermatozóides. Espero que o conteúdo desta aula lhe aguçe a curiosidade de conhecer como se dá o encontro entre os dois gametas e a formação de um novo ser, assunto de que trataremos na próxima aula.

RESUMO

Os ovócitos são produzidos nos ovários, através de um intrincado processo hormonal, regulado pelo eixo hipotálamo-hipofisário. Durante a ovulação, um ovócito é em geral expelido do ovário e capturado pelas fimbrias da trompa, visando à fertilização.

Os demais componentes do aparelho reprodutor feminino desempenham outras importantes funções reprodutivas, como a recepção dos espermatozóides, o fornecimento de um ambiente para o desenvolvimento do feto, a sua expulsão para o ambiente externo e, finalmente, a nutrição do recém-nascido.

Os túbulos seminíferos são muito importantes para a produção dos espermatozóides. Após serem produzidos, os espermatozóides adquirem mobilidade no epidídimo. Ao serem ejaculados, são eliminados juntamente com a secreção das glândulas acessórias, constituindo o sêmen.

ATIVIDADES FINAIS

1. Correlacione os ciclos hipofisário, ovariano e uterino.

RESPOSTA COMENTADA

Em um ciclo menstrual de 28 dias, os quatro ou cinco primeiros dias correspondem à fase menstrual, devido à queda dos níveis de estrogênio e de progesterona. Em resposta a essa queda hormonal, a hipófise, comandada pelo hipotálamo, libera para a corrente sanguínea o FSH. O FSH atua sobre os ovários estimulando a maturação de vários folículos ovarianos, que passam por várias fases de amadurecimento. Enquanto estão amadurecendo, esses folículos secretam estrogênio, que atua sobre o endométrio, estimulando a proliferação da camada funcional perdida no ciclo anterior. Por volta do 14º dia do ciclo, os altos níveis de estrogênio produzidos pelos vários folículos em maturação atuam sobre o hipotálamo. Este secreta fatores que inibem a liberação de FSH e que estimulam a liberação de LH. O pico de LH promove alterações no

ovário, particularmente no folículo de De Graaf, que leva ao término da primeira divisão e ao início da segunda divisão meiótica que estaciona na metáfase e à ovulação. Na ovulação, o ovócito em metáfase suspensa e o primeiro corpo polar, envolvidos pela zona pelúcida e pela corona radiata, são eliminados do ovário e capturados pelas fimbrias da trompa. As células restantes do folículo ovariano, estimuladas pelo LH, proliferam para constituir o corpo lúteo, que continua a produzir pequenas quantidades de estrogênio e passa a secretar, ativamente, progesterona. A progesterona conclui a fase de preparo do endométrio para receber o embrião, caso ocorra a fertilização. Sob a ação da progesterona, o endométrio se torna secretor. Caso não ocorra a fertilização, o corpo lúteo regride dez dias após a ovulação, provocando uma queda nos níveis de estrogênio e progesterona. Essa queda hormonal provoca vasoconstrição nas artérias espiraladas do endométrio, com conseqüente isquemia e necrose da camada funcional, que acaba sendo eliminada sob a forma de menstruação. O ciclo menstrual é, portanto, dividido em quatro fases: menstrual, proliferativa ou estrogênica, secretora ou prostaglandina e isquêmica.

2. O que é menstruação?

RESPOSTA COMENTADA

É a perda da camada funcional do endométrio, provocada pela degeneração do corpo lúteo ovariano e, conseqüentemente, pela queda nos níveis de estrogênio e progesterona que mantinham a atividade endometrial.

3. O que é e o que representa, funcionalmente, o processo de capacitação dos espermatozoides?

RESPOSTA COMENTADA

Capacitação é um processo bioquímico que acontece com os espermatozóides ao entrarem em contato com algumas substâncias secretadas pelo aparelho reprodutor feminino, particularmente pelo útero e pelas trompas. Por esse processo, algumas proteínas e glicoproteínas seminais são removidas da superfície do acrossoma dos espermatozóides, tornando-os mais ativos e capazes de sofrer reação acrossômica. Só após a capacitação é que os espermatozóides tornam-se aptos a fecundar.

4. O que é reação acrossômica?

RESPOSTA COMENTADA

Reação acrossômica é um processo de mudanças moleculares complexas, que resultam no aparecimento de pontos de fusão entre a membrana externa do acrossoma e a membrana plasmática do espermatozóide. Essas pequenas aberturas permitem a liberação das enzimas hidrolíticas armazenadas no acrossoma.

5. Correlacione os ciclos hipofisário e testicular.

RESPOSTA COMENTADA

A partir da puberdade, a hipófise comandada pelo hipotálamo libera, simultaneamente, as gonadotrofinas FSH e LH. O LH estimula as células de Leydig dos túbulos seminíferos a secretarem testosterona, hormônio responsável pelas características sexuais secundárias masculinas e pela produção de espermatozóides. O FSH, por sua vez, estimula as células de Sertoli a produzirem ABP, uma proteína que se liga com avidéz à testosterona, aumentando a concentração desse hormônio nos túbulos seminíferos, onde ele é necessário para a espermatogênese.

AUTO-AVALIAÇÃO

Você conseguiu responder a todas as atividades? É muito importante que você domine os conhecimentos sobre o ciclo hormonal, tanto no aparelho reprodutor masculino quanto no feminino, pois estes conhecimentos serão necessários para a compreensão do processo de fertilização. Se ainda tiver dúvidas, converse com seus colegas e com o seu tutor.

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, estudaremos com você o processo da fertilização e as suas consequências nas duas primeiras semanas do desenvolvimento. Até lá!

LEITURAS RECOMENDADAS

MOORE, Keith L.; PERSAUD, Tomas V. N. *Embriologia clínica*. 7.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 609p.

SADLER, Thomas W. *Langman : embriologia médica*. 7.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 282p.

Desenvolvimento embrionário humano II – como somos gerados

AULA 2

Meta da aula

Explicar os mecanismos de geração da vida humana nas duas primeiras semanas do desenvolvimento embrionário.

objetivos

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

- Definir os mecanismos biológicos que ocorrem na fecundação e os seus resultados.
- Listar os eventos morfológicos que ocorrem durante a clivagem e a nidação.
- Resumir a formação do disco embrionário didérmico.
- Descrever a formação inicial do desenvolvimento placentário: formação das vilosidades coriônicas primárias.

Pré-requisitos

É importante, para a compreensão do conteúdo desta aula, que você tenha entendido as informações morfofuncionais sobre a produção de gametas contidas na Aula 1 desta disciplina, na Aula 3 de Genética Básica, e que também tenha conhecimentos básicos de Biologia Celular.

INTRODUÇÃO

Como você viu na aula anterior, o mistério da origem da vida data dos tempos antes de Cristo. A curiosidade sobre o assunto que você irá estudar permitiu que tenhamos hoje, com a evolução do conhecimento e da tecnologia de ponta, dados que lhe vão permitir compreender como um ser unicelular forma um organismo tão complexo.

FERTILIZAÇÃO

A *fertilização* ou *fecundação* ocorre geralmente na região mais larga e mais pregueada da tuba uterina denominada ampola. É aí que normalmente se dá o encontro entre o ovócito secundário, que está estacionado na metáfase da segunda divisão meiótica (Aula 3 de Genética Básica), e o espermatozóide.



Ovócitos humanos mantêm-se viáveis para a fertilização por até 24 horas após a ovulação.
Espermatozóides humanos mantêm-se viáveis para a fertilização até 48 horas no trato genital feminino.

ACROSSOMA

Organela semelhante a um capuz que cobre cerca de 2/3 do núcleo do espermatozóide e que contém várias enzimas hidrolíticas. Essas enzimas serão importantes para permitir que o espermatozóide atravesse as barreiras em torno do ovócito no momento que antecede a fertilização.

ENZIMAS HIDROLÍTICAS

Enzimas que quebram moléculas maiores em moléculas menores, por meio de um processo bioquímico intermediado pela água.

Mais uma vez, você deve ter em mente que para fecundar o ovócito, os espermatozóides ejaculados devem passar por um período de condicionamento no aparelho genital feminino, denominado *capacitação* (Aula 1 de Corpo Humano I). Durante esse período, por ação de substâncias secretadas pelas mucosas uterina e tubária, uma capa de glicoproteínas e de proteínas seminais é removida da superfície do **ACROSSOMA** do espermatozóide, o que modifica não somente a razão colesterol/fosfolipídios da membrana, como também o potencial de membrana. Isso torna o espermatozóide mais ativo e apto a fecundar o ovócito.

Na **Figura 2.1**, você pode observar que alguns espermatozóides capacitados alcançam a região ampular da tuba uterina, onde o ovócito se encontra, e começam a sofrer *reação acrossômica*. Na verdade, o número deles é bem maior do que o mostrado na figura, e esse número pode chegar a algumas centenas de espermatozóides. Essa reação resulta do aparecimento de múltiplos pontos de fusão entre a membrana externa do acrossoma e a membrana plasmática do espermatozóide. É essa mesma reação que permitirá a saída do conteúdo enzimático aí armazenado. Como você verá a seguir, as **ENZIMAS HIDROLÍTICAS** liberadas permitirão a aproximação do espermatozóide e do ovócito.



ATIVIDADE

1. Na espécie humana, a fecundação é importante para a ativação e maturação do ovócito II. Assim, normalmente, tal fato deverá ocorrer:

- no terço distal ampular da tuba uterina;
- na porção intramural da tuba uterina;
- na tuba e na cavidade uterina;
- no terço médio da tuba uterina;
- em qualquer parte da tuba uterina.

RESPOSTA COMENTADA

A fecundação ocorre, em geral, na região mais dilatada e pregueada da mucosa tubária, a ampola. Portanto, o item correto é o a. Lembre-se de que, se a fecundação ocorrer em outro local da trompa, o processo de implantação no local correto, ou seja, na parede anterior ou posterior do corpo do útero, poderá ser prejudicado.

Fases da fertilização

É importante que você leia com atenção as fases da fertilização, pois elas lhe permitirão conhecer, passo a passo, como ocorre o encontro entre o espermatozóide e o ovócito e a formação de um novo ser. Você poderá acompanhar essas fases através das Figuras 2.1 e 2.2.

1. Passagem do espermatozóide pelas células da corona radiata – enzimas liberadas pelo acrossoma auxiliadas por enzimas secretadas pela mucosa tubária, bem como os movimentos da cauda do espermatozóide provocam a dispersão das células da corona radiata e põem os espermatozóides em contato com a zona pelúcida.

2. Passagem dos espermatozóides pela zona pelúcida – enzimas, como esterases, acrosina e neuraminidase, também liberadas pelo acrossoma, destroem a zona pelúcida e permitem que o espermatozóide alcance o ovócito.

3. Reação de zona e reação cortical – tendo o espermatozóide ultrapassado a zona pelúcida, enzimas lisossômicas, liberadas por grânulos localizados na periferia do ovócito, modificam a permeabilidade tanto da zona pelúcida quanto da membrana plasmática do ovócito, tornando-as impermeáveis à entrada de outros espermatozóides. Esse fenômeno irá bloquear a **POLIESPERMIA**.

4. Fusão de membranas – as membranas plasmáticas de ambas as células se fundem, permitindo que o núcleo e a cauda do espermatozóide penetrem no citoplasma do ovócito. A membrana do espermatozóide não entra no ovócito (ver Figura 2.1).

POLIESPERMIA

É a fertilização de um ovócito por dois ou mais espermatozóides.

5. **Término da segunda divisão meiótica e formação do pronúcleo feminino** – com a entrada do espermatozóide, o ovócito é ativado, sua segunda divisão meiótica termina e origina um óvulo e um segundo corpúsculo polar. Os cromossomos do núcleo do óvulo se descondensam para formar o pronúcleo feminino.

6. **Formação do pronúcleo masculino** – a cauda do espermatozóide degenera e seu núcleo cresce (cromossomos também se descondensam) para formar o pronúcleo masculino.

7. **Fusão dos pronúcleos** – os pronúcleos se aproximam, seus envoltórios nucleares se dissolvem e os materiais genéticos de ambas as células se misturam (anfimixia). Após a fusão, o envoltório nuclear é refeito. Está formada a célula-ovo ou zigoto. A partir daí, uma nova vida se desenvolverá.

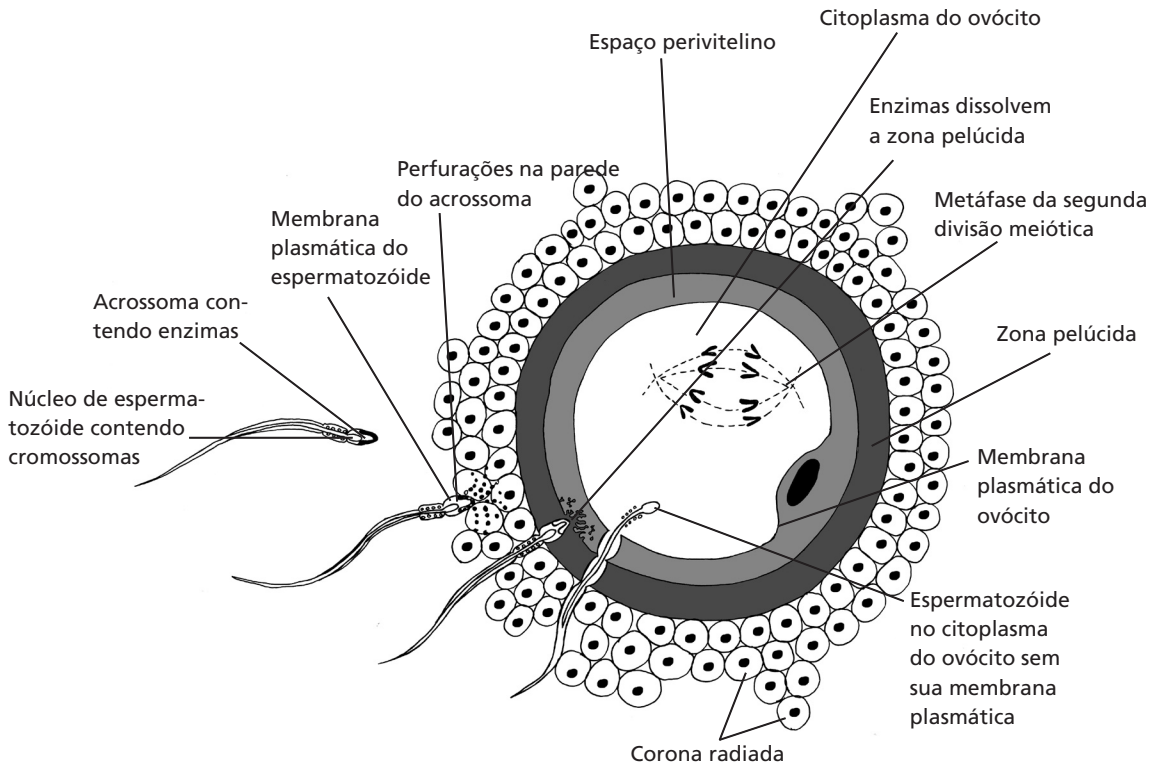


Figura 2.1: Desenho esquemático mostrando as etapas da fertilização. Você pode observar um ovócito na metáfase da segunda divisão meiótica e um corpúsculo polar envoltos pela zona pelúcida e pela corona radiata. Vários espermatozóides capacitados se aproximam do ovócito e sofrem reação acrossômica. É possível observar que após a liberação das enzimas acrossômicas os espermatozóides atravessam a corona radiata e, em geral, um deles atravessa a zona pelúcida e fusiona sua membrana com a do ovócito. Somente o núcleo e o flagelo do espermatozóide penetram no ovócito.

Com a fertilização, ocorre a restauração do número diplóide de cromossomos da espécie, bem como sua variação, em virtude da mistura dos materiais genéticos materno e paterno. Ocorre também a determinação cromossômica do sexo e a ativação metabólica do zigoto que iniciará o processo de clivagem.

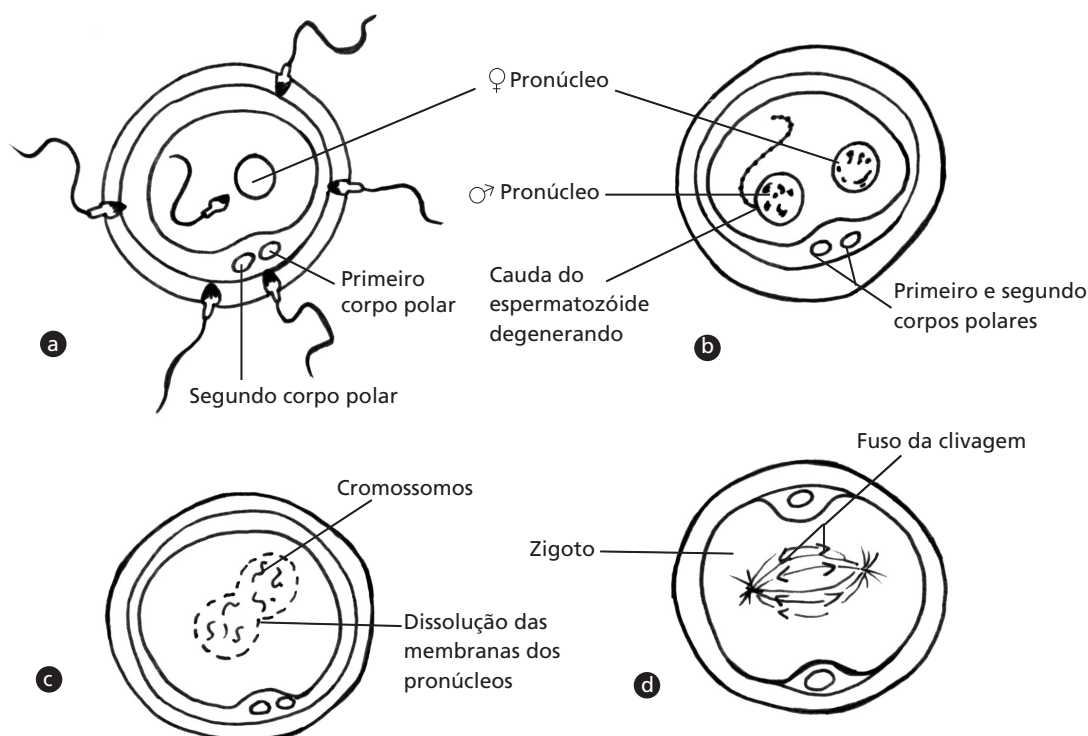


Figura 2.2: Desenhos esquemáticos ilustrando a fertilização. (a) A corona radiata desapareceu, um espermatozóide penetrou no ovócito e ocorreu o término da segunda divisão meiótica, formando o óvulo e o segundo corpo polar. O núcleo do óvulo tornou-se o pronúcleo feminino. (b) O núcleo do espermatozóide aumentou de volume e tornou-se o pronúcleo masculino. (c) Está ocorrendo a fusão dos pronúcleos. (d) Formou-se o zigoto contendo um número diplóide de cromossomos.



Fertilização *in vitro*

O processo de fertilização que você acabou de ver pode ser feito em laboratório, permitindo a realização dos sonhos de mulheres estéreis. A metodologia para isso inclui: tratamento com gonadotrofinas para estimular ovulações múltiplas; aspiração dos folículos maduros por laparoscopia (exame dos ovários com um aparelho denominado laparoscópio); fertilização dos ovócitos colocados em uma placa de Petri, contendo meio de cultura adequado e espermatozóides capacitados; monitorização da fertilização e da clivagem, ao microscópio, e transferência do zigoto no estágio de quatro a seis células para o interior do útero. Como, em geral, mais de quatro embriões são inseridos no útero, a probabilidade de nascimentos múltiplos é grande.

CLIVAGEM

Após a formação do zigoto, você deve estar se perguntando o que acontecerá. A partir da sua formação, o zigoto, depois de ativado, inicia uma série de divisões mitóticas sucessivas, denominadas *clivagem*. As células resultantes dessas divisões são conhecidas como blastômeros. A primeira divisão do zigoto ocorre cerca de 30 horas após a fertilização, dando origem a dois blastômeros. Enquanto se dividem e ainda envolvidos pela zona pelúcida, os blastômeros vão diminuindo de tamanho e migrando para o útero, local onde futuramente ocorrerá a implantação. Aproximadamente três dias após a fertilização, o conceito, constituído por 12 a 16 blastômeros ainda envolvidos pela zona pelúcida, denominado *mórula*, cai na cavidade uterina (Figura 2.3).

No ambiente uterino, a zona pelúcida começa a ser digerida por enzimas do fluido uterino, que penetra por entre os blastômeros e forma uma cavidade, a blastocele, que separa dois grupos de células: as mais periféricas, o *trofoblasto*, e as mais centrais, o *embrioblasto* ou *massa celular interna*. Nessa fase, o conceito é denominado *blastocisto* (Figuras 2.3 e 2.4).

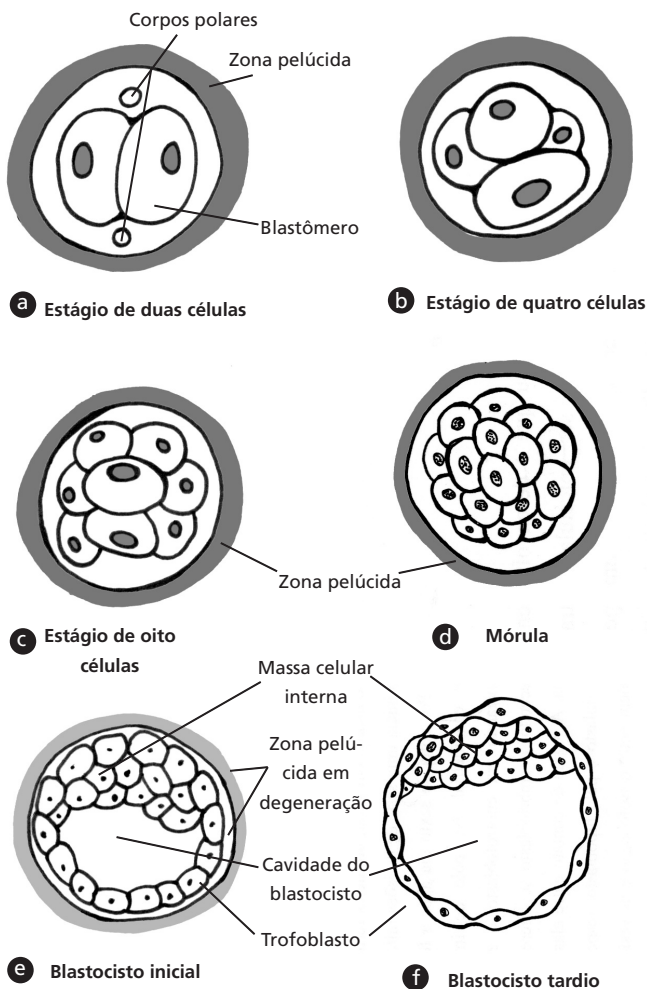


Figura 2.3: Desenhos esquemáticos ilustrando a clivagem do zigoto. (a a c) Mostram vários estágios da clivagem. (d) Ilustra a mórula contendo 12 a 16 blastômeros. Apesar do aumento no número de blastômeros, note que o seu tamanho vai diminuindo, pois a zona pelúcida forma uma contenção externa. (e e f) Mostram a formação do blastocisto. Observe que, nesta fase, a zona pelúcida desaparece. A partir de agora, o blastocisto, constituído pelo trofoblasto e pelo embrioblasto, vai começar a crescer.

O blastocisto “nada” livremente nas secreções uterinas por cerca de dois a três dias, e os blastômeros, agora sem a barreira externa formada pela zona pelúcida, crescem rapidamente.

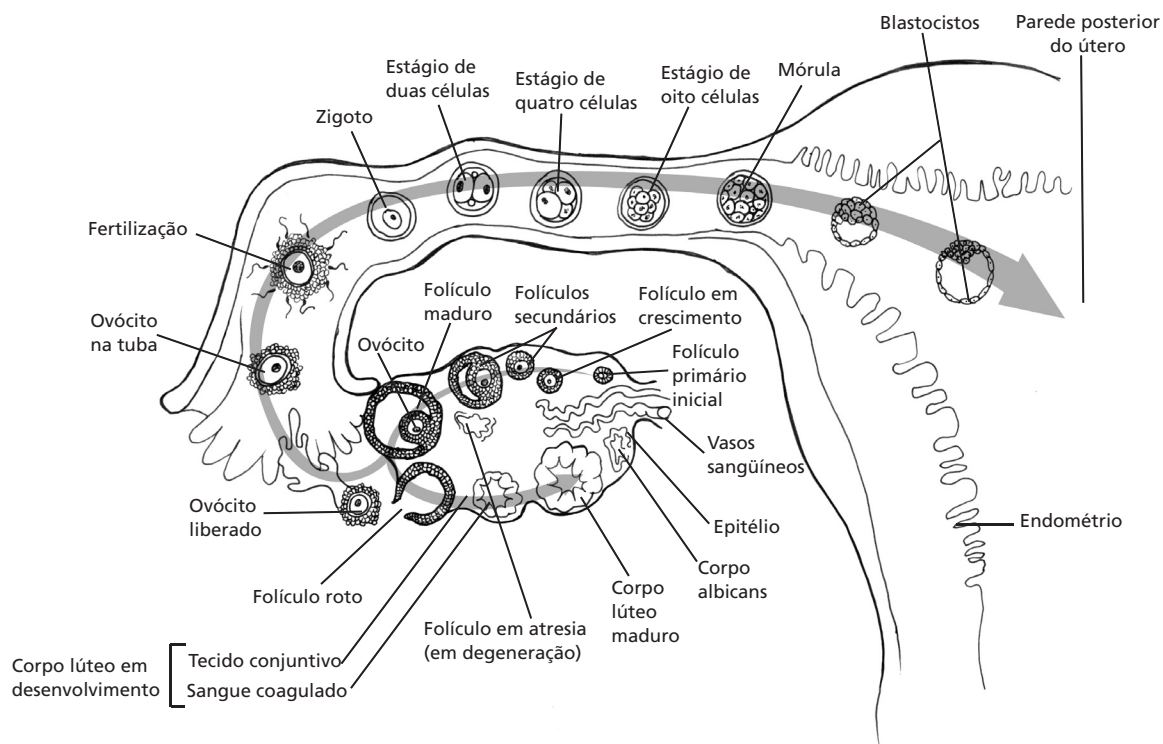


Figura 2.4: Resumo esquemático do ciclo ovariano, da fertilização e da clivagem. As setas indicam o fluxo de ovócitos no ovário e do zigoto na trompa e útero, respectivamente.

ATIVIDADE



2. Sobre a clivagem do zigoto, podemos afirmar, exceto:

- O blastocisto apresenta uma massa celular interna que participa da formação da placenta.
- Ocorre à medida que o zigoto caminha em direção ao útero.
- Inicia uma série de divisões mitóticas do zigoto.
- Antes de a série ser completada, ocorre o desaparecimento do 2º corpúsculo polar.
- Como resultado, ocorre a formação do blastocisto.

RESPOSTA COMENTADA

O item **a** está errado. Como você já viu na **Figura 2.3**, a massa celular interna do blastocisto, também conhecida como embrioblasto, origina todos os tecidos e órgãos do embrião. A parte fetal da placenta é originada pelo trofoblasto.

NIDAÇÃO E PRIMEIRA SEMANA DO DESENVOLVIMENTO

Nidação é o processo de implantação do blastocisto no endométrio, que se inicia por volta do sexto dia após a fertilização (vigésimo dia de um ciclo menstrual de 28 dias) e é concluído no décimo dia. O local preferencial para a implantação é a parte superior do corpo do útero,

sendo mais freqüente na parede posterior do que na anterior.

Como você já viu, após a fertilização, o zigoto sofre sucessivas divisões mitóticas que resultam na formação do blastocisto. O blastocisto se fixa



Gravidez ectópica – é a gravidez na qual a implantação do blastocisto acontece fora do útero, como, por exemplo, na trompa.

Ao terminar o processo de nidação, o conceito está na metade da segunda semana do desenvolvimento embrionário.

ao epitélio endometrial, em geral pelo lado adjacente ao embrioblasto, e preferencialmente em um local da mucosa endometrial entre duas glândulas. No local de contato com o endométrio, o trofoblasto se organiza em duas camadas: a mais interna, o *citotrofoblasto*, que prolifera muito rapidamente para originar a camada mais externa, o *sinciotrofoblasto* (ver **Figura 2.5**). A matriz do tecido conjuntivo local tem também grande participação nesse processo de diferenciação do trofoblasto. Enzimas hidrolíticas liberadas pelo sinciotrofoblasto vão digerindo a mucosa endometrial, permitindo que, pouco a pouco, o blastocisto nela se implante completamente. O sangue dos vasos rompidos pelo sinciotrofoblasto, bem como a secreção das glândulas endometriais irão nutrir o blastocisto na primeira semana de desenvolvimento (**Figura 2.6**).

Você sabia que, além de permitir a implantação do blastocisto, o sinciotrofoblasto secreta para a corrente sanguínea materna uma *gonadotrofina coriônica humana* (hCG), que manterá a atividade do corpo lúteo do ovário durante a gravidez e formará a base dos *testes de gravidez*?

Alguns testes para detecção de gravidez podem ser feitos em laboratório. Por um deles detecta-se o fator inicial de gravidez: uma proteína secretada pelo trofoblasto, que surge no soro materno dentro de 24 a 48 horas após a fertilização. Esse teste pode ser realizado durante os primeiros 10 dias de desenvolvimento. Outro, é o teste de detecção de hCG pelo sinciotrofoblasto. Da mesma forma que o fator inicial de gravidez, a hCG produzida pelo sinciotrofoblasto cai no sangue materno e pode ser detectada por meio de anticorpos marcados. No final da segunda semana do desenvolvimento, a quantidade de hCG produzida é suficiente para dar um resultado positivo ao teste de gravidez, embora a mulher provavelmente ainda não saiba que está grávida.

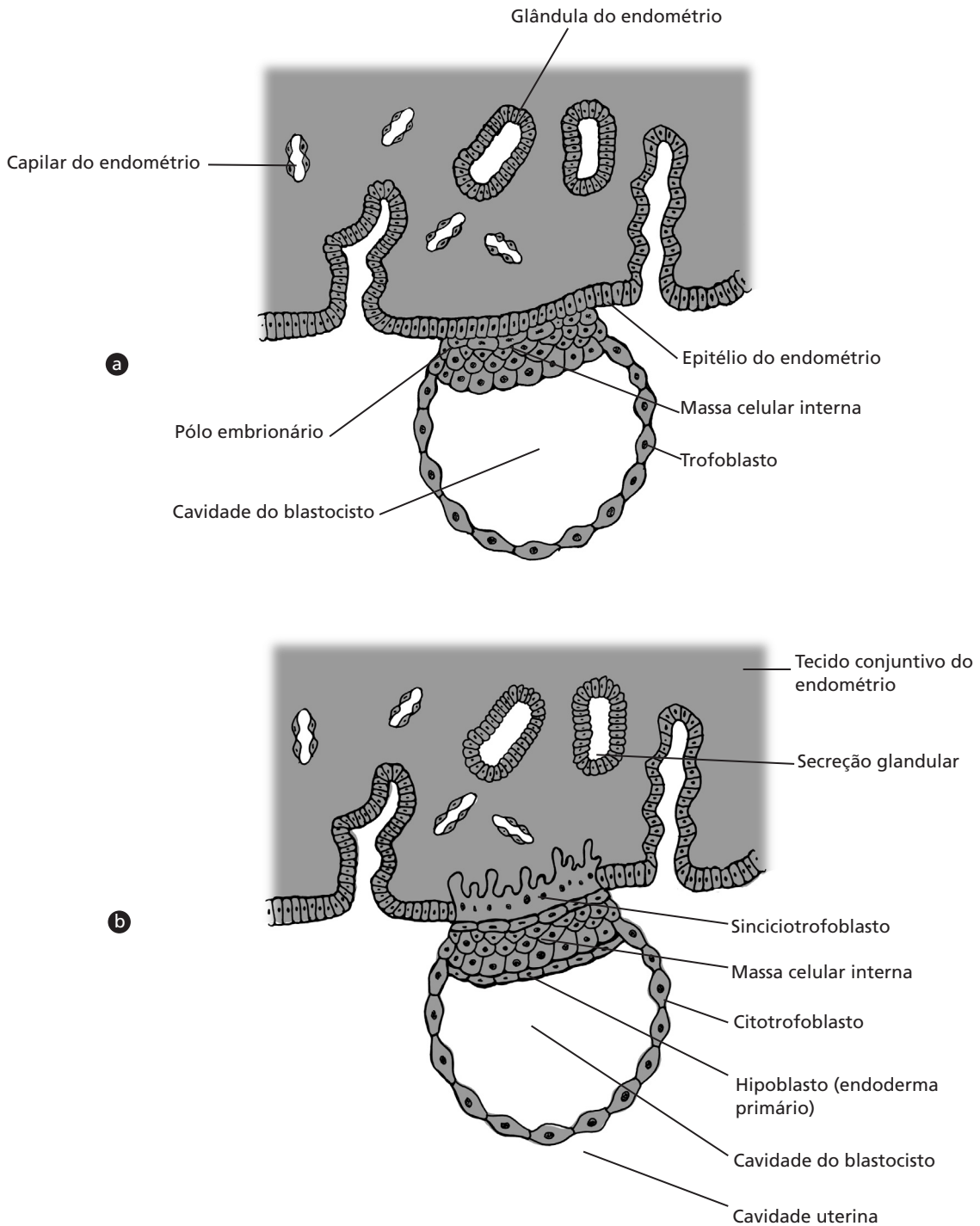


Figura 2.5: Desenhos esquemáticos mostrando a implantação do blastocisto no endométrio. (a) Seis dias: o trofoblasto se prendeu ao epitélio endometrial pelo pólo embrionário do blastocisto. (b) Sete dias: no pólo de implantação, o trofoblasto já começa a se diferenciar em citotrofoblasto e sinciotrofoblasto.

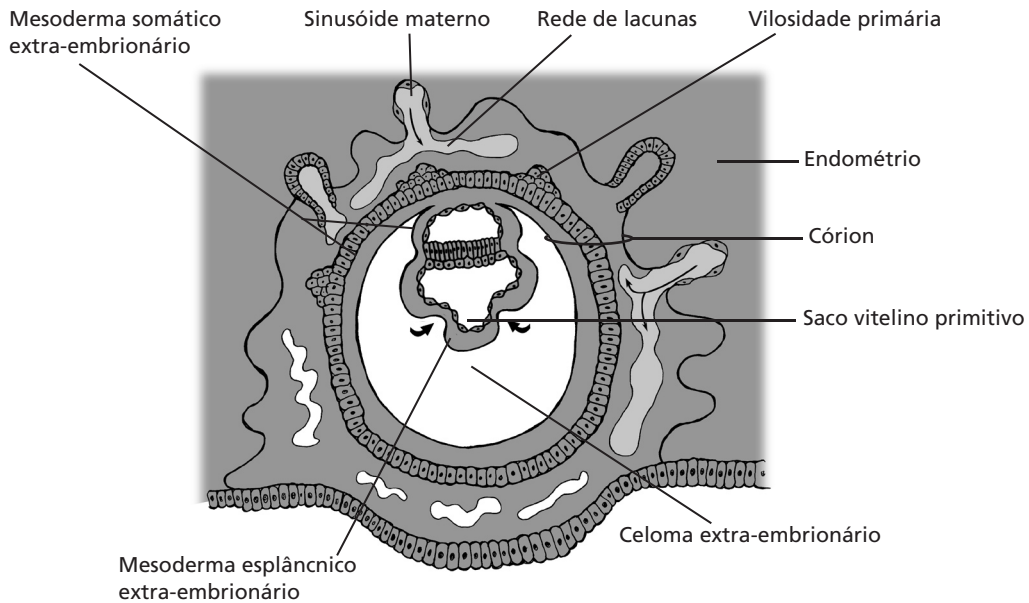


Figura 2.6: Desenho esquemático de um embrião humano de 13 dias já completamente implantado. Você pode observar que o epitélio endometrial já foi recomposto e que o sinciotrofoblasto rompe vasos e glândulas à medida que vai digerindo a mucosa endometrial. O sangue dos vasos rompidos e a secreção das glândulas se acumulam em lacunas no sinciotrofoblasto e irão nutrir o conceito nesse período inicial de desenvolvimento.

ATIVIDADES



3. A reação acrossômica, importante para o processo de fecundação, ocorre:

- antes da capacitação, assim que a célula é liberada na luz do túbulo seminífero;
- após a capacitação, no aparelho genital feminino, pouco antes do contato com a célula feminina;
- após a capacitação durante o processo de maturação no epidídimo;
- antes da capacitação, logo após a ejaculação no aparelho genital feminino;
- depois da capacitação, durante o trajeto do sêmen pelo canal deferente.

RESPOSTA COMENTADA

A reação acrossômica ocorre após a capacitação dos espermatozoides. Ao entrar em contato com substâncias presentes nas secreções do aparelho reprodutor feminino, o espermatozoide sofre uma modificação bioquímica em sua membrana plasmática que o torna apto a sofrer reação acrossômica e assim liberar suas enzimas hidrolíticas que vão permitir o seu encontro com o ovócito. Portanto, o item correto é **b**.

4. São resultados da fertilização:

- a. restauração do número diplóide de cromossomos;
- b. variação da espécie;
- c. determinação do sexo genético;
- d. ativação do zigoto e início da clivagem;
- e. todos os itens estão corretos.

RESPOSTA COMENTADA

No processo de fertilização, temos a união de duas células haplóides formando uma célula diplóide; a mistura dos materiais genéticos paterno e materno possibilita a variação da espécie; é na hora da fertilização que é determinado o sexo genético do embrião, embora morfologicamente o sexo só possa ser determinado bem mais tarde. Se o óvulo for fecundado por um espermatozóide X, o embrião será do sexo feminino. Se o for por um espermatozóide Y, o embrião será do sexo masculino; com a fertilização, o zigoto é ativado metabolicamente e inicia as sucessivas divisões mitóticas da clivagem. O item correto é, portanto, o e.

5. O que é e onde ocorre a clivagem?

RESPOSTA COMENTADA

Clivagem é um processo de sucessivas divisões mitóticas sofridas pela célula-ovo ou zigoto que origina os blastômeros. Ela ocorre na trompa.

6. De que é constituído o blastocisto?

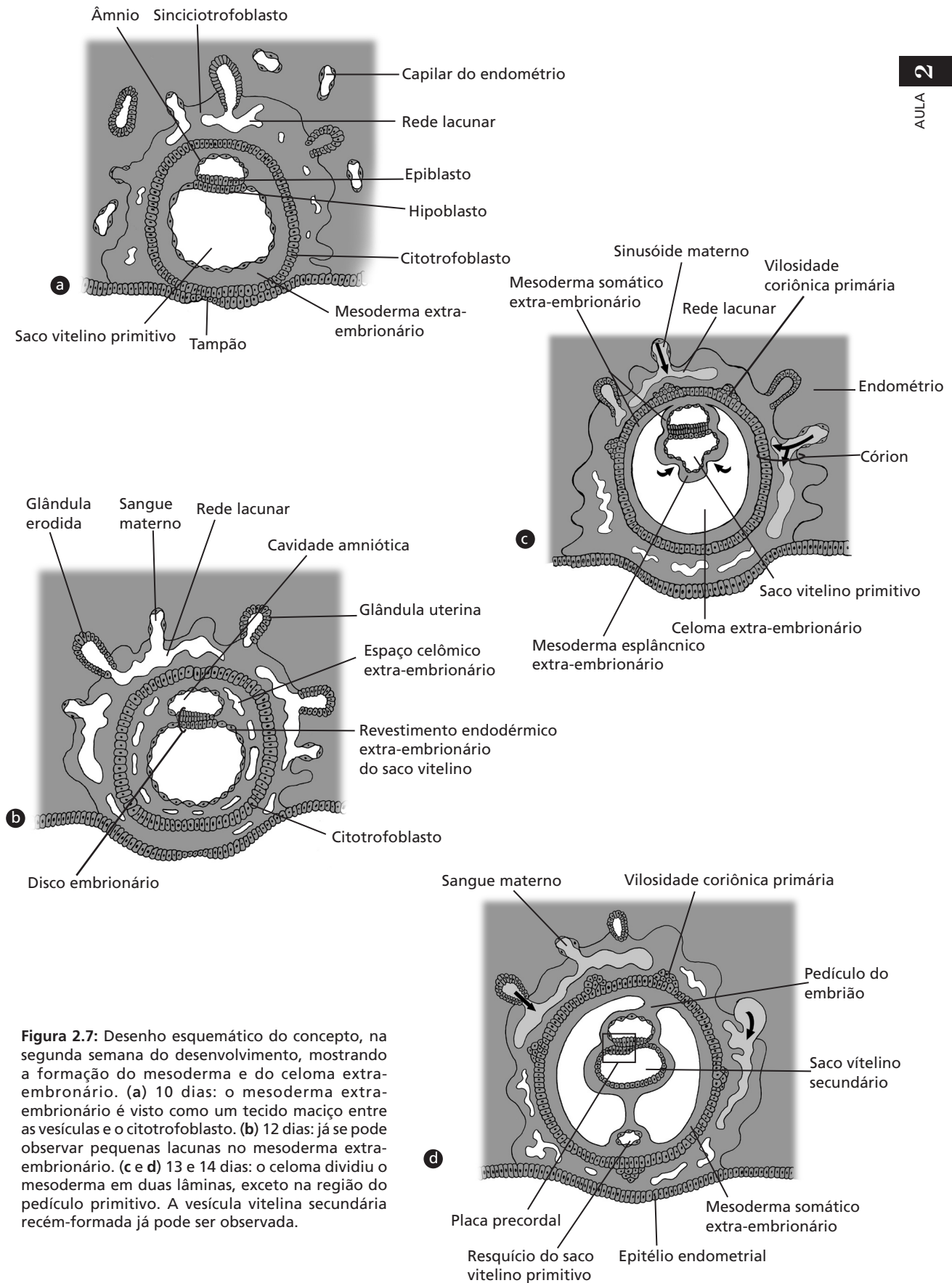
RESPOSTA COMENTADA

O blastocisto é constituído por uma camada de células achatadas, o trofoblasto, por um grupo de células arredondadas compactadas, o embrioblasto, e por uma cavidade denominada blastocele.

SEGUNDA SEMANA DO DESENVOLVIMENTO

Como você pode acompanhar pela **Figura 2.7**, no início da segunda semana, enquanto o trofoblasto se diferencia em cito e sinciotrofoblasto, algumas células do embrioblasto formam duas vesículas, a *amniótica* e a *vitelina primitiva*. Essas duas vesículas podem ser comparadas a dois balões de gás presos por uma de suas faces. A vesícula superior, a amniótica, apresenta um soalho que contacta o teto da vesícula inferior, a vitelina. O soalho da vesícula amniótica é formado por um epitélio cilíndrico simples que constitui o epiblasto, enquanto o teto da vesícula vitelina é formado por um epitélio cúbico simples denominado *hipoblasto*. A calota da vesícula amniótica é composta por células achatadas denominadas amnioblastos; elas são derivadas do epiblasto e a da vesícula vitelina primitiva por células derivadas do hipoblasto. A vesícula vitelina primitiva será, posteriormente, substituída pela *vesícula vitelina definitiva* (ver **Figuras 2.6 e 2.7**). O embrião será formado pelos dois folhetos primitivos, o epiblasto e o hipoblasto. Os demais componentes formarão os anexos embrionários.

Continuando a falar sobre desenvolvimento, algumas células migram do hipoblasto para se interpor entre as duas vesículas e o trofoblasto, constituindo uma camada de tecido conjuntivo frouxo, denominada *mesoderma extra-embrionário*. Pequenas cavidades cheias de líquido aparecem nesse mesoderma; aos poucos, elas se juntam para formar uma grande cavidade, o *celoma extra-embrionário*, que divide o mesoderma extra-embrionário em duas lâminas, exceto na região que se estabelecerá, como pedículo primitivo do embrião, o futuro cordão umbilical. A lâmina de mesoderma em contato com o trofoblasto e com o âmnio denomina-se *mesoderma somático extra-embrionário*; a que envolve a vesícula vitelina é o mesoderma esplâncnico extra-embrionário. O mesoderma somático extra-embrionário e as duas camadas do trofoblasto, por sua vez, constituem o córion, a parede do saco gestacional (**Figura 2.7**).





As duas vesículas, amniótica e vitelina, são suspensas pelo pedículo primitivo do embrião dentro de um saco maior, o *saco coriônico*.

As células cúbicas do hipoblasto se modificam para cilíndricas em uma determinada área do disco bilaminar, constituindo a *placa precordal* que marca o futuro local da boca e de um centro organizador da região da cabeça (Figuras 2.7.d e 2.8).

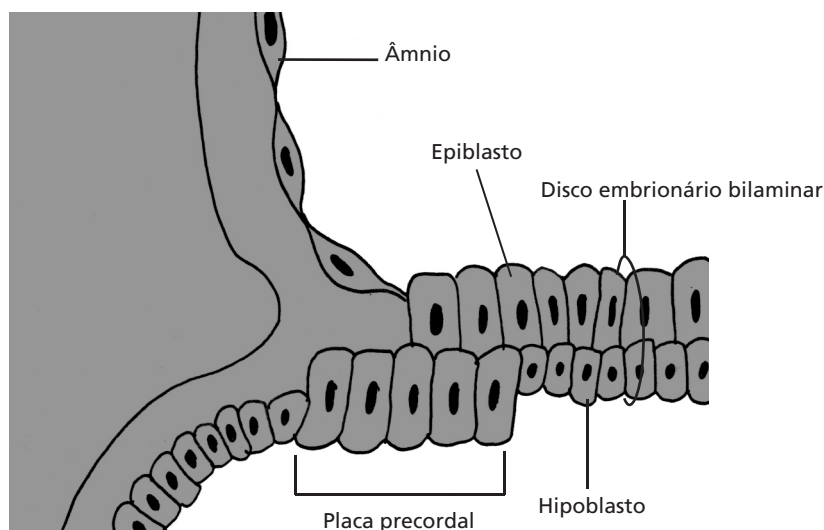


Figura 2.8: Desenho esquemático da placa precordal.

ATIVIDADES



7. O disco embrionário didérmico é formado por:

- a. ectoderma e mesoderma;
- b. epiblasto e hipoblasto;
- c. epiblasto e mesoblasto;
- d. ectoderma e epiblasto;
- e. hipoblasto e mesoderma.

RESPOSTA COMENTADA

Relembrando: você viu que na segunda semana do desenvolvimento, o disco didérmico ou bilaminar é formado pelo epiblasto e pelo hipoblasto. b é o item correto.

8. O córion é constituído por:

- a. mesoderma extra-embriónico esplâncnico e as duas camadas do trofoblasto;
- b. mesoderma somático e as duas camadas do trofoblasto;
- c. mesoderma extra-embriónico somático e esplâncnico;
- d. citotrofoblasto e sinciotrofoblasto;
- e. nenhum dos itens acima está correto.

RESPOSTA COMENTADA

*O item **b** está correto. Lembre-se de que o córion é composto por citotrofoblasto, sinciotrofoblasto e pela lâmina do mesoderma somático a eles unida.*

9. Como e quando se inicia o processo de implantação do blastocisto?

RESPOSTA COMENTADA

O processo de implantação do blastocisto tem início por volta do sexto dia após a fertilização e é concluído, aproximadamente, no décimo dia. Ele se inicia quando o blastocisto interage com o epitélio que reveste o endométrio. No local de interação, o trofoblasto se diferencia em citotrofoblasto e sinciotrofoblasto. O sinciotrofoblasto secreta enzimas hidrolíticas que destroem o endométrio no local, permitindo que o blastocisto vá se aprofundando e penetrando completamente no endométrio.

10. O que é placa precordial?

RESPOSTA COMENTADA

A placa precordial é uma área especializada e modificada do hipoblasto que marca o futuro local da boca e de um centro organizador da região da cabeça. Nessa área, as células cúbicas do hipoblasto tornam-se cilíndricas.

VILOSIDADES CORIÔNICAS PRIMÁRIAS

Se você observar as Figuras 2.7 e 2.9, verá que a placenta, órgão de trocas entre o embrião/feto e a mãe, começa a se formar à medida que o sinciotrofoblasto vai erodindo os vasos sanguíneos, e as glândulas endometriais vão formando pequenas lacunas contendo sangue e secreção das glândulas. Essas lacunas se comunicam com os capilares maternos e representam o início da circulação uteroplacentária. Logo, o citotrofoblasto subjacente, provavelmente induzido pelo mesoderma somático extra-embriônico, projeta-se em direção ao sinciotrofoblasto para formar as *vilosidades coriônicas primárias*, que representam o primeiro estágio do desenvolvimento placentário.

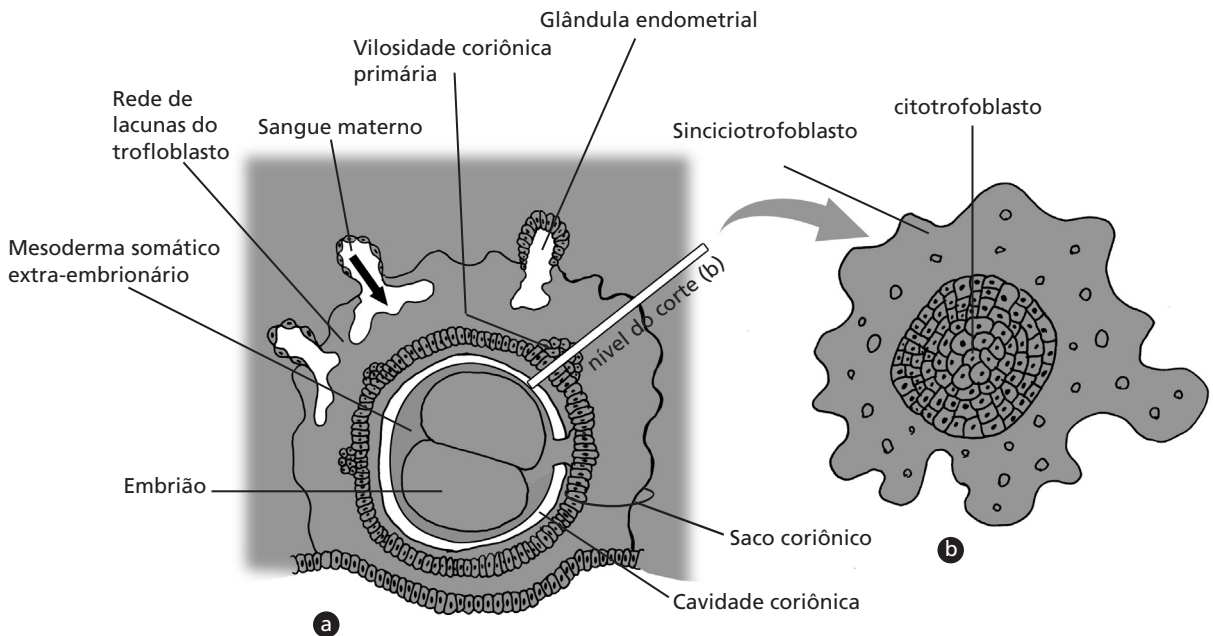


Figura 2.9: Desenho esquemático do conceitoo com 14 dias. (a) Representa o conceitoo. (b) Representa um corte transversal da vilosidade coriônica primária.



ATIVIDADES

11. As vilosidades coriônicas primárias são constituídas por:

- a. sinciotrofoblasto, citotrofoblasto;
- b. sinciotrofoblasto, citotrofoblasto, mesoderma com vasos sangüíneos;
- c. sinciotrofoblasto, citotrofoblasto, mesoderma sem vasos sangüíneos;
- d. sinciotrofoblasto, mesoderma sem vasos sangüíneos;
- e. citotrofoblasto, mesoderma sem vasos sangüíneos.

RESPOSTA COMENTADA

*O item **a** está correto. As vilosidades coriônicas ou placentárias primárias são constituídas por cito e sinciotrofoblasto.*

12. Que estrutura extra-embriônica será formada a partir das vilosidades coriônicas?

RESPOSTA COMENTADA

Você viu, no final desta aula, que o processo de formação da placenta se inicia com o desenvolvimento das vilosidades coriônicas primárias.

CONCLUSÃO

Você observou que o desenvolvimento embrionário humano a partir do zigoto é muito complexo. Um ser unicelular é transformado, em pouquíssimo tempo, em um ser multicelular, em que somente um pequeno grupo de células irá formar o embrião propriamente dito. A maioria das células que o compõem, apesar de importantes para o desenvolvimento como um todo, na verdade será perdida no momento do parto.

RESUMO

Após a ovulação, o ovócito secundário é capturado pelas fímbrias da trompa e conduzido até a região ampular. Nesse local, os espermatozóides capacitados sofrem reação acrossômica e, em geral, um deles fertiliza o ovócito, formando a célula-ovo ou zigoto. O zigoto inicia uma série de divisões mitóticas enquanto vai sendo empurrado em direção ao útero. Por volta do sexto dia, após a fertilização, o blastocisto começa a se implantar na parede endometrial. No pólo de implantação, o trofoblasto vai gradativamente se diferenciando em citotrofoblasto e em sinciotrofoblasto. Enquanto a nidação está acontecendo, o embrioblasto se diferencia para formar duas vesículas, a amniótica e a vitelina. A região de contato entre elas forma o disco embrionário didérmico, constituído pelo epiblasto e pelo hipoblasto, respectivamente. Do hipoblasto, surgem células que se interpõem entre o trofoblasto e as vesículas para formar o mesoderma extra-embrionário. No interior do mesoderma surge o celoma extra-embrionário. Aparece um espessamento localizado no hipoblasto, demarcando a placa precordial, indicador da futura região cefálica e da boca do embrião, além de ser um importante centro organizador da região da cabeça.

A ação invasiva do sinciotrofoblasto no endométrio provoca a ruptura de vasos e de glândulas endometriais, cujos conteúdos se acumulam em lacunas do sinciotrofoblasto, estabelecendo os primórdios da circulação uteroplacentária. A placenta é o órgão de trocas entre o embrião/feto e a mãe. Seu desenvolvimento se inicia quando o citotrofoblasto se projeta em direção ao sinciotrofoblasto, originando as vilosidades coriônicas primárias.

1. Descreva as fases da fertilização.

RESPOSTA COMENTADA

Os espermatozoides capacitados, ao se aproximarem do ovócito, sofrem reação acrossômica e liberam enzimas que os auxiliarão a atravessar a coroa radiata e um deles, a zona pelúcida. Ao passar pela zona pelúcida, o espermatozoide ativa o ovócito, que sofre reação cortical ou de zona; isso modificará a permeabilidade tanto da zona pelúcida quanto da membrana plasmática do ovócito, tornando-as impermeáveis à entrada de outros espermatozoides. O espermatozoide funde sua membrana com a do ovócito. O núcleo e a cauda do espermatozoide penetram no citoplasma do ovócito. O ovócito ativado termina a sua segunda divisão meiótica, originando o óvulo. Formam-se os pronúcleos feminino e masculino, que se aproximam e misturam seus materiais genéticos. Após a fusão, o envoltório nuclear é refeito. Está formada a célula-ovo ou zigoto. A partir daí, uma nova vida se desenvolverá.

2. Quais são os resultados da fertilização?

RESPOSTA COMENTADA

Como você viu, são resultados da fertilização: término da segunda divisão meiótica do ovócito secundário; restauração do número diplóide de cromossomos da espécie; variação da espécie; determinação do sexo cromossômico; ativação metabólica do ovócito; e início da clivagem.

3. Descreva o processo de formação do disco embrionário didérmico.

RESPOSTA COMENTADA

Enquanto o blastocisto vai se implantando e o trofoblasto se diferenciando em cito e sinciotrofoblasto, algumas células do embrioblasto formam duas vesículas, a amniótica e a vitelina primitiva. O soalho da vesícula amniótica é formado por um epitélio cilíndrico simples que constitui o epiblasto, enquanto o teto da vesícula vitelina é formado por um epitélio cúbico simples chamado hipoblasto.

A calota da vesícula amniótica é composta por células achatadas denominadas amnioblastos, derivadas do epiblasto e a da vesícula vitelina primitiva, por células derivadas do hipoblasto. A vesícula vitelina primitiva será, posteriormente, substituída pela vesícula vitelina definitiva. O embrião será formado por esses dois folhetos primitivos, o epiblasto e o hipoblasto. Os demais componentes formarão os anexos embrionários.

4. Descreva a formação do mesoderma e do celoma extra-embrionário.

RESPOSTA COMENTADA

O mesoderma extra-embrionário se forma a partir de células que migram do hipoblasto para se interpor entre as duas vesículas e o trofoblasto. Pequenas cavidades cheias de líquido aparecem nesse mesoderma. Aos poucos, essas cavidades se juntam para formar uma grande cavidade, o celoma extra-embrionário, que divide o mesoderma extra-embrionário em duas lâminas, exceto na região que se estabelecerá como pedículo primitivo do embrião, o futuro cordão umbilical. A lâmina de mesoderma em contato com o trofoblasto e com o âmnio denomina-se mesoderma somático extra-embrionário; a que envolve a vesícula vitelina é o mesoderma esplâncnico extra-embrionário. O mesoderma somático extra-embrionário e as duas camadas do trofoblasto, por sua vez, constituem o córion, a parede do saco gestacional.

AUTO-AVALIAÇÃO

Você conseguiu responder a todas as atividades finais? Elas são importantes para que você continue acompanhando o desenvolvimento embrionário. Se ainda tiver dúvidas, converse com seus colegas e com o seu tutor.

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, estudaremos com você a terceira semana do desenvolvimento embrionário humano. Até lá!

LEITURAS RECOMENDADAS

MOORE, Keith L.; PERSAUD, Tomas V. N. *Embriologia clínica*. 7.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 609p.

SADLER, Thomas W. *Langman: embriologia médica*. 7.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 282p.

Desenvolvimento embrionário humano III – formação dos tecidos fundamentais

AULA 3

Meta da aula

Apresentar os mecanismos de formação dos tecidos embrionários fundamentais.

objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de descrever morfofuncionalmente a formação:

- da linha e do nó primitivos;
- do mesoderma intra-embrionário;
- do celoma intra-embrionário;
- da notocorda;
- do tubo neural;
- das cristas neurais;
- dos vasos sanguíneos primitivos e do sangue;
- das vilosidades placentárias secundárias e terciárias.

Pré-requisito

Conhecer o processo do desenvolvimento embrionário estudado nas Aulas 1 e 2.

INTRODUÇÃO

Você estudou, na Aula 2, as duas primeiras semanas do desenvolvimento embrionário humano. Não passe adiante se ainda tiver alguma dúvida.

A terceira semana do desenvolvimento é marcada pela transformação do disco embrionário bilaminar ou didérmico em trilaminar ou tridérmico. Durante essa transformação, o disco embrionário, até então de forma discóide, assume o formato de sola de sapato. Você verá que o embrião em nada se parece conosco.

TERCEIRA SEMANA DO DESENVOLVIMENTO

Linha primitiva e notocorda

Observe na **Figura 3.1** que a *linha primitiva* se desenvolve no início da terceira semana como um espessamento linear de células do epiblasto na extremidade caudal do embrião. Na sua extremidade cefálica, as células em proliferação formam uma estrutura nodular, o *nó primitivo* (**Figura 3.1.c**).

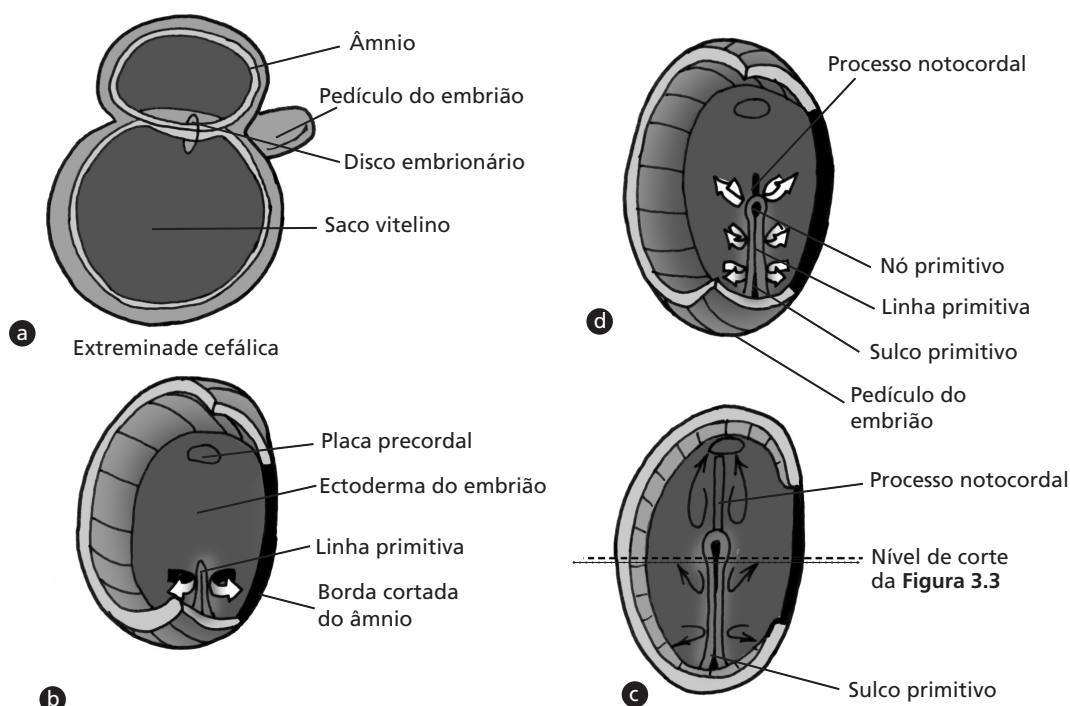
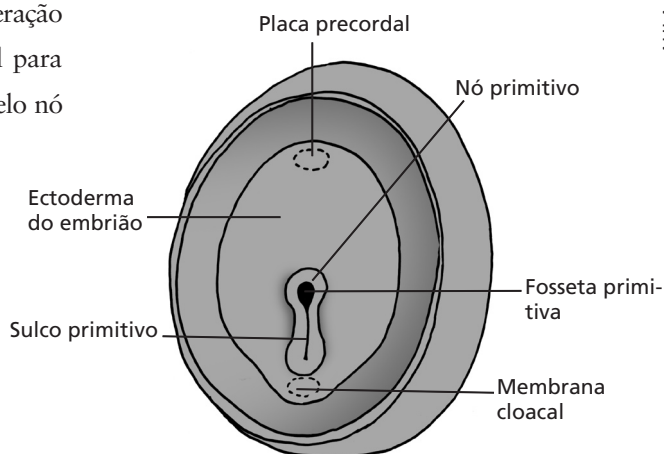


Figura 3.1: Desenhos esquemáticos mostrando a formação do disco embrionário tridérmico no décimo quinto e décimo sexto dia. Os esquemas representam vistas dorsais do disco embrionário após remoção do âmnio, ilustrando a formação da linha primitiva e do nó primitivo. As setas partindo da linha primitiva indicam a migração de células que formarão o mesoderma intra-embriônico, e as que partem do nó primitivo formarão a notocorda. A placa precordal é vista à frente da notocorda em (d).

De acordo com o mostrado nas Figuras 3.1 e 3.3, as células da linha primitiva em rápida proliferação começam a mergulhar pela sua região central para formar o *sulco primitivo*. O sulco se estende pelo nó primitivo, formando a *fosseta primitiva*.

Figura 3.2: Desenho esquemático de uma vista dorsal de um embrião de 16 dias, após a remoção do âmnio, onde se podem visualizar o sulco na linha primitiva, a fosseta no nó primitivo e a placa precordial.



Com o aparecimento da linha primitiva, o embrião adquire simetria, ou seja, já se pode identificar nele os lados direito e esquerdo, as superfícies dorsal e ventral e as extremidades cefálica e caudal.

Através do sulco primitivo, as células da linha primitiva migram e se interpõem entre os dois folhetos embrionários primitivos, originando o *mesoderma intra-embriônico*. Com a formação desse folheto, o embrião passa a ser representado por três camadas teciduais (de tecidos): *ectoderma*, diferenciado a partir do epiblasto; *mesoderma intra-embriônico*, originário da linha primitiva; e *endoderma*, diferenciado a partir do hipoblasto. Esses três folhetos primitivos (Figura 3.3) vão originar todos os tecidos e órgãos do embrião. Após a quarta semana do desenvolvimento, a linha primitiva começa a regredir gradativamente até desaparecer.

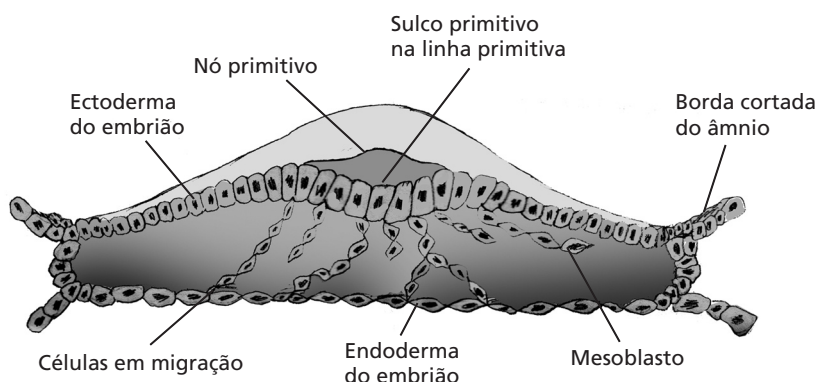


Figura 3.3: Desenho esquemático de corte transversal no nível mostrado na Figura 3.2, ilustrando a migração de células mesenquimais através do sulco na linha primitiva, para formar o mesoblasto ou mesoderma intra-embriônico.



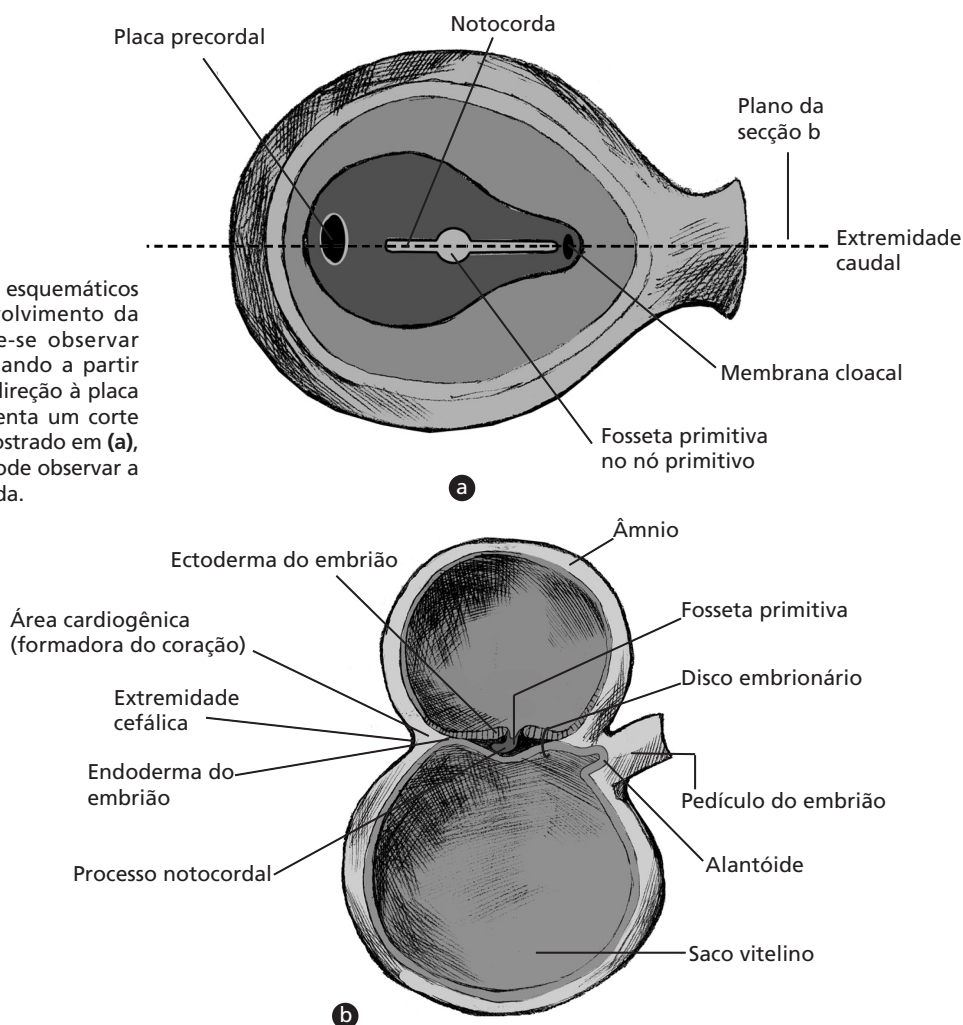
O não-desaparecimento da linha primitiva, que ocorre normalmente ao final da quarta semana do desenvolvimento embrionário, pode originar um grande tumor conhecido como teratoma sacrococcígeo. Trata-se de um tumor complexo, formado por vários tecidos nas regiões sacral e coccígea da coluna vertebral. Como esse tumor é formado por células pluripotentes da linha primitiva, contém vários tipos de tecidos em estágios incompletos de diferenciação. Os teratomas sacrococcígeos são os tumores mais comuns em recém-nascidos.

CORPO VERTEBRAL

É a porção anatômica de uma vértebra.

Enquanto o mesoderma intra-embrionário é formado, células do nó primitivo também proliferam entre o ectoderma e o endoderma para formar a *notocorda*, um bastão celular que define o eixo de sustentação do embrião e que lhe serve de base para o desenvolvimento do esqueleto axial (Figura 3.4). A notocorda se desenvolve em sentido cefálico, respeitando a placa precordal. Em torno da notocorda se formarão os **CORPOS VERTEBRAIS**.

Figura 3.4: Desenhos esquemáticos mostrando o desenvolvimento da notocorda. (a) Pode-se observar a notocorda se formando a partir do nó primitivo, em direção à placa precordal. (b) Representa um corte mediano no plano mostrado em (a), em que também se pode observar a formação da notocorda.



Como você pode ver na **Figura 3.5**, o mesoderma intra-embriônico se interpõe entre o ectoderma e o endoderma, exceto em três regiões: no nível da placa precordial, formando a *membrana bucofaríngea*; na região caudal posterior ao ponto de origem da linha primitiva, formando a *membrana cloacal*, e na área em que se desenvolve a notocorda. Portanto, o disco embrionário se mantém didérmico cefalicamente, no nível da *membrana bucofaríngea*, e caudalmente, no nível da *membrana cloacal*. Essas áreas representam, respectivamente, os futuros locais da cavidade oral e da região anal (**Figura 3.5**).

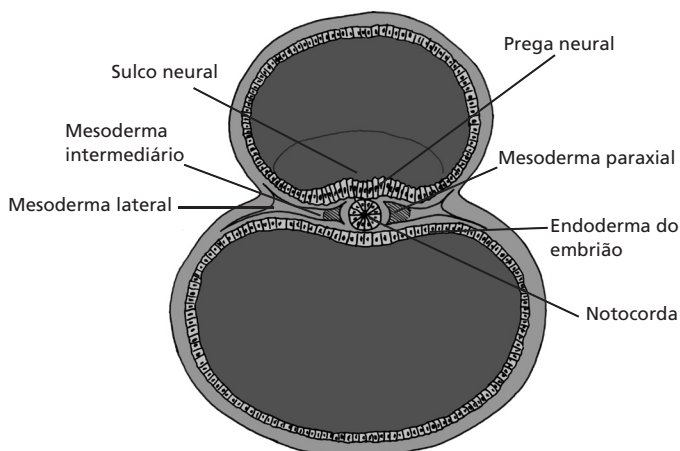


Figura 3.5: Desenho esquemático de um corte transversal de embrião com cerca de 19 dias, mostrando o mesoderma intra-embriônico, já diferenciado em paraxial, intermediário e lateral, a notocorda e a formação do sulco neural na placa neural.

ATIVIDADES



1. O aparecimento da linha primitiva e do nó primitivo no disco embrionário reflete a proliferação e migração de células para a formação de:

- mesoderma intra-embriônico e ectoderma;
- ectoderma neural e ectoderma cutâneo;
- ectoderma neural e notocórdio;
- mesoderma intra-embriônico e notocorda;
- ectoderma cutâneo e endoderma.

RESPOSTA COMENTADA

O item correto é o **d**. Volte à **Figura 3.2** e observe que a linha primitiva origina células que formarão o mesoderma intra-embriônico, e a notocorda se origina a partir do nó primitivo.

2. Qual o limite cefálico para o crescimento da notocorda?

RESPOSTA COMENTADA

Ainda na **Figura 3.2**, é possível ver que o limite de crescimento da notocorda é a placa precordial.

3. Denomine os folhetos embrionários antes e após a formação do mesoderma intra-embrionário.

RESPOSTA COMENTADA

Antes do mesoderma intra-embrionário – epiblasto e hipoblasto; depois do aparecimento do mesoderma intra-embrionário – ectoderma e endoderma.

Diferenciação do mesoderma intra-embrionário

À medida que vai sendo formado, o mesoderma intra-embrionário começa a se diferenciar em três áreas distintas: a do *mesoderma paraxial*, a do *intermediário* e a do *lateral* (**Figura 3.5**). O mesoderma paraxial forma uma coluna longitudinal espessa, lateralmente à notocorda, e logo se segmenta para originar os somitos, que são contínuos ao mesoderma intermediário e lateral. O mesoderma lateral, por sua vez, é contínuo ao mesoderma extra-embrionário somático e esplâncnico (Aula 1). No *período do desenvolvimento somítico* (da terceira a quinta semanas), formam-se cerca de 42 a 44 pares de somitos, que são vistos nos exames de ultra-som, como elevações na superfície dorsal do embrião e representam um dos critérios para se estimar a idade do embrião (**Figura 3.6.a e c**).

Observe a **Figura 3.6** e veja que durante a formação do *mesoderma lateral* aparecem pequenos espaços que se juntam e formam uma grande cavidade em forma de ferradura, aberta em toda a sua extensão, exceto na região mais cefálica, que corresponde à área do mesoderma

cardiogênico. Essa grande cavidade é denominada *celoma intra-embrionário* e representa os primórdios das *cavidades corporais* – pericárdica, pleurais e peritoneal. Da mesma forma que vimos em relação ao mesoderma extra-embrionário, o celoma intra-embrionário divide o mesoderma intra-embrionário em duas lâminas: uma que fica em contato com o ectoderma, o *mesoderma intra-embrionário somático* ou *somatopleura intra-embrionária*, e outra que contacta o endoderma, o *mesoderma intra-embrionário esplâncnico* ou *esplancnopleura intra-embrionária* (Figura 3.6).

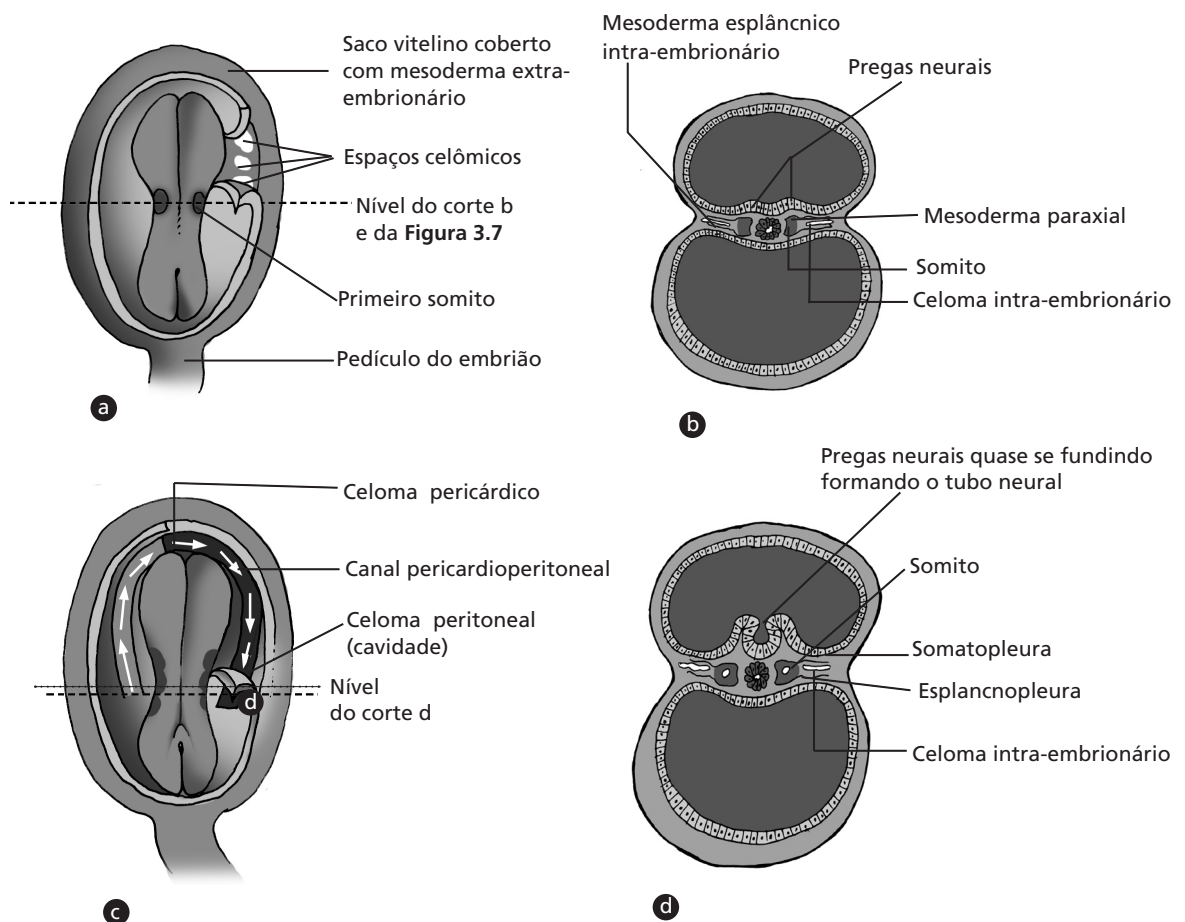


Figura 3.6: Desenhos esquemáticos de embriões com 20 a 21 dias mostrando a formação dos somitos a partir do mesoderma paraxial e do celoma intra-embrionário no mesoderma lateral. (a e c) representam vistas dorsais dos embriões após remoção do âmnio. Observe que com 20 dias o embrião mostra o primeiro par de somitos. Parte da somatopleura foi removida em (a), para mostrar os espaços celômicos isolados no mesoderma lateral. (b e d) representam cortes transversais nos níveis indicados em (a e c).

ATIVIDADES



4. A formação do celoma intra-embrionário se dá por cavitação (formação de cavidades) que ocorre:

- a. no mesoderma lateral;
- b. entre o mesoderma lateral e o mesoderma intermediário;
- c. no mesoderma intermediário;
- d. entre o mesoderma intermediário e o mesoderma paraxial;
- e. no mesoderma paraxial.

RESPOSTA COMENTADA

O item correto é o **a**. Celoma intra-embrionário forma-se por cavitações no mesoderma lateral.

5. O disco embrionário é tridérmico em toda a sua extensão? Justifique sua resposta.

RESPOSTA COMENTADA

Não. O disco continua didérmico em duas áreas, uma na região mais cefálica, que é a área da membrana bucofaríngea, e outra, na região mais caudal, que é a área da membrana cloacal. Nessas duas áreas o ectoderma e o endoderma estão em contato, não havendo, portanto, mesoderma. A boca e a região anal se desenvolverão nessas duas áreas, respectivamente.

6. O que são somitos e qual a sua importância funcional?

RESPOSTA COMENTADA

Somitos são áreas diferenciadas do mesoderma paraxial que se divide em pequenos blocos cubóides. Eles formam elevações que se destacam na superfície do embrião, próximo ao final da terceira semana e podem ser contados nos exames por ultra-som. Além de originarem várias estruturas, eles são utilizados para a estimativa da idade do embrião durante o período de sua formação, denominado período somítico. Do 20º ao 30º dia, formam-se cerca de 38 pares de somitos e 42 a 44 pares, até a quinta semana.

Alantóide

Enquanto vão acontecendo as modificações no disco embrionário, as estruturas extra-embrionárias também vão se diferenciando. Uma delas é a alantóide, que é um divertículo do saco vitelino semelhante a uma pequena salsicha e que cresce em direção ao pedículo do embrião (ver Aula 2), durante a terceira semana. Nos embriões humanos, a *alantóide* é pouco desenvolvida e sua função principal é orientar a formação dos vasos sanguíneos e do sangue primitivo na área do mesoderma extra-embrionário esplâncnico. Parte da alantóide está associada também ao desenvolvimento da bexiga (Figura 3.7).

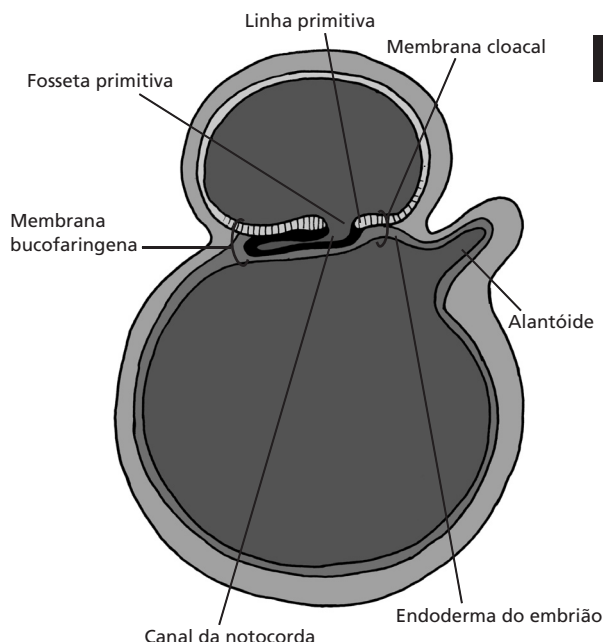


Figura 3.7: Desenho esquemático de uma seção mediana feita no nível indicado na Figura 3.4.a, mostrando a formação da alantóide. A figura mostra também as áreas didérmicas do disco embrionário, as membranas bucofaringea e cloacal, a linha primitiva, a fosseta primitiva e a notocorda em formação.

ATIVIDADE



7. Nos embriões humanos, a alantóide surge durante a 3ª semana e participará do desenvolvimento de:

- a. cloaca;
- b. rim;
- c. bexiga urinária;
- d. cordão umbilical;
- e. uretra.

RESPOSTA COMENTADA

A alantóide origina parte da bexiga urinária. O item correto é o c. A cloaca se forma a partir do endoderma do tubo intestinal primitivo; o rim e os ureteres, a partir do mesoderma intermediário; a bexiga, do endoderma do seio urogenital e de parte da alantóide; o cordão umbilical, do pedículo primitivo do embrião; e a maior parte do epitélio de revestimento da uretra se desenvolve a partir do endoderma do seio urogenital.

Formação do tubo neural

Você verá agora que a formação da notocorda é essencial para o desenvolvimento de todo o sistema nervoso central e periférico. Sob indução da notocorda, que ocorre por liberação de sinais químicos, o ectoderma suprajacente se espessa e origina a *placa neural* (Figura 3.8). A intensa proliferação celular na placa neural induz a migração de suas células para a região mediana, formando nela um *sulco neural* com *pregas neurais* a cada lado (Figura 3.6.b e d). Essas pregas neurais se desenvolvem mais acentuadamente na região cefálica do embrião, região onde se desenvolverá o encéfalo (Figura 3.6.a e c). As células mais apicais das pregas neurais se diferenciam das demais para constituir as *cristas neurais*, que originarão, entre outras estruturas, o sistema nervoso periférico. Observe ainda, na Figura 3.9.b a f, que o ectoderma se apresenta diferenciado em três áreas: nas *pregas neurais*, nas *cristas neurais* (ambos formando o *ectoderma neural* ou *neuroectoderma*) e no restante do ectoderma, que passaremos agora a denominar ectoderma cutâneo. Ao final da terceira semana, as pregas neurais começam a se aproximar e a se fundir para converter a placa neural em tubo neural; as cristas neurais também se aproximam e se fundem para formar uma crista neural única, e as extremidades do ectoderma cutâneo, ao se fundirem, formam a epiderme que recobre toda a superfície corporal (Figura 3.9.e e f).

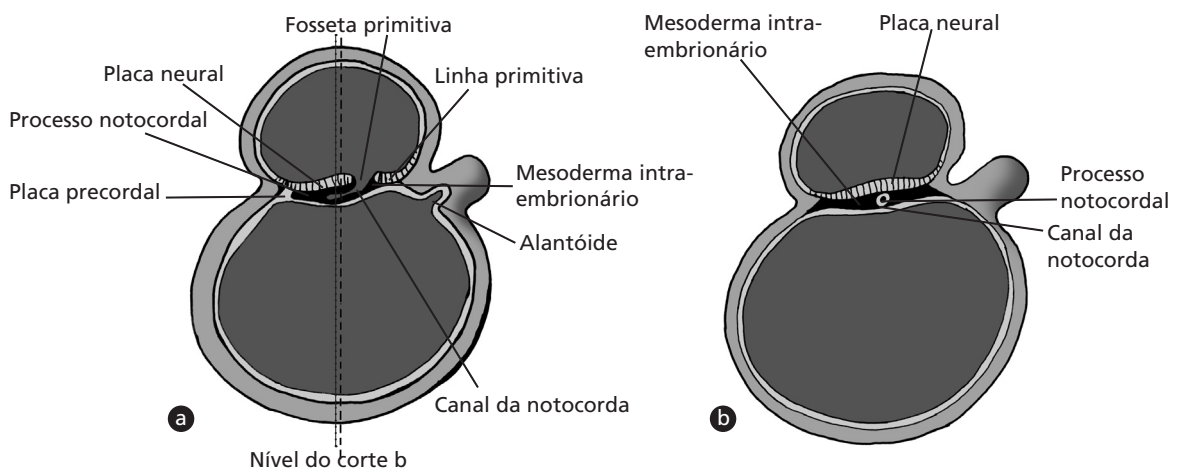


Figura 3.8: Desenhos esquemáticos de um embrião com cerca de 18 dias. (a) Corte mediano no plano mostrado na Figura 3.4.a. Pode-se observar um espessamento do ectoderma na área suprajacente à notocorda, que corresponde à placa neural.

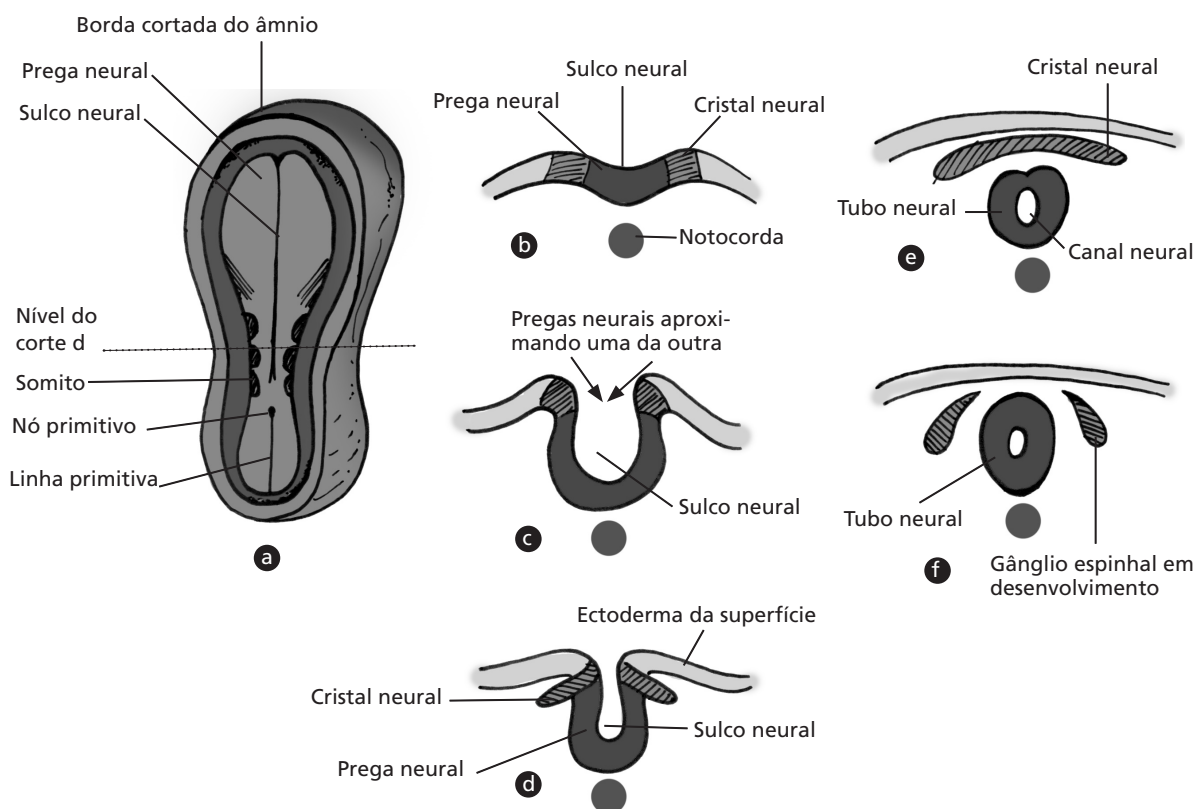


Figura 3.9: Esquemas de cortes transversais de embriões em sucessivos estágios de amadurecimento, ilustrando a formação do sulco neural, pregas neurais, tubo neural e cristas neurais.

Enquanto o processo de fusão do tubo neural não se completa, as extremidades cefálica e caudal do tubo comunicam-se com a cavidade amniótica através dos *neuroporos anterior* e *posterior* (Figura 3.10). O fechamento dos neuroporos anterior e posterior ocorre por volta do 25º e 27º dia, respectivamente. A neurulação, processo de formação do tubo neural, está então concluída; o sistema nervoso central é representado por uma estrutura tubular fechada, com uma porção caudal estreita, que é a medula espinhal, e uma porção cefálica mais dilatada, com três grandes dilatações: o *prosencéfalo*, o *mesencéfalo* e o *rombencéfalo* (Figura 3.10.c).



Não esqueça que o sistema nervoso começa a se formar na terceira semana do desenvolvimento, mas o seu término só ocorrerá após o nascimento, durante a fase de crescimento da criança.

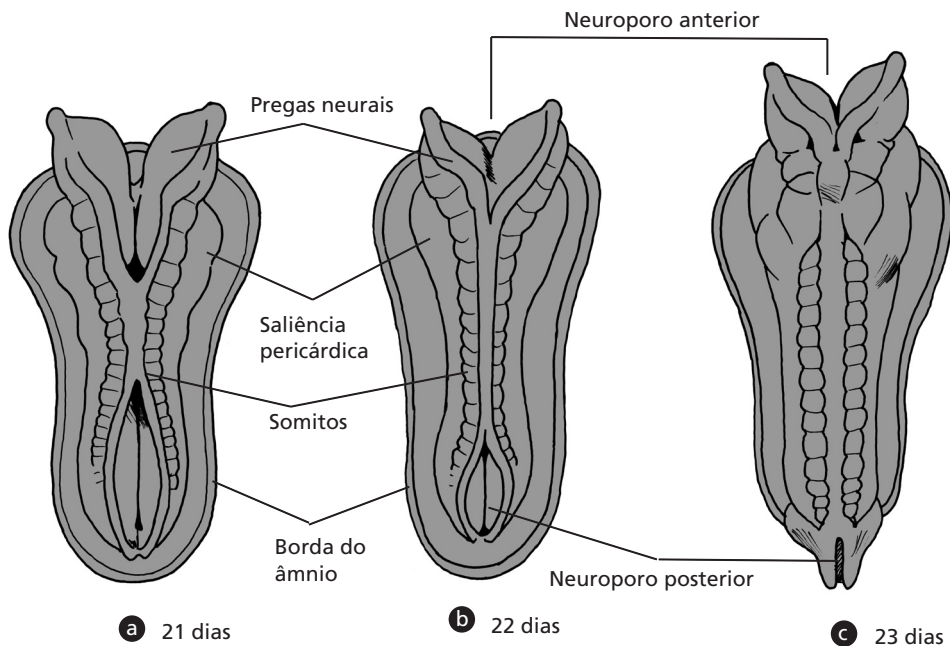


Figura 3.10: (a e b) Vista lateral de um embrião com 21, 22 e 23 dias mostrando o início do fechamento do tubo neural. Podem-se observar os somitos a cada lado do tubo neural. (c) Vista dorsal de um embrião com 23 dias mostrando o tubo neural fechado, exceto ao nível dos neuroporos anterior e posterior. Pode-se também observar as três dilatações na extremidade cefálica do tubo neural.

Derivados dos folhetos embrionários

Como você viu anteriormente, são três os folhetos embrionários primitivos: ectoderma, mesoderma intra-embriônico e endoderma. Com a formação da placa neural, o ectoderma se diferencia em ectoderma neural e ectoderma cutâneo. Por sua vez, o mesoderma, ao se diferenciar, formará o mesoderma paraxial, o intermediário e o lateral.

Nesta aula, você viu que o ectoderma neural se diferencia em tubo neural e crista neural. O tubo neural origina todo o sistema nervoso central (encéfalo e medula). A crista neural, inicialmente única, se segmenta em vários pequenos blocos que se posicionam nas fases dorsolaterais do tubo neural para formar os gânglios e nervos do sistema nervoso periférico. Algumas células das cristas neurais migram em várias direções e se dispersam pelo mesênquima para formar as meninges, isto é, as células de Schwann (que formam as bainhas de mielina dos nervos periféricos, como você já viu na Aula 10 de Biologia Celular II), os melanócitos da epiderme, a medula da adrenal e vários componentes musculares e esqueléticos da cabeça.

O *ectoderma cutâneo* forma a epiderme e seus anexos (pêlos, unhas, glândulas sebáceas e sudoríparas), a adenoipófise, o esmalte dos dentes, a orelha externa e o cristalino do olho.

O *mesoderma paraxial* (somitos) forma a maior parte do esqueleto axial, ou seja, os ossos do crânio, coluna vertebral, costelas e esterno, os músculos a ele associados e a derme adjacente.

O *mesoderma intermediário* terá participação importante na formação do sistema genitourinário.

O *mesoderma lateral* formará: o tecido conjuntivo e os músculos das vísceras, as membranas serosas do pericárdio, da pleura e do peritônio, o coração primitivo, o baço e o córtex da adrenal.

O *endoderma* formará: o revestimento epitelial e as glândulas da traquéia, brônquios, bronquíolos e alvéolos pulmonares; epitélio e glândulas do trato gastrointestinal (da faringe ao intestino grosso); os hepatócitos do fígado, o revestimento da vesícula biliar, o pâncreas, a bexiga, as células foliculares da tireóide, das paratireóides, das tonsilas (amígdalas); o estroma do timo, o revestimento epitelial da cavidade timpânica e da tuba faringotimpânica.

ESTROMA

É o tecido que forma o arcabouço de sustentação em um órgão. Na maioria dos órgãos, o estroma é constituído por tecido conjuntivo. No timo, particularmente, o estroma é constituído por células epiteliais de origem endodérmica.

ATIVIDADES



8. O mesoderma intermediário é o responsável pelo desenvolvimento dos sistemas:

- a. nervoso periférico e respiratório;
- b. digestivo e urinário;
- c. cardiovascular e excretor;
- d. urinário e genital;
- e. genital e digestivo.

RESPOSTA COMENTADA

O mesoderma intermediário contribui para a formação dos sistemas urinário e genital. Portanto, **d** é o item correto. O sistema nervoso periférico se origina a partir das cristas neurais; os sistemas respiratório e digestivo, do endoderma do tubo intestinal primitivo, e o cardiovascular, do mesoderma lateral.

9. A placa neural, intensa proliferação de células que inicia o desenvolvimento do sistema nervoso, é observada no:

- a. epiblasto;
- b. hipoblasto;
- c. ectoderma;
- d. endoderma;
- e. mesoderma.

RESPOSTA COMENTADA

O item correto é o c. A placa neural corresponde a uma área espessada do ectoderma formada por indução da notocorda.

10. As células das cristas neurais são responsáveis pela formação de:

- a. cérebro, melanócitos e córtex da adrenal;
- b. gânglios do sistema nervoso periférico, melanócitos e medula da adrenal;
- c. gânglios do sistema nervoso periférico, queratinócitos e medula da adrenal;
- d. gânglios do sistema nervoso periférico, melanócitos e córtex da adrenal;
- e. gânglios do sistema nervoso periférico, queratinócitos e medula da adrenal.

RESPOSTA COMENTADA

O item correto é o b. Os hemisférios cerebrais originam-se a partir do tubo neural; o córtex adrenal, do mesoderma; os queratinócitos, do ectoderma cutâneo; os gânglios do sistema nervoso periférico, das cristas neurais.

11. Para a diferenciação do neuroectoderma, deve haver indução química através de:

- a. somito;
- b. linha primitiva;
- c. notocorda;
- d. alantóide;
- e. membrana bucofaríngea.

RESPOSTA COMENTADA

A notocorda atua como indutor primário para a formação da placa neural. O item correto é o c.

12. Cite algumas estruturas originadas a partir do:

- a. ectoderma cutâneo;
- b. ectoderma neural;
- c. cristas neurais;
- d. mesoderma paraxial;
- e. mesoderma intermediário;
- f. mesoderma lateral;
- g. endoderma.

RESPOSTA COMENTADA

a. Você poderá citar uma dessas estruturas: ectoderma cutâneo – adenoipófise, esmalte dos dentes, epiderme, glândulas sudoríparas, sebáceas, folículos pilosos, unhas, cristalino do olho.

b. ectoderma neural – sistema nervoso central – cérebro, cerebelo e medula.

c. cristas neurais – gânglios do sistema nervoso periférico, melanócitos, medula da adrenal, tecido conjuntivo da cabeça, células de Schwann, meninges.

d. mesoderma paraxial – tecido conjuntivo, derme, músculos esqueléticos do tronco, da cabeça, dos membros e esqueleto axial.

e. mesoderma intermediário – sistema urogenital.

f. mesoderma lateral – tecido conjuntivo e músculos das vísceras, membranas serosas da pleura, pericárdio e peritônio, coração primitivo, córtex da adrenal, sangue.

g. endoderma – epitélio do sistema respiratório, do trato gastrointestinal, fígado, vesícula biliar e pâncreas, bexiga, tireóide, paratireóides, faringe, cavidade timpânica, tuba faringotimpânica e tonsilas.

Angiogênese e hematogênese

A formação dos vasos sangüíneos e do sangue primitivo é também um fenômeno que se inicia a partir da terceira semana do desenvolvimento. Até essa época, o embrião recebe nutrientes por difusão a partir do sangue materno. Os primeiros indícios de sua formação aparecem no mesoderma extra-embriônico em torno do saco vitelino, da alantóide do pedículo do embrião e do córion (Figura 3.11).

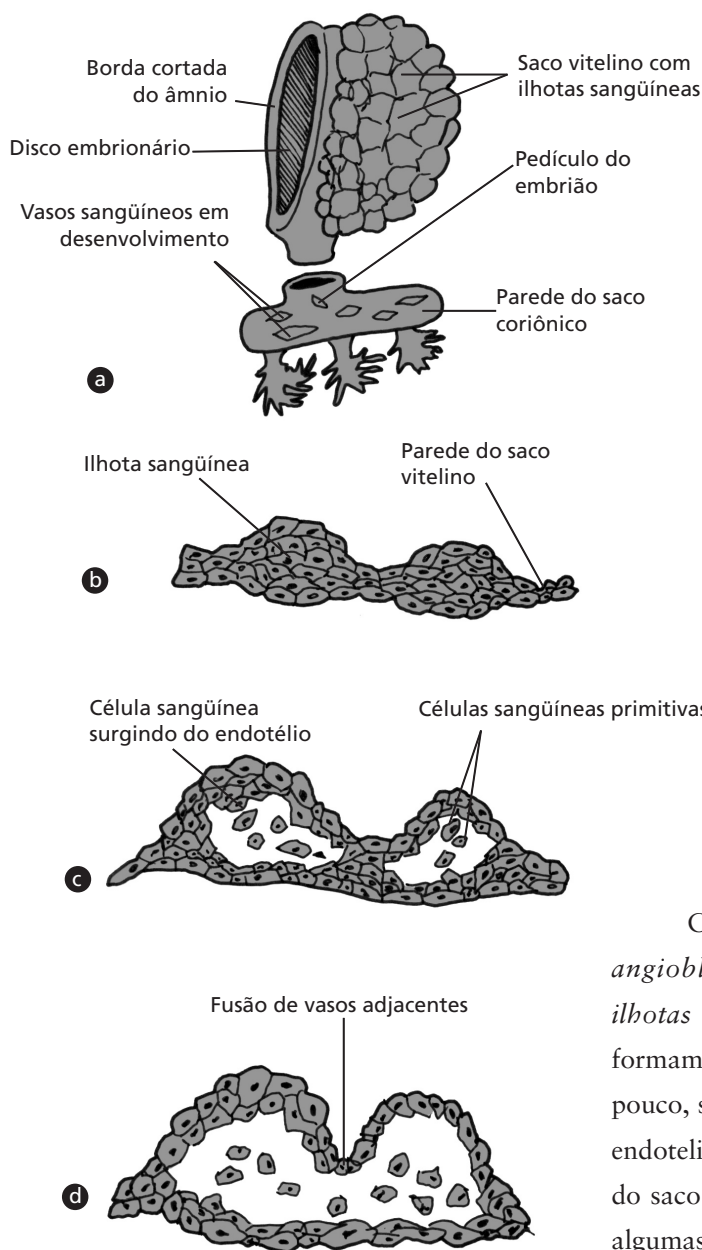


Figura 3.11: Desenhos esquemáticos ilustrando vários estágios na formação dos vasos sangüíneos e do sangue primitivo do embrião. (a) - Representa uma vista lateral do saco vitelino e de parte do saco coriônico de um embrião com cerca de 18 dias. (b a d) - Cortes de ilhotas sangüíneas mostrando os estágios sucessivos do desenvolvimento dos vasos sangüíneos e do sangue.

Células mesenquimais, denominadas *angioblastos*, agregam-se para formar as *ilhotas sangüíneas*. No interior das ilhotas, formam-se pequenas cavidades que, pouco a pouco, se juntam constituindo redes de canais endoteliais no mesoderma extra-embriônico do saco vitelino e da alantóide. Dessa forma, algumas células das ilhotas formam a parede dos vasos sangüíneos primitivos (*endotélio*),

enquanto outras, na luz dos vasos, formam os hemocitoblastos, isto é, as células sangüíneas primitivas. O mesênquima em torno dos vasos forma a musculatura lisa e o tecido conjuntivo da parede dos vasos.

ATIVIDADE



13. Os primeiros vasos sangüíneos do embrião surgem a partir das ilhotas sangüíneas no:

- a. ectoderma;
- b. mesoderma intra-embrionário;
- c. endoderma;
- d. mesoderma extra-embrionário;
- e. epiblasto.

RESPOSTA COMENTADA

Você viu na **Figura 3.12** que os primeiros vasos se desenvolvem no mesoderma extra-embrionário em torno do saco vitelino, da alantóide, do pedículo primitivo e do córion. Portanto, **d** é o item correto.

Sistema cardiovascular primitivo

Na terceira semana, a partir do mesoderma lateral na área cardiogênica, formam-se também o coração e os grandes vasos do embrião (**Figura 3.12**). Nessa área, formam-se dois tubos endocárdicos que se fundem para formar o *tubo cardíaco primitivo*. Esse tubo se une aos vasos embrionários, originados a partir dos vasos extra-embrionários, estabelecendo o *sistema cardiovascular primitivo* (**Figura 3.13**). O coração começa a bater entre o 21º e 22º dia após a fecundação e já pode ser detectado por ultra-sonografia durante a quinta semana.

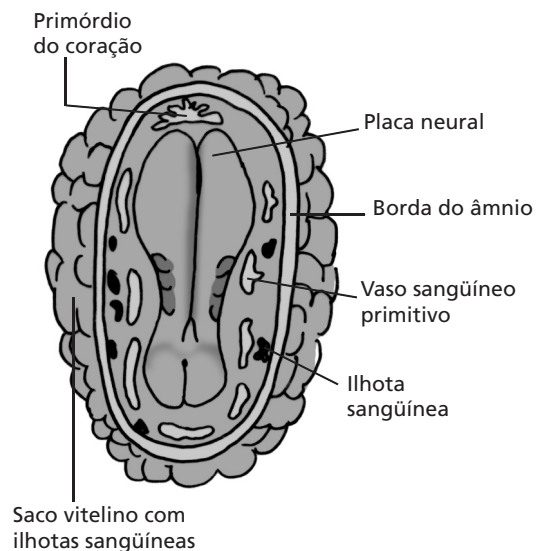


Figura 3.12: Vista lateral do embrião após a remoção do âmnio, indicando o local de formação do coração no mesoderma lateral.

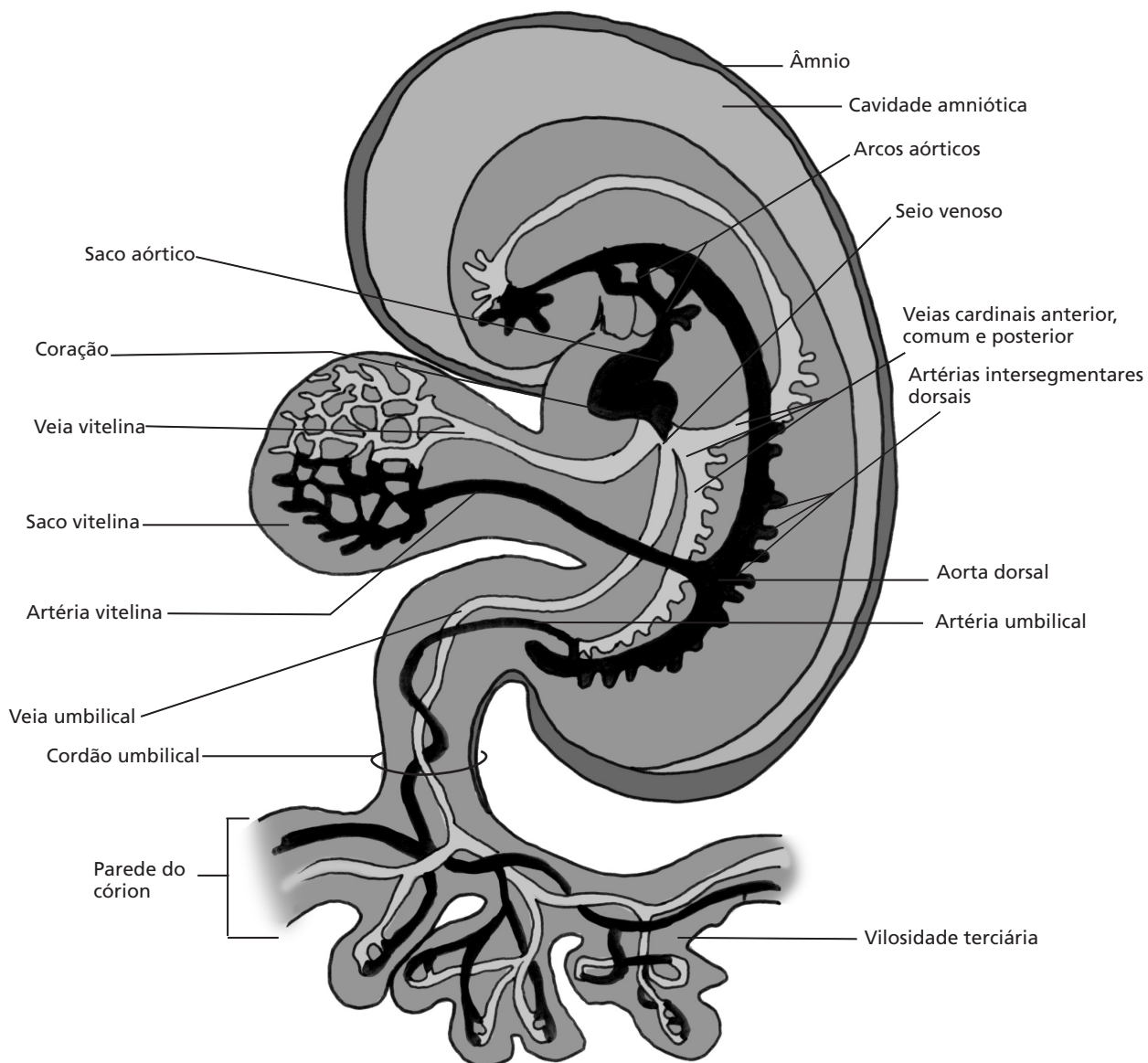


Figura 3.13: Desenho esquemático do sistema cardiovascular primitivo de um embrião com cerca de 21 dias, visto do lado esquerdo.

Desenvolvimento das vilosidades placentárias

Após a sua formação na segunda semana, as *vilosidades coriônicas primárias* (Figura 2.9) se ramificam e são invadidas pelo mesoderma do córion no início da terceira semana do desenvolvimento, passando a ser denominadas vilosidades coriônicas secundárias (Figura 3.14. a e b). Algumas células mesenquimais dessas vilosidades se diferenciam em

vasos e em células sanguíneas e passam a ser chamadas *vilosidades coriônicas terciárias*, que logo se unem ao coração através dos vasos que se desenvolvem no mesênquima, no córion e no pedículo do embrião (Figura 3.14.c e d).

Os nutrientes e o oxigênio do sangue materno que jorra nos espaços intervilosos do sinciotrofoblasto (ver Aula 2) difundem-se pelas paredes das vilosidades e penetram no sangue do embrião (ver Figura 3.14.c). Os resíduos do metabolismo do embrião e o gás carbônico, resultantes da troca de nutrientes e de gases entre o embrião/feto e a mãe, passam do sangue do embrião para o materno, também através das paredes das vilosidades.

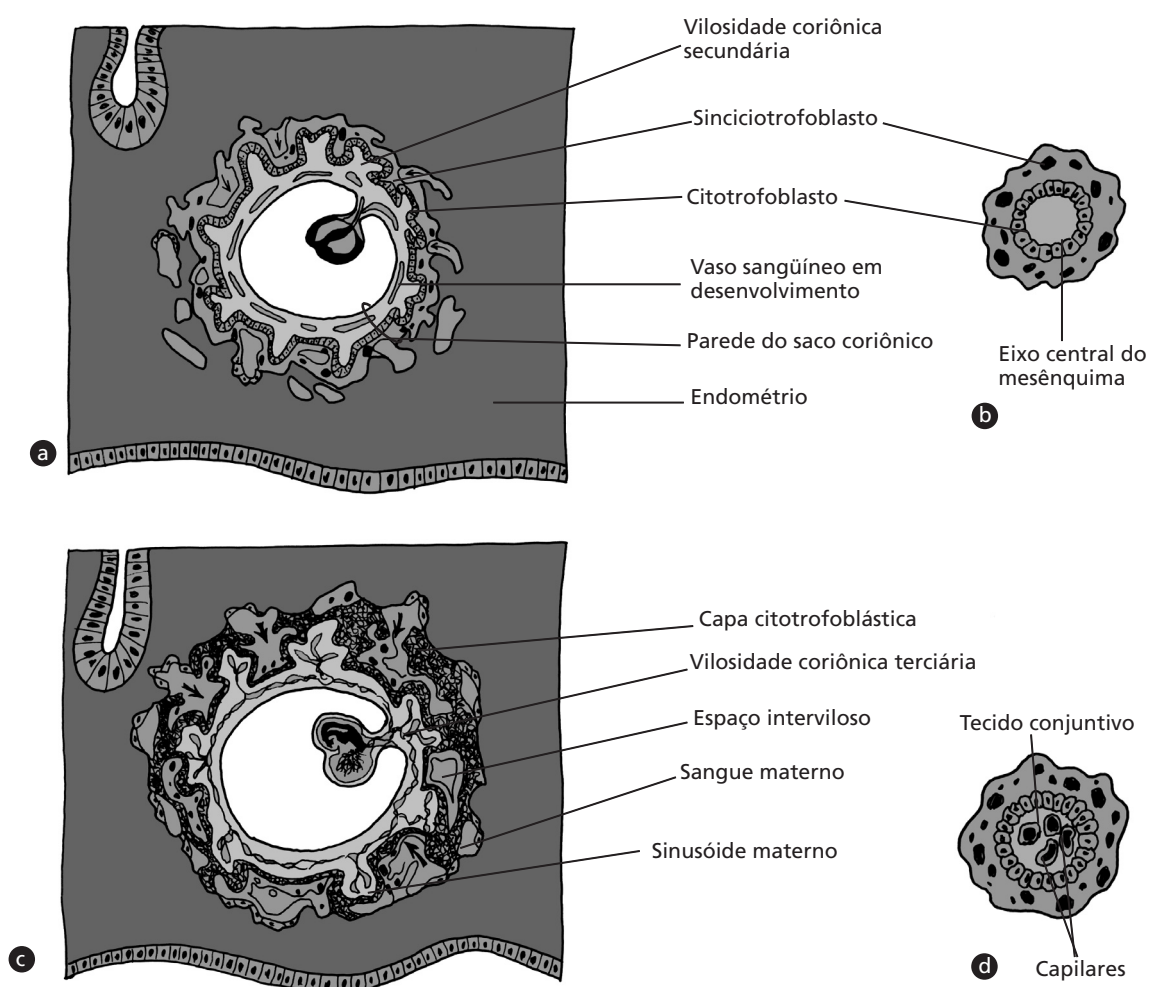


Figura 3.14: Esquemas ilustrando a transformação das vilosidades coriônicas secundárias em terciárias. (a e c) Representam cortes sagitais de embriões com 16 e 21 semanas, respectivamente. (b e d) Representam cortes transversais de vilosidades de (a e c). O surgimento de vasos sanguíneos no mesoderma da vilosidade transforma-a de secundária para terciária.

Células do citotrofoblasto se estendem pelo sinciotrofoblasto para formar uma capa citotrofoblástica que fixa as vilosidades ao endométrio (ver **Figura 3.12.c**). As vilosidades que se fixam aos tecidos maternos através da capa citotrofoblástica constituem as *vilosidades tronco* que se ramificam para formar as *vilosidades ramificadas*. É principalmente através delas que se realiza a maior parte dos processos de troca entre os sangues materno e embrionário/fetal. Você estudará mais detalhadamente esse assunto na Aula 4, que será a sua próxima aula.

ATIVIDADE



14. Diferencie as vilosidades coriônicas secundárias das terciárias.

RESPOSTA COMENTADA

As vilosidades coriônicas secundárias são formadas por citotrofoblasto, sinciotrofoblasto e mesoderma extra-embrionário sem vasos sanguíneos. As terciárias têm a mesma composição, porém apresentam vasos no mesoderma.

CONCLUSÃO

Você pôde observar que a terceira semana do desenvolvimento embrionário é repleta de eventos, sendo um dos principais, a transformação do disco didérmico em tridérmico. É nesse período que os tecidos fundamentais são formados e, a partir deles, se originam todos os órgãos e sistemas embrionários. Você viu também que, do lado extra-embrionário, o rápido desenvolvimento das vilosidades coriônicas aumentará muito a superfície de trocas entre o embrião e a sua mãe. Esse é um fato importantíssimo, pois as necessidades do embrião vão crescendo, e a placenta exercerá atividades imprescindíveis à manutenção da gravidez.

RESUMO

Na terceira semana, o disco embrionário didérmico transforma-se em disco tridérmico. Nesse período ocorre a formação de dois marcos importantes para o desenvolvimento embrionário: a linha primitiva e o nó primitivo. A partir deles se formam, respectivamente, o mesoderma intra-embrionário e a notocorda. Com a formação do mesoderma intra-embrionário, o epiblasto e o hipoblasto passam a ser chamados, respectivamente, ectoderma e endoderma. O mesoderma se interpõe em toda a extensão entre o ectoderma e o endoderma, exceto em duas áreas que continuam didérmicas, as áreas das membranas bucofaringea e cloacal. Logo após a sua formação, o mesoderma intra-embrionário se diferencia para formar o mesoderma paraxial, o intermediário e o lateral. A notocorda, além de formar o eixo de sustentação do embrião, induz a diferenciação do ectoderma acima dela em ectoderma neural. O restante do ectoderma não-diferenciado forma o ectoderma cutâneo. O ectoderma neural formará o tubo neural e as cristas neurais, que originarão todo o sistema nervoso, central e periférico, respectivamente. Ainda na terceira semana, forma-se a alantóide. No mesoderma extra-embrionário, em torno da alantóide, da vesícula vitelina, do pedículo primitivo do embrião e do córion formam-se os primeiros vasos e células sangüíneas do embrião. No final da terceira semana, o coração está representado por um tubo que se encontra conectado aos vasos extra-embrionários, formando o sistema cardiovascular primitivo. Também na terceira semana, vasos sangüíneos do córion penetram nas vilosidades coriônicas secundárias, transformando-as em vilosidades coriônicas terciárias. O rápido desenvolvimento das vilosidades coriônicas, neste período, aumenta muito a superfície do córion para as trocas entre o embrião/feto e a mãe.

ATIVIDADES FINAIS

1. O que é linha primitiva e qual sua importância para o desenvolvimento embrionário?

RESPOSTA COMENTADA

A linha primitiva é uma área especializada de células que se origina a partir do epiblasto, na região caudal do embrião, e que é responsável pela formação do mesoderma intra-embrionário.

2. O que é notocorda e qual sua importância para o desenvolvimento embrionário?

RESPOSTA COMENTADA

A notocorda é um bastão celular que se origina de células especializadas do nó primitivo; além de formar o eixo de sustentação do embrião, induz o processo de diferenciação do ectoderma que culminará com a formação do sistema nervoso.

3. Quais são os componentes do disco embrionário tridérmico?

RESPOSTA COMENTADA

Ectoderma, mesoderma intra-embrionário e endoderma.

4. Denomine as áreas especializadas do mesoderma intra-embrionário.

RESPOSTA COMENTADA

Mesoderma paraxial, intermediário e lateral.

5. Descreva a formação do tubo neural e das cristas neurais.

RESPOSTA COMENTADA

O ectoderma neural começa a se originar na terceira semana, logo após a formação da notocorda. Em resposta ao processo indutivo desencadeado pela notocorda, essa região do ectoderma se espessa formando a placa neural. A área da placa neural corresponde ao ectoderma neural. O restante do ectoderma passa a ser chamado de ectoderma cutâneo. A intensa proliferação celular na placa induz o aparecimento de um sulco neural que transforma a placa em pregas neurais. As células das pregas neurais próximas ao ectoderma cutâneo se diferenciam em cristas neurais. Próximo ao final da terceira semana, as bordas das pregas neurais se aproximam e se fundem para formar o tubo neural. As cristas neurais também se fundem formando uma crista neural única que logo se segmenta em várias cristas localizadas a cada lado do tubo neural. Finalmente, as bordas do ectoderma cutâneo se fundem e cobrem o tubo e as cristas neurais. O tubo neural irá formar o sistema nervoso central; as cristas neurais formarão o sistema nervoso periférico. Algumas células das cristas neurais migram do seu local original e originam células em outros tecidos ou mesmo outros tecidos.

6. Quais são as vesículas encefálicas primitivas e o que elas originam?

RESPOSTA COMENTADA

Prosencéfalo, mesencéfalo e rombencéfalo. Elas originam as regiões de cérebro e cerebelo, ou seja, o encéfalo.

7. Explique a formação dos primeiros vasos sanguíneos do embrião.

RESPOSTA COMENTADA

Os angioblastos agregam-se para formar as ilhotas sanguíneas. No interior das ilhotas, formam-se pequenas cavidades, que pouco a pouco se juntam para formar redes de canais endoteliais no mesoderma. Assim, algumas células das ilhotas formam a parede endotelial dos vasos sanguíneos primitivos, enquanto outras, na luz dos vasos, formam os hemocitoblastos, que são as células sanguíneas primitivas. O mesênquima em torno dos vasos forma a musculatura lisa e o tecido conjuntivo da parede dos vasos.

8. Em que local do embrião se desenvolve o coração? E quando os batimentos cardíacos podem ser detectados pelo ultra-som?

RESPOSTA COMENTADA

Você viu que o coração se desenvolve a partir do mesoderma lateral, mais especificamente na área cardiogênica que se localiza à frente da membrana bucofaríngea. Os batimentos cardíacos já podem ser detectados por volta do 21^o e 22^o dias após a fertilização.

AUTO-AVALIAÇÃO

Se você conseguiu responder a todas as atividades, parabéns! Pode seguir adiante. É importante que você domine o conteúdo das atividades finais. Se ainda tiver dúvidas, converse com seus colegas e com o seu tutor. Não passe para a próxima aula se não estiver dominando os principais fenômenos ocorridos durante a terceira semana.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, você verá que o embrião trilaminar modificará a sua forma. Ele passará da forma discóide para um formato aproximadamente cilíndrico, ou seja, mais semelhante ao formato humano. Você verá também o desenvolvimento da placenta e das membranas fetais. Até lá!

LEITURAS RECOMENDADAS

MOORE, Keith L.; PERSAUD, Tomas V. N. *Embriologia clínica*. 7.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 609p.

SADLER, Thomas W. *Langman: embriologia médica*. 7.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 282p.

Desenvolvimento embrionário humano IV – mudanças na forma do embrião. Placentação e placenta

AULA 4

Metas da aula

Destacar os fenômenos que provocam a transformação de um ser trilaminar discóide em um embrião com formato aproximadamente cilíndrico.

Explicar a estrutura e as funções exercidas pela placenta.

objetivos

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

- Descrever o dobramento do embrião nos planos longitudinal e transversal.
- Relacionar as estruturas embrionárias formadas em consequência do fechamento do embrião.
- Descrever o desenvolvimento da placenta e o processo de circulação placentária.
- Citar os componentes da membrana placentária.
- Listar as funções da placenta.

Pré-requisitos

É importante, para acompanhar esta aula, que você já tenha estudado os processos de fecundação e de formação dos tecidos embrionários fundamentais, visto nas Aulas 2 e 3.

INTRODUÇÃO

Você estudou, nas Aulas 2 e 3 deste módulo, as três primeiras semanas do desenvolvimento embrionário humano. Viu que, após a fertilização, o zigoto sofre sucessivas divisões mitóticas que resultam na formação do blastocisto, e que o blastocisto implanta-se na parede uterina e se desenvolve para formar o disco embrionário didérmico, na segunda semana, e tridérmico, na terceira semana do desenvolvimento. Nesta aula, trataremos da quarta semana do desenvolvimento embrionário que é marcada pela transformação do disco embrionário tridérmico, com formato semelhante a uma sola de sapato, em um embrião com um aspecto mais humano, aproximadamente cilíndrico (**Figura 4.1**). O período que vai da quarta à oitava semana é conhecido como *período embrionário* ou *período da organogênese*, no qual cada uma das camadas germinativas dá origem a vários tecidos e órgãos específicos.

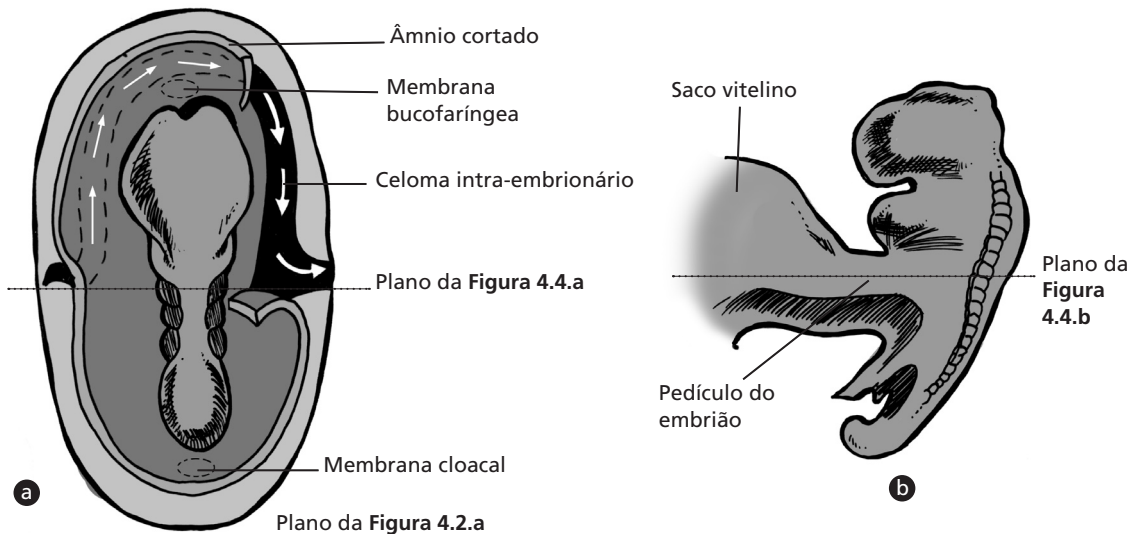


Figura 4.1: Desenhos esquemáticos mostrando o fechamento do embrião na quarta semana. (a) Vista dorsal de um embrião no início da quarta semana. A comunicação entre os celomas intra e extra-embrionário pode ser observada no lado direito da figura, após remoção do ectoderma e do mesoderma da área. (b) Vista lateral de um embrião com 22 dias. Compare o formato do embrião antes e depois do fechamento.

O dobramento do disco embrionário é vital para o estabelecimento da forma do corpo do embrião; e ocorre tanto no plano horizontal quanto no transversal e é decorrente do rápido crescimento do embrião, principalmente o crescimento da área cefálica, que, como você já viu na Aula 3, é sempre mais acentuado que o da região caudal. Apesar disso, o fechamento nos dois planos ocorre simultaneamente.

DOBRAMENTO LONGITUDINAL

O rápido crescimento do tubo neural, notadamente na região cefálica, produz as pregas cefálica e caudal (Figura 4.2.a e b). Esse crescimento desencadeia o deslocamento ventral das regiões cefálica e caudal, enquanto o embrião se alonga nesse sentido. Você pode observar na Figura 4.2.a que as estruturas mais cefálicas no embrião, isto é, as localizadas à frente da linha primitiva, são a área cardiogênica e a membrana bucofaríngea, enquanto a estrutura mais caudal constitui a membrana cloacal.

À medida que as pregas cefálica e caudal se acentuam, as membranas giram aproximadamente 90°. Como você pode observar, acompanhando as Figuras 4.2 e 4.3, a vesícula amniótica vai gradativamente estrangulando a vesícula vitelina. No final do fechamento do embrião, as membranas giram quase 270°, e, nesse processo, a área cardiogênica e a membrana bucofaríngea são puxadas para a superfície ventral do embrião. Parte da vesícula vitelina é incorporada ao embrião para formar o tubo intestinal primitivo, que se comunica com o restante da vesícula vitelina pelo canal vitelino. O tubo intestinal primitivo apresenta-se dividido em três partes: o *intestino anterior*, primórdio do broto respiratório, faringe, esôfago, estômago, parte do duodeno, fígado, vesícula biliar e pâncreas; o *intestino médio*, que origina a maior parte do duodeno, jejuno, íleo e parte do intestino grosso; e o *intestino posterior*, que forma o restante do intestino grosso.

Ao mesmo tempo que o tubo intestinal primitivo está se formando, estabelece-se entre o encéfalo anterior (prosencefalo) e a área cardiogênica uma depressão denominada estomodeu ou boca primitiva, que está separada do tubo intestinal primitivo pela membrana bucofaríngea. O pedículo primitivo do embrião encontra-se agora localizado na superfície ventral; parte da alantóide foi incorporada ao embrião. O pedículo primitivo juntamente com o canal e o saco vitelino, revestidos pelo âmnio, formam o cordão umbilical.

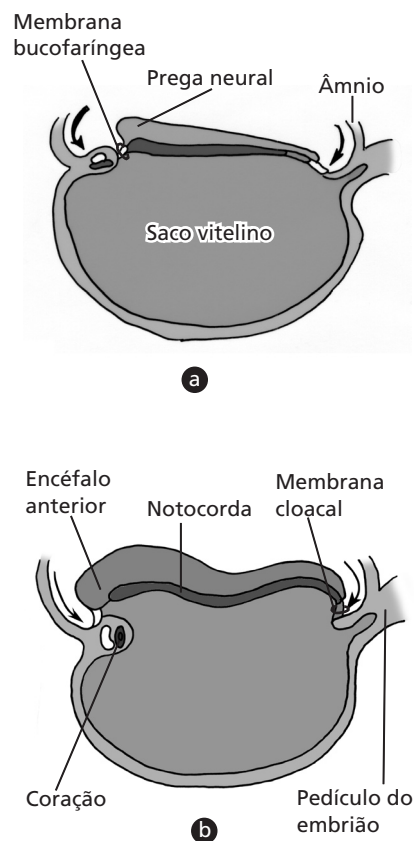


Figura 4.2: Desenhos esquemáticos de diferentes fases do fechamento do embrião vistos em corte longitudinal. (a) Embrião no final da terceira semana. (b) Embrião no início da quarta semana.

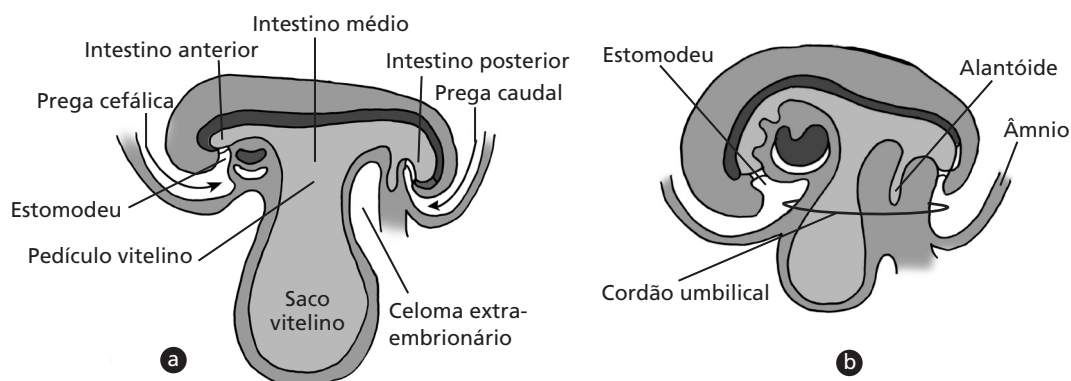
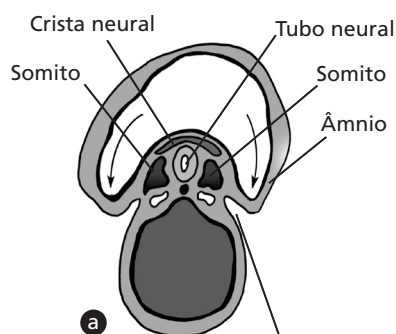


Figura 4.3: Desenhos esquemáticos de diferentes fases do fechamento do embrião vistos em corte longitudinal. (a) Embrião com 26 dias. (b) Embrião com 28 dias. A vesícula amniótica estrangulou a vesícula vitelina. Observe que parte da vesícula vitelina foi incorporada ao embrião formando o tubo intestinal primitivo. O pedículo primitivo do embrião juntamente com o que restou da vesícula vitelina e parte da alantóide são recobertos pelo âmnio e formam o cordão umbilical.

DOBRAMENTO TRANSVERSAL



(a) Corte transversal do embrião no início do fechamento. Observe que a vesícula amniótica está começando a estrangular a vesícula vitelina.

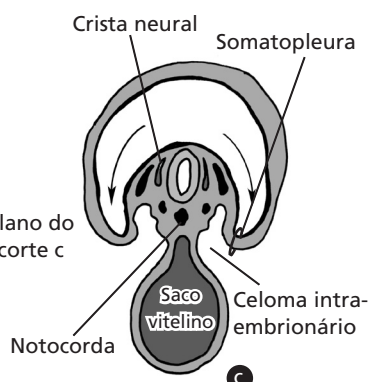
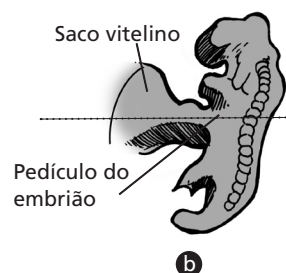


Figura 4.4: Desenhos esquemáticos de embriões em diferentes fases do fechamento. (a) Corte transversal da Figura 4.1.a mostrando as pregas laterais no início do fechamento do embrião. Observe que a vesícula amniótica está começando a estrangular a vesícula vitelina. (b) Vista lateral do embrião com 26 dias, indicando o plano de corte C. (c) Você pode observar a progressão do fechamento no plano de corte transversal. O celoma intra-embriônico, nesse plano de corte, formará a cavidade abdominal.

O rápido crescimento da medula espinhal e dos somitos leva ao dobramento lateral do embrião. Você pode observar que surgem duas pregas laterais: direita e esquerda (Figuras 4.4.a a C e 4.5.a e b). Veja se você reconhece as estruturas que estudamos na aula anterior, tais como as vesículas amniótica e vitelina, o mesoderma paraxial, intermediário e lateral, o celoma intra-embriônico, o tubo neural e as cristas neurais. Observe mais uma vez que, com as pregas laterais se acentuando, a vesícula amniótica vai estrangulando a vesícula

vitelina. Nesse plano de corte, que passa pelo cordão umbilical, você pode ver que as duas cavidades do celoma intra-embriônico se deslocam anteriormente e envolvem o tubo intestinal primitivo, formando a cavidade peritoneal. O mesoderma lateral esplâncnico forma a musculatura lisa e também o tecido conjuntivo que envolve o revestimento epitelial do tubo digestivo, de origem endodérmica. O mesoderma lateral somático e o ectoderma cutâneo formam a parede do corpo.

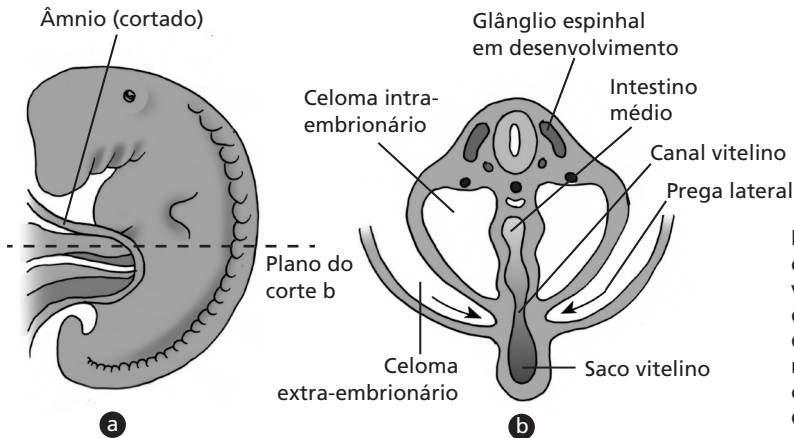


Figura 4.5: (a) Vista lateral de um embrião com 26 dias. (b) Corte transversal esquemático no plano indicado em (a). A cavidade abdominal já está delimitada. Observe que o intestino médio se comunica amplamente com o restante da vesícula vitelina através do canal vitelino.

Você leu na Introdução, que, na quarta semana, o embrião assume um aspecto mais semelhante ao do humano. Que tal? Pois é, eis o seu retrato aos 28 dias de vida intra-uterina! Não tão bonito como você agora, não é? Não se preocupe, as coisas vão melhorar! Essa fase é passageira!

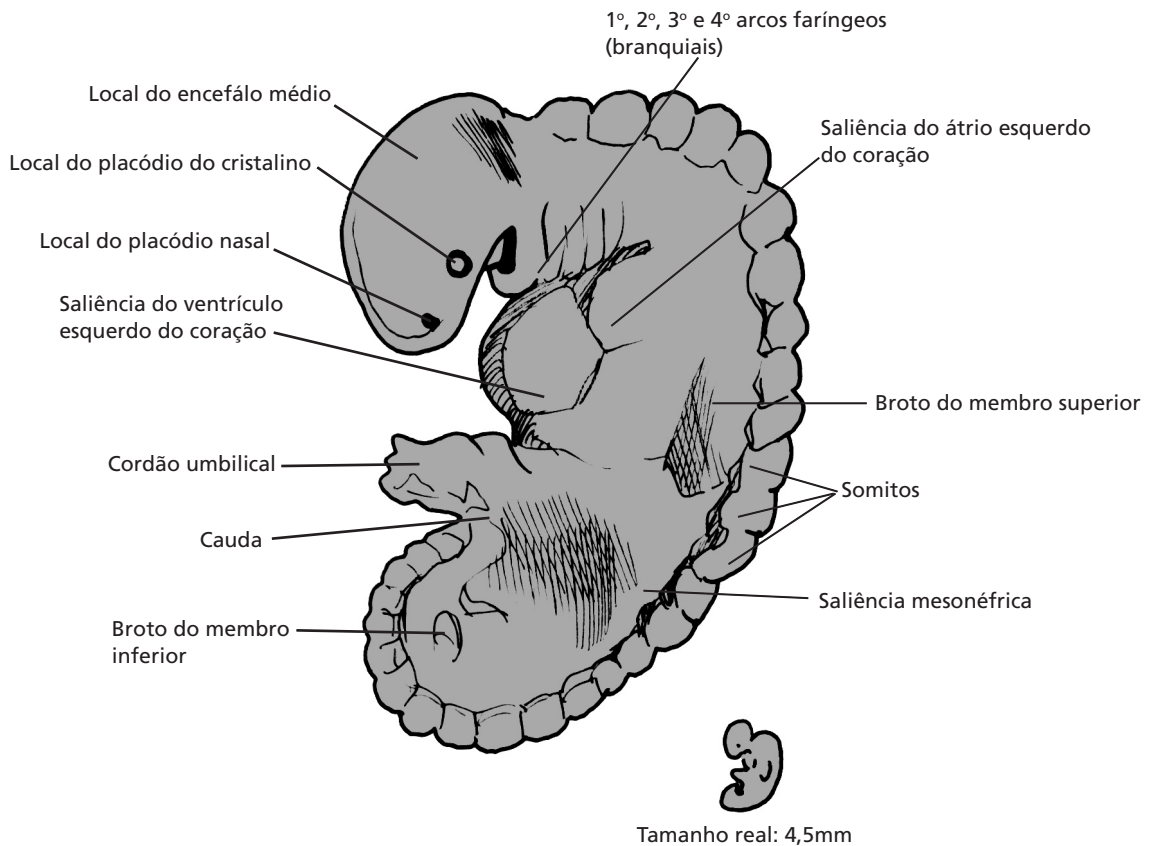


Figura 4.6: Esquema mostrando uma vista lateral de um embrião com cerca de 28 dias. O coração é grande, os somitos são bem visíveis e os brotos dos membros superiores já podem ser observados.

ATIVIDADES



1. Com o processo de fechamento do embrião:

- a. parte da vesícula vitelina formará o tubo intestinal primitivo;
- b. a vesícula vitelina se expande e reveste todo o embrião;
- c. o canal vitelino originará o intestino médio;
- d. o celoma intra-embrionário desaparece com a diferenciação dos somitos;
- e. a alantóide desaparece totalmente, não formando nenhuma estrutura no embrião.

RESPOSTA COMENTADA

Item a. Veja nas Figuras 4.2 e 4.3 que, com o fechamento do embrião, a vesícula amniótica cresce e estrangula a vesícula vitelina, incorporando parte dela ao embrião para formar o tubo intestinal primitivo. O canal vitelino comunica o tubo intestinal primitivo com o restante da vesícula vitelina. O intestino médio é uma subdivisão do tubo intestinal primitivo e a alantóide não desaparece completamente, pois, como você estudou na Aula 3, parte dela origina uma pequena região da bexiga, entre outras estruturas.

2. Após o fechamento do embrião, as grandes cavidades do corpo são formadas a partir de:

- a. saco coriônico;
- b. celoma extra-embrionário;
- c. celoma intra-embrionário;
- d. cavidade amniótica;
- e. saco vitelino.

RESPOSTA COMENTADA

As cavidades pleurais, pericárdica e peritoneal formam-se a partir do celoma intra-embrionário, após o fechamento do embrião. O item correto é o c.

3. Em relação ao fechamento do embrião, é correto afirmarmos que:
- a. a alantóide é totalmente incorporada ao corpo do embrião;
 - b. o estomodeu se forma como uma depressão entre o prosencéfalo e a área cardiogênica;
 - c. a membrana bucofaríngea não muda de posição durante o fechamento do embrião;
 - d. o pedículo primitivo do embrião é deslocado para uma posição dorsal;
 - e. todos os itens estão errados.

RESPOSTA COMENTADA

*Com o fechamento do embrião, somente parte da alantóide é a ele incorporada para formar uma pequena região da bexiga; a membrana bucofaríngea gira quase 270° e, portanto, assume uma posição ventral; o pedículo primitivo do embrião também é deslocado ventralmente. Portanto, o item correto é o **b**. O estomodeu, ou boca primitiva do embrião, é uma depressão que se forma entre o prosencéfalo e a área cardiogênica.*

PLACENTA E MEMBRANAS FETAIS

A placenta é o local de trocas entre a mãe e o feto. Ela começa a ser formada desde o momento em que o sinciotrofoblasto interage com o endométrio e inicia o seu processo de invasão, através da liberação de enzimas digestivas (Aula 2 desta disciplina). A placenta é composta por duas partes: uma parte fetal, originária do saco coriônico, e uma parte materna, derivada do endométrio. O córion, o âmnio, o saco vitelino e a alantóide constituem as membranas fetais que separam o embrião/feto do endométrio. Apesar de se originarem do zigoto, esses componentes não participam da formação do embrião, exceto partes do saco ou vesícula vitelina e da alantóide.



Lembre-se de que o córion é constituído pelo mesoderma extra-embriônico somático, pelo citotrofoblasto e pelo sinciotrofoblasto. Se você não lembrar, retorne à Aula 2.

DECÍDUA

Do latim *deciduus*, que significa "desprender-se". Logo, você pode deduzir que esse componente desprende-se do útero no momento do nascimento. Dos três componentes citados, o que forma a *parte materna da placenta* é a *decídua basal*.

Componente materno da placenta

Antes de estudar o componente materno da placenta, você precisa saber que o endométrio gravídico é conhecido como **DECÍDUA**. A decídua recebe três diferentes denominações, de acordo com a sua relação com o local de implantação do conceito (**Figura 4.7**):

- *decídua basal* – é a parte da decídua mais distante do conceito;
- *decídua capsular* – é a parte da decídua que cobre o conceito;
- *decídua parietal* ou *decídua vera* – são todas as partes restantes da decídua.

Componente fetal da placenta

Você estudou, nas aulas anteriores, que nas três primeiras semanas do desenvolvimento embrionário as vilosidades cobrem toda a superfície do córion (**Figura 4.7.c**). Com a progressão da gravidez, as vilosidades no pólo embrionário continuam a crescer e a se expandir, dando origem ao *córion frondoso ou viloso*. As vilosidades do lado oposto ao pólo embrionário degeneram e originam o *córion liso* (**Figura 4.9**). O *córion frondoso* representa a *porção fetal da placenta* (**Figura 4.7.c a f**).

Estrutura da placenta

A placenta é constituída pela *decídua basal* e pelo *córion frondoso*. Com o crescimento do feto, a decídua capsular se funde com a decídua parietal e acaba obliterando a cavidade uterina (**Figura 4.7.e e f**). Além disso, o crescimento fetal também provoca a obliteração da cavidade coriônica e a conseqüente fusão entre o âmnio e o córion, formando a *membrana amnitocoriônica*. É esta membrana que se rompe durante o trabalho de parto. Este rompimento é conhecido como rompimento da bolsa d'água.

Do lado fetal, a placenta é limitada pela *placa coriônica* (**Figura 4.8**); do lado materno, é limitada pela decídua basal, da qual a *placa decidual* é a que está mais intimamente incorporada à placenta. Entre as placas coriônica e decidual há espaços intervilosos cheios de sangue materno. Esses espaços derivam das lacunas do sinciotrofoblasto, como você já estudou em nossa primeira aula. As vilosidades coriônicas crescem para dentro dos espaços intervilosos (**Figura 4.8**).

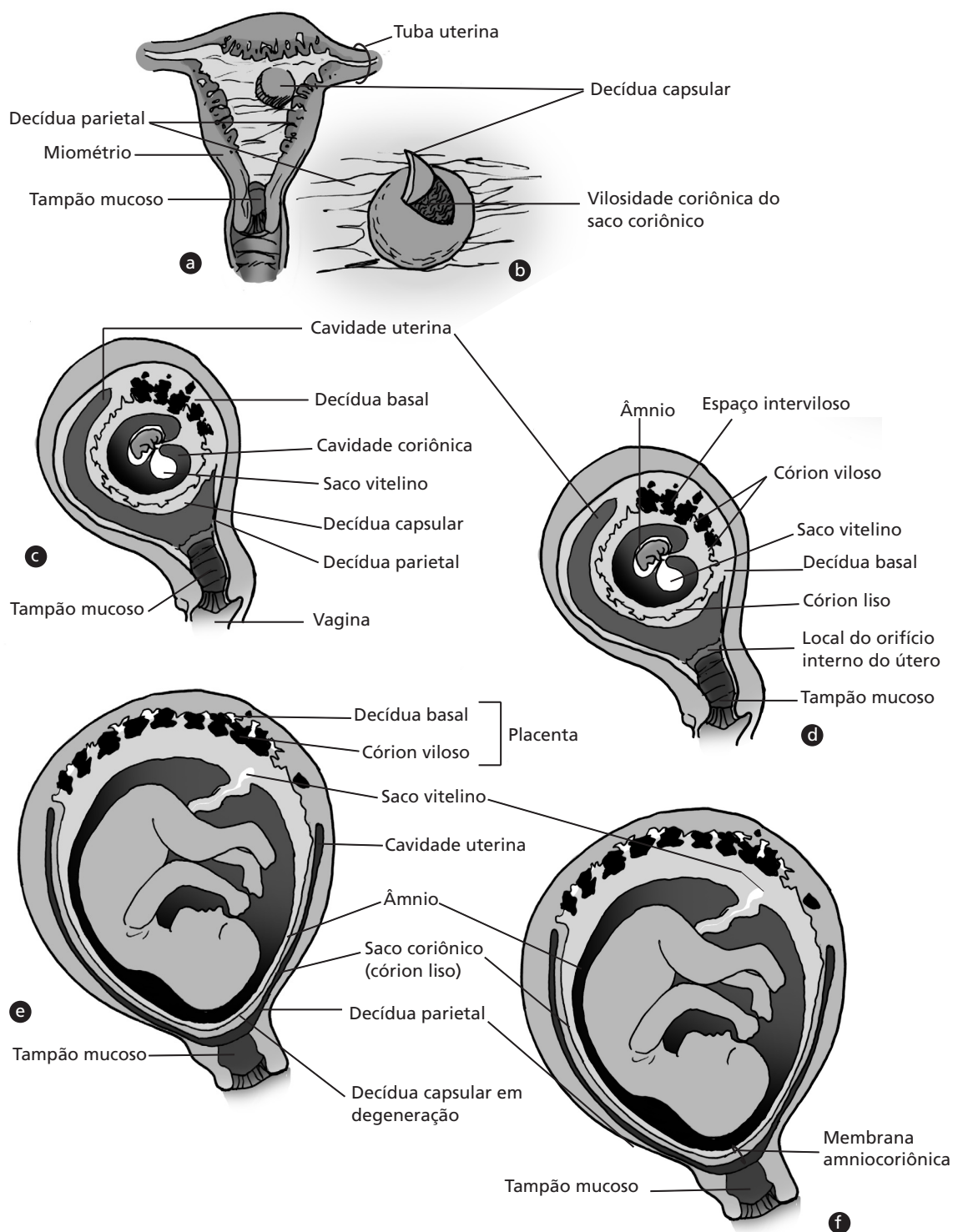


Figura 4.7: Desenhos esquemáticos mostrando o desenvolvimento da placenta e das membranas fetais. (a) Corte coronal do útero, mostrando um embrião de quatro semanas implantado na parede posterior do endométrio. A decídua capsular está cobrindo o saco coriônico. (b) Local de implantação ampliado, mostrando as vilosidades coriônicas através de uma abertura na decídua capsular. (c) a (f) Cortes sagitais do útero da quinta à 22ª semana, mostrando a mudança das relações das membranas fetais com a decídua. (f) O âmnio e o córion estão fundidos entre si e com a decídua basal, obliterando a cavidade uterina. Observe de (d) a (f) que as vilosidades coriônicas persistem somente onde o córion está associado à decídua basal.

COTILÉDONES

Espaços irregulares, de forma convexa, localizados na parte fetal da placenta, delimitados pelos septos placentários.

Durante o quarto e o quinto meses, a decídua forma muitos septos que crescem para dentro dos espaços intervilosos, que são os *septos placentários*. Esses septos são cobertos por uma camada de células sinciciais. Como você pode ver nas Figuras 4.8 e 4.9, os compartimentos delimitados pelos septos dividem a placenta em **COTILÉDONES**.

A placenta aumenta de tamanho juntamente com o crescimento do feto e do útero. Ao final da gravidez, ela cobre em torno de 15 a 30% da superfície interna do útero. Sua forma é discóide, e ela mede cerca de 25cm de diâmetro, 3cm de espessura e pesa aproximadamente 500-600g. Ela é arrancada da parede uterina durante o parto e é expelida da cavidade uterina após aproximadamente 30 minutos o nascimento da criança.

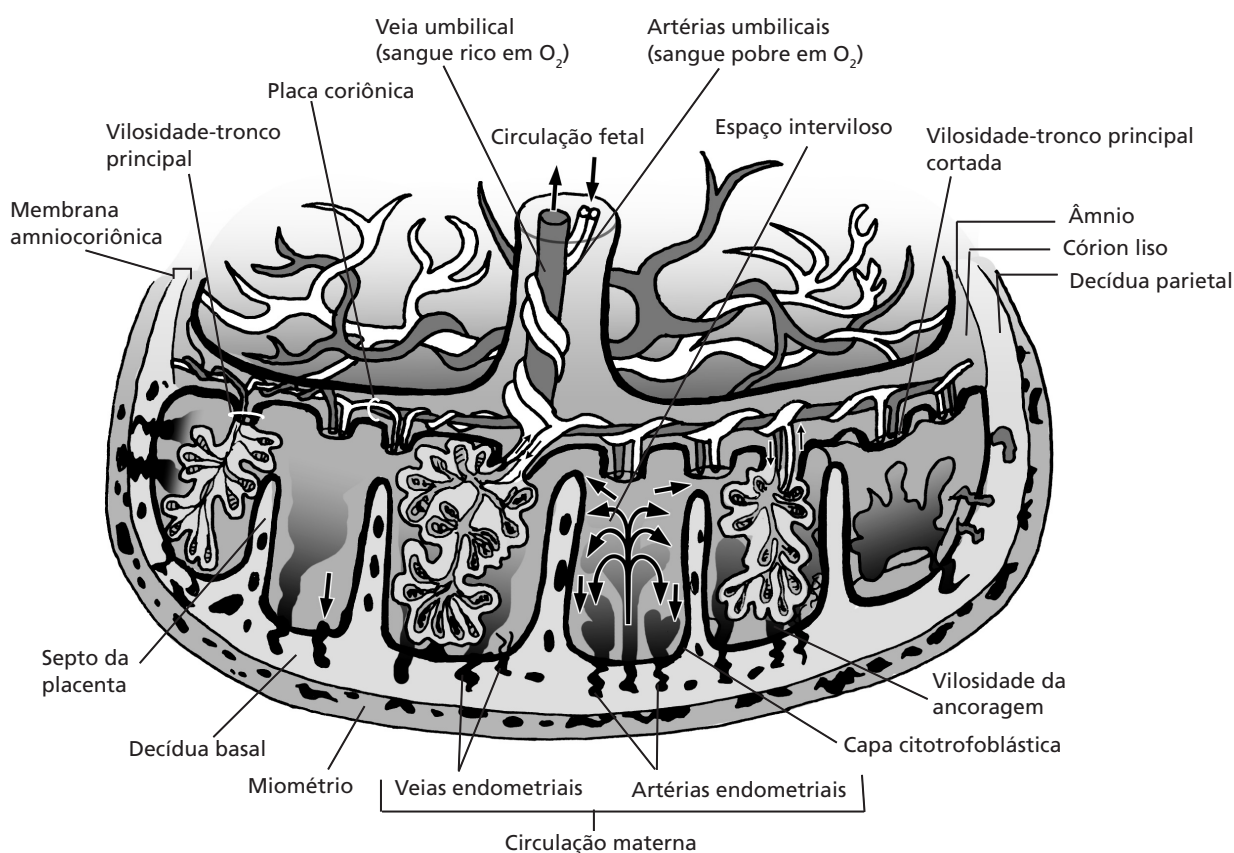
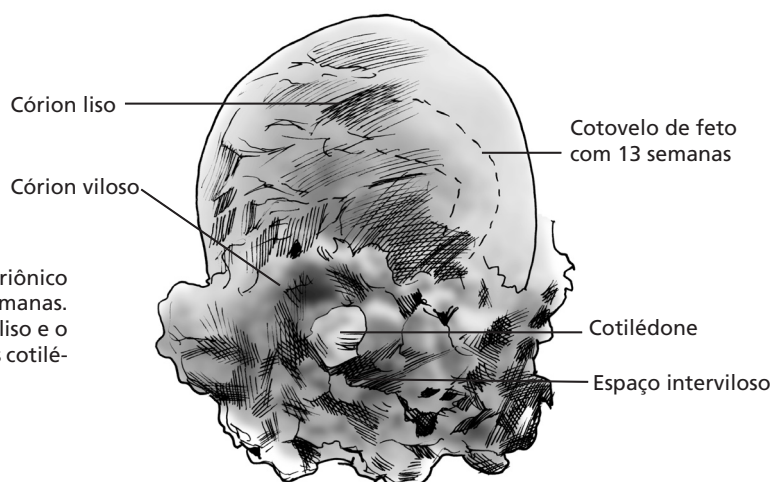


Figura 4.8: Desenho esquemático de uma placenta a termo, cortada transversalmente, mostrando a relação entre o córion viloso e a decídua basal, a circulação placentária fetal e materna.

Figura 4.9: Desenho de um saco coriônico humano contendo um feto de 13 semanas. Observe a diferença entre o córion liso e o frondoso. Estão sendo mostrados os cotilédones e os espaços intervilosos.



Circulação placentária

As artérias espiraladas do endométrio são vasos que apresentam um lúmen muito estreito, e, portanto, o sangue no seu interior encontra-se sob pressão. Essas artérias perfuram a placa decidual e penetram nos espaços intervilosos, fazendo com que o sangue entre neles e banhe as vilosidades coriônicas com sangue oxigenado (Figura 4.8). À medida que a pressão do sangue cai, ele flui da placa coriônica para a decídua, onde penetra nas veias endometriais.

Na placenta madura, os espaços intervilosos contêm cerca de 150mL de sangue, que é renovado três ou quatro vezes por minuto. Separando o sangue materno do sangue fetal, existe uma *membrana placentária*, que é composta por quatro camadas: o **ENDOTÉLIO** dos vasos fetais; o tecido conjuntivo que forma o eixo central da vilosidade, anteriormente denominado mesoderma extra-embrionário; o citotrofoblasto; e o sinciciotrofoblasto (Figura 4.10). O oxigênio e os nutrientes se difundem do sangue materno para o fetal, atravessando a membrana placentária, e são levados ao feto pela veia umbilical. O gás carbônico e os resíduos do metabolismo fetal são conduzidos pelas artérias umbilicais até o sistema arteriocapilar das vilosidades e se difundem em direção ao sangue materno, atravessando também a membrana placentária.

ENDOTÉLIO

Epitélio pavimentoso simples, de origem mesodérmica, que reveste o lúmen dos vasos sangüíneos e linfáticos.



Normalmente, não há mistura entre o sangue fetal e o materno, embora pequenas quantidades de sangue fetal possam penetrar no sangue materno através de pequenos defeitos na membrana placentária. Se o feto for Rh-positivo e a mãe Rh-negativo, as hemácias fetais que passam para o sangue materno podem estimular a formação de anticorpos maternos anti-Rh. Tais anticorpos passam para o sangue fetal e causam hemólise das hemácias do feto. Essa doença, denominada eritroblastose fetal, pode levar o feto à morte, a menos que o parto seja antecipado ou que ele receba transfusão intra-uterina de sangue Rh-negativo para mantê-lo vivo até após o nascimento. Hoje em dia, isso é raro ocorrer, pois a imunoglobulina dada para a mãe previne a doença e tem reduzido de modo significativo a sua ocorrência e a necessidade de transfusão fetal.

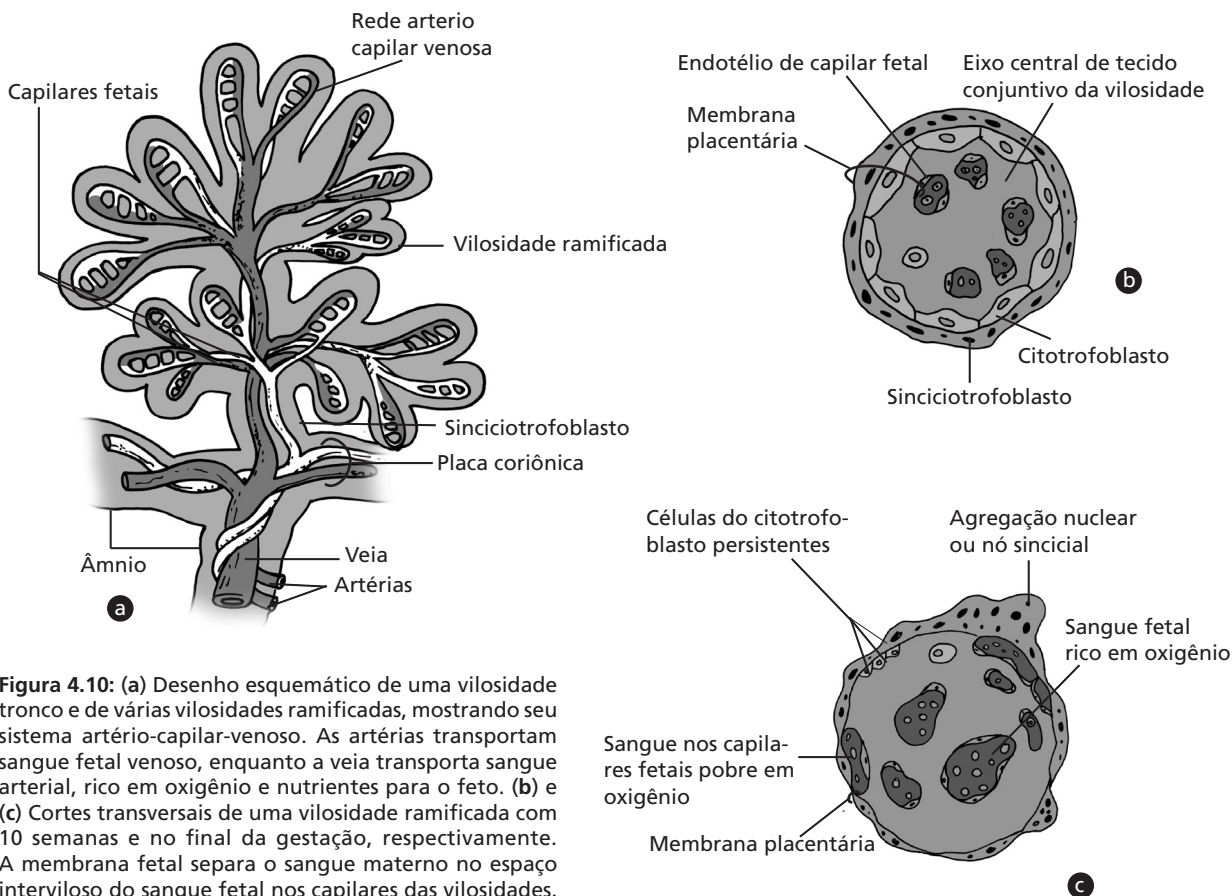


Figura 4.10: (a) Desenho esquemático de uma vilosidade tronco e de várias vilosidades ramificadas, mostrando seu sistema artério-capilar-venoso. As artérias transportam sangue fetal venoso, enquanto a veia transporta sangue arterial, rico em oxigênio e nutrientes para o feto. (b) e (c) Cortes transversais de uma vilosidade ramificada com 10 semanas e no final da gestação, respectivamente. A membrana fetal separa o sangue materno no espaço intervilloso do sangue fetal nos capilares das vilosidades. Observe que a membrana fetal diminui de espessura no final da gravidez.

Funções da placenta

Com base nas informações já passadas sobre o desenvolvimento embrionário, você saberia enumerar as funções da placenta?

São três as principais funções da placenta:

- metabolismo - a placenta sintetiza nutrientes como glicogênio, colesterol e ácidos graxos, que servem como fonte de energia para o embrião/feto.

- transporte de gases e nutrientes – a placenta transporta oxigênio,

gás carbônico, eletrólitos, água, aminoácidos, ácidos graxos, carboidratos, vitaminas, hormônios, anticorpos maternos, drogas e seus metabólitos, agentes infecciosos como o vírus da rubéola, microorganismos como o *Treponema pallidum*, causador da sífilis, e o *Toxoplasma gondii*, agente etiológico da toxoplasmose.



A placenta permite a transferência de anticorpos maternos para o embrião/feto, prevenindo assim doenças como difteria, varíola e sarampo. Esses anticorpos conferem imunidade ao feto contra essas doenças. Porém, anticorpos contra doenças como coqueluche e catapora não cruzam a membrana placentária e, portanto, o feto não está protegido delas.

- secreção endócrina – a placenta sintetiza vários hormônios protéicos, como gonadotrofina coriônica humana (hCG), somatotrofina coriônica humana (hCS), tireotrofina coriônica humana (hCT) e corticotrofina coriônica humana (hCACTH). Sintetiza também hormônios esteróides, como a progesterona e os estrógenos.



ATIVIDADES

4. São funções da placenta, **exceto**:

- transporte de gases por difusão simples;
- metabolismo de glicogênio;
- secreção endócrina de hormônios protéicos;
- transferência de anticorpos maternos que conferem imunidade contra a coqueluche e a catapora;
- metabolismo de ácidos graxos.

RESPOSTA COMENTADA

Você estudou no item "Funções da placenta" que ela exerce todas as funções citadas, exceto a transferência de anticorpos maternos contra coqueluche e catapora.

5. Conceitue a placenta e cite os seus componentes.

RESPOSTA COMENTADA

Como você viu no item "Placenta e membranas fetais", desta aula, a placenta é o órgão de trocas entre a mãe e o embrião/feto e é constituída por um componente materno, a decídua basal, e um fetal, o córion viloso.

6. De onde se originam e que componentes formam as membranas fetais?

RESPOSTA COMENTADA

As membranas fetais são aquelas que se originam do zigoto, mas não participam da formação do embrião/feto, exceto de partes do saco vitelino e da alantóide; são constituídas pelo córion, âmnio, saco vitelino e alantóide.

7. O que é decídua?

RESPOSTA COMENTADA

Decídua é a parte do endométrio que se separa do restante do útero após o parto, que, como você estudou em "Componente materno da placenta", é o endométrio gravídico.

8. Cite as partes da decídua e as conceitue.

RESPOSTA COMENTADA

A decídua é classificada de acordo com a relação que ela estabelece com o embrião/feto. Veja que, de acordo com esse critério, a decídua se divide em três partes: a decídua basal, que é a parte do endométrio mais distante do conceito; a decídua capsular, que é a parte que cobre o conceito; e a decídua parietal, que representa o restante do endométrio gravídico.

9. O que é córion liso e viloso?

RESPOSTA COMENTADA

*Nesta aula, você viu na **Figura 4.10** que, da mesma forma que o endométrio gravídico, a relação da decídua com o córion estabelece, neste último, duas regiões distintas: uma que está em contato com a decídua capsular, o córion liso, e outra que mantém contato com a decídua basal, o córion viloso. A superfície do córion liso não apresenta vilosidades coriônicas, enquanto a do córion viloso se mostra rica em vilosidades coriônicas. Esta última forma a porção fetal da placenta.*

CONCLUSÃO

As informações básicas das quatro aulas de Embriologia ajudarão você a compreender melhor parte do desenvolvimento embrionário. A partir deste último período estudado, o embrião, além de mudar sua forma, vai crescer em complexidade estrutural e funcional. Todos os seus órgãos se formarão através de um intenso processo de diferenciação celular e vão, gradativamente, tornando-se funcionais. A partir daí, é só esperar o nascimento!

RESUMO

No início da quarta semana, o dobramento do embrião nos planos longitudinal e transversal converte o disco embrionário achatado em um embrião cilíndrico. O aparecimento das pregas cefálica, caudal e laterais resulta em expansão da vesícula amniótica e estrangulamento da vesícula vitelina. Parte da vesícula vitelina é incorporada ao embrião para formar o intestino primitivo. As estruturas que anteriormente se situavam cefálica e caudalmente no embrião são arrastadas para a região ventral, e o embrião se comunica com a mãe pela placenta, através do cordão umbilical, agora também localizado ventralmente. A placenta, agora já mais desenvolvida, é composta por um componente materno, a decídua basal, e por um componente fetal, o córion frondoso. Através dela vão ocorrer as atividades essenciais para a manutenção da gravidez e a promoção do desenvolvimento normal do feto.

ATIVIDADE FINAL

1. De acordo com o assunto estudado por você nesta aula, descreva:

a. O processo de fechamento do embrião no plano longitudinal ou mediano.

RESPOSTA COMENTADA

Vamos recordar: você deve lembrar que o desenvolvimento acelerado do tubo neural, principalmente na região cefálica do embrião, faz surgirem as pregas cefálica e caudal, que levam essas extremidades a se deslocarem ventralmente. Com isso, a vesícula amniótica vai gradativamente estrangulando a vesícula vitelina e vai incorporando parte dela para formar o tubo intestinal primitivo. Esse tubo comunica-se com o restante da vesícula vitelina por um estreito canal, o canal vitelino, que é incorporado ao cordão umbilical. Ao se completar o fechamento no plano longitudinal, a porção anterior da cabeça se projeta na face ventral do embrião, colocando-se sobre o coração. Entre ambos, forma-se uma depressão, o estomodeu ou boca primitiva do embrião, que, nessa fase, encontra-se separado do tubo intestinal primitivo pela membrana bucofaríngea. Na região caudal, o pedículo primitivo e a alantóide são puxados para a face ventral, e parte da alantóide é também incorporada ao corpo do embrião.

b. O processo de fechamento do embrião no plano transversal ou lateral.

RESPOSTA COMENTADA

Vamos descrever o dobramento lateral. Esse fenômeno resulta do rápido crescimento da medula espinhal e dos somitos, que leva ao fechamento do embrião no plano transversal. Após a formação das pregas laterais, a parede ventrolateral dobra-se em direção ao plano mediano, deslocando, ventralmente, as bordas do disco embrionário e formando um embrião aproximadamente cilíndrico.

c. A estrutura da placenta.

RESPOSTA COMENTADA

A placenta é constituída por uma parte fetal, o córion frondoso, e por uma parte materna, a decídua basal. Do lado fetal, a placenta é limitada pela placa coriônica; do lado materno, pela decídua basal, a qual forma os septos deciduais que se projetam para dentro dos espaços intervilosos, sem, no entanto, alcançar a placa coriônica. Como consequência, a placenta fica dividida em cotilédones. As vilosidades coriônicas se projetam da placa coriônica para os espaços intervilosos, que são preenchidos pelo sangue materno.

d. A circulação placentária.

RESPOSTA COMENTADA

As artérias espiraladas do endométrio perfuram a placa decidual e penetram nos espaços intervilosos, fazendo com que o sangue entre nesses espaços e banhe as vilosidades coriônicas com sangue oxigenado. À medida que a pressão do sangue cai, ele flui da placa coriônica para a decídua, onde penetra nas veias endometriais.

AUTO-AVALIAÇÃO

Você conseguiu responder a todas as atividades? Nesta aula, é essencial que você saiba os mecanismos que provocam o fechamento do embrião, pois isso traz consequências tanto para a morfologia externa quanto para o início da organogênese. É também importante você saber a estrutura da placenta, suas funções e ter conhecimento sobre a circulação uteroplacentária. Lembre-se de que a maioria das drogas e seus metabólitos atravessa a membrana placentária e pode afetar, direta ou indiretamente, o desenvolvimento normal do embrião/feto. Se ainda tiver dúvidas, converse com seus colegas e com o seu tutor.

LEITURAS RECOMENDADAS

MOORE, Keith L.; PERSAUD, Tomas V. N. *Embriologia clínica*. 7.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 609p.

SADLER, Thomas W. *Langman: embriologia médica*. 7.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 282p.

Desenvolvimento embrionário humano V – organogênese, a formação de órgãos e sistemas do nosso corpo

AULA 5

Meta da aula

Apresentar o desenvolvimento geral de órgãos e sistemas a partir dos folhetos embrionários, dando ênfase à formação do tubo intestinal primitivo.

objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Identificar os tecidos e órgãos que se desenvolvem a partir dos folhetos embrionários.
- Descrever a formação do tubo digestório e das glândulas digestórias anexas.
- Caracterizar o desenvolvimento do sistema respiratório.
- Definir os primórdios formadores do sistema urinário.

Pré-requisitos

Para que você acompanhe melhor esta aula, é bom fazer uma leitura das Aulas 3 e 4 sobre o desenvolvimento embrionário, que explicam a formação dos folhetos embrionários e o processo de fechamento do embrião, em que parte do saco vitelino é incorporado ao embrião para formar o intestino primitivo.

INTRODUÇÃO

“As células formam os tecidos, os tecidos formam os órgãos, os órgãos formam os sistemas e o conjunto de sistemas forma o nosso organismo...” Esta sequência você já está cansado de saber, não é mesmo? Nesta aula, você vai identificar a origem embriológica de alguns sistemas do nosso organismo, principalmente os sistemas digestório, respiratório e urinário. Você irá perceber que esses sistemas tiveram uma origem em comum: o folheto endodérmico, que foi incorporado ao embrião durante a quarta semana do desenvolvimento no processo de fechamento do embrião. Durante esse processo, o corpo do embrião sofre dobramentos no eixo cefalocaudal e lateral, estrangulando o saco vitelino. Veja, na **Figura 5.1**, que o teto do saco vitelino, revestido por endoderma, formará uma estrutura tubular no interior do embrião, que tem início na membrana orofaríngea e segue até a membrana cloacal. Sendo assim, está formado o nosso tubo intestinal primitivo. Você pode relembrar esse evento fazendo uma leitura das Aulas 3 e 4 sobre o desenvolvimento embrionário.

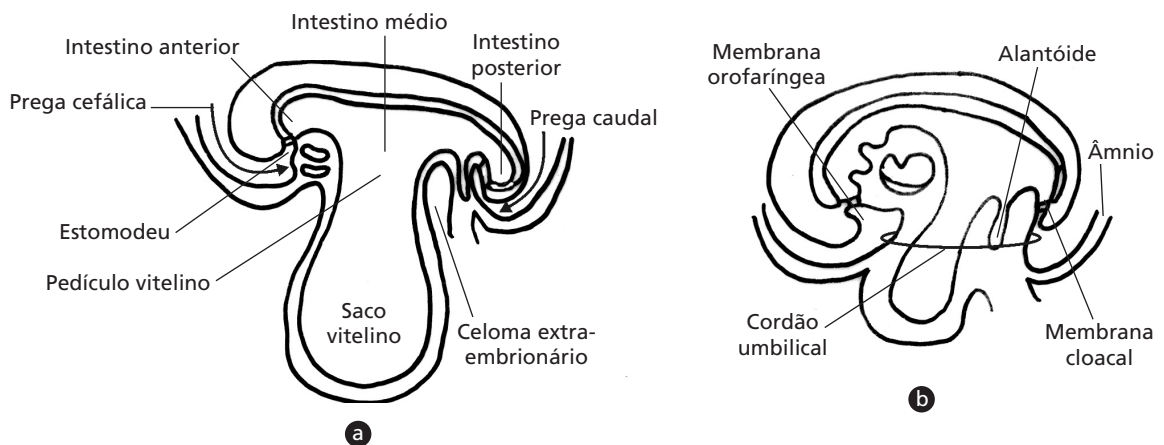


Figura 5.1: Corte longitudinal de um embrião com 26 dias (a) e 28 dias (b) sofrendo o dobramento no eixo cefalocaudal. Observe que parte do saco vitelino é incorporado ao embrião formando o tubo intestinal primitivo. Fonte: CEDERJ - Aula 4 de Desenvolvimento embrionário humano (com modificações na legenda).

Você já deve ter também a noção do tempo de desenvolvimento de um novo ser humano. O período de gestação varia de acordo com as espécies. No nosso caso, contando a partir da data da fecundação, o novo ser fica cerca de 38 semanas no interior do útero materno para se desenvolver e amadurecer seus órgãos. Da primeira até a terceira semana do desenvolvimento embrionário, surgem várias células, por meio de divisões mitóticas, as quais começam a se organizar nos folhetos embrionários que, por sua vez, darão origem aos nossos diversos tecidos.

Da quarta à oitava semana do desenvolvimento, o embrião passa por um período chamado organogênese. É nesse período que os tecidos começam a interagir e estabelecer a formação dos órgãos e o seu funcionamento, ainda que precariamente. Considerando a diferenciação de tecidos e órgãos nessa fase do desenvolvimento, a exposição do embrião a **TERATÓGENOS** pode causar anomalias congênitas. Você já acompanhou nas Aulas 3 e 4 do desenvolvimento embrionário a formação de dois importantes sistemas do nosso organismo: um é o sistema nervoso, que surge a partir do ectoderma, e coordena o funcionamento do nosso organismo. Já o outro é o sistema cardiovascular, que surge a partir do mesoderma, pois, com o rápido crescimento do embrião, nossos tecidos exigiram a formação de vias (vasos sanguíneos) que fornecessem uma troca mais eficiente de nutrientes e metabólitos entre a mãe e o corpo do embrião. Da nona semana até o nascimento, já podemos chamar o novo ser de feto, pois estamos no período fetal. O feto já apresenta características físicas de um ser humano, os principais sistemas já estão formados, acontecendo nesse período então o rápido crescimento do corpo e a maturação dos órgãos e sistemas.

TERATÓGENOS

Agentes de natureza química, hormonal, ou até mesmo infecções maternas e fatores nutricionais que podem levar à maior incidência de anomalias congênitas.

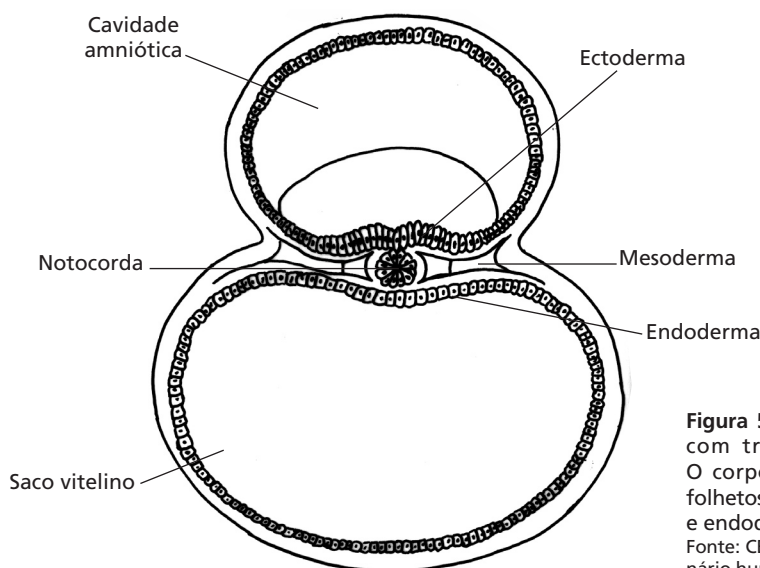


Figura 5.2: Corte transversal de um embrião com três semanas de desenvolvimento. O corpo do embrião é formado pelos três folhetos embrionários: ectoderma, mesoderma e endoderma.

Fonte: CEDERJ - Aula 3 de Desenvolvimento embrionário humano III (com modificações na legenda).

FORMAÇÃO DOS ÓRGÃOS E SISTEMAS

Observando a Figura 5.2, você pode recordar a organização do corpo do embrião com três semanas de desenvolvimento, quando este apresenta um aspecto oval com três camadas distintas: o ectoderma, o mesoderma e o endoderma. Note que o ectoderma e o endoderma são

folhetos que apresentam um conjunto de células justapostas, ou seja, apresentam características de tecido epitelial. Já o mesoderma é formado por células estreladas bem afastadas e entre elas há uma grande quantidade de matriz extracelular conferindo a este folheto um aspecto de tecido conjuntivo indiferenciado. Você pode correlacionar o corpo do embrião, nessa fase, a um biscoito recheado, com seu formato arredondado; o mesoderma seria o recheio macio deste biscoito, e o ectoderma junto com o endoderma são as partes mais resistentes que recobrem o recheio. Sendo assim, podemos relembrar a associação dos folhetos embrionários com suas estruturas derivadas no nosso organismo:

Ectoderma – Diferencia-se em um ectoderma de superfície e um neuroectoderma. O ectoderma de superfície dará origem à epiderme e às glândulas associadas (glândulas sudoríparas, sebáceas e mamárias), pêlo, unhas, esmalte dos dentes, cristalino dos olhos, orelha interna e adenoipófise. O neuroectoderma, como você já estudou na Aula 3 do desenvolvimento embrionário, dará origem ao sistema nervoso central, neuroipófise, à retina e ao sistema nervoso periférico.

Mesoderma – O nosso “recheio” dará origem a tecidos e órgãos que ficam entre o nosso ectoderma e endoderma, como: tecido conjuntivo, tecido muscular, tecido cartilaginoso, sistema cardiovascular (coração, vasos e células do sangue), sistema urogenital (gônadas e ductos genitais), baço e córtex da supra-renal.

Endoderma – O outro folheto com característica epitelial revestirá internamente o tubo intestinal primitivo originado a partir do teto do saco vitelino. Portanto, este folheto dará origem ao revestimento epitelial do trato respiratório inferior (traquéia, brônquios e pulmões), epitélio do trato gastrointestinal e glândulas anexas (fígado e pâncreas) e epitélio da bexiga e uretra.

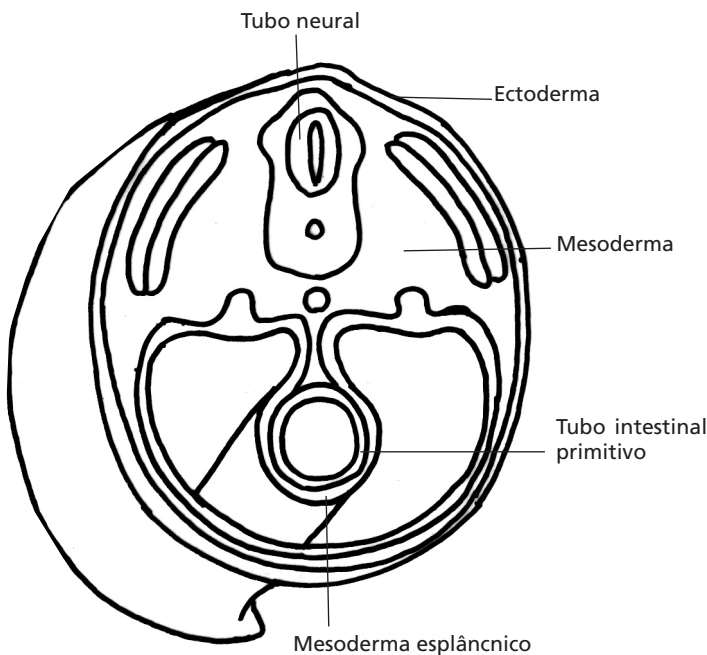


Figura 5.3: Corte transversal de um embrião com quatro semanas de desenvolvimento.

Fonte: *Langman embriologia médica* - Sadler.

Observe, na **Figura 5.3**, o corte transversal do corpo do embrião e note a estrutura tubular formada pelo teto do saco vitelino. No meio do seu corpo notamos o tubo intestinal primitivo. Repare que ele é revestido por uma camada de células epiteliais, formadas pelo endoderma, e ao redor do endoderma existe um tecido mesenquimal, o mesoderma esplâncnico, o qual formará os tecidos muscular e conjuntivo da parede do tubo digestório. Portanto, vamos estudar com mais detalhes nesta aula a formação dos vários órgãos ao longo desse tubo intestinal que origina não só os órgãos do sistema digestório, mas também está envolvido na formação de órgãos dos sistemas respiratório e urinário. Todos esses sistemas apresentam revestimento epitelial de origem endodérmica.

ATIVIDADE



1. Uma mulher que pretendia engravidar foi alertada sobre os riscos para o bebê nos dois primeiros meses de gestação (período da organogênese), já que ela é fumante, ingere bebidas alcoólicas e toma drogas muito fortes para dormir. Por que o período da organogênese é importante para o desenvolvimento humano?

RESPOSTA COMENTADA

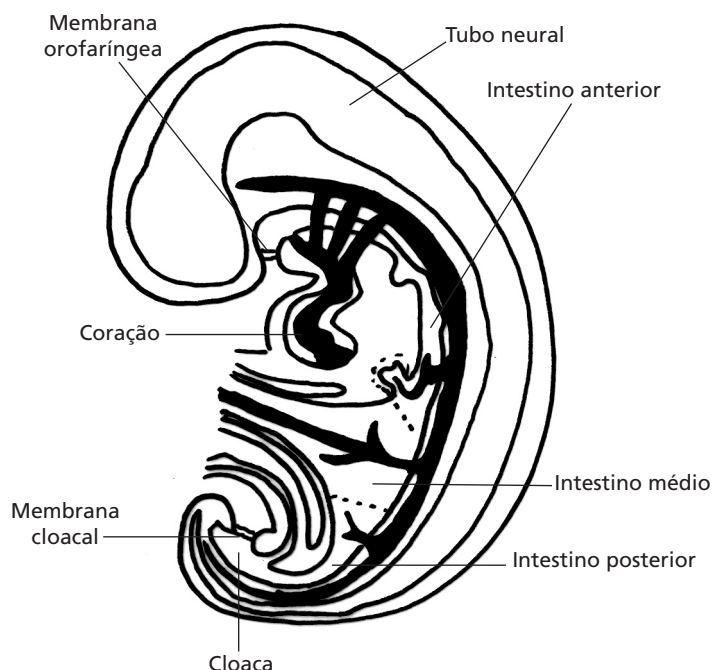
O período entre a quarta e oitava semana é crítico, porque é nesse período que as células se multiplicam intensamente e se organizam para dar origem aos órgãos. A exposição do embrião a teratógenos pode interferir na gestação, impedindo ou interrompendo o desenvolvimento normal do embrião, podendo ocasionar defeitos congênitos.

TUBO INTESTINAL PRIMITIVO

Como já foi citado anteriormente, durante a quarta semana do desenvolvimento o embrião se dobra nos sentidos cefalocaudal e lateral. Dessa forma, a região dorsal do saco vitelino se incorpora no embrião, formando o tubo intestinal primitivo. O intestino primitivo pode ser dividido em três partes para fins descritivos: intestino anterior, intestino médio e intestino posterior, como você pode observar na **Figura 5.4**. Note que as três partes do intestino primitivo estão separadas ilustrativamente por linhas pontilhadas.

Figura 5.4: Corte longitudinal de um embrião com quatro semanas mostrando o tubo intestinal primitivo.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persaud Ed. Elsevier.



INTESTINO ANTERIOR

O intestino anterior, porção mais cefálica do tubo intestinal, apresenta os seguintes derivados:

- faringe primitiva;
- sistema respiratório inferior;
- esôfago;
- estômago;
- parte do duodeno;
- fígado e vesícula biliar;
- pâncreas.

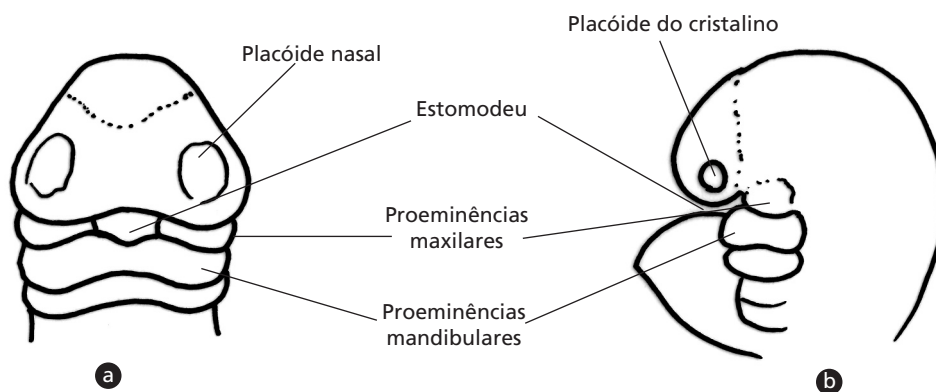


Figura 5.5: Formação da face do embrião humano por volta da quarta semana do desenvolvimento em visão frontal (a) e lateral (b).

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persaud.

FARINGE PRIMITIVA

Observando a morfologia externa da região cefálica do embrião durante a quarta semana do desenvolvimento na **Figura 5.5**, podemos ver o estomodeu (futura cavidade oral), no centro da face. Ao redor do estomodeu temos dois pares de proeminências: as proeminências maxilares e as proeminências mandibulares, que fazem parte do aparelho faríngeo, na região da faringe primitiva. O aparelho faríngeo contribui para a formação da face e também de estruturas encontradas na região do pescoço. Como você pode ver na **Figura 5.6**, o aparelho faríngeo é formado por:

- Arcos faríngeos, que são barras de mesênquima revestidas, externamente, por ectoderma e, internamente, por endoderma. Ao todo, existem seis pares de arcos faríngeos, porém o quinto e o sexto arcos não são perceptíveis na superfície do embrião humano.
- Sulcos faríngeos, que são fissuras entre os arcos faríngeos, ou seja, são o revestimento ectodérmico que separa um arco do outro.
- Bolsas faríngeas, que assim como os sulcos, separam os arcos internamente; são o revestimento endodérmico entre os arcos.
- Membranas faríngeas, que surgem entre as bolsas e sulcos faríngeos, representam uma constrição no mesoderma entre os arcos faríngeos.

Os componentes do aparelho faríngeo irão contribuir para a formação de estruturas importantes na região da cabeça e do pescoço, como você pode analisar no **Quadro 5.1**.

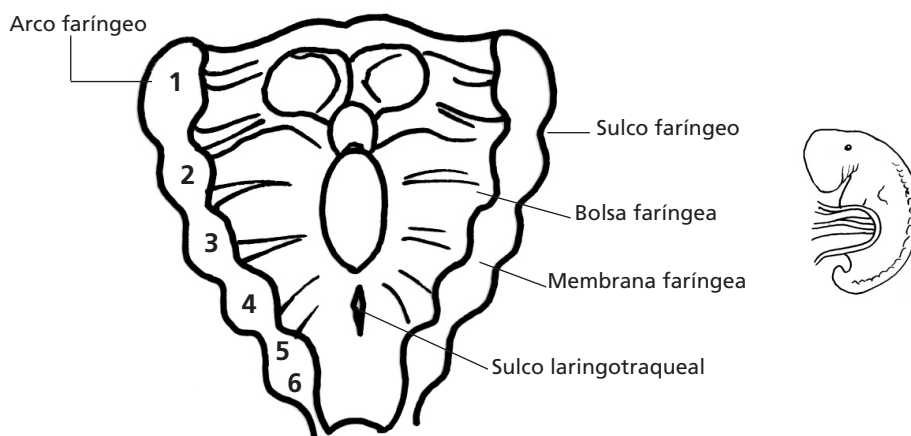


Figura 5.6: Esquema da faringe primitiva mostrando o aparelho faríngeo, cujo plano de corte está indicado no esquema.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persuad.

! Com quatro semanas, a região da cabeça e pescoço do embrião humano é semelhante à extremidade cefálica de um embrião de peixe. Portanto, o aparelho faríngeo no humano corresponde ao aparelho branquial nos peixes que dará origem a um sistema de guelras para a troca de gases entre o sangue e a água nestes animais.

Quadro 5.1: Quadro resumido sobre os derivados do aparelho faríngeo

Aparelho faríngeo	Arcos faríngeos (derivados cartilagosos/ósseos, musculares e inervação)	Bolsas faríngeas	Fendas faríngeas
I	Maxila, mandíbula, músculos da mastigação, nervo trigêmeo	Tuba auditiva e cavidade timpânica	Conduto auditivo externo
II	Parte superior do osso hióide, músculos da expressão facial, nervo facial	Tonsila palatina	2ª, 3ª e 4ª – perdem o contato com o meio externo através do crescimento do mesênquima do 2º arco, formando a parede externa do pescoço
III	Parte inferior do osso hióide, músculo estilofaríngeo, nervo glossofaríngeo	Timo e paratireóides inferiores	
IV, V e VI	Cartilagens laríngeas, músculos laríngeos e nervo vago	Paratireóides superiores	

SISTEMA RESPIRATÓRIO

A partir do endoderma do tubo intestinal primitivo, mais precisamente na parede ventral da faringe primitiva, surge uma fenda que dará origem ao sistema respiratório inferior (laringe, traquéia, brônquios e pulmões). Esta fenda, chamada fenda laringotraqueal, surge na quarta semana do desenvolvimento embrionário. Acompanhe na **Figura 5.7** a sequência de eventos que ocorrem onde a fenda laringotraqueal cresce no sentido caudal, próximo ao intestino anterior, e forma um divertículo respiratório. Nesse ponto sua extremidade distal sofre uma dilatação e se divide em dois brotos brônquicos primitivos. Note ainda, na **Figura 5.7**, que o endoderma que dará origem ao epitélio e às glândulas dos órgãos do sistema respiratório inferior é envolvido pelo mesoderma esplâncnico. Esse mesoderma, por sua vez, se diferenciará em tecido conjuntivo, cartilagens e músculo liso destes órgãos.

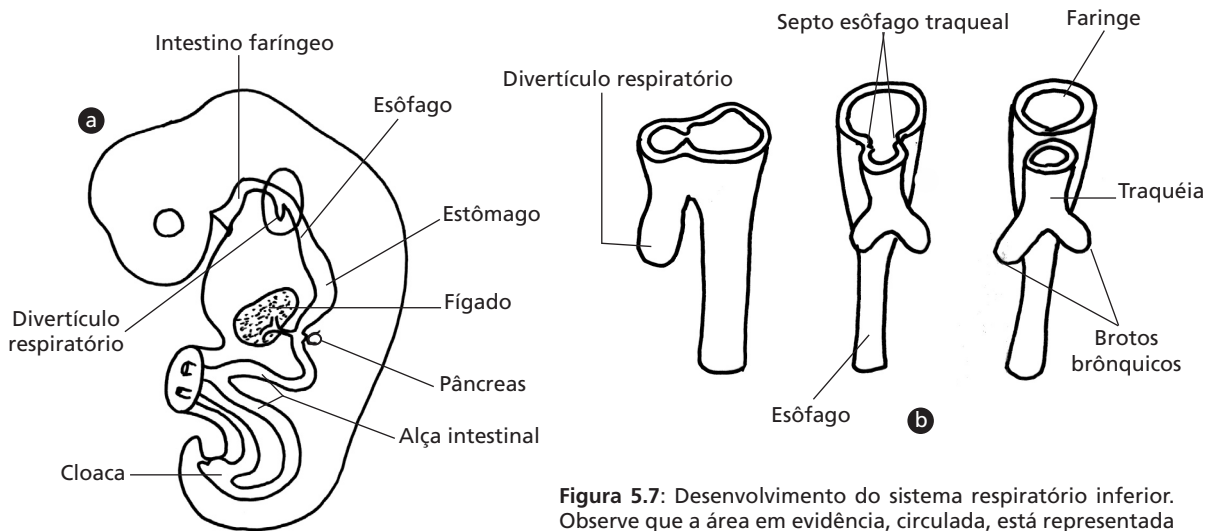


Figura 5.7: Desenvolvimento do sistema respiratório inferior. Observe que a área em evidência, circulada, está representada em maior aumento no esquema à direita, acima.
Fonte: *Langman embriologia médica* - Sadler.

Enquanto a extremidade cranial do tubo laringotraqueal forma a laringe com suas cartilagens laríngeas, a extremidade caudal se diferencia na traquéia. A partir dos brotos brônquicos primitivos, formam-se os brônquios principais. Estes se dividem em brônquios secundários e formam os ramos lobares que irão suprir os lobos pulmonares, como você pode observar na **Figura 5.8**. Cada brônquio lobar irá se ramificar progressivamente gerando os brônquios segmentares. E finalmente os brônquios segmentares se dividem para originar os bronquíolos respiratórios que já apresentam alvéolos em suas paredes.

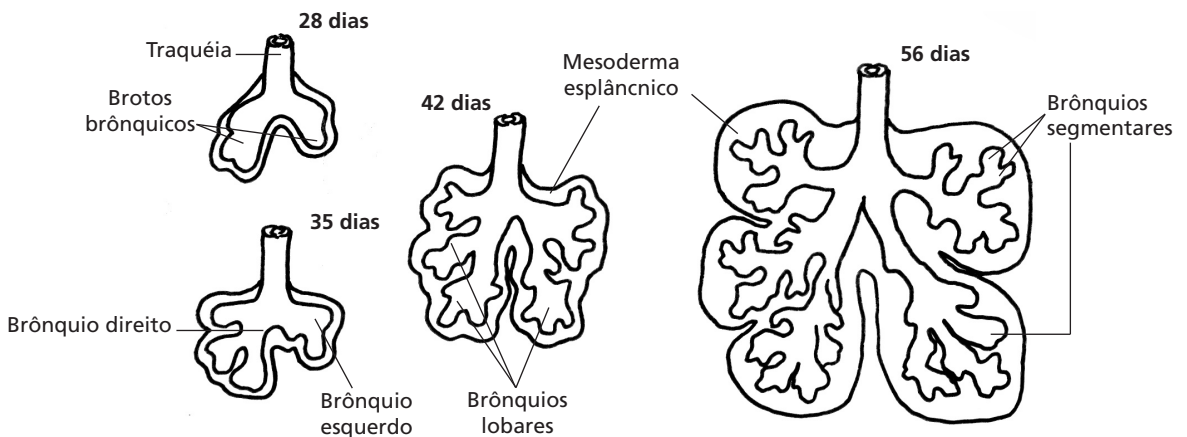

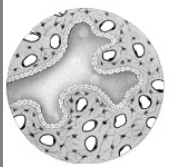
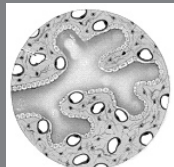
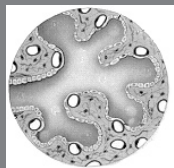


Figura 5.8: Desenvolvimento da árvore respiratória em um embrião a partir da quinta semana.
Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persuad.

No **Quadro 5.2**, acompanhe o desenvolvimento e a maturação dos pulmões, que é dividida em quatro períodos.

Quadro 5.2: Quadro resumido mostrando as fases da maturação pulmonar.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persaud.

Período pseudo-glandular 6ª a 16ª semana	As ramificações brônquicas têm uma aparência de glândulas exócrinas. Neste período formam-se os principais elementos da árvore brônquica. Porém, os alvéolos não estão formados, por isso é impossível realizar trocas gasosas; conseqüentemente, não é possível a sobrevivência do feto nesta fase do desenvolvimento.	
Período canalicular 16ª a 26ª semana	O tecido conjuntivo pulmonar se torna bastante vascularizado e os brônquios e bronquíolos estão mais dilatados. Por volta da 24ª semana, surgem os bronquíolos respiratórios, ductos alveolares e sacos terminais, possibilitando a respiração. Porém, dificilmente fetos nascidos neste período sobrevivem, devido à imaturidade do pulmão e de outros, órgãos.	
Período do saco terminal 26ª semana até o nascimento	A partir deste período já é possível a sobrevivência dos fetos nascidos prematuramente, pois surgem estruturas fundamentais para as trocas gasosas como: a) alvéolos com epitélio fino, com pneumócitos tipo I, ficam em íntimo contato com os capilares, formando a barreira hemato-aérea; e b) surgem os pneumócitos tipo II, que secretam o surfactante, facilitando as trocas gasosas.	
Período alveolar 38ª semana até os 8 anos	O número de bronquíolos respiratórios e alvéolos aumenta progressivamente. O epitélio alveolar se torna extremamente fino, melhorando a difusão dos gases através da parede das células endoteliais e pneumócitos I, porém alvéolos maduros só se formam após o nascimento, já que antes disso o feto realiza suas trocas gasosas através da placenta materna.	

ATIVIDADE



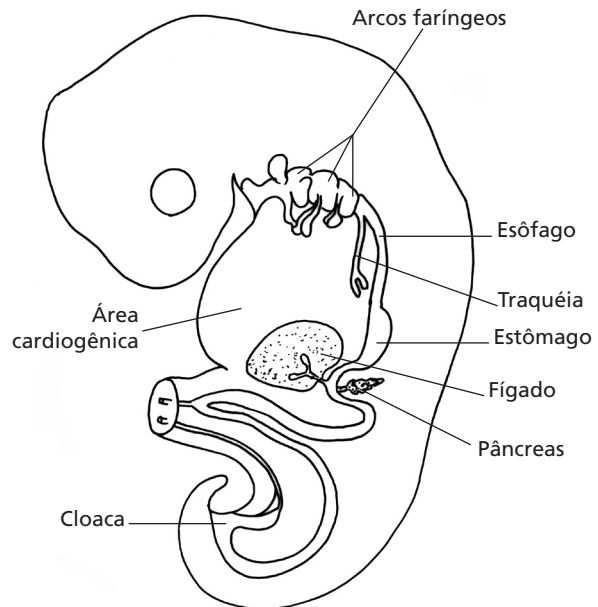
2. Um recém-nascido com 24 semanas de gestação apresentou dificuldade para respirar. Foi diagnosticada síndrome do sofrimento respiratório (SSR) nesse bebê prematuro. Será que ele conseguirá sobreviver? Por quê?

RESPOSTA COMENTADA

Com 24 semanas os pneumócitos tipo II ainda não produziram surfactante suficiente para reduzir a tensão superficial nos alvéolos. Sendo assim, a respiração se encontra dificultada com o colapso dos alvéolos. Provavelmente o prematuro não sobreviverá; porém, se durante a gestação for administrado glicocorticóide para acelerar a maturação pulmonar, as chances de sobrevivência aumentam.

Figura 5.9: Esquema de um embrião com aproximadamente cinco semanas. Observe a região onde se desenvolve o esôfago e o início da dilatação da região onde se forma o estômago.

Fonte: *Langman embriologia médica* - Sadler.



ESÔFAGO, ESTÔMAGO E DUODENO

Continuando nossa trajetória pelo intestino anterior, onde você já observou a formação do aparelho faríngeo e a abertura da fenda laringotraqueal para a formação do sistema respiratório inferior na parede da faringe, surgem agora os órgãos tubulares do intestino primitivo. O esôfago se desenvolve logo após a faringe como um tubo curto, mas que rapidamente se alonga, alcançando seu comprimento final na sétima semana de desenvolvimento. Assim como acontece no sistema respiratório, o endoderma dará origem ao epitélio e às glândulas dos órgãos do tubo intestinal. Já o mesoderma, aderido a este endoderma, será diferenciado no tecido conjuntivo e no músculo liso dos órgãos do sistema respiratório.

Veja que, na **Figura 5.9**, logo abaixo do esôfago, surge uma dilatação no tubo intestinal primitivo. Esta dilatação fusiforme orientada no plano mediano corresponde ao estômago, porção mais dilatada do tubo digestório. Para que o estômago se posicione normalmente à esquerda na cavidade abdominal, à medida que este órgão cresce, ele gira 90° no sentido horário. Desta forma, como você pode observar na **Figura 5.10**, a face dorsal da dilatação que cresce mais irá se posicionar à esquerda e corresponde à grande curvatura do estômago. A face ventral, após a rotação, se posicionará à direita e corresponde à pequena curvatura do estômago, enquanto a face ventral (que não cresceu como a face dorsal) corresponde à pequena curvatura e se posicionará voltada para a direita.

Uma parte do duodeno é formada ainda no intestino anterior, na sua porção caudal. A outra parte do duodeno é formada no intestino médio como o restante do intestino delgado. O limite entre as duas partes do duodeno é marcado pelo ducto biliar que se abre nesta região. Com a rotação do estômago, o duodeno gira para a direita e passa a se localizar retroperitonealmente.

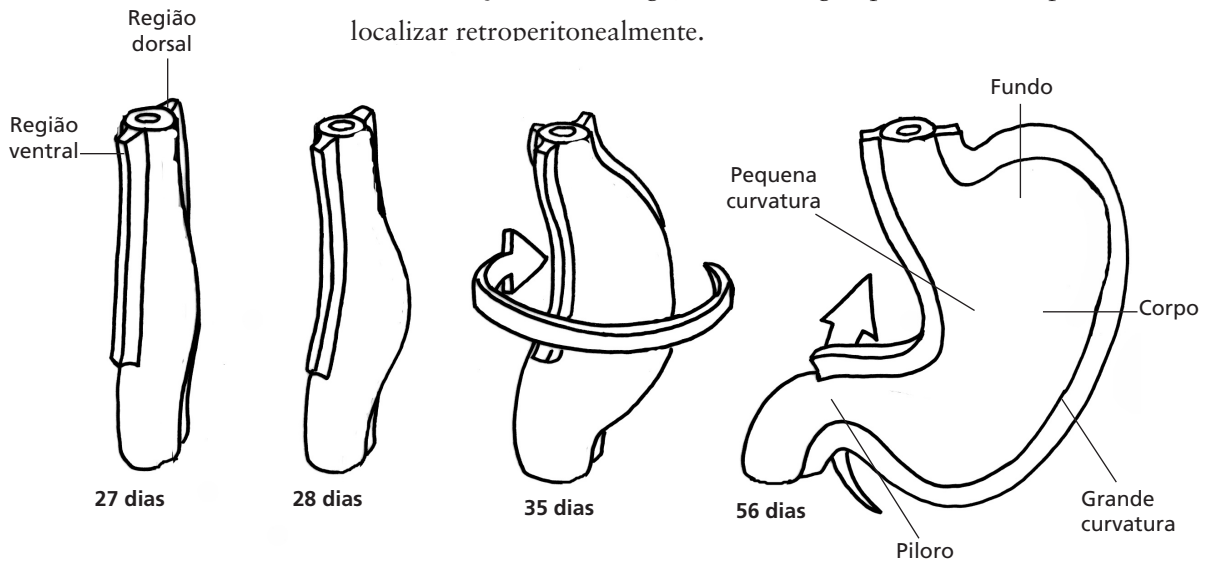


Figura 5.10: Seqüência de esquemas mostrando o crescimento e a rotação do estômago.

Fonte: *Langman embriologia médica* - Sadler.

Durante o desenvolvimento do esôfago, estômago e duodeno, o epitélio se prolifera intensamente para acompanhar o crescimento dos órgãos que chega até a obliterar a luz destes órgãos. Normalmente ocorre a recanalização dos órgãos no fim do período embrionário, porém se esta recanalização não ocorrer de forma adequada pode acarretar anomalias como a estenose e a atresia. Na estenose, acontece a recanalização incompleta da luz do órgão, e na atresia não ocorre a degeneração das células epiteliais e o órgão não recanaliza, impedindo a passagem de alimento e promovendo distúrbios no trato gastrointestinal.

PÂNCREAS, FÍGADO E VESÍCULA BILIAR

As glândulas anexas do tubo digestório surgem a partir de brotamentos do endoderma no intestino anterior. Observe na **Figura 5.11** o divertículo hepático e os brotos pancreáticos. A partir do divertículo hepático surge o primórdio do fígado, que corresponde a uma porção cranial maior, e uma porção caudal menor que irá originar a vesícula biliar. As células endodérmicas do primórdio do fígado originam os hepatócitos e as células dos ductos biliares, enquanto os sinusóides hepáticos e o tecido

conjuntivo com as células de Kupffer (macrófagos) têm a sua origem a partir do mesênquima que envolve o endoderma em diferenciação. Durante a sexta semana do desenvolvimento, o fígado inicia a importante função hematopoética e ocupa grande parte da cavidade abdominal até a décima semana.

Para a formação do pâncreas surgem dois brotos pancreáticos: o ventral, que se desenvolve próximo ao ducto biliar, e o dorsal, maior e que origina grande parte do pâncreas. Quando o duodeno sofre a rotação para a direita, o broto pancreático ventral também gira e se funde ao broto pancreático dorsal, ocorrendo a fusão de seus ductos também, como você pode ver na **Figura 5.12**. Desta forma, o ducto pancreático principal se origina a partir do ducto do broto ventral e da parte distal do ducto do broto dorsal. O ducto pancreático acessório surge a partir da persistência do ducto do broto dorsal, o qual se abre na papila duodenal menor. O endoderma dos brotos pancreáticos dá origem aos ácinos serosos e às ilhotas pancreáticas.

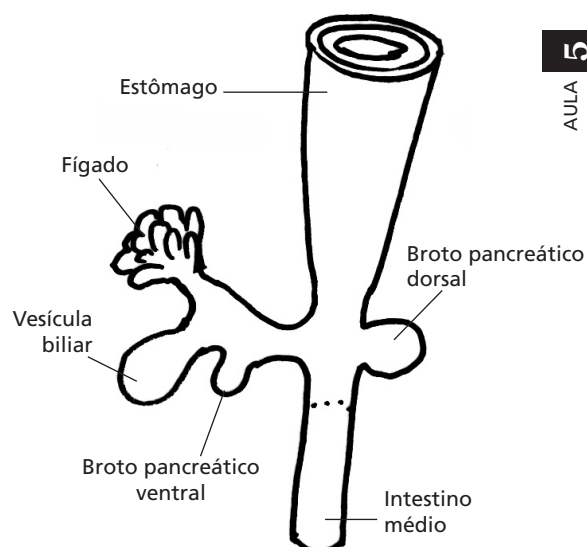


Figura 5.11: Esquema do desenvolvimento dos brotos hepático e pancreático logo abaixo do estômago.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persuad.

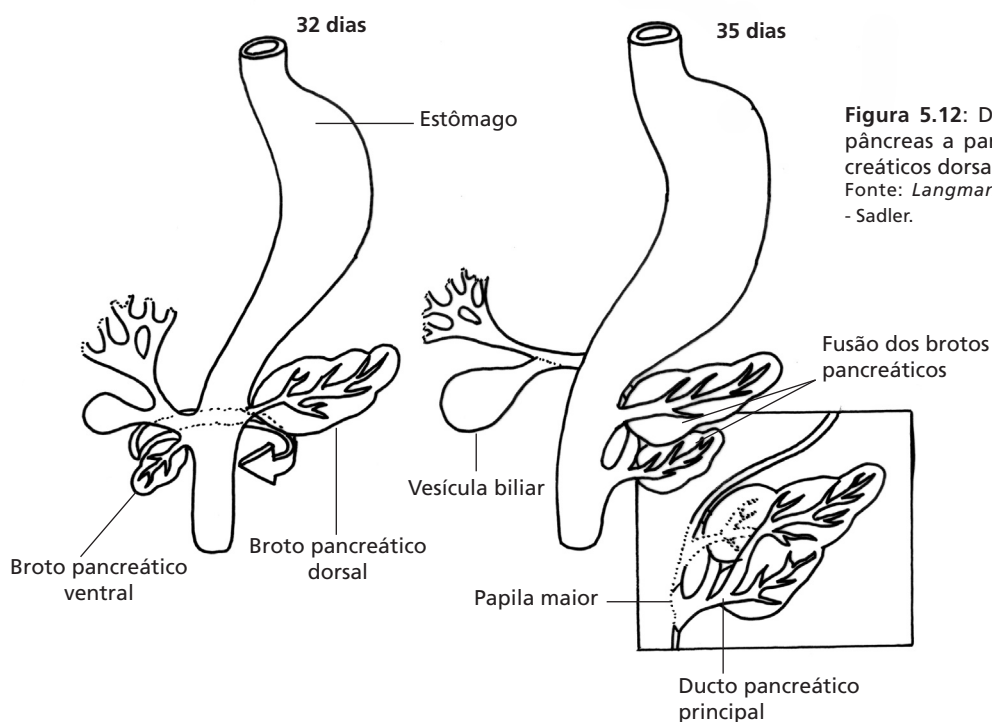


Figura 5.12: Desenvolvimento do pâncreas a partir dos brotos pancreáticos dorsal e ventral.

Fonte: *Langman embriologia médica* - Sadler.

ATIVIDADE



3. Um bebê nasceu aparentemente normal, mas a mãe apresentou excesso de líquido amniótico (poliidrâmnio) em sua gestação, diagnosticado por ultra-sonografia na 36ª semana. Após o nascimento, a criança apresentava vômito, engasgava com frequência e tinha dificuldade de respirar. Você saberia dar uma explicação para esta anomalia?

RESPOSTA COMENTADA

Você lembra que, durante a formação do esôfago, o epitélio proliferava intensamente e chegava a obstruir a luz deste órgão temporariamente? Pois é, caso não ocorra a recanalização do esôfago, este fica com atresia (obstrução completa), impedindo a deglutição e absorção normal do líquido amniótico, causando o poliidrâmnio. Ao nascer, o bebê não consegue engolir o leite materno, vomita e se engasga com frequência.

INTESTINO MÉDIO

O intestino médio apresenta os seguintes derivados:

- intestino delgado (parte do duodeno, jejuno e íleo);
- intestino grosso (ceco, apêndice, colo ascendente e cerca de metade do colo transversal).

Com o contínuo crescimento do tubo intestinal, a região mediana deste tubo se alonga e forma uma alça intestinal média que se projeta para o celoma extra-embrionário na altura do umbigo, como você pode observar na **Figura 5.13**. Esta projeção da alça intestinal para fora da cavidade abdominal ocorre pela falta de espaço no abdômen, já que o fígado nesta fase está muito grande, como já foi comentado anteriormente. A saída temporária da alça intestinal da cavidade abdominal é conhecida como hérnia umbilical fisiológica. Por volta da décima semana do desenvolvimento, com o crescimento do corpo do embrião e a diminuição relativa do tamanho do fígado e dos rins que também estão em desenvolvimento, a alça intestinal retorna para a cavidade abdominal.

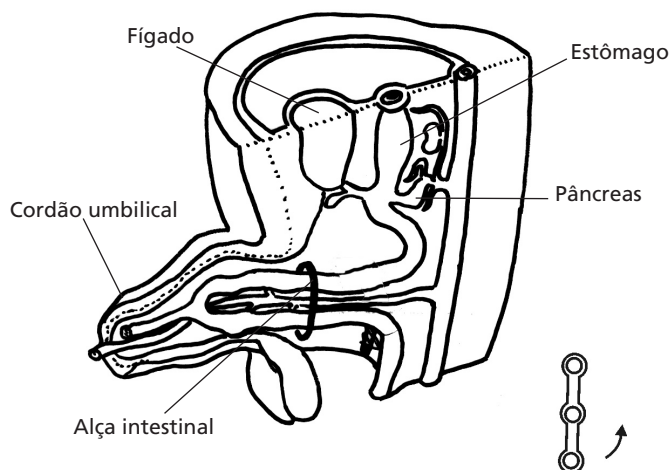


Figura 5.13: Desenho esquemático do intestino médio mostrando o seu crescimento em direção ao cordão umbilical.
Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persaud.

O termo hérnia umbilical é utilizado, pois, nesta fase, se observarmos a região do umbigo do feto, notaremos uma pequena bolsa que contém a alça intestinal em desenvolvimento. Caso a alça intestinal não retorne para a cavidade abdominal durante a décima semana, a hérnia persistirá até o nascimento. Essa hérnia umbilical é conhecida como onfalocele. Nesta condição, a parede da hérnia é formada apenas pelo epitélio do cordão umbilical e uma cirurgia reparadora é necessária.

A alça intestinal em forma de C apresenta uma ramo cranial e um ramo caudal, como demonstrado na Figura 5.14. O ramo cranial cresce de forma intensa, dando origem a alças do intestino delgado. O ramo caudal não se altera muito e forma grande parte do intestino grosso.

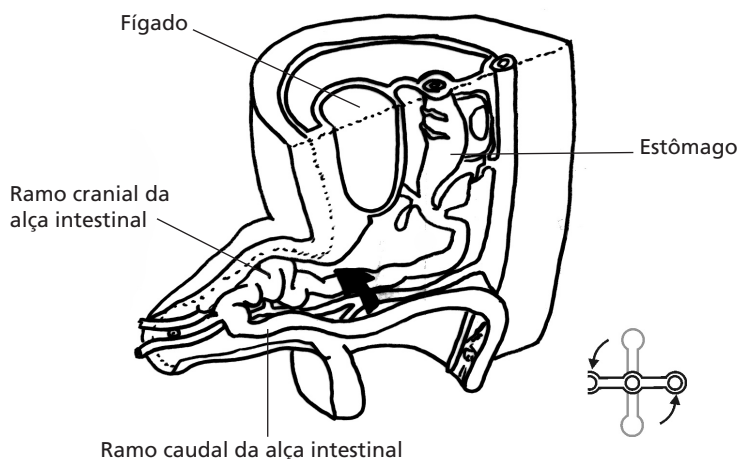


Figura 5.14: Alça intestinal de um embrião por volta da décima semana do desenvolvimento mostrando seu ramo cranial formando as alças intestinais e seu ramo caudal.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persaud.

INTESTINO POSTERIOR

E finalmente o intestino posterior e seus derivados:

- Intestino grosso (metade do colo transverso, colo descendente e colo sigmóide, reto e parte superior do canal anal);
- O epitélio da bexiga e grande parte da uretra.

Como você já leu no parágrafo anterior, o tubo intestinal cresce fora da cavidade abdominal para formar o intestino médio e parte do intestino posterior. Note na **Figura 5.15** que a porção terminal do intestino posterior é uma região dilatada, chamada cloaca, que se comunica com o alantóide. Esta porção terminal encerra em contato com a membrana cloacal, revestida internamente pelo endoderma, e externamente pelo ectoderma. Na **Figura 5.15.a**, veja que existe uma massa de mesênquima (seta), o septo urorretal, que irá separar a cloaca em duas partes. Na **Figura 5.15.b**, o septo urorretal já está fundido com a membrana cloacal e as duas porções separadas, que são: o reto e parte do canal anal, na porção dorsal, e o seio urogenital, na porção ventral. Com esta divisão a membrana cloacal também se divide em membrana anal e membrana urogenital.

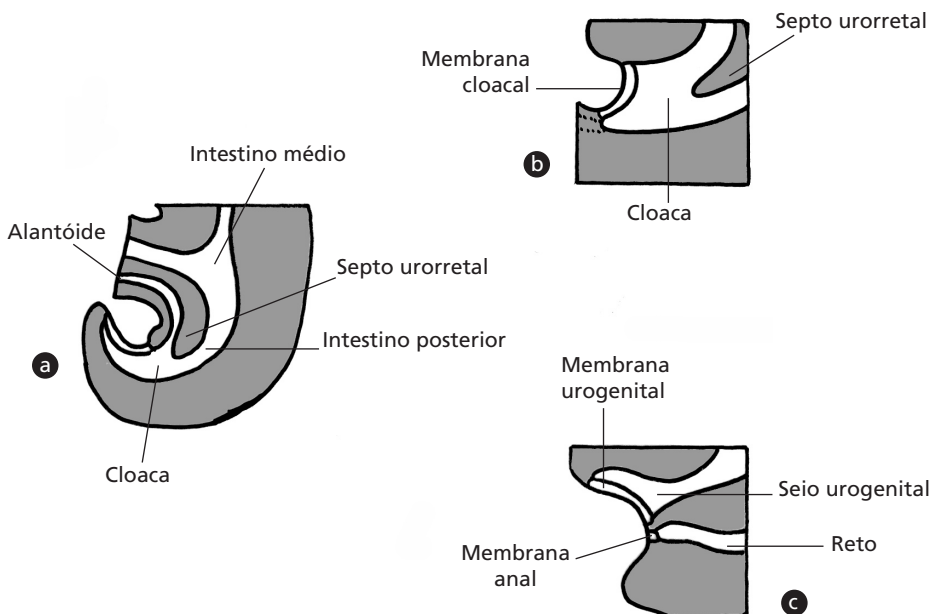


Figura 5.15: Septação da cloaca em um seio urogenital e reto. Os esquemas (a) e (b) representam um maior aumento da área no interior do quadrado no esquema acima.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persuad.



ATIVIDADE

4. A parede dos órgãos do tubo digestório é formada histologicamente por quatro camadas: mucosa, submucosa, muscular e serosa. Sabendo que a camada mucosa é formada por epitélio, tecido conjuntivo e músculo liso, você saberia identificar a origem embriológica da mucosa?

RESPOSTA COMENTADA

Sendo a mucosa a camada mais interna da parede do tubo digestório, ou seja, a camada voltada para a luz desse tubo, o epitélio de revestimento tem sua origem no endoderma. Já os tecidos abaixo do epitélio, tecido conjuntivo e músculo liso, assim como as demais camadas da parede do tubo digestório, têm a sua origem a partir do mesoderma esplâncnico que está associado ao endoderma.

SISTEMA URINÁRIO

Durante a divisão da cloaca pelo septo urorretal, você viu a formação do seio urogenital, o qual forma a bexiga em sua porção mais cranial, contínua com o alantóide, e na sua porção mediana forma a uretra. Como você já deve ter percebido, parte do sistema urinário, assim como a maior parte do sistema digestório, possui epitélio de revestimento derivado do endoderma; já o tecido conjuntivo e o músculo liso são derivados do mesênquima associado ao endoderma.

Os rins e os ureteres se desenvolvem a partir do mesoderma intermediário e depois se fundem à bexiga. Para o surgimento dos rins, desenvolvem-se três conjuntos de órgãos excretores:

- o pronefro, que surge no início da quarta semana do desenvolvimento, composto de estruturas transitórias em forma de túbulos, na altura do pescoço, que logo se degeneram.

- o mesonefro, que surge no fim da quarta semana e funciona como rins provisórios até o desenvolvimento dos rins permanentes. Os rins mesonéfricos são formados por glomérulos e túbulos mesonéfricos, como você pode observar na **Figura 5.16**. Os túbulos mesonéfricos se abrem em ductos mesonéfricos, que, por sua vez, abrem-se no seio urogenital. Ao final do primeiro trimestre, o mesonefro degenera.

- o metanefro, que surge por volta da quinta semana e representa os rins permanentes que formam a urina a partir da nona semana e por toda a vida fetal e pós-natal. Veja na **Figura 5.17** que o metanefro se desenvolve a partir de dois primórdios: o broto uretérico, que dará origem ao ureter, pelve renal, cálices e túbulos coletores, e a massa metanéfrica, que originará as várias unidades morfofuncionais dos rins – os néfrons.

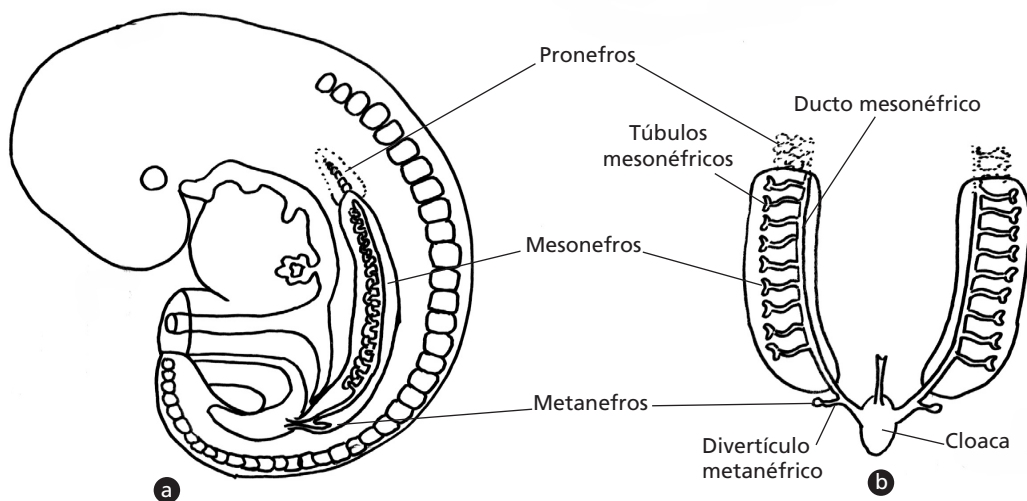


Figura 5.16: Esquema dos três conjuntos de sistemas excretores em um embrião de aproximadamente cinco semanas.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persaud.

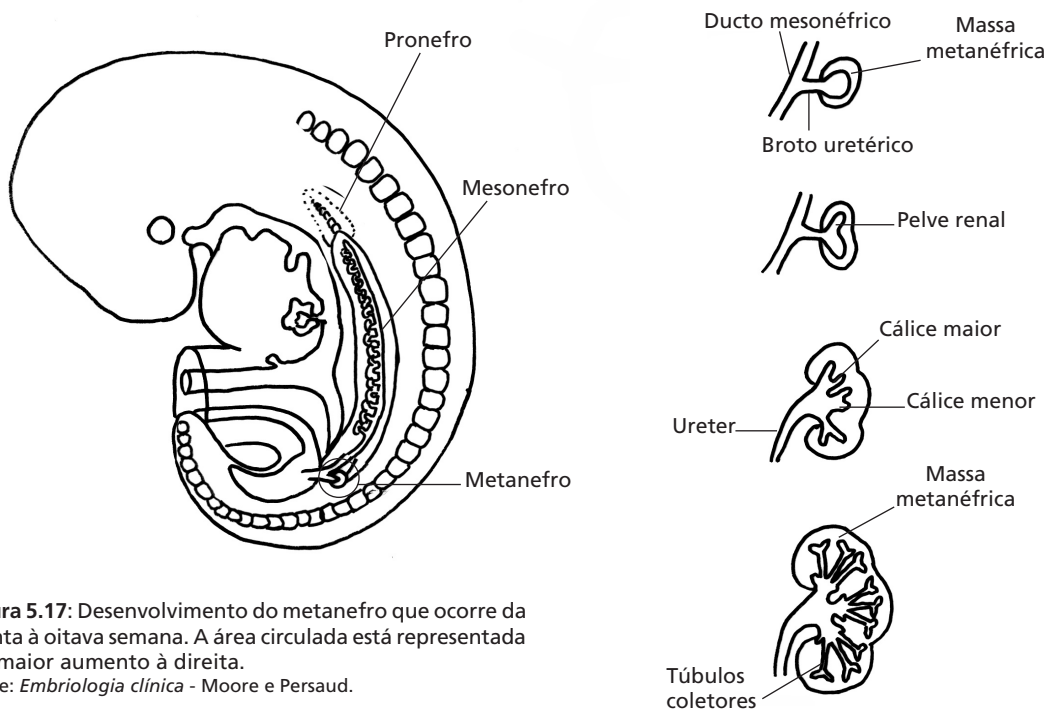


Figura 5.17: Desenvolvimento do metanefro que ocorre da quinta à oitava semana. A área circulada está representada em maior aumento à direita.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persaud.

ATIVIDADE

5. Durante o desenvolvimento do sistema urinário, são formados três conjuntos de órgãos excretores. Comente cada um deles.

RESPOSTA COMENTADA

Fácil, não é? O pronefro é o primeiro a surgir na região cervical, ele é vestigial e não funcional. O mesonefro, formado por glomérulos e túbulos mesonéfricos, serve como um órgão excretor temporário. Já o metanefro, o rim definitivo, desenvolve-se a partir do mesoderma metanéfrico (néfrons) e do broto uretérico (ureter, pelve renal, cálices e túbulos coletores).

CONSIDERAÇÕES FINAIS DURANTE O PERÍODO DA ORGANOGÊNESE

Como você pôde perceber, os sistemas digestório, respiratório e urinário se desenvolvem a partir do endoderma durante a quarta semana do desenvolvimento. Ainda nesse período, o corpo do embrião se dobra a partir das pregas lateral e cefalocaudal, tomando um aspecto aproximadamente cilíndrico. O tubo neural também se fecha formando o sistema nervoso central (encéfalo e medula). Observe na **Figura 5.18** a aparência externa de um embrião com quatro semanas. Você pode ver uma extremidade cefálica bem desenvolvida em relação ao restante do corpo, devido ao grande crescimento das vesículas encefálicas. Ainda na extremidade cefálica, observe os quatro arcos faríngeos, os quais você já estudou anteriormente. O coração se desenvolve a partir do mesoderma lateral, na saliência cardiogênica e começa a bater por volta do vigésimo primeiro dia do desenvolvimento. Na quarta semana também podemos observar os brotos dos membros superiores e inferiores, as fossetas óticas (primórdios das orelhas internas) e os placóides do cristalino bem laterais na cabeça.

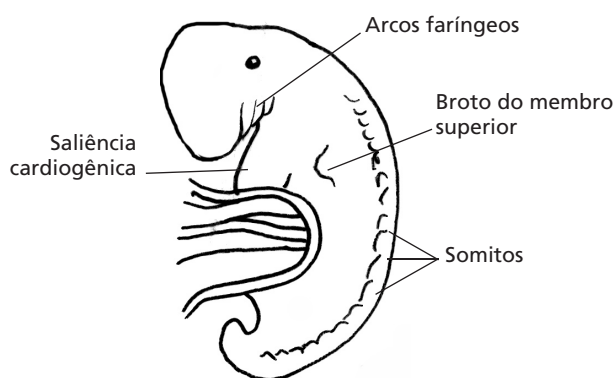


Figura 5.18: Vista lateral de um embrião com quatro semanas.

Fonte: CEDERJ - Aula 4 de Desenvolvimento embrionário humano III.

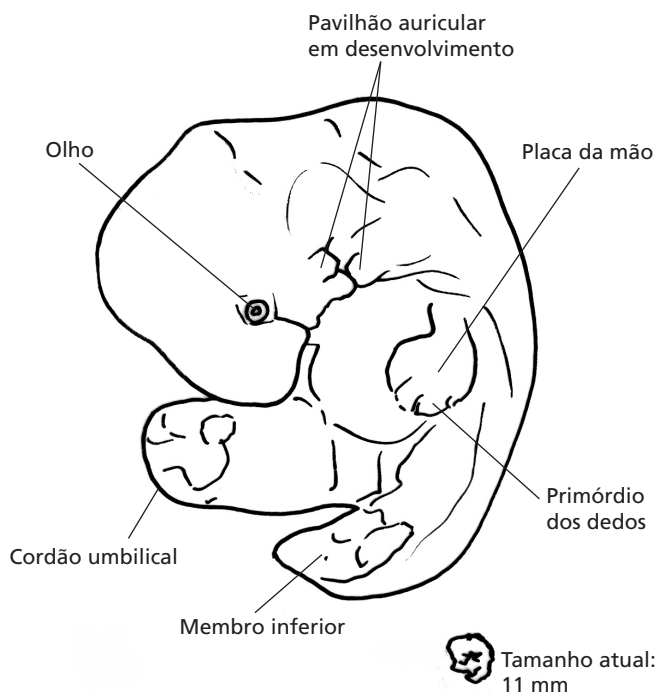


Figura 5.19: Vista lateral de um embrião com seis semanas.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persaud.

Durante a quinta semana ocorrem poucas alterações no embrião. Nesta fase ocorre apenas o contínuo crescimento das estruturas já formadas. Na sexta semana, os membros superiores se diferenciam apresentando cotovelos, placas das mãos, primórdios dos dedos. Os membros inferiores se diferenciam um pouco mais tarde. Também podemos observar a formação do pavilhão auricular ao redor da primeira fenda faríngea e os olhos mais evidentes por causa da pigmentação da retina (veja na **Figura 5.19**). O embrião nesta fase do desenvolvimento pode apresentar movimentos contráteis dos membros e do tronco.



Figura 5.20: Vista lateral de um embrião com sete semanas.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persaud.

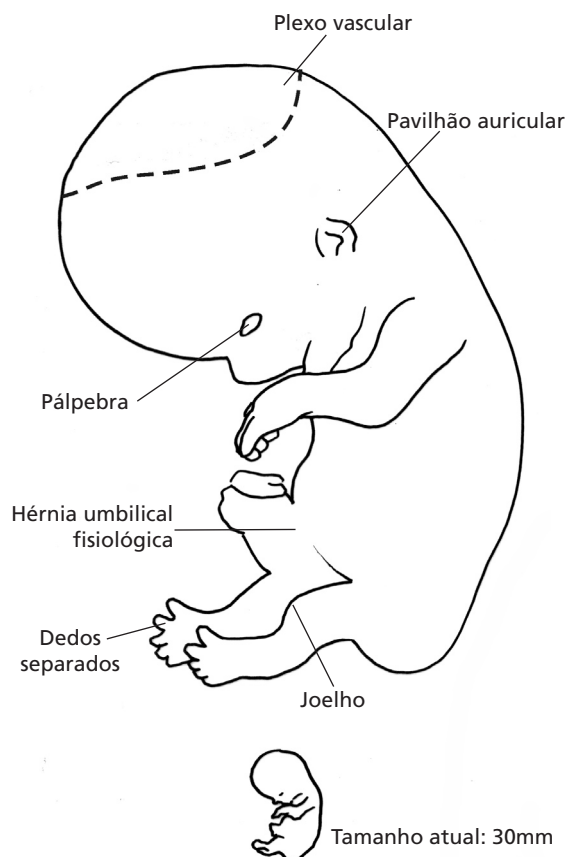


Figura 5.21: Vista lateral de um embrião com oito semanas.

Fonte: *Embriologia clínica* - Moore e Persaud.

Na sétima semana os dedos se tornam mais evidentes. Nesta época, é possível notar a hérnia umbilical fisiológica, como você pode notar na **Figura 5.20**. No fim da sétima semana, ocorre a formação dos ossos dos membros superiores. Na oitava semana, a última semana do período da organogênese, os dedos já estão bem separados e alongados. Ao redor da cabeça, podemos observar o plexo vascular do couro cabeludo. Ocorrem movimentos voluntários dos membros superiores e inferiores, as pálpebras se fecham; na genitália externa, apesar de já ter iniciado sua diferenciação, ainda não é possível identificar precisamente o sexo do embrião nesta fase. Como você pode ver na **Figura 5.21**, o embrião apresenta nitidamente características humanas.

ATIVIDADES FINAIS

1. A partir de qual folheto embrionário se forma o tubo digestório?

2. Cite os derivados dos intestinos anterior, médio e posterior.

3. Descreva a contribuição do aparelho faríngeo para a formação da cabeça e do pescoço.

4. Qual a origem dos néfrons?

5. A partir de que semana o embrião apresenta aspectos morfológicos de um ser humano? Quais são essas características?

RESPOSTAS COMENTADAS

1. O tubo digestório e as glândulas digestórias se formam a partir do endoderma do teto do saco vitelino durante o fechamento do embrião na quarta semana do desenvolvimento embrionário. O endoderma forma o revestimento epitelial e parênquima das glândulas digestórias. Já o mesoderma, associado ao endoderma, diferencia-se nos outros tecidos da parede dos órgãos digestórios, como tecido conjuntivo e tecido muscular.

2. Os derivados do intestino anterior são: faringe primitiva, sistema respiratório inferior, esôfago, estômago, parte do duodeno, pâncreas, fígado e vesícula biliar. Os derivados do intestino médio são: intestino delgado (parte do duodeno, jejuno e íleo) e intestino grosso (ceco, apêndice, colo ascendente e cerca de metade do colo transversal). E o intestino posterior deriva: intestino grosso (metade do colo transversal, colo descendente e colo sigmóide, reto e parte superior do canal anal) e o epitélio da bexiga e grande parte da uretra.

3. O aparelho faríngeo é formado por seis pares de arcos, fendas, bolsas e membranas faríngeas. Os arcos faríngeos dão origem a estruturas musculares e esqueléticas da região da cabeça e pescoço. Somente a primeira fenda dará origem a alguma estrutura na região da cabeça, o conduto auditivo externo, e as bolsas originam cavidade timpânica, tuba auditiva, tonsilas palatinas, paratireóides e timo.

4. O néfron se origina a partir do mesênquima, a massa metanéfrica, a qual se diferencia em um cordão de células que adquirem uma luz no seu interior para formar a parte tubular do néfron (túbulos contorcidos proximais e distais e alça de Henle) e também a cápsula de Bowman, que é invadida pelo glomérulo.

5. A partir da oitava semana, próximo ao período fetal, o embrião já apresenta características físicas de um humano. Ele apresenta os membros superiores e inferiores bem desenvolvidos, com dedos longos e separados, os olhos, que eram bem laterais na cabeça do embrião, já se apresentam mais frontais, com as pálpebras fechadas, a hérnia umbilical fisiológica já está reduzida e já aparecem até os primeiros movimentos voluntários do embrião.

RESUMO

Nesta aula você acompanhou o desenvolvimento embrionário durante o período da organogênese, que vai da quarta à oitava semana de gestação. Você aprendeu como este período é importante para o bom desenvolvimento do novo ser e como a não-exposição do embrião a teratógenos é fundamental para que não surjam defeitos congênitos. Você recordou também os vários derivados dos folhetos ectodérmico, mesodérmico e endodérmico, sendo este último folheto o principal assunto desta aula. A partir do endoderma do teto do saco vitelino, durante o fechamento do embrião, surge o tubo intestinal primitivo, o qual se divide em intestino anterior, médio e posterior. Cada segmento destes origina os diferentes órgãos do tubo digestório e também as glândulas digestórias. O intestino anterior forma: faringe primitiva, sistema respiratório inferior, esôfago, estômago, parte do duodeno, fígado, vesícula biliar e pâncreas. O intestino médio forma: parte do duodeno, jejuno, íleo, ceco, apêndice, colo ascendente e cerca de metade do colo transversal. E o intestino posterior forma: metade do colo transversal, colo descendente e colo sigmóide, reto, parte superior do canal anal, epitélio da bexiga e grande parte da uretra.

Além de derivados do próprio sistema digestório, você também notou a formação do sistema respiratório inferior e parte do sistema urinário a partir do endoderma. Em relação ao sistema respiratório, este surge a partir da fenda laringotraqueal, na parede da faringe primitiva. A partir do tubo laringotraqueal se desenvolvem a traquéia e as ramificações dos brônquios e bronquíolos, os alvéolos surgem por volta da 24ª semana, do desenvolvimento, mas só se tornam aptos a realizar as trocas gasosas em torno da 26ª semana, quando os pneumócitos II secretam quantidade suficiente de surfactante. Além disso, foram citadas algumas modificações externas do corpo do embrião humano, que, no início do período da organogênese, tem uma aparência semelhante à de outros seres inferiores, mas que por volta da oitava semana do desenvolvimento já apresentam características humanas. Após o período embrionário de organogênese, segue o período fetal até o nascimento. No período fetal, acontecem um rápido crescimento do corpo e o amadurecimento dos órgãos previamente formados no período embrionário.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula estudaremos um sistema derivado do ectoderma, o qual é capaz de perceber os estímulos à nossa volta e organizar respostas a esses estímulos. Enfim, este sistema coordena o funcionamento do nosso corpo. Já sabe qual é? É isso aí: o sistema nervoso. Até lá!

Organização geral do sistema nervoso

AULA

6

Meta da aula

Caracterizar estrutural e funcionalmente os componentes periféricos e centrais do sistema nervoso.

objetivos

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

- Definir Sistema Nervoso Central e Sistema Nervoso Periférico.
- Citar os componentes e as subdivisões do Sistema Nervoso Central e do Sistema Nervoso Periférico.
- Dar exemplo das funções que os componentes do Sistema Nervoso desempenham.
- Identificar os princípios da organização funcional do Sistema Nervoso.
- Explicar a importância da barreira hematoencefálica.
- Descrever os envoltórios do Sistema Nervoso Central.
- Explicar a circulação do liquor e sua importância.

Pré-requisitos

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

INTRODUÇÃO

Nesta aula, você terá uma visão da organização do sistema nervoso voltada para o corpo humano, mas lembre-se: os conceitos aqui apresentados e por você construídos serão, em sua maioria, válidos para todos os mamíferos e a maior parte dos outros vertebrados. Ao compararmos o homem com os outros animais, vemos que a única diferença é o grau de complexidade estrutural, pois a organização tanto anatômica quanto funcional será a mesma. Dessa forma, apesar de apresentarmos algumas características que se destacam (pensamento, raciocínio lógico e abstrato, linguagem etc.), você, assim como o seu gato, o *hamster* do vizinho ou mesmo a lagartixa escondida na parede, precisa perceber o mundo ao redor (através dos sistemas sensoriais), gerar movimentos (através dos sistemas motores) e comportamentos (alimentar, sexual, maternal etc.), bem como todos precisam dormir e descansar.

GÂNGLIOS

Compreendem conjuntos de corpos celulares de neurônios situados fora do crânio ou da cavidade vertebral (localização periférica).

NERVOS

Conjuntos de axônios sensoriais, motores ou de ambos os tipos (mistos) localizados periféricamente. Em geral recebem nomes relacionados com a sua localização ou função. Exemplos: nervo esquiático, nervo femoral.

NÚCLEOS

Conjuntos de corpos celulares de neurônios funcionalmente relacionados com a localização no SNC.

TRATOS, FEIXES, FASCÍCULOS, PLEXOS OU LEMNISCOS

Grupamentos de axônios localizados no SNC e que conduzem informações entre núcleos ou regiões específicas centrais.

A AUTO-ESTRADA DE INFORMAÇÕES NO SISTEMA NERVOSO: CENTRO<=> PERIFERIA

O SN é dividido estruturalmente em componentes periféricos e centrais, denominados, respectivamente, Sistema Nervoso Periférico (SNP) e Sistema Nervoso Central (SNC). O SNC é composto por todos os elementos nervosos no interior do crânio (encéfalo) e da coluna vertebral (medula espinhal). Assim, podemos dizer que as peças-chave do funcionamento do nosso corpo são protegidas por estruturas mais resistentes aos impactos, como acontece com o motor de um carro (**Figura 6.1.a**). No encéfalo e na medula está localizada a maioria dos neurônios e das células da glia, bem como os prolongamentos neuronais – dendritos e axônios (para recordar este conteúdo, reveja a Aula 10 da disciplina Biologia Celular II). Já o SNP consiste em **GÂNGLIOS** e **NERVOS** situados fora dessas estruturas ósseas (**Figuras 6.1.b** e **6.2**). Embora separados anatomicamente, esses dois sistemas nunca trabalham sozinhos. Através dos receptores sensoriais, o SNP capta os estímulos sensoriais, como a luz e os sons (como será visto na Aula 6), ou mesmo sinais provenientes de nossos órgãos internos, e os conduz através dos nervos até o SNC, onde a informação será processada e decodificada em áreas e **NÚCLEOS** específicos. A resposta desencadeada ao nível central será conduzida por vias específicas (por exemplo, **TRATOS** e **FEIXES**) até os motoneurônios e depois pelos nervos até os músculos ou glândulas, para se gerar reações do organismo.

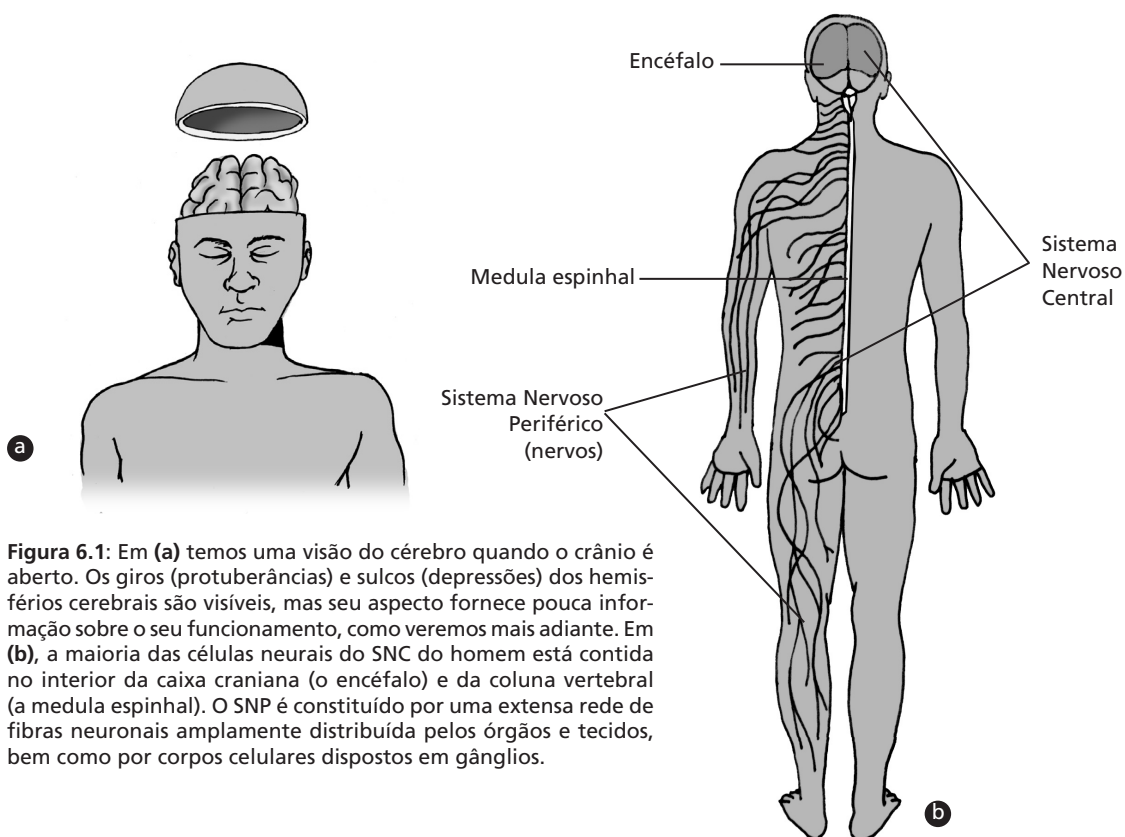
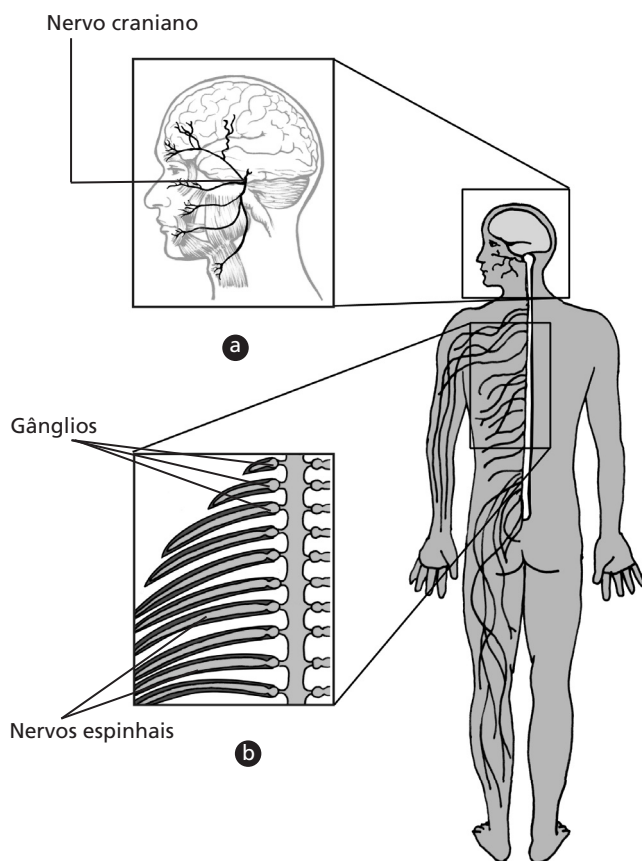


Figura 6.1: Em (a) temos uma visão do cérebro quando o crânio é aberto. Os giros (protuberâncias) e sulcos (depressões) dos hemisférios cerebrais são visíveis, mas seu aspecto fornece pouca informação sobre o seu funcionamento, como veremos mais adiante. Em (b), a maioria das células neurais do SNC do homem está contida no interior da caixa craniana (o encéfalo) e da coluna vertebral (a medula espinhal). O SNP é constituído por uma extensa rede de fibras neuronais amplamente distribuída pelos órgãos e tecidos, bem como por corpos celulares dispostos em gânglios.

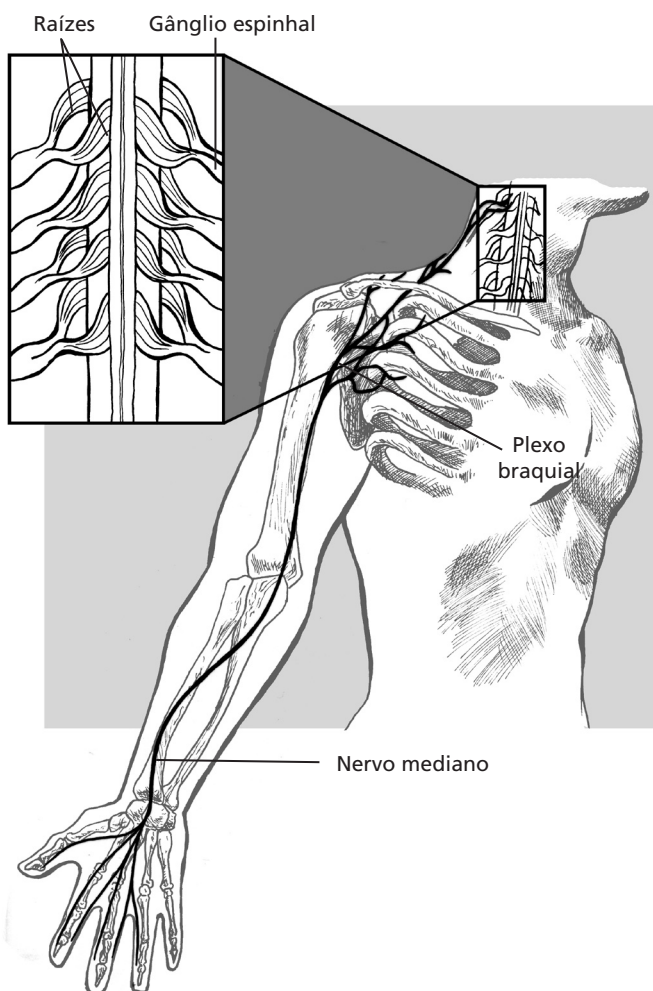


OS COMPONENTES PERIFÉRICOS DO SISTEMA NERVOSO

Os dois principais elementos do SNP são os gânglios e os nervos. Nos gânglios estão alojados os corpos celulares dos neurônios, cujos axônios vão compor os nervos que se distribuem pelo nosso corpo. Observe, na **Figura 6.2**, que esses gânglios aparecem aos pares e se dispõem ao lado da coluna vertebral ou, em alguns casos, bem próximos às vísceras. Os nervos são como rodovias que permitem o fluxo de informação entre o SNC e os tecidos periféricos e vice-versa.

Figura 6.2: Visão geral da organização do SNP. Os nervos podem ter sua origem no encéfalo (como os nervos cranianos, ilustrados em (a)), cuja função é inervar estruturas localizadas na cabeça, pescoço ou vísceras, ou na medula espinhal (os nervos espinhais, indicados em (b)) e que irão formar os nervos periféricos distribuídos pelo corpo.

Os nervos são formados por axônios sensitivos (ou aferentes) e motores (ou eferentes). Os sensitivos são aqueles cujos corpos celulares estão dentro de gânglios, e na extremidade do seu axônio situam-se receptores capazes de captar estímulos, como toque, dor ou calor (você verá mais detalhes nas Aulas 6 e 7 desta disciplina). Os nervos motores têm sua origem em corpos celulares de motoneurônios, que estão situados dentro do SNC e de onde partem as ordens motoras. Existem ainda neurônios motores viscerais, cujos corpos celulares estão localizados em gânglios (mais detalhes na Aula 11 desta disciplina). Observe a **Figura 6.3** e veja a disposição dos gânglios sensitivos, que aparecem na região mais anterior, lateralmente à medula (mas fora das vértebras, preste atenção!) e as raízes motoras, dispostas na porção posterior (dorsalmente) da medula. Assim, como uma verdadeira rodovia, os nervos podem ser encontrados em quase todas as partes do nosso corpo, veiculando informações sensoriais e motoras.



Podemos dividi-los em nervos espinais e em nervos cranianos. Os nervos espinais se unem ao SNC ao nível da medula, e os nervos cranianos se unem ao SNC ao nível do encéfalo. Os nervos espinais são organizados de forma topográfica, ou seja, os que aparecem mais próximos ao crânio se dirigem à região de tronco e braços, ao passo que os que aparecem mais afastados do crânio (ou caudalmente, como podemos dizer também) vão se dirigir ao abdômen, pelve e pernas (**Figura 6.4**).

Figura 6.3: Os nervos espinais, formados por várias fibras neuronais, têm sua origem na medula espinhal, onde estão arranjados em raízes (como indicado no detalhe). Os feixes de fibras que dão origem aos nervos se ramificam em vários pontos, formando fascículos e plexos nervosos (por exemplo, o plexo braquial).

ATIVIDADE

1. No esquema a seguir, identifique as estruturas, nomeie-as e diga se pertencem ao SNC ou ao SNP.

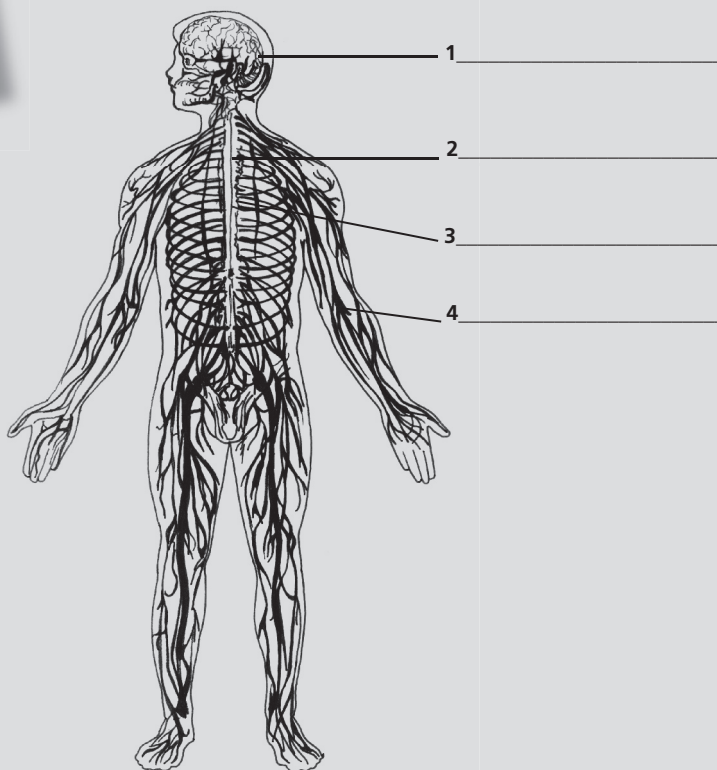


Figura 6.4: Rede de inervação do SNP.

RESPOSTA COMENTADA

Como visto até agora, temos o SN dividido em componentes centrais (SNC) (lacuna 1, encéfalo; lacuna 2, medula) e periféricos (SNP) (lacuna 3, gânglios; lacuna 4, nervo). Caso você tenha tido dificuldade em identificar os componentes na figura, retorne ao texto e procure o seu tutor no pólo.

DOIS COMPONENTES PERIFÉRICOS: VOLUNTÁRIO E INVOLUNTÁRIO

Podemos dividir o que sentimos e a maneira como agimos de dois modos: um voluntário e outro involuntário. Mas o que significa isso para você? Muito cuidado quando tentar responder a essa pergunta. Pense bem... Baseie-se em exemplos de sua vida. Agora responda: você consegue controlar voluntariamente o ritmo do seu coração? O arrepiar da pele? Aquele suor nas mãos quando fica ansioso? Ou, ainda: você sabe quando sua pressão variou um pouco? Quando a sua temperatura se elevou? Quando o pH do seu sangue se alterou? Acreditamos que a resposta tenha sido “não” para todas estas perguntas. Ou seja, o controle do músculo cardíaco, das glândulas e da musculatura lisa será sempre involuntário (visceral). O mesmo serve para detectar os estímulos sensoriais vindos do nosso meio interno. Andar, correr, sorrir, mastigar e ler este texto são atos voluntários (somáticos), que dependem do controle da musculatura esquelética.

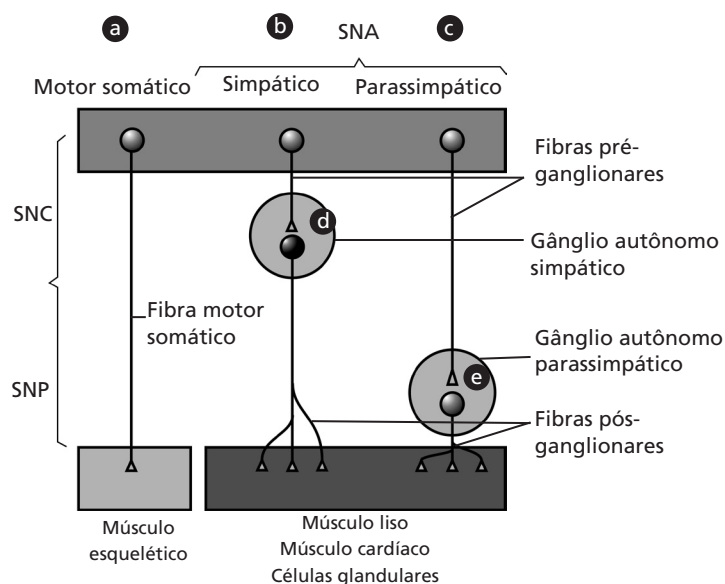


Figura 6.5: Organização celular das três divisões motoras periféricas. Os estímulos motores somáticos convergem para o motoneurônio (a) localizado na região ventral da medula espinhal e no tronco encefálico. Nesta via, a informação carregada pelo motoneurônio segue diretamente para os efetores (músculos). Já as respostas motoras viscerais dependem das subdivisões simpática e parassimpática do SNA. Neste caso, os neurônios localizados no tronco encefálico e na medula (b, c) se conectam a motoneurônios localizados fora do SNC (d, e), nos diferentes gânglios autônomos. Dessa forma, a via somática apresenta um único elemento motor (a), enquanto a via autonômica apresenta um componente pré-ganglionar (b, c) e outro pós-ganglionar (d, e).

Os componentes somáticos (referentes ao corpo) do SN incluem neurônios sensoriais, cujos corpos celulares estão localizados nos gânglios e são responsáveis pela inervação da pele, dos músculos, das articulações e dos órgãos internos, trazendo informações do meio externo e interno para o SNC. Já a divisão autonômica (involuntária) do SN compreende os neurônios e axônios motores que innervam vísceras, músculos lisos e cardíacos, e glândulas do corpo, ou seja, segmentos sobre os quais nós não temos controle voluntário. O sistema nervoso autônomo (SNA) é, por sua vez, subdividido em parassimpático, simpático e entérico, cujos componentes se encontram distribuídos ao longo do corpo. Estas divisões motoras apresentam um arcabouço semelhante, mas diferem em detalhes anatômicos,

tipos de neurotransmissores e funções, como se pode observar na **Figura 6.5**. Resumidamente, o SN simpático participa das respostas do corpo ao estresse (fuga e luta), ao passo que o parassimpático atua para a conservação dos recursos do corpo (repouso e digestão) e para a manutenção da homeostase. O sistema entérico controla o funcionamento dos músculos e das glândulas intestinais. Você estudará mais a fundo o SNA e seus subsistemas na Aula 11 desta disciplina.

SETE REGIÕES CENTRAIS REGULAM O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA NERVOSO

As divisões anatômicas do SNC adulto são baseadas no seu desenvolvimento em vesículas durante a vida embrionária (para relembrar, retorne às Aulas 2 e 3 desta disciplina), o que proporciona uma separação inicial em encéfalo e medula. Podemos novamente dividir o encéfalo em sete porções (medula espinhal, bulbo, ponte, mesencéfalo, diencéfalo, estruturas subcorticais e córtex), algumas das quais ilustradas na **Figura 6.6**.

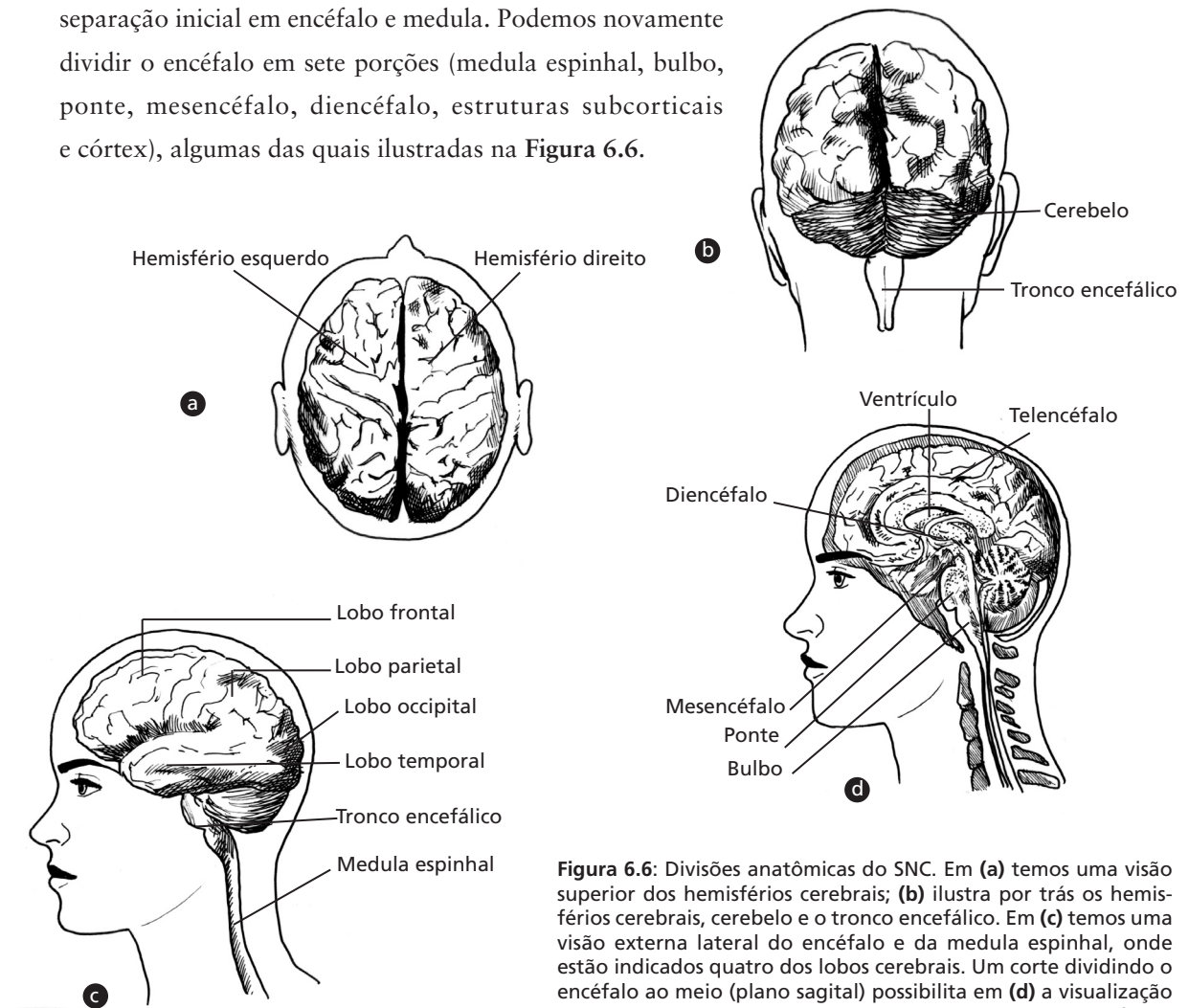


Figura 6.6: Divisões anatômicas do SNC. Em (a) temos uma visão superior dos hemisférios cerebrais; (b) ilustra por trás os hemisférios cerebrais, cerebelo e o tronco encefálico. Em (c) temos uma visão externa lateral do encéfalo e da medula espinhal, onde estão indicados quatro dos lobos cerebrais. Um corte dividindo o encéfalo ao meio (plano sagital) possibilita em (d) a visualização de estruturas internas, tais como os ventrículos, o mesencéfalo e a porção interna da ponte, cerebelo e bulbo.



Algumas das estruturas que compõem o SNC ainda podem ser subdivididas em dois ou mais componentes. Assim, subdividimos o diencefalo em tálamo, hipotálamo e epitálamo, e os hemisférios cerebrais em córtex cerebral e núcleos da base. Quanto mais nos aprofundamos na anatomia e fisiologia do sistema nervoso, mais subdivisões podemos destacar.

UM CAMINHO ENTRE O CENTRO E A PERIFERIA: A MEDULA ESPINHAL

A medula espinhal é a porção menos complexa do SNC, estendendo-se da primeira vértebra lombar até a base do osso occipital (base do crânio). Lá, ao nível do forâmen magno, junta-se com o encéfalo. Fica alojada no canal medular, que pode ser visualizado em cada uma de nossas vértebras, como ilustrado na **Figura 6.7.a**. Se olharmos a medula em seu eixo craniosacral (da região mais superior, próxima ao crânio, até sua porção mais inferior, no final da coluna vertebral), poderemos perceber que a medula espinhal tem uma clara segmentação em humanos, podendo ser dividida em 31 segmentos (**Figura 6.7.b**), de onde partem e chegam os axônios que vão compor os pares de nervos espinhais. Assim, cada segmento medular recebe um nome correspondente às vértebras: cervicais, torácicas, lombares e sacrais. Como se observa na **Figura 6.7**, temos ao todo 8 segmentos cervicais, 12 torácicos, 5 lombares e 5 sacrais e 1 coccígeo.

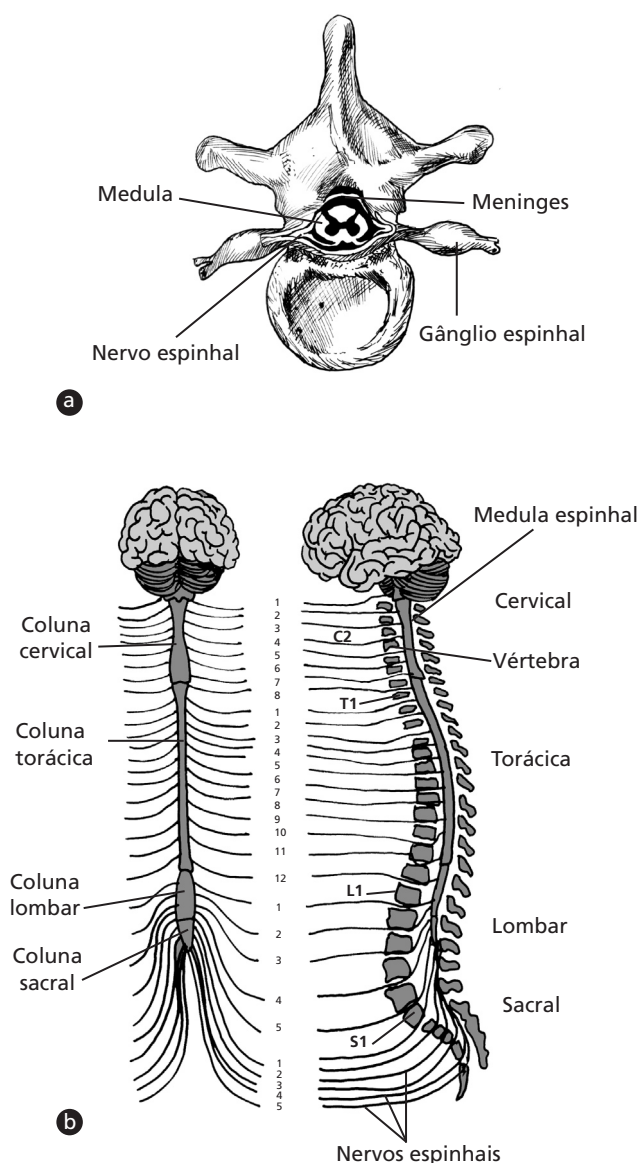


Figura 6.7: Em **(a)** temos um corte transversal da medula espinhal dentro de uma vértebra, mostrando sua localização na coluna vertebral e as meninges que a envolvem. Em **(b)** vemos a organização segmentar da medula espinhal. À direita temos a medula espinhal encerrada dentro do canal vertebral. Os nervos espinhais são nomeados pelo nível da medula espinhal do qual eles partem e numerados segundo a ordem das vértebras cervicais, torácicas, lombares e sacrais (do nível mais rostral para o caudal).

Como estações de recebimento e de emissão de informações, os segmentos medulares serão formados por neurônios que recebem informações sensoriais da pele, das articulações e dos músculos do tronco e dos membros, bem como informações sensoriais dos órgãos internos. A medula também contém os corpos celulares dos motoneurônios, as células cujos axônios se projetam para os grupamentos musculares levando informações de movimentos voluntários e reflexos, bem como os axônios que atingem as vísceras, controlando seu funcionamento.

Se olharmos um corte transversal da medula (**Figura 6.7.a**), percebemos que ela apresenta um “H” central mais acinzentado (**SUBSTÂNCIA CINZENTA**), onde se encontram os corpos celulares dos neurônios, e uma região periférica mais esbranquiçada (**SUBSTÂNCIA BRANCA**), por onde passam feixes de axônios. Em outras regiões do SN encontramos áreas onde corpos celulares estão mesclados com axônios e que apresentam um aspecto reticular (**SUBSTÂNCIA RETICULAR**).

Os neurônios e axônios que veiculam as informações sensitivas ficam alojados na parte posterior da medula; os neurônios motores e a maioria das fibras motoras ficam alojados na região mais anterior da medula (**Figura 6.8**). Dessa forma, falamos que as raízes dorsais trazem para o SNC as informações sensoriais dos músculos, pele e vísceras, ao passo que nas raízes ventrais encontramos os axônios que inervam os músculos esqueléticos e axônios pré-ganglionares simpáticos e parassimpáticos. Observamos também que a medula apresenta um canal em seu centro, denominado canal medular, preenchido por liquor (você verá mais adiante nesta aula).

A medula carrega sensações oriundas do tronco, membros superiores, inferiores e controla os seus músculos. Já o tronco cerebral, que aparece logo acima dela, está relacionado com as sensações oriundas da pele, músculos e articulações da cabeça e pescoço, e com os sentidos da visão, audição, olfato, paladar e com o equilíbrio corporal.

SUBSTÂNCIA BRANCA

Áreas do sistema nervoso ricas em axônios, cuja aparência esbranquiçada se deve à cobertura por uma camada de mielina.

SUBSTÂNCIA CINZENTA

Áreas do sistema nervoso compostas predominantemente por corpos celulares, levando a uma aparência cinzenta.

SUBSTÂNCIA RETICULAR

Área composta de corpos celulares e axônios misturados entre si, o que produz uma aparência mesclada de cinza e branco ou semelhante a uma rede.

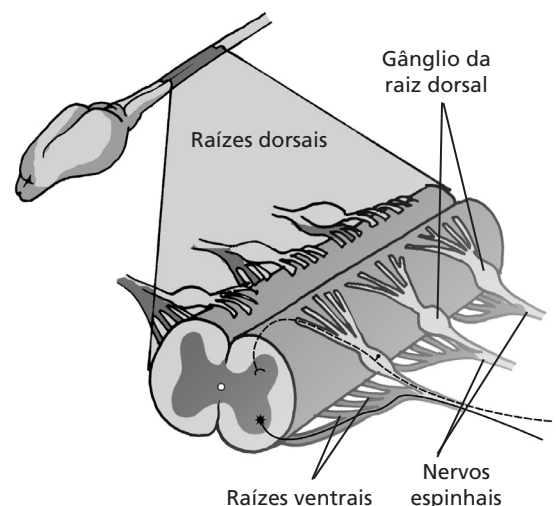


Figura 6.8: Raízes dorsal e ventral da medula espinhal. O “H” medular, localizado na região mais central, é onde ficam dispostos os corpos celulares de neurônios medulares. Estas células emitem axônios que saem da medula pela raiz ventral, ou recebem conexões que chegam a ela pela raiz dorsal, cujas células estão localizadas nos gânglios da raiz dorsal. Note que as raízes dorsal (sensitiva) e ventral (motora) se unem para formar os nervos espinhais, que apresentam sempre composição mista.

O TRONCO ENCEFÁLICO: BULBO, PONTE E MESENCÉFALO

O tronco encefálico aparece logo acima da medula. Tem relevos e depressões em sua estrutura externa. Estes acidentes anatômicos recebem nomes específicos e nos permitem delimitar o bulbo, a ponte e o mesencéfalo, como visto na **Figura 6.6**. Os neurônios que formam o tronco encefálico se agrupam em núcleos (agrupamento de neurônios de forma organizada) enquanto seus axônios se agrupam em feixes denominados tratos, fascículos ou lemniscos (assim como denominamos “nervos” os grupamentos de axônios do SNP). Esses grupos de neurônios recebem informações de regiões mais inferiores, como a medula, e de regiões mais superiores, como o córtex cerebral, podendo ser encarados como subestações de processamento de informação. Em geral, os neurônios localizados no tronco apresentam três funções principais:

1. Recebem informações sensitivas de todo o corpo e as repassam para outros neurônios localizados em estruturas mais superiores.
2. Transmitem informações motoras do encéfalo para a medula espinhal.
3. Regulam nosso estado atencional, uma função ainda não completamente compreendida.

Muitas outras funções específicas podem ser destacadas para cada um dos segmentos que constituem o tronco encefálico.

O bulbo encefálico (temos também um par de bulbos olfatórios dos quais falaremos mais tarde, na Aula 10 desta disciplina, sendo importante destacar aqui que se trata de estruturas diferentes com nomes semelhantes) é uma estrutura com organização funcional muito semelhante à da medula espinhal, com agregados de células que constituem núcleos, e feixes de axônios (**Figura 6.9.a**). Acima do bulbo encontra-se a ponte, composta por um grande número de neurônios que retransmitem as informações vindas dos hemisférios cerebrais para o cerebelo (mais detalhes a seguir). Existem núcleos que se estendem do bulbo até a ponte e atuam para regular a pressão arterial e a respiração (**Figura 6.9.b**).

O mesencéfalo é a menor parte do tronco cerebral e fica situado acima da ponte. Nele encontraremos vários núcleos, dentre os quais podemos destacar aqueles responsáveis pelo controle dos movimentos dos olhos (**Figura 6.9.c**). Na parte posterior do mesencéfalo, observam-se

quatro protuberâncias chamadas corpos quadrigêmeos ou colículos (dois superiores e dois inferiores), que são estruturas características do mesencéfalo cujos neurônios participam no processamento visual e auditivo (Figura 6.10).

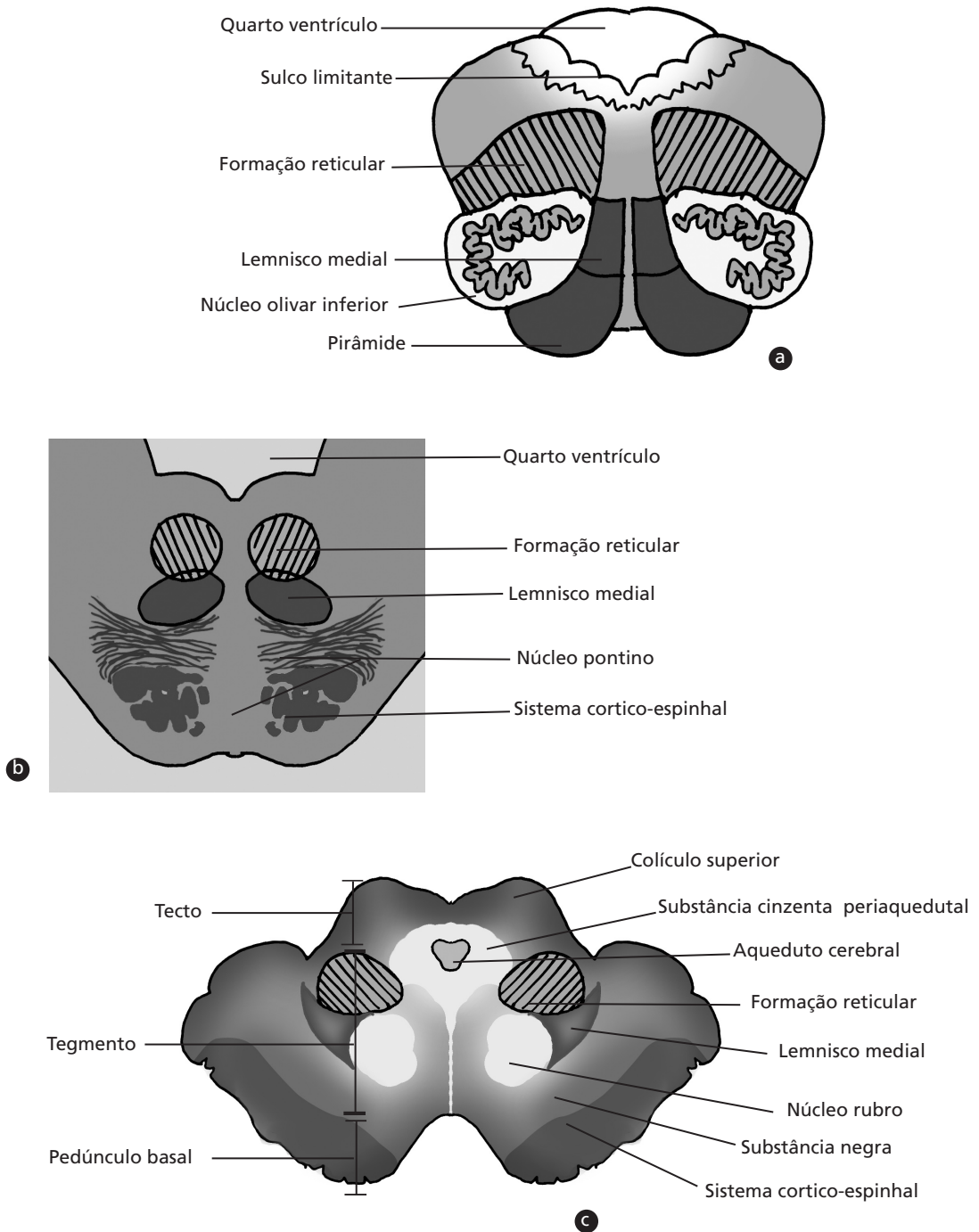


Figura 6.9: Corte transversal no nível do bulbo (a), da ponte (b) e do mesencéfalo (c) mostrando as diferenças morfológicas nos diferentes níveis do tronco encefálico.

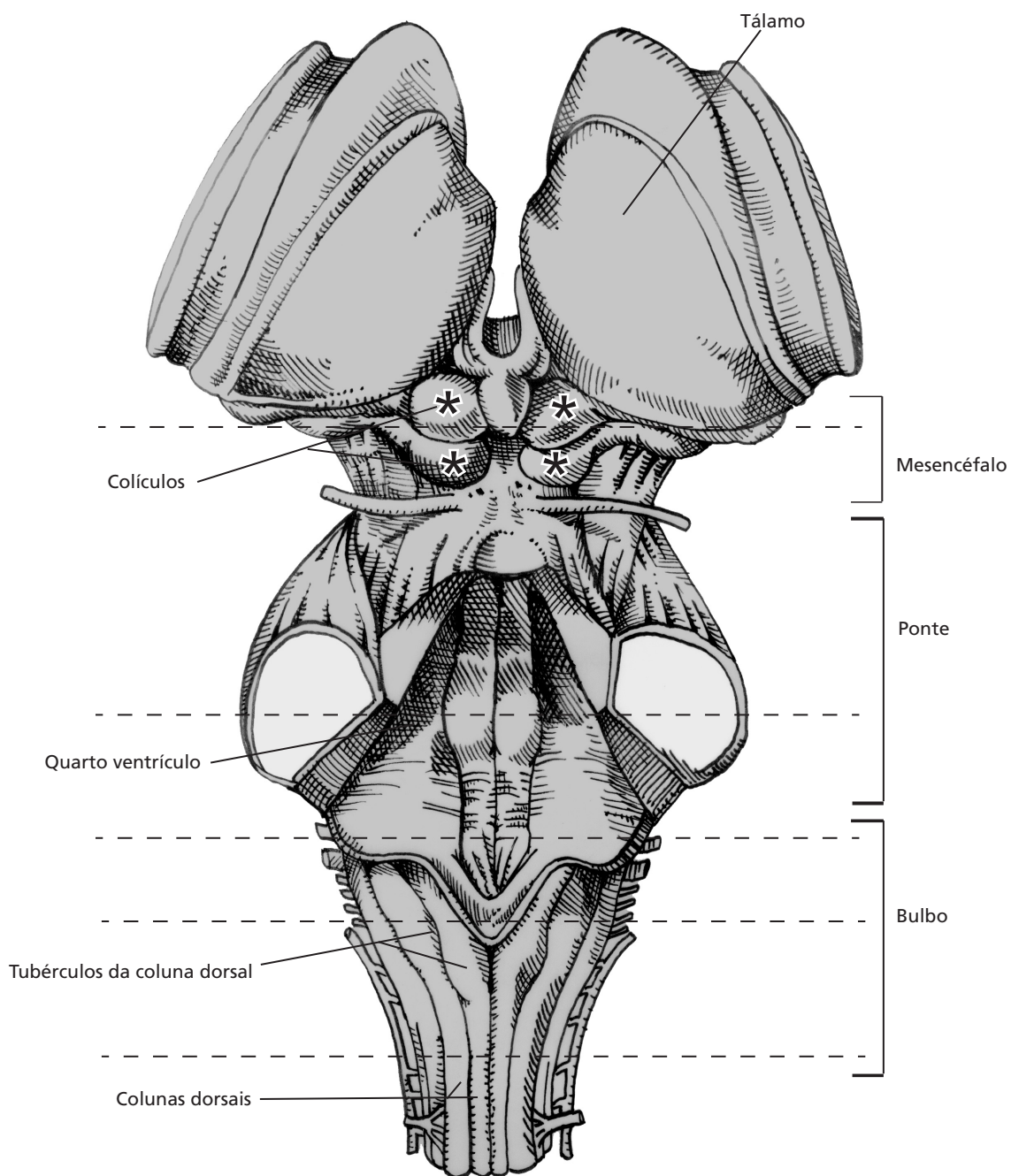


Figura 6.10: Vista posterior do tronco encefálico após a retirada do cerebelo, mostrando o bulbo, a ponte e o mesencéfalo. Os quatro montículos (*) localizados no mesencéfalo são os colículos superiores e inferiores.

CEREBELO: O PEQUENO CÉREBRO RESPONSÁVEL PELO EQUILÍBRIO

Atrás da ponte, constituindo o teto do quarto ventrículo (veja adiante os ventrículos cerebrais e a circulação liquórica), está o cerebelo, que, de maneira semelhante ao cérebro, tem dois hemisférios, com pequenas dobras em sua superfície, as folhas (Figuras 6.6 e 6.11). Se cortarmos o cerebelo em duas partes, veremos uma porção acinzentada mais periférica, uma porção esbranquiçada mais interna e, no meio desta, pequenas “ilhas” acinzentadas. Estas estruturas correspondem, respectivamente, ao córtex cerebelar, à substância branca e aos núcleos profundos do cerebelo (Figura 6.11.b). O cerebelo possui um intrincado circuito intrínseco e extrínseco: recebe axônios provenientes da medula, do bulbo, dos órgãos vestibulares (Aula 7 desta disciplina) e do córtex cerebral, e dele partem axônios em direção a essas mesmas estruturas. Dessa forma, o cerebelo participa da coordenação dos movimentos dos músculos esqueléticos, no equilíbrio e manutenção da postura, pois integra as informações que chegam das vias sensoriais da medula, das vias motoras do córtex cerebral e dos órgãos vestibulares do ouvido interno.

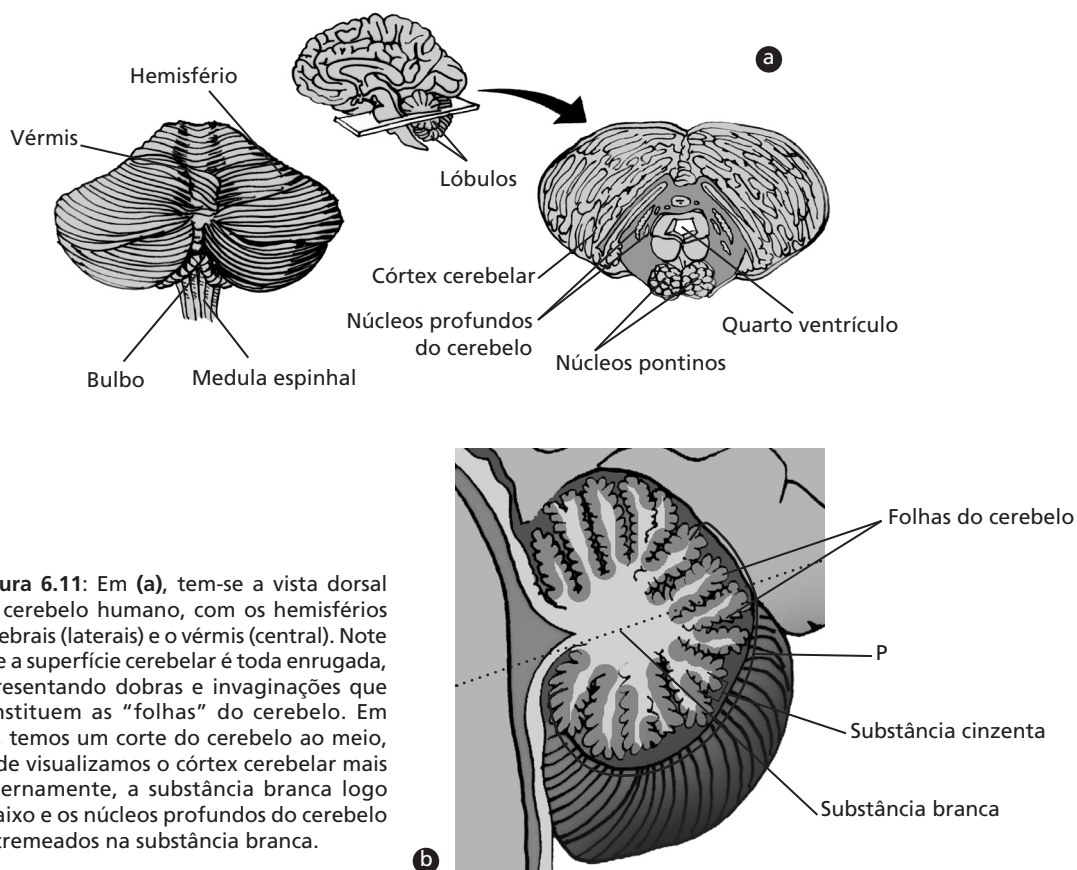


Figura 6.11: Em (a), tem-se a vista dorsal do cerebelo humano, com os hemisférios cerebrais (laterais) e o vérmis (central). Note que a superfície cerebelar é toda enrugada, apresentando dobras e invaginações que constituem as “folhas” do cerebelo. Em (b), temos um corte do cerebelo ao meio, onde visualizamos o córtex cerebelar mais externamente, a substância branca logo abaixo e os núcleos profundos do cerebelo entremeados na substância branca.

O DIENCÉFALO E A HOMEOSTASE: TÁLAMO, HIPOTÁLAMO E EPITÁLAMO

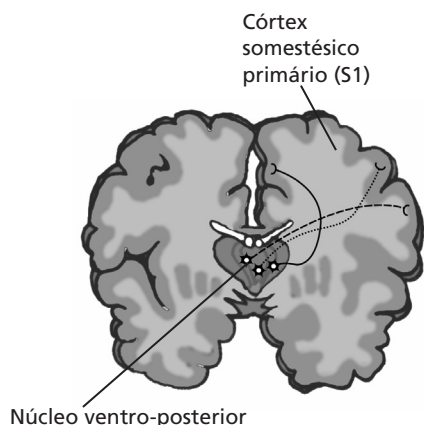


Figura 6.12: Via de processamento somestésico (tato). As informações tátis captadas em um lado do corpo seguem pela medula e cruzam para o lado oposto ao nível do bulbo encefálico. De lá, a informação segue para o tálamo, e finalmente para o córtex somestésico primário.

Quase todas as informações sensoriais que se dirigem para o córtex cerebral são processadas (organizadas) e distribuídas pelo tálamo, que fica situado logo acima do mesencéfalo. É uma segunda estação de processamento, para onde convergem informações visuais, auditivas, gustativas, tátis e dolorosas. Estas informações chegam ao tálamo por feixes de fibras independentes e permanecem separadas até chegarem ao córtex cerebral, a última estação de processamento do sistema nervoso (**Figura 6.12**). O tálamo é uma estrutura globosa que pode ser separada em núcleos funcionais, mas a separação anatômica não é muito clara (**Figura 6.13**).

O hipotálamo, situado ventralmente ao tálamo, regula as funções do SNA e as sensações hormonais através da glândula hipófise. Recebe e envia informações via tálamo, mesencéfalo e algumas áreas corticais que participam da função do SNA. O conhecimento a respeito da organização hipotalâmica é bem maior do que o descrito para o epitálamo, sendo este núcleo o menor componente diencefálico. Ele está relacionado principalmente com a produção de melatonina pela glândula pineal (como você verá na Aula 13 desta disciplina).

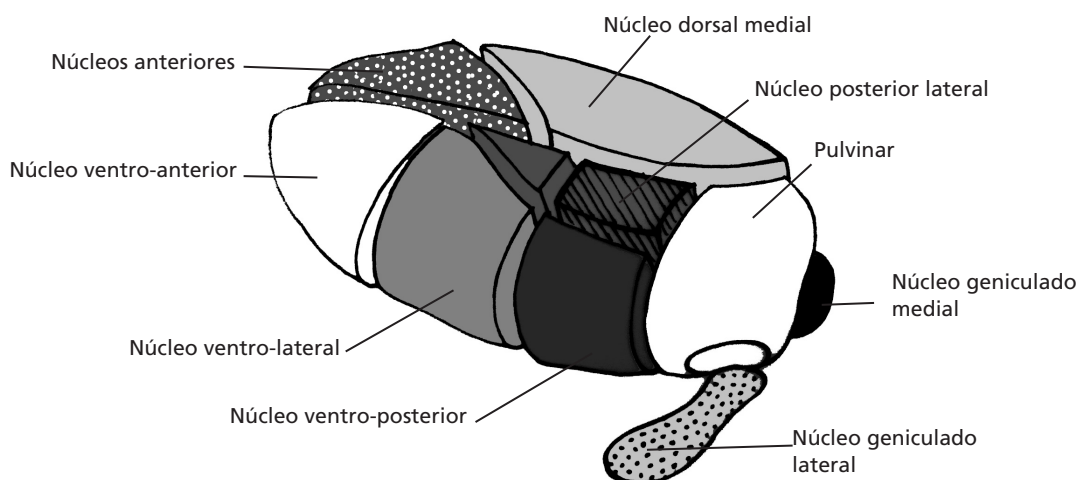


Figura 6.13: Esquema do tálamo humano com suas divisões em diferentes núcleos de processamento.

HEMISFÉRIOS CEREBRAIS: CENTRAL DE PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES

Nos seres humanos, os dois hemisférios cerebrais constituem a parte mais volumosa do encéfalo, normalmente chamado cérebro. Esses hemisférios são formados pelo córtex cerebral, a substância branca subjacente, a formação hipocampal, a amígdala, e por três núcleos profundos, os quais juntos formam os chamados núcleos (ou gânglios) da base. Os hemisférios cerebrais são separados por uma depressão profunda, a fissura inter-hemisférica. Essas estruturas estão funcionalmente relacionadas com a percepção, cognição, memória, emoções e funções motoras elaboradas.

O CÓRTEX CEREBRAL: O PROCESSADOR DO NOSSO COMPUTADOR

Os hemisférios cerebrais têm um aspecto enrugado, formando o que se chama de circunvoluções. Suas superfícies são recobertas por uma fina camada celular de 2mm de espessura, chamada córtex cerebral. As circunvoluções são formadas por depressões denominadas sulcos, que separam regiões mais elevadas chamadas giros.

Como a posição de certos sulcos é a mesma em todos os seres humanos, podemos dividir o córtex em cinco porções, denominadas lobos cerebrais (Figuras 6.6.a e 6.6.c). Os nomes de quatro deles correspondem aos ossos do crânio suprajacentes: frontal, parietal, temporal e occipital (Figura 6.14). O quinto lobo recebe o nome de lobo da ínsula e está localizado mais internamente, só podendo ser visualizado afastando-se o lobo temporal (Figura 6.14).

Cada um dos lobos está relacionado a funções específicas:

- O lobo parietal está mais relacionado ao processamento de funções táteis.
- O lobo temporal processa informações auditivas e de linguagem.
- O lobo occipital é o encarregado de processar todas as informações visuais.
- O lobo frontal controla nossas funções motoras e ali também se localizam áreas importantes de processamento de memória.
- O lobo da ínsula está envolvido com as nossas emoções e nossos comportamentos.

Existem ainda áreas corticais chamadas áreas de associação, distribuídas nos diferentes lobos corticais. A função destas áreas é integrar e processar informações de outras áreas corticais, envolvendo as três principais funções do cérebro: percepção, motivação e movimento.

De uma forma resumida, podemos dizer que as áreas sensoriais corticais recebem as informações sensoriais vindas da periferia com poucas sinapses intermediárias. Essas informações são, então, processadas nessas áreas e repassadas para as áreas de associação que promovem um elo entre sensação e ação, fazendo conexões com as áreas motoras. As áreas motoras, por sua vez, exercem controle sobre neurônios motores (produtores de nossas ações). O córtex cerebral é a região de processamento mais complexo em nosso cérebro, e dele partem nossos atos voluntários motores e nossas reações afetivas. Ele também armazena grande parte de nossas memórias, de modo muito semelhante ao processador de um computador.

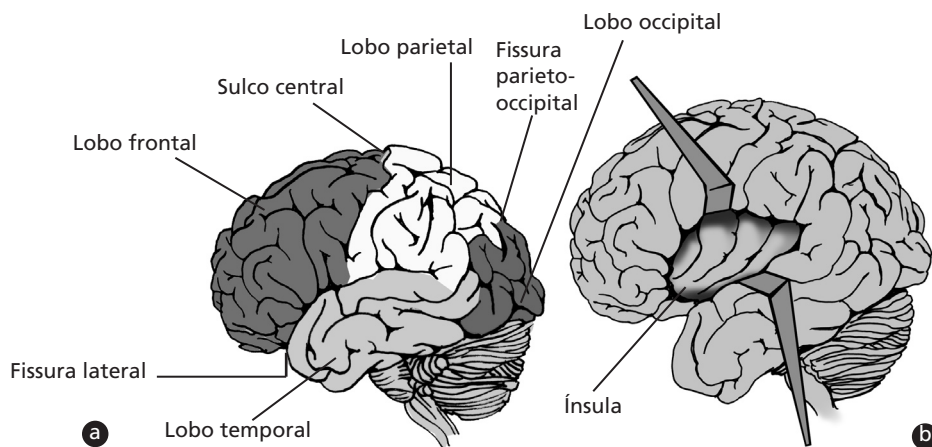


Figura 6.14: Em (a), podemos visualizar quatro dos cinco lobos no hemisfério cerebral esquerdo (frontal, parietal, occipital e temporal). O limite entre o frontal e o parietal é o sulco central; entre o parietal e o temporal é a fissura lateral, e entre o parietal e o occipital é a fissura parieto-occipital. Em (b), visualizamos o lobo da ínsula, após o afastamento dos lobos frontal e temporal.

NÚCLEOS DA BASE: OS CONSELHEIROS DOS MOVIMENTOS

Os núcleos da base são constituídos pelos núcleos caudato e putâmen (juntos formam o corpo estriado) e o globo pálido. Anatomicamente, eles estão localizados na parte mais inferior dos hemisférios cerebrais. Estes núcleos recebem axônios provenientes de todos os lobos cerebrais e projetam novos axônios de volta, via tálamo,

para o córtex frontal, onde estão localizadas nossas funções motoras. Os núcleos da base desempenham um papel importante na regulação dos movimentos, e sua lesão pode levar a patologias conhecidas, como a doença de Parkinson e a coreia de Huntington, dentre outras (Figura 6.15). Mais detalhes sobre essas estruturas, seu funcionamento e as doenças relacionadas você verá nas Aulas 19, 20 e 21 desta disciplina.

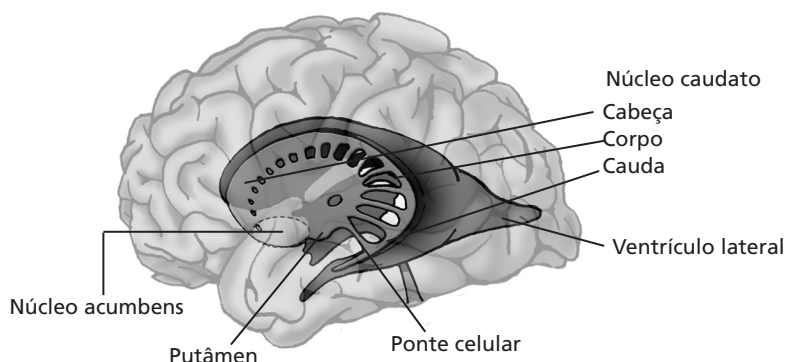


Figura 6.15: Os núcleos da base são estruturas profundas, ou seja, só podem ser visualizados após a retirada dos hemisférios cerebrais. Na figura, observamos tais núcleos por transparência. O núcleo estriado é constituído pelo caudado (mais alongado) e pelo putâmen, e é cortado pelas fibras que constituem a cápsula interna, a principal via de passagem de fibras que entram e saem do córtex cerebral.

HIPOCAMPO E AMÍGDALA: PRIMITIVOS, MAS SEM ELES SOMOS ROBÔS SEM MEMÓRIA OU EMOÇÕES

O hipocampo e a amígdala são componentes do chamado sistema límbico, um sistema funcional que reúne uma série de estruturas cerebrais envolvidas no processamento das emoções e de comportamentos volitivos. O hipocampo é envolvido no processo de incorporação de novas memórias. Já a amígdala coordena a ação dos sistemas autônomo e endócrino e também está envolvida nas emoções. Por meio de conexões diretas com o hipotálamo, o sistema límbico modula a atividade do SNA, coordenando respostas viscerais (como pressão arterial, frequência cardíaca, abertura da pupila) em diferentes estados emocionais (Aula 11 desta disciplina). Regulando a liberação de hormônios hipotalâmicos, o sistema límbico também exerce um controle importante sobre o sistema endócrino (Figura 6.16).

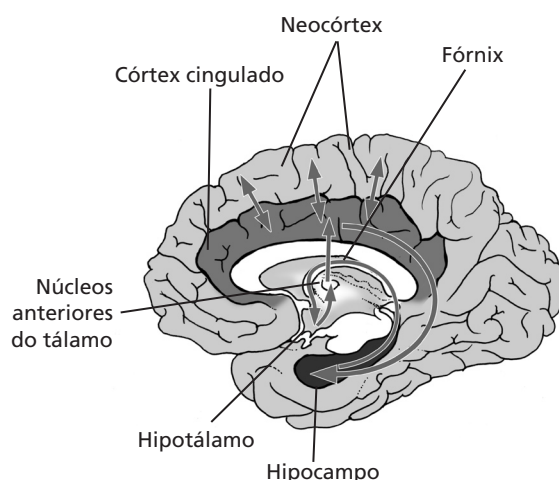
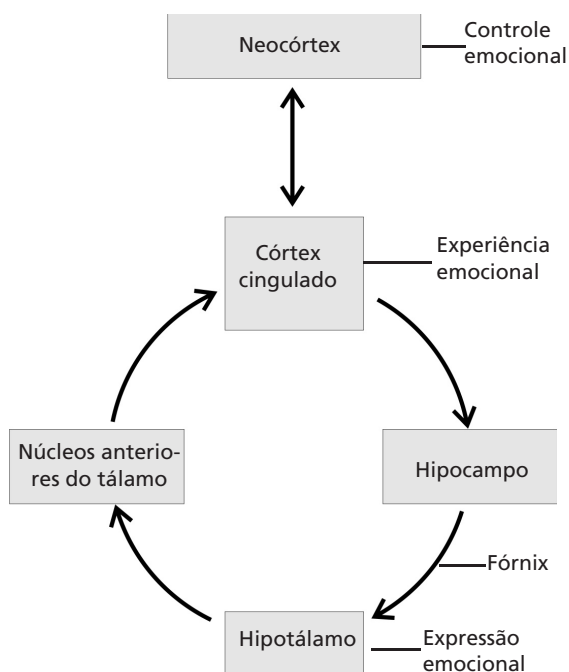
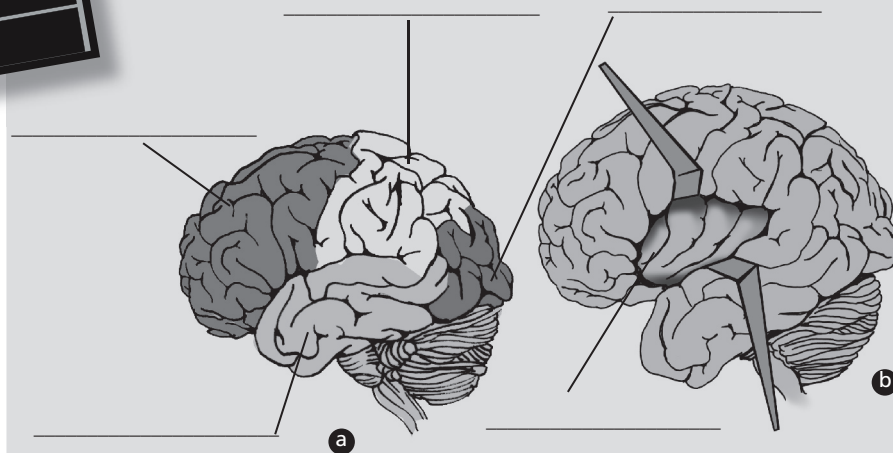


Figura 6.16: Observamos um dos hemisférios cerebrais ao nível da linha média, onde podemos assinalar estruturas, como o córtex cingulado, o hipocampo, alguns núcleos talâmicos e o hipotálamo, que apresentam um papel importante no processamento de emoções pelo sistema nervoso, e que se apresentam conectadas entre si.

ATIVIDADE



2. No esquema a seguir, identifique os lobos cerebrais e os correlacione com as funções neles localizadas.



RESPOSTA COMENTADA

Como você deve se lembrar, dividimos os hemisférios cerebrais conforme critérios anatômicos e funcionais. O lobo occipital está relacionado ao processamento de informações visuais; o lobo parietal à integração de informação tátil. O lobo temporal processa informações relacionadas com nossa audição e fala; o lobo frontal apresenta importância no controle e iniciação de movimentos, além de estar relacionado com o nosso raciocínio e com a produção de alguns aspectos da linguagem; o lobo da ínsula está envolvido com nossas emoções e comportamentos. Entretanto, você deve se lembrar de que existem áreas associativas, geralmente localizadas entre essas divisões estabelecidas. Lembre-se sempre de que para se processar, integrar e analisar diferentes informações, quase sempre utilizamos mais de um lobo. Eles não trabalham sozinhos: é um trabalho de equipe. Caso você tenha dúvidas sobre esse assunto, busque orientação do seu tutor no pólo.

TODOS SEGUIMOS REGRAS, ATÉ MESMO O SISTEMA NERVOSO

Para compreendermos como as informações são processadas pelo SN, é necessário termos em mente não só a organização anatômica do SN, mas também quatro regras que dirigem seu funcionamento, tais como hierarquia, paralelismo, topografia e contralateralidade. Vamos conhecer melhor estas regras!

HIERARQUIA: SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO

As informações que chegam ao SN e saem dali passam por níveis intermediários de processamento, em diferentes pontos do sistema: medula, tronco encefálico, tálamo e córtex. Os sistemas sensoriais e motores são interrompidos nesses pontos por sinapses, que não são simples conexões entre neurônios pré e pós-sinápticos. Nessas sinapses, a informação neural é modificada entre os dois neurônios e sofre influências de informações trazidas por axônios provenientes de centros superiores. Esses núcleos contêm neurônios que formam um conjunto de circuitos, cujos axônios estão confinados aos próprios núcleos, capazes de modular o processamento de informações.

PARALELISMO: ESTRADAS DIFERENTES LEVAM AO MESMO LUGAR

Os sistemas sensoriais, motor e motivacional têm subsistemas anatômica e funcionalmente distintos para realizar cada tarefa. Cada modalidade sensorial é mediada por um subsistema ou via distinta (visual, auditivo, somatossensorial etc.). Esses subsistemas são, por sua vez, subdivididos em outros mais especializados. O sistema visual tem vias separadas para a percepção de objetos que se movem e de objetos estáticos. Porém, a associação dessas vias nos dá a percepção dos objetos em movimento, uma percepção que ocorre ao nível do córtex. Da mesma forma, vias anatômicas separadas conduzem para o córtex cerebral a sensação de toque, de dor ou de pressão proveniente de receptores sensoriais distintos e específicos situados na mesma região da pele. A integração dessas vias ocorrerá ao nível do córtex cerebral.

TOPOGRAFIA: TEMOS MAPAS EM NOSSA CABEÇA?

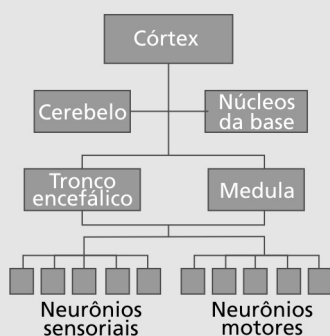
A característica mais marcante dos sistemas sensoriais é que as relações espaciais que ocorrem na superfície periférica onde se localizam os receptores (retina, superfície da pele etc.) são preservadas dentro do SNC, como verdadeiros mapas representando a organização dos receptores sensoriais. Por exemplo, grupos de células vizinhas na retina enviam seus axônios para grupos vizinhos de células no tálamo. Esses grupos enviam seus axônios para regiões vizinhas no córtex visual (lobo occipital). Dessa forma, temos, dentro do nosso córtex, uma réplica de nosso campo visual. De maneira semelhante, a superfície do corpo é representada por neurônios no córtex sensorial que têm a mesma relação espacial com os receptores da pele, formando o chamado mapa somatotópico (na Aula 7 desta disciplina, você saberá mais sobre este assunto).

CONTRALATERALIDADE: DIREITA, ESQUERDA OU AMBOS?

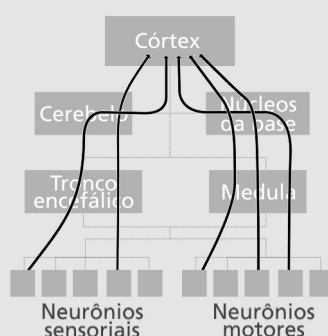
A maior parte das vias neurais passa, em algum ponto, para o lado contralateral no cérebro e na medula. Disso resulta que os estímulos sensoriais e as reações motoras de um lado do corpo são controlados pelo hemisfério cerebral do lado oposto. Esses cruzamentos ocorrem em pontos diferentes para os diferentes sistemas.

Vamos visualizar os princípios de organização do SN?

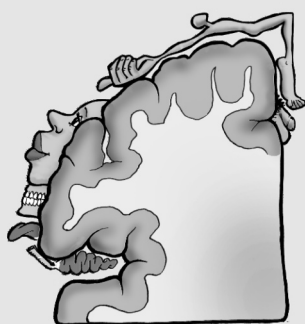
Hierarquia



Paralelismo



Topografia



Contralateralidade



ATIVIDADE



3. Correlacione os princípios de organização funcional listados na primeira coluna com os seus respectivos conceitos:

- (A) Hierarquia.
- (B) Paralelismo.
- (C) Topografia.
- (D) Contralateralidade.
- (E) Convergência e divergência.

() Para que ocorra a percepção de alguma informação sensorial (exemplo, tato), a informação deve antes ser dividida conforme as suas qualidades (toque, dor, temperatura, propriocepção). Posteriormente, estas qualidades serão integradas em centros superiores.

() Mapas funcionais das diferentes áreas corporais estão representados no sistema nervoso.

() O sistema nervoso possui diferentes subestações que representam diferentes níveis de complexidade estrutural e funcional.

() As áreas sensoriais e motoras do Sistema Nervoso Central representam as regiões opostas corporais.

() As diferentes qualidades das informações sensoriais ou motoras são carreadas por vias distintas.

RESPOSTA COMENTADA

A ordem correta das letras é E, C, A, D, B. Parabéns se você acertou. Mostra que você entendeu bem os princípios de organização funcional do SN. Principalmente com o acréscimo de um dado, o de que a informação, no SN, tende a sofrer convergência e divergência. Caso tenha sentido dificuldade em correlacionar algum dos itens, volte ao texto e o releia para fixar o conteúdo.

O SANGUE E O CÉREBRO

O SN, assim como todo o nosso organismo, precisa ter um suprimento constante de sangue. Embora o encéfalo represente apenas cerca de 2% de nossa massa corporal, recebe cerca de 15% do fluxo sanguíneo e consome aproximadamente 20% do oxigênio disponível na circulação. Além disso, há outro problema: as células neuronais só são capazes de utilizar a glicose como fonte de energia. Assim, como o SN não é capaz de armazenar oxigênio ou glicose, depende de um fluxo sanguíneo constante, que deve ser aumentado em momentos de maior atividade.

Existem três grandes vias de entrada de sangue no SNC: uma pela artéria carótida interna, outra pela artéria vertebral-basilar, que vão para o encéfalo, e outra para a medula, por ramos da artéria vertebral ou por ramos diretos da artéria aorta (**Figura 6.17**). Na base do encéfalo, a artéria carótida interna origina três ramos, sendo que um deles se une aos ramos da artéria basilar. Forma-se, neste local, um suprimento circular de sangue que assegura a vascularização do encéfalo (**Figura 6.18**).

Os ramos dessas artérias tornam-se progressivamente menos calibrosos e vão penetrar e irrigar o tecido nervoso. Se o fluxo sanguíneo em uma destas artérias é bloqueado por algum motivo (pode haver um espasmo da artéria ou mesmo o bloqueio por um coágulo que se desprenda da circulação sanguínea), o território irrigado por aquela artéria deixa de receber sangue. Forma-se, então, uma área isquêmica. Se esta baixa irrigação persistir por muito tempo, danos irreversíveis podem ser gerados no SNC, e quadros clínicos de acidentes vasculares encefálicos (ou derrames, como são conhecidos em linguagem popular) aparecem.

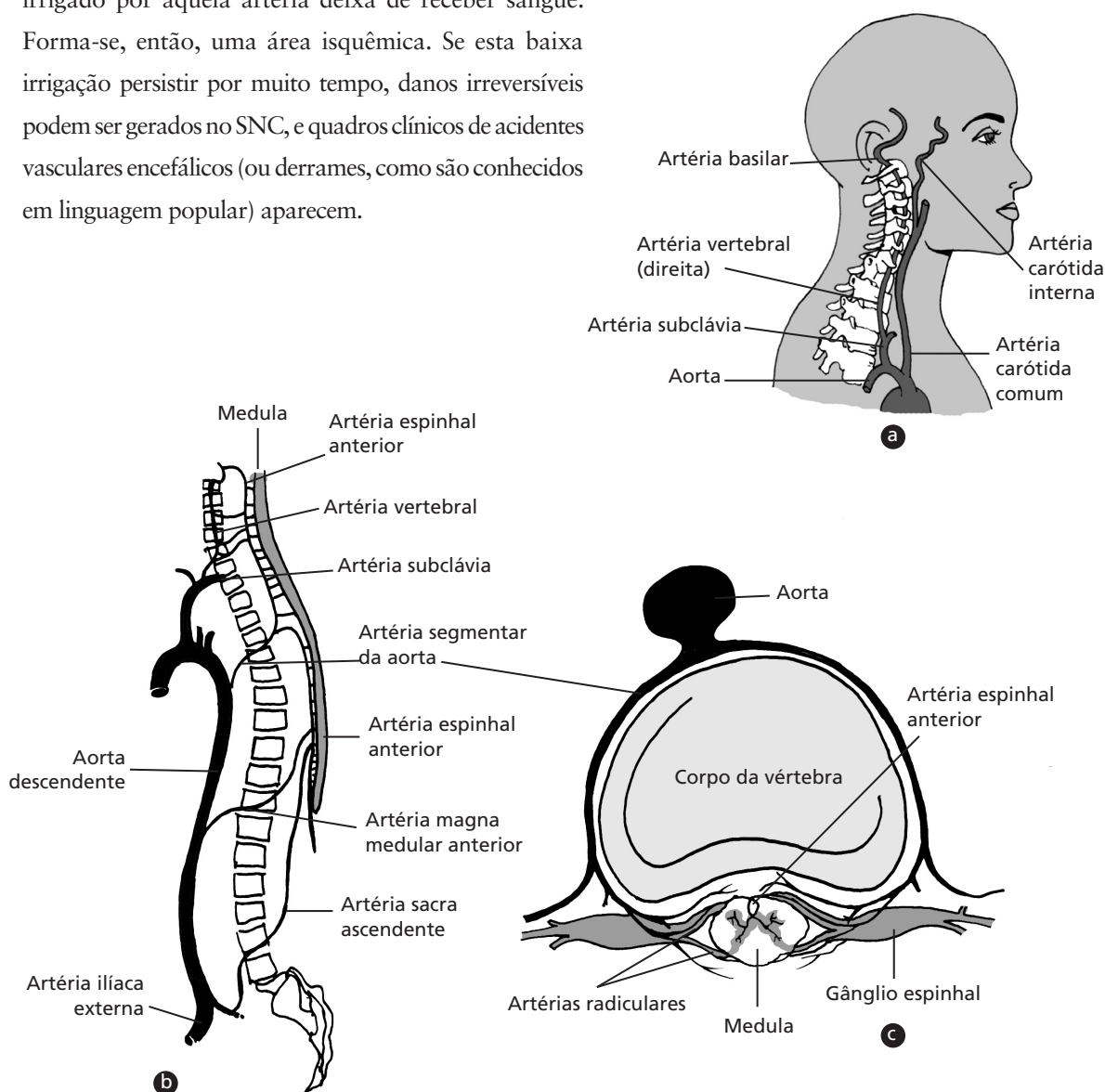


Figura 6.17: Vascularização do encéfalo (a) e da medula espinhal (b, c). (a) As artérias que chegam ao encéfalo são a carótida interna e a vertebral, ramo da subclávia. Existem uma carótida interna direita e uma esquerda, bem como uma vertebral direita e uma esquerda, que se unem na base do encéfalo (b e c). A vascularização da porção cervical da medula se faz por ramos da artéria vertebral. A artéria aorta tem ramos que contornam o corpo vertebral e irrigam quase toda a extensão da medula. A porção mais inferior é vascularizada por ramos da artéria ilíaca externa.

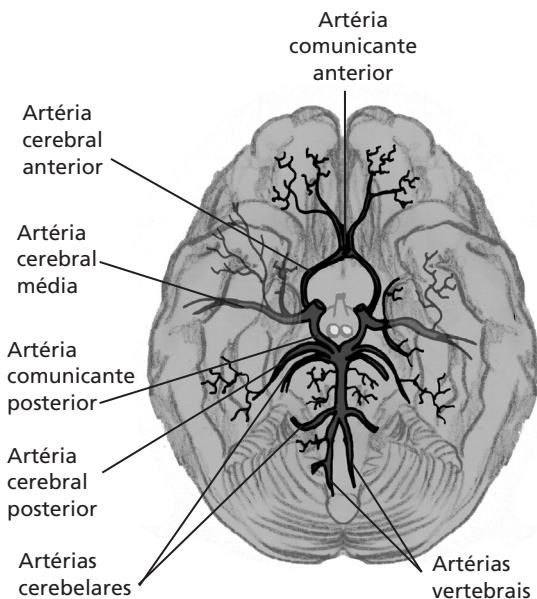


Figura 6.18: A união das artérias vertebrais constitui a artéria basilar, responsável pela vascularização do tronco encefálico. A artéria basilar, na base do crânio, emite artérias comunicantes posteriores que se unem a ramos médios e anteriores da carótida interna.



Neurociência interativa: Existem muitos recursos disponíveis na internet para expandir seus conhecimentos (em inglês):

- www.neurophys.wis.edu/brain Este é um *link* para um atlas do cérebro que inclui fotografias, secções coloridas e vídeos de filmes de humanos, macacos e até de golfinhos. Aproveite para fazer uma comparação entre os diferentes cérebros, assim como para verificar as semelhanças entre os cérebros das mais variadas espécies.
- www.williamcalvin.com/1990s/1998SciAmer.htm Aproveite para ler um artigo publicado na revista *Scientific American* sobre a teoria de evolução cerebral.

Quando o sangue chega aos capilares, estes devem deixar passar o oxigênio e os nutrientes de que o SN necessita para funcionar adequadamente, mas não devem deixar passar substâncias que possam ser tóxicas para os neurônios (agentes químicos, como alguns presentes em inseticidas). Dessa forma, existe no sistema nervoso uma barreira seletiva, conhecida como barreira hematoencefálica. O que existe de particular nela é que as células endoteliais, que compõem as paredes dos vasos, se encontram justapostas, sem que entre elas existam fenestrações (aberturas), impedindo que as moléculas passem entre as células. Para passar do sangue para as células nervosas, as substâncias devem atravessar as células endoteliais utilizando receptores específicos e endocitose (ver endocitose na Aula 19 da disciplina Biologia Celular I), canais de íons, ou devem ser muito lipossolúveis para poderem se difundir através da membrana das células (veja as Aulas 9, 10, 11 e 12 da disciplina

Biologia Celular I). Além das células endoteliais, há dois componentes da barreira hematoencefálica: os pericitos, que ficam em torno dos vasos e produzem as moléculas da matriz extracelular que vão compor a membrana basal, e os prolongamentos de células astrocitárias, que ficam ancorados no endotélio e auxiliam na metabolização de resíduos potencialmente tóxicos (Figura 6.19). Dessa forma, a barreira hematoencefálica tem as seguintes funções: garantir o equilíbrio iônico do tecido nervoso, mediar a entrada de substâncias de importância fisiológica e possibilitar a saída de substâncias que se acumulam no tecido nervoso.

Uma vez realizada a troca de substâncias entre o sangue e o tecido nervoso, o sangue pobre em oxigênio e com impurezas provenientes das células nervosas deve ser recolhido e drenado por uma rede venosa. O sangue é coletado dos capilares para vênulas que confluem em veias de calibre cada vez maior. No encéfalo, estas veias desembocam em grandes seios venosos, para onde se dirige também o líquido, que é reabsorvido pelas granulações aracnóideas (referentes à meninge) e daí seguem para a veia jugular de volta ao coração (Figura 6.20). A medula não apresenta seios venosos, de forma que a drenagem é realizada apenas por veias, como nos outros órgãos de nosso corpo.

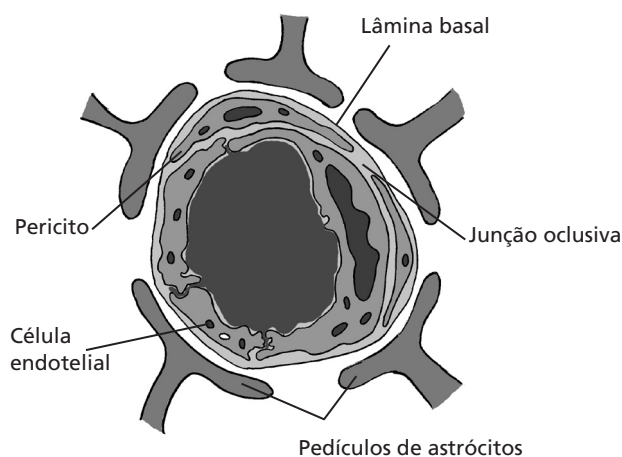


Figura 6.19: Corte transversal de um capilar do Sistema Nervoso Central, mostrando os elementos da barreira hematoencefálica: células endoteliais aderidas por junções oclusivas, pericitos, e pedículos de astrócitos. Note que não há fenestrações (espaços) entre as células, como se observa em outros tecidos do organismo.

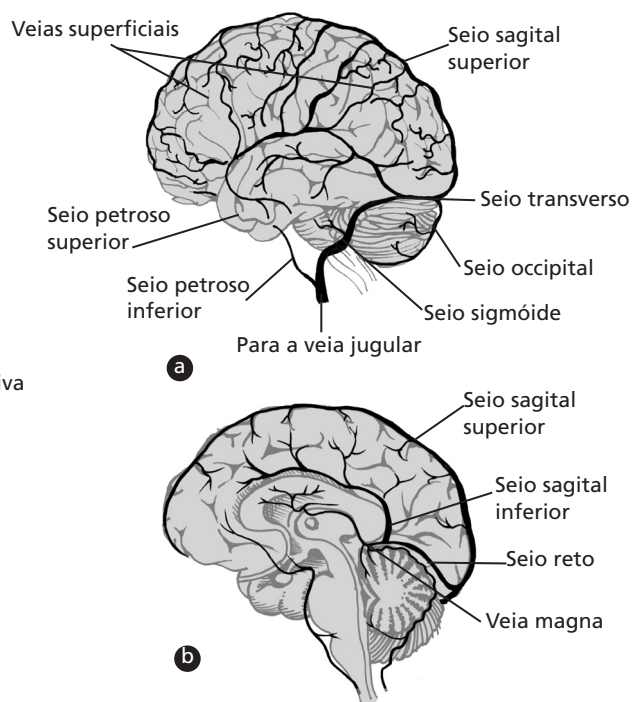


Figura 6.20: Organização venosa para a drenagem do SNC, em vista lateral (a) e medial (b). Note a presença de veias e seios venosos que drenam para a veia jugular, encarregada de levar o sangue de volta para o coração.

MENINGES: PROTEÇÃO EXTRA PARA O SISTEMA NERVOSO

Entre os ossos do crânio e o sistema nervoso existe um sistema de proteção extra, formado por três envoltórios, as meninges (**Figura 6.21**).

A meninge mais externa é a dura-máter, também chamada paquimeninge. A mais rígida das meninges, a dura-máter, é formada de tecido conjuntivo rico em fibroblastos que produzem uma grande quantidade de colágeno. A dura-máter medular acompanha a forma da medula, mas permite a saída dos nervos espinhais, fundindo-se com a camada mais externa dos nervos, o epineuro (**Figura 6.22**).

Abaixo da dura-máter aparece a meninge aracnóide, mais delgada, porém separada dela por uma fina camada de líquido cefalorraquidiano. Esse estreito espaço entre a dura-máter e a aracnóide é conhecido como espaço

subdural. As trabéculas da aracnóide são completamente preenchidas pelo líquido cefalorraquidiano, formando um espaço subaracnóideo, onde também há vasos sanguíneos (**Figura 6.21**).

A terceira das meninges é a pia-máter, situada diretamente na superfície do sistema nervoso. É a mais fina e delicada de todas e recobre completamente as estruturas do SNC, defletindo-se para acompanhar os giros e sulcos dos hemisférios cerebrais. Por serem mais delgadas, a aracnóide e a pia-máter são também chamadas leptomeninges.

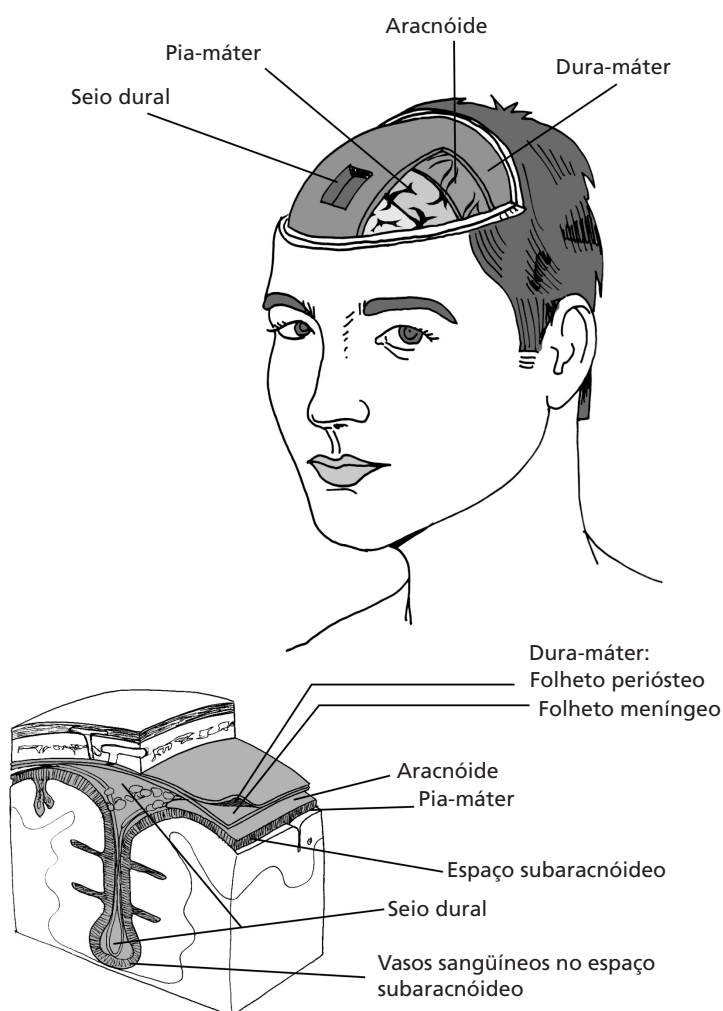
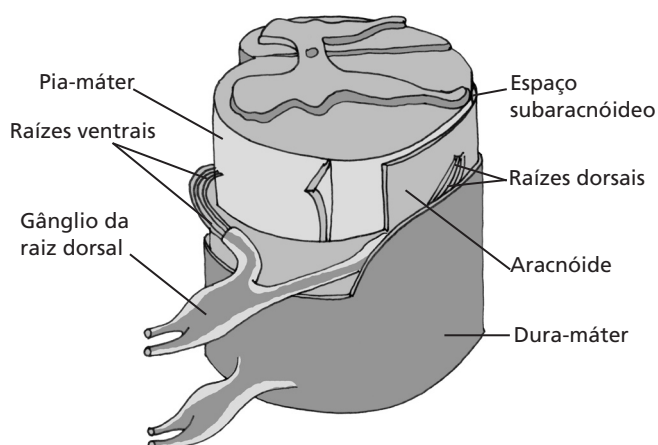


Figura 6.21: Retirando-se a pele e a calota craniana, é possível observar as meninges que revestem o encéfalo: dura-máter, aracnóide e pia-máter. A dura-máter apresenta dois folhetos, um periosteal e outro meníngeo.

Figura 6.22: Semelhantemente ao observado no encéfalo, a pia-máter, a aracnóide e a dura-máter aparecem ao nível da medula. A dura-máter acompanha a forma da medula e se funde com o folheto mais externo dos nervos espinhais (epineuro).



LIQUOR: O SAGRADO LÍQUIDO DO SISTEMA NERVOSO

Quando vimos as meninges, falamos num espaço epidural (somente ao nível da medula), num espaço subdural e num espaço subaracnóideo, todos eles preenchidos por liquor (**Figura 6.23**). O espaço subaracnóideo é o maior de todos, e o que se comunica com as cavidades no interior do encéfalo e da medula espinhal, respectivamente chamadas canal central da medula, e os ventrículos encefálicos. Os ventrículos são cavidades amplas que aparecem no interior do SNC e são completamente preenchidos por liquor. Os ventrículos de cada hemisfério cerebral (ventrículos laterais) se comunicam com o terceiro ventrículo, uma cavidade pequena que aparece ao nível do diencefalo. Abaixo do terceiro ventrículo aparece o aqueduto cerebral, ao nível do mesencéfalo, que comunica o terceiro ventrículo com o quarto ventrículo, que aparece entre a ponte e o cerebelo (**Figura 6.24**). No quarto ventrículo há duas aberturas que comunicam as cavidades do encéfalo com o espaço subaracnóideo.

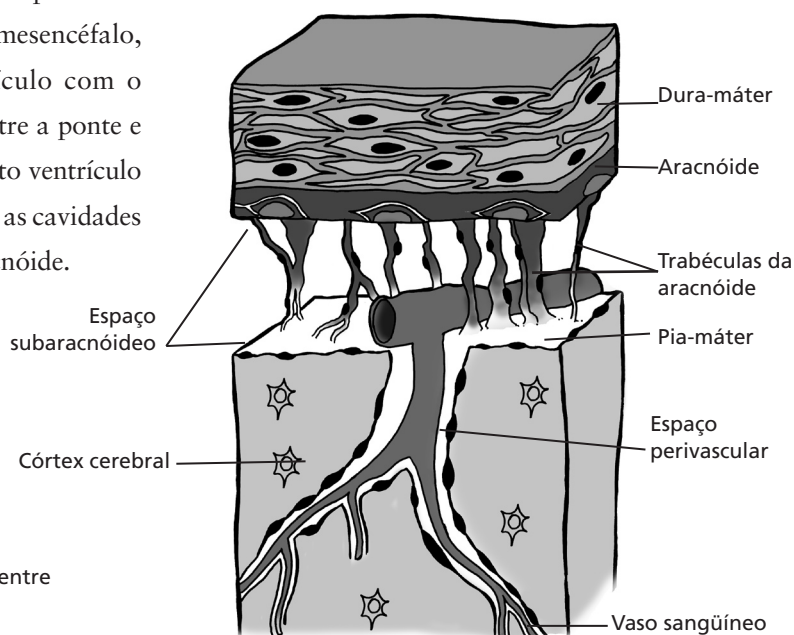


Figura 6.23: Organização dos espaços entre as meninges ao nível do encéfalo.

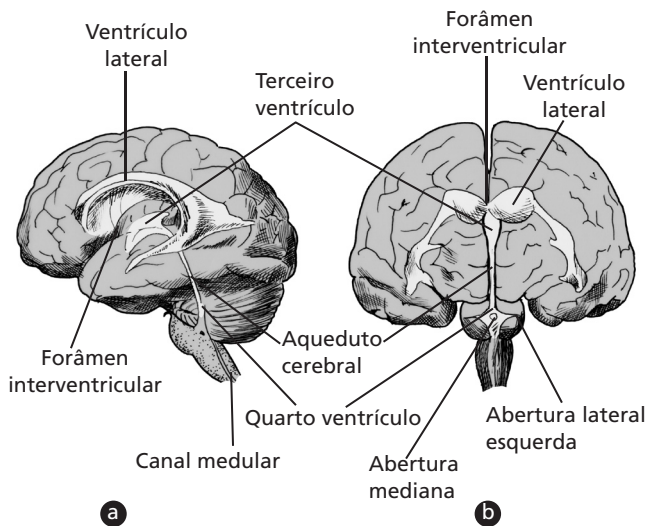


Figura 6.24: Os ventrículos são as cavidades do Sistema Nervoso Central onde circula o líquor. Ao nível da medula ele é continuado pelo canal medular. Em (a) temos uma visão lateral e em (b) uma visão frontal dos ventrículos laterais, terceiro e quarto ventrículos, e aqueduto cerebral.

No teto dos ventrículos laterais e do quarto ventrículo aparece o plexo coróide, uma estrutura enovelada composta por dobras da pia-máter, vasos sanguíneos e um grande número de células modificadas, capazes de produzir líquor. O plexo coróide produz cerca de 500ml de líquor por dia. Admitindo que o volume de líquor total circulante nas cavidades e no espaço subaracnóideo é de 150ml, renovamos nosso líquor três a quatro vezes por dia. O líquor dá suporte mecânico para o encéfalo e protege as estruturas nervosas de impactos externos. Imagine o nosso SNC flutuando num líquido que, como qualquer outro, dissipa grandes pressões ou movimentos bruscos. O líquor tem também a função de carrear os produtos de excreção das células nervosas, levando-os para fora do SN, em direção à circulação sistêmica.

ATIVIDADE



4. Faça uma ilustração das meninges que envolvem o SNC e do espaço entre elas onde circula o líquor.

RESPOSTA COMENTADA

Para ver se o resultado da sua ilustração está correto, recorra à **Figura 6.23**. Mas não basta ilustrar, você deve entender a importância de cada uma das meninges. Assim, caso tenha dúvidas, consulte o texto e pergunte ao tutor no pólo.

CONCLUSÃO

O Sistema Nervoso (SN) é certamente o mais complexo dentre os sistemas orgânicos. Podemos descrevê-lo como um grupo de vários subsistemas que operaram de maneira interligada. Entre os resultados deste trabalho em conjunto, estão as capacidades de obter informações do meio externo, decodificá-las, compreendê-las e reagir apropriadamente ao que percebemos. Para compreendermos seu funcionamento, estudamos sua organização anatômica, que, apesar de complexa, obedece alguns princípios básicos. Além disso, podemos dizer que, para funcionar bem, o SN precisa ser bem nutrido (por meio de uma irrigação sangüínea), sem contudo entrar em contato direto com o sangue, o que poderia comprometer a integridade deste sistema.

RESUMO

O Sistema Nervoso pode ser dividido anatomicamente em Sistema Nervoso Central (SNC) e Periférico (SNP), apesar de haver uma continuidade no seu funcionamento. O SNP, composto de nervos e gânglios, é encarregado de trazer informações periféricas ao SNC e levar as informações deste de volta à periferia. O SNC pode ser subdividido em duas grandes partes: a medula, que fica alojada na coluna vertebral, e o encéfalo, localizado dentro da caixa craniana. Nosso encéfalo pode ser novamente dividido em seis grandes partes: bulbo encefálico, ponte, mesencéfalo (compõem o tronco encefálico), cerebelo, diencéfalo e hemisférios cerebrais. Quanto mais a fundo examinamos o encéfalo, mais subdivisões anatômicas e funcionais podemos encontrar nele. Quatro princípios básicos regem a organização anatomofuncional do Sistema Nervoso: hierarquia, paralelismo, topografia e contralateralidade. Estes conceitos serão empregados freqüentemente nas próximas aulas.

Além disso, o SNC se encontra protegido dentro de três envoltórios, as meninges. De fora para dentro, temos a dura-máter, a aracnóide e a pia-máter, e entre elas aparecem espaços onde circula o liquor, um fluido essencial para manutenção da forma e função do SNC. Além de apresentar uma circulação liquórica que

lhe é particular, o SNC apresenta, como qualquer outro órgão de nosso corpo, uma irrigação sanguínea feita por artérias e veias. Ao nível dos capilares existe uma estrutura denominada barreira hematoencefálica, capaz de “filtrar” as moléculas que devem passar da corrente sanguínea para o tecido nervoso.

ATIVIDADES FINAIS

1. Diferencie SNP de SNC, quanto aos seus componentes estruturais.

RESPOSTA COMENTADA

Como discutido na primeira atividade, você deve ter respondido que os componentes periféricos são os nervos e gânglios e os centrais são os contidos no interior do encéfalo e da medula espinhal. Caso você tenha sentido dificuldades em diferenciar estes componentes, releia a parte introdutória desta aula e tente refazer esta questão.

2. Cite os princípios de organização do SN.

RESPOSTA COMENTADA

Você não deve ter tido problemas em responder hierarquia, paralelismo, contralateralidade e topografia. Estes princípios já foram abordados em outra atividade. Mas, caso você ainda tenha dificuldade em explicá-los, releia o texto.

3. Quais são as meninges cerebrais?

RESPOSTA COMENTADA

Dura-máter, pia-máter e aracnóide. Fácil, não achou? Caso tenha tido dificuldade, observe a ilustração que você fez na Atividade 4 e releia o texto.

4. Quais as funções das meninges?

RESPOSTA COMENTADA

Como visto no texto, têm como principais funções proteger o sistema nervoso e fornecer um ambiente isolado e seletivo. Isto é obtido pela barreira hemato-encefálica.

AUTO-AVALIAÇÃO

Ao final desta aula, você deve ter compreendido como o sistema nervoso está organizado. As diferentes estruturas que o compõem serão utilizadas em outras aulas. Portanto, é importante que você tenha entendido bem como o SN está dividido, o nome e a localização dos seus componentes, assim como seus papéis funcionais. Tente se lembrar de como dividimos o SN, dos seus componentes anatômicos e dos princípios funcionais que eles seguem. Conseguiu? Ótimo, isso significa que você pode seguir tranquilo. Caso tenha dúvidas, não há problema, releia o assunto ou procure o tutor no pólo.

INFORMAÇÕES SOBRE AS PRÓXIMAS AULAS

Com base nesta aula, daremos continuidade ao estudo da função do SN, enfocando as vias que conduzem as informações externas para dentro do SNC, e como e onde elas são processadas. Mais tarde discutiremos nossos processos cognitivos e as vias neurais de controle da homeostase, assim como geramos e controlamos nossos movimentos. Na próxima aula, estudaremos com você como nosso organismo se protege do meio externo e como detecta estímulos tanto externos quanto internos. Veremos os componentes associados ao nosso sistema tegumentar e o modo como ele participa da manutenção do nosso equilíbrio. Afinal de contas, você já suou hoje?

Sistema tegumentar: pele e anexos

Meta da aula

Identificar a pele como um órgão sensorial e de proteção.

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

- Descrever a estrutura microscópica da pele e seus anexos.
- Listar as funções da pele.
- Descrever as terminações nervosas da pele.

Pré-requisitos

Para melhor compreensão do conteúdo desta aula, você deverá ter conhecimentos das:

- Aulas 21 e 24 de Biologia Celular I.
- Aulas 6, 7, 8 e 12 de Biologia Celular II.
- Aula 2 de Genética Básica.

INTRODUÇÃO

O tegumento, constituído pela pele e seus anexos (folicúlos pilosos, unhas, glândulas sebáceas e sudoríparas), é um dos maiores órgãos do corpo, correspondendo a, aproximadamente, 16% do nosso peso corporal. Ele reveste toda a superfície do corpo e é um excelente indicador da saúde de vários outros órgãos. Em um exame clínico, a cor da pele pode indicar a existência de várias condições patológicas. Uma pele com coloração amarelada é fortemente sugestiva de icterícia, que representa um aumento do pigmento bilirrubina no sangue e a sua conseqüente deposição na pele. Uma pele cianótica (cinza-azulada), que pode indicar problemas de natureza respiratória e cardiovascular. Uma coloração pálida é sugestiva de anemia, doença em que o número de hemácias e/ou de hemoglobina se encontra diminuído. Já uma pele sem pigmentação sugere uma doença de origem genética, denominada albinismo, ou seja, as células produtoras do pigmento melanina, um dos principais responsáveis pela cor da pele, são incapazes de produzi-lo.

A pele é também um órgão de recepção de estímulos do meio ambiente. Por meio de grande número de receptores sensoriais nela existentes, somos capazes de detectar estímulos de diferentes naturezas, tais como estímulos térmicos, dolorosos, tácteis e muitos outros.

COMPOSIÇÃO E FUNÇÕES

Na **Figura 7.1**, você pode observar que a pele é constituída por três camadas:

- **Epiderme** – camada formada pelo epitélio pavimentoso estratificado queratinizado, originado a partir do ectoderma cutâneo (Aula 3 deste módulo).
- **Derme** – camada composta por tecido conjuntivo originado do mesoderma.
- **Hipoderme** – camada adiposa também de origem mesodérmica, que une a pele aos órgãos mais profundos. Esta camada é conhecida como tecido celular subcutâneo e constitui o panículo adiposo.

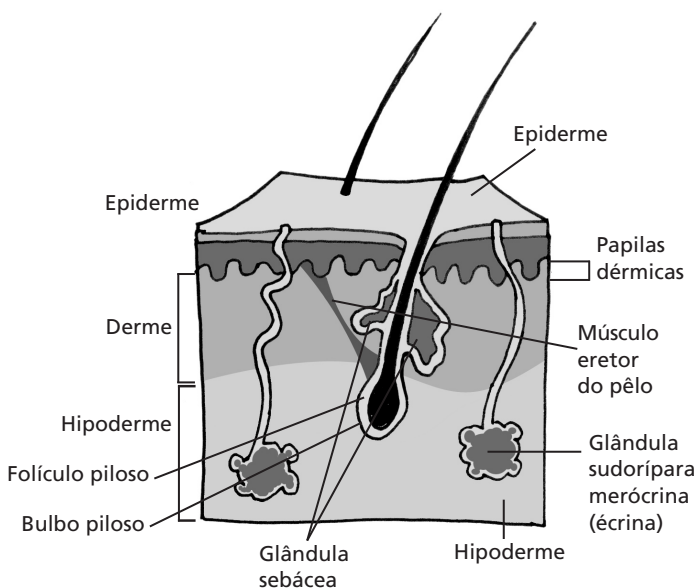


Figura 7.1: Desenho esquemático da pele mostrando os seus componentes: a epiderme, a derme e a hipoderme. São também observados anexos cutâneos: folículo piloso, glândula sebácea e glândula sudorípara.

De acordo com a sua espessura, a pele é classificada em delgada (ou fina) e espessa (ou grossa). Você encontrará pele delgada recobrindo a maior parte do seu corpo. Observe que na palma das suas mãos e na planta dos seus pés a pele é espessa.

A pele desempenha as seguintes funções:

- *Proteção* – a queratina, proteína cuja síntese você irá estudar ainda nesta aula, protege a pele contra o atrito e contra a perda de água por evaporação. O pigmento melanina protege a pele contra a ação lesiva dos raios ultravioleta; as células de Langerhans presentes na epiderme e outras células de defesa presentes na derme protegem a pele contra a invasão de microorganismos.

- *Termorregulação* – a pele apresenta importante função na regulação da temperatura corpórea através da sua extensa rede vascular, das suas glândulas sudoríparas e do tecido adiposo nela presente.

- *Excreção* – além da importante função na termorregulação, as glândulas sudoríparas eliminam vários produtos tóxicos do metabolismo celular, como uréia, amônia e ácido úrico.

- *Sensorial* – através das células de Merkel e das terminações nervosas livres presentes na epiderme e também de vários tipos de terminações nervosas sensitivas presentes na derme, a pele recebe informações do meio ambiente e as envia para o sistema nervoso central.

- *Metabólica* – a vitamina D, essencial para a fixação do cálcio nos ossos, é produzida na pele sob a ação dos raios solares. O tecido adiposo da hipoderme constitui uma importante reserva de energia para o corpo.

ATIVIDADE



1. Em relação às funções da pele, podemos dizer que:
 - a. A queratina confere proteção contra a perda de água por dessecação.
 - b. A queratina confere sensibilidade.
 - c. A melanina protege a pele contra a entrada de microorganismos patogênicos.
 - d. As células de Langerhans conferem sensibilidade à pele.
 - e. As células de Merkel são aquelas que apresentam antígenos e, portanto, protegem a pele contra a entrada de microorganismos.

RESPOSTA

Estudando as funções da pele, você viu que a queratina protege a pele contra o atrito e contra a perda de água por evaporação ou dessecação; portanto, o item correto é o a. Se ficou com dúvidas ao responder, releia as funções da pele.

Epiderme

Se você observou atentamente a **Figura 7.1**, viu que a camada superior da pele, a epiderme, é constituída por epitélio pavimentoso estratificado queratinizado. Os epitélios de revestimento se caracterizam por: a) serem constituídos por células muito próximas entre si e, portanto, com pouca substância intercelular; b) serem avasculares; c) apresentarem células polarizadas.

Histologicamente, de acordo com o número de camadas celulares, os epitélios de revestimento são classificados em *epitélios simples* (uma única camada de células) e *estratificados* (duas ou mais camadas de células). Em ambos os casos, as células que os constituem podem apresentar formato *pavimentoso*, *cúbico* ou *cilíndrico*. A classificação dos epitélios estratificados leva em conta o formato das células mais superficiais. Portanto, você agora pode deduzir que a epiderme é formada por várias camadas de células, sendo que a mais superficial é constituída por células formada por células pavimentosas.

A maioria das células da epiderme tem como função a síntese de queratina, que é a principal proteína da epiderme; por isso, essas células são conhecidas como *queratinócitos*. Além dos queratinócitos, originados do *ectoderma cutâneo*, você encontrará na epiderme outros tipos celulares, com várias origens embriológicas. Por exemplo, os *melanócitos*, células produtoras de melanina, originam-se das *cristas neurais*; as *células de Langerhans* são células de defesa e se originam do mesoderma; as *células de Merkel*, originadas também das *cristas neurais*, são células envolvidas nas sensações tácteis.

Queratinócitos

Agora, observe a **Figura 7.2**. Na pele espessa, os queratinócitos estão organizados em *cinco estratos celulares*: *basal* ou *germinativo*, *espinhoso*, *granuloso*, *lúcido* e *córneo*.

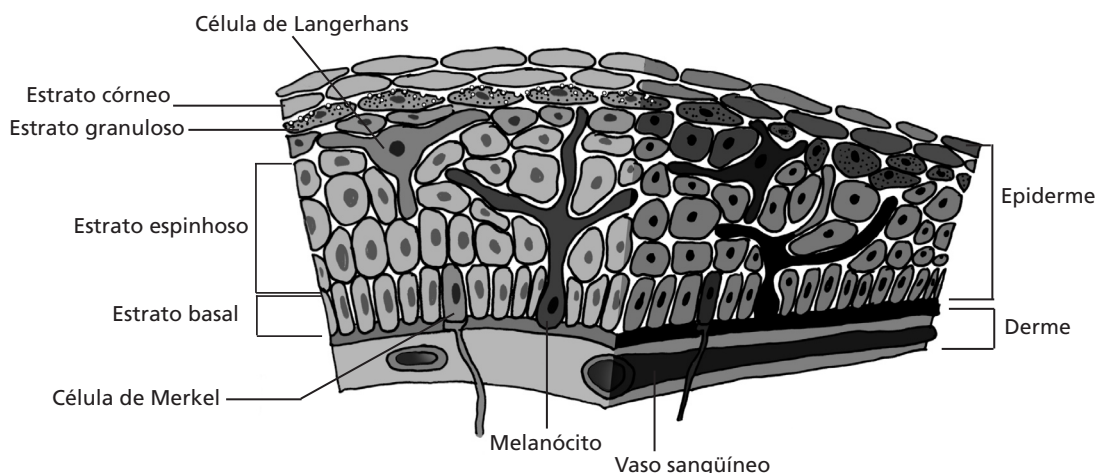


Figura 7.2: Desenho esquemático de um corte de pele fina, mostrando, na epiderme, os queratinócitos organizados em quatro estratos celulares. Por entre os queratinócitos, observa-se a presença dos melanócitos, das células de Merkel e das células de Langerhans. Abaixo da epiderme, pode-se ver uma pequena área da derme.

Acompanhando esta descrição da pele, veja na **Figura 7.3** que o estrato *basal* ou *germinativo* é o mais profundo da epiderme, sendo constituído por uma camada única de células cilíndricas que repousam sobre a *membrana basal* (Aula 8 de Biologia Celular II). As células desse estrato se prendem à lâmina basal por meio de *hemidesmossomas* (Aula 6 de Biologia Celular II). Essa é a camada responsável pela renovação da epiderme, onde você vai encontrar as *células-fonte* (Aula 12 de Biologia Celular II). À medida que se dividem por mitose (Aula 2 de Genética Básica), algumas dessas células são adicionadas à população de células-fonte, enquanto outras migram para constituir o próximo estrato.

Os queratinócitos basais sintetizam principalmente as *citoqueratinas 5 e 14* (Aulas 21 a 24 de Biologia Celular I), que, você verá adiante, resultarão no processo de queratinização.

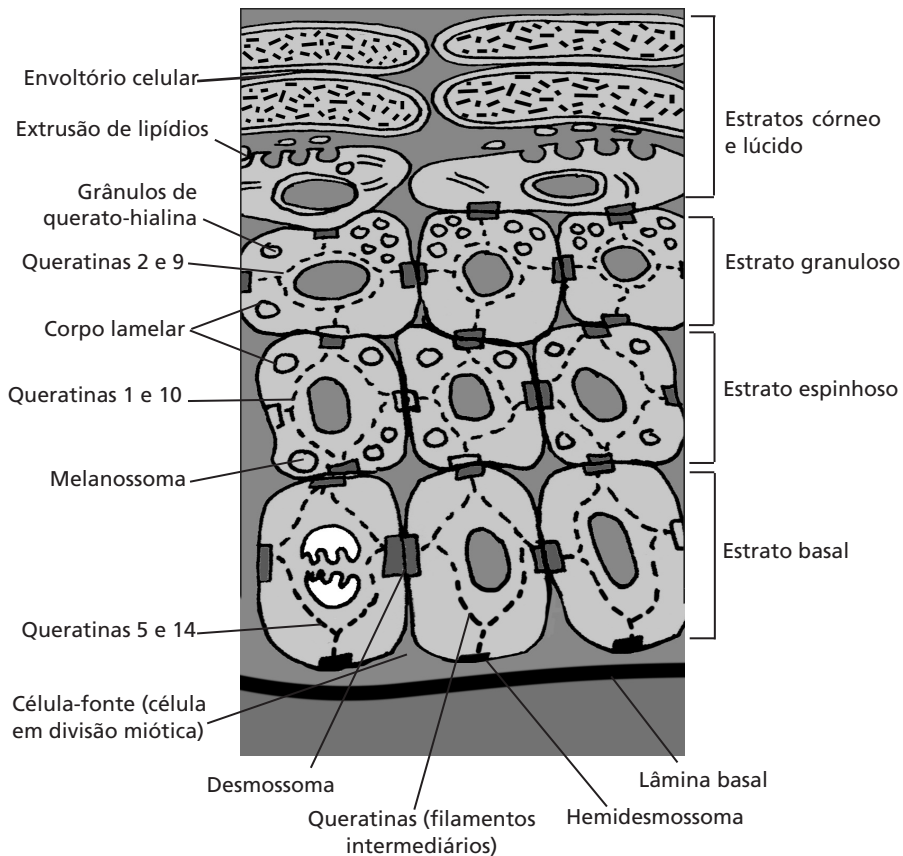


Figura 7.3: Desenho esquemático da epiderme da pele espessa, mostrando o processo de diferenciação dos queratinócitos e a expressão de queratinas.

O *estrato espinhoso* é constituído por várias camadas de células poligonais com núcleos ovóides e com curtas expansões citoplasmáticas, onde os tonofilamentos (feixes de filamentos de citoqueratina) se inserem nos desmossomas. O contato com as células vizinhas se dá por meio de desmossomas ao nível dessas expansões citoplasmáticas, o que confere às células um aspecto espinhoso. Esses queratinócitos sintetizam as *citoqueratinas 1 e 10*, em substituição às anteriores, e os pequenos grânulos glicolipídicos de aspecto lamelar, denominados *corpos lamelares*.

Ainda na **Figura 7.3**, observe que as células do *estrato granuloso* são achatadas e ricas em pequenos *grânulos de querato-hialina*; esses grânulos estão associados aos tonofilamentos que, nesse estrato, pertencem às *isoformas 2e e 9 de citoqueratinas*. Os corpos lamelares aumentam em quantidade e são liberados para os espaços intercelulares, onde formarão uma espessa cobertura sobre as células do estrato acima, o *estrato lúcido*. Essa cobertura glicolipídica desempenha uma importante função como barreira hídrica da epiderme.

Ainda falando de estratos...

No *estrato lúcido*, os núcleos das células apresentam sinais de degeneração, e no citoplasma, a maioria das organelas já desapareceu (digeridas pelas enzimas lisossomais). Estas células estão parcialmente preenchidas por queratina, que é uma proteína formada pela associação entre os tonofilamentos e os grânulos de querato-hialina. Lembre-se de que sobre elas existe uma cobertura glicolípídica que, juntamente com a queratina, torna a membrana plasmática dessas células impermeável a fluidos.

O último estrato da epiderme, o *estrato córneo*, é constituído por várias camadas de células achatadas e mortas. Tais células são totalmente ocupadas por queratina, o que transforma os queratinócitos em placas sem vida que descamam continuamente.

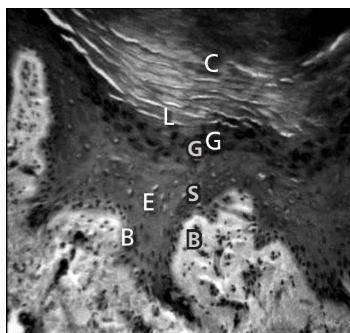


Os tonofilamentos aqui citados nada mais são do que filamentos intermediários. Lembre que você estudou esse assunto na Aula 22 de Biologia Celular I? Nas células epiteliais, os filamentos intermediários são formados pelas citoqueratinas. Existem mais de vinte isoformas de citoqueratinas em células epiteliais humanas. Cada tipo de epitélio possui determinados tipos de citoqueratina. Elas são abundantes nos queratinócitos da epiderme que você acabou de estudar e também nos queratinócitos que formam as unhas e os pêlos.

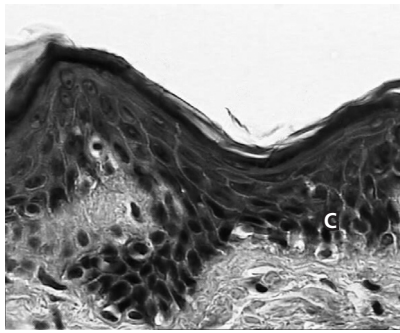


Para relembrar, a composição dos filamentos intermediários das células epidérmicas se modifica à medida que os queratinócitos se diferenciam. As células do estrato basal sintetizam as citoqueratinas 5 e 14. Uma mutação nos genes que a codificam causa a *epidermólise bulbosa*, uma doença na qual os filamentos intermediários são incapazes de suportar as tensões às quais são normalmente submetidos e se rompem, levando à formação de bolhas na epiderme.

Os cinco estratos celulares que você acabou de estudar são encontrados na epiderme da pele espessa. Na pele delgada, a epiderme é mais simples, tanto no número de estratos como no de camadas celulares que compõem esses estratos. E por falar de estratos, ao observar a **Figura 7.4**, você nota que não existe o estrato lúcido e que o estrato córneo é bem mais fino. Em termos práticos, podemos dizer que a pele espessa apresenta uma grossa camada de queratina, enquanto a camada da pele delgada é fina (**Figura 7.4**).



a



b

Figura 7.4: (a) Fotomicrografia de um corte de pele espessa mostrando os estratos basal (B), espinhoso (E), granuloso (G), lúcido (L) e córneo (C). (b) Fotomicrografia de um corte de pele delgada mostrando a epiderme com uma fina camada córnea (c). Tricrômico de Gomori. x100. x400. (www2.uerj.br/~micron/atlas)



Você viu que a pele espessa é encontrada na palma das mãos e na planta dos pés. Se eu perguntar que anexos poderemos encontrar na pele espessa e na delgada, o que você responderia? Se você respondeu que na pele espessa encontraremos somente glândulas sudoríparas e que na delgada poderemos encontrar todos os anexos, está correto! É isso mesmo! Jamais poderíamos encontrar, por exemplo, folículos pilosos na pele espessa. Olhe suas mãos e seus pés. Você não tem pêlos nesses locais!



Você sabia que as verrugas, que tanto nos incomodam, são crescimentos epidérmicos benignos causados por infecção dos queratinócitos pelo papiloma-vírus (HPV)?

Você já sabe agora que a epiderme é constituída por queratinócitos originados do ectoderma cutâneo e por outros tipos celulares de origens embriológicas distintas; vamos apresentá-los a você.



ATIVIDADES

2. A pele fina se diferencia da espessa por apresentar:

- a. Epiderme com estrato lúcido.
- b. Folículos pilosos.
- c. Glândulas sudoríparas.
- d. Estrato córneo bem desenvolvido.
- e. Os itens b e c estão corretos.

RESPOSTA

Se você lembrou que a pele fina se caracteriza por não apresentar estrato lúcido, por ter estrato córneo pouco desenvolvido e por apresentar folículos pilosos e glândulas sebáceas e sudoríparas, respondeu corretamente o item e.

3. Na epiderme, os grânulos de querato-hialina, importantes para a formação da queratina, estão localizados principalmente no estrato:

- a. Basal.
- b. Espinhoso.
- c. Granuloso.
- d. Córneo.
- e. Germinativo.

RESPOSTA

O item correto é o c. Você estudou no item Queratinócitos que a querato-hialina começa a ser secretada no estrato granuloso da epiderme.

4. Na epiderme, podemos encontrar intensa atividade mitótica de renovação celular no estrato:

- a. Basal.
- b. Espinhoso.
- c. Granuloso.
- d. Lúcido.
- e. Córneo.

RESPOSTA

As células-fonte da epiderme se localizam, como você pôde observar no item sobre queratinócitos, no estrato basal ou germinativo. Portanto, a é o item correto.

5. A principal característica das células do estrato córneo da pele é:

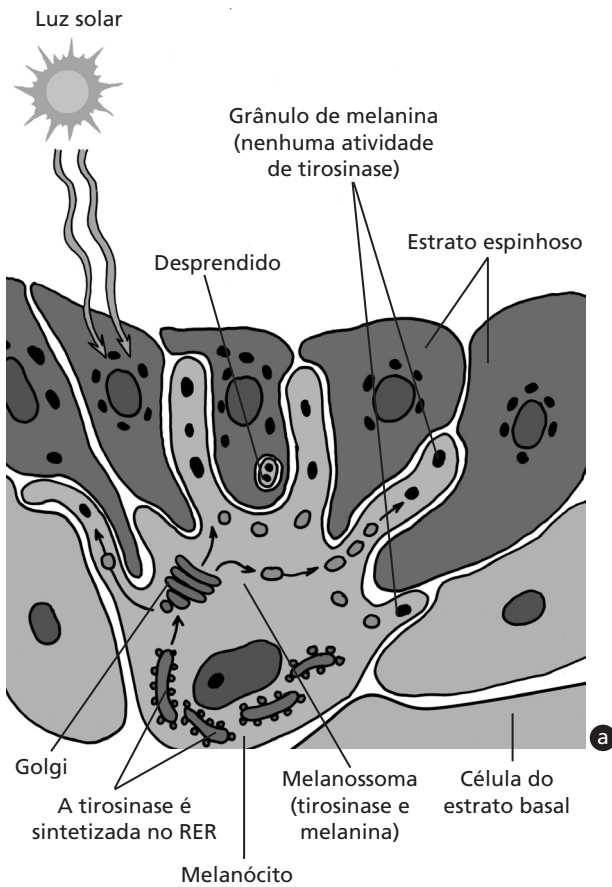
- a. Presença de grande quantidade de grânulos.
- b. Núcleo desenvolvido.
- c. Grande quantidade de junções tipo gap.
- d. Inúmeras mitocôndrias.
- e. Ausência de organelas.

RESPOSTA

Se você respondeu o item e, acertou! No estrato córneo, as células estão mortas, totalmente preenchidas por queratina e, portanto, não apresentam núcleo nem organelas citoplasmáticas.

Melanócitos

Os *melanócitos* (Figuras 7.2 e 7.5) são células originadas a partir das cristas neurais, que migram de seus locais originais para a epiderme, onde se interpõem por entre os queratinócitos basais. São células que apresentam um corpo celular localizado no estrato basal da epiderme e possuem vários prolongamentos interpostos entre os queratinócitos dos estratos espinhoso e granuloso. Os melanócitos sintetizam e secretam o pigmento melanina, um dos responsáveis pela cor da sua pele. A cor da pele resulta de múltiplos fatores, e os mais importantes são o conteúdo



de melanina e de caroteno, a quantidade de capilares na derme e a cor do sangue que corre nesses capilares. A melanina é um pigmento marrom-escuro, sintetizado pelos melanócitos a partir da ação da enzima tirosinase sobre o aminoácido tirosina. A tirosinase é sintetizada no retículo endoplasmático rugoso e no complexo de Golgi, em pequenas vesículas denominadas *melanossomos*. A tirosina incorporada pela célula penetra nos melanossomos e é convertida em 3,4-diidroxifenilalanina (dopa). Após várias reações bioquímicas, a dopa é convertida à melanina. Quando cessa a atividade tirosinásica, o melanossomo é transformado em grânulo de melanina. A melanina é então transferida para os queratinócitos dos estratos espinhoso e granuloso, onde se localiza em posição supranuclear, formando um capuz protetor sobre os núcleos dessas células.

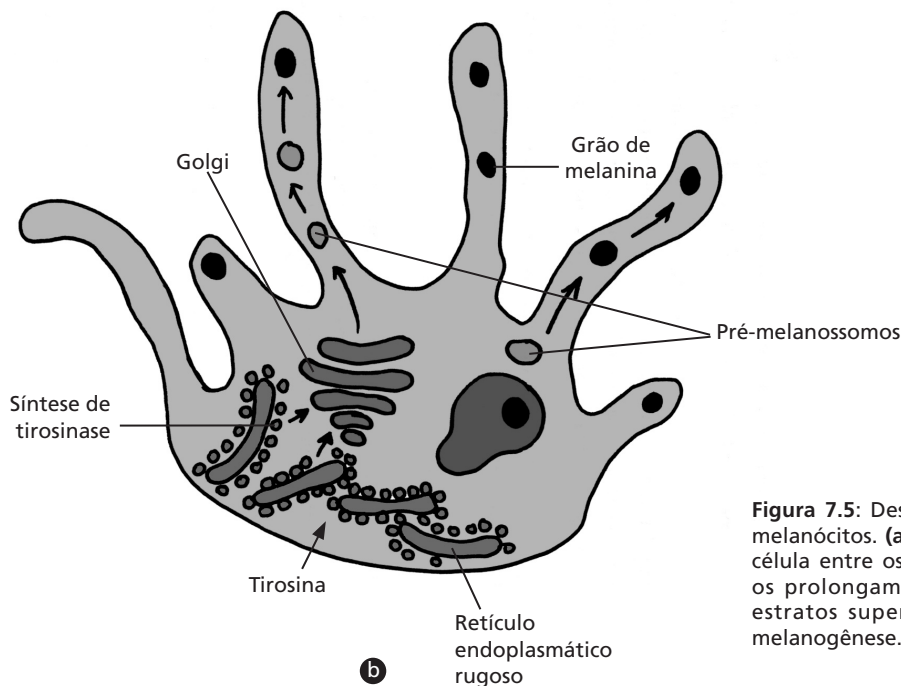


Figura 7.5: Desenhos esquemáticos de melanócitos. **(a)** Mostrando o corpo da célula entre os queratinócitos basais e os prolongamentos se inserindo nos estratos superiores. **(b)** Processo de melanogênese.



A localização estratégica da melanina sobre os núcleos dos queratinócitos confere proteção máxima ao DNA contra os efeitos prejudiciais dos raios ultravioleta. Você certamente já ouviu pela mídia os médicos recomendarem às pessoas não se exporem ao sol depois das 10 horas. Você sabe o porquê dessa orientação? Até as 10 horas, o sol emite principalmente raios ultravioleta e você tem um protetor natural contra essa radiação, que é a melanina. Após esse horário, a radiação solar é formada principalmente por raios infravermelhos, e o seu organismo não sintetiza nenhum protetor contra tal radiação. Portanto, se mesmo sabendo disso você insiste em se expor ao sol a partir desse horário, use um protetor ou um bloqueador solar. A escolha entre um e outro dependerá do seu tipo de pele. Consulte um dermatologista!



Você saberia explicar o que são as sardas, sob o ponto de vista biológico? As sardas são pontos hiperpigmentados, localizados em áreas expostas ao sol. Elas resultam do aumento de produção de melanina e do seu acúmulo na área basal da epiderme.

ATIVIDADES



6. Na pele, as células produtoras de melanina encontram-se:

- a. Na derme papilar.
- b. Na derme papilar e estrato basal da epiderme.
- c. Nos estratos basal e espinhoso da epiderme.
- d. Na derme papilar e na derme reticular.
- e. No estrato basal da epiderme.

RESPOSTA

O corpo celular dos melanócitos se localiza entre as células do estrato basal da epiderme. Sendo assim, o item certo é o e.

7. Quanto à produção de melanina, é **errado** afirmar que:

- a. O melanossomo contém pequena quantidade de melanina.
- b. A célula responsável pela sua síntese é o melanócito.
- c. Os albinos possuem deficiência em tirosinase, que é essencial nesse processo.
- d. Os grãos de melanina se acumulam na célula onde são produzidos.
- e. É estimulada pela ação dos raios solares.

RESPOSTA

Ao estudar os melanócitos, você viu que eles produzem a melanina em pequenas vesículas denominadas melanossomos. Após várias reações bioquímicas, a tirosina é transformada pela tirosinase em melanina e é transferida para os queratinócitos, onde se localiza, estrategicamente, sobre os seus núcleos. O melanossomo contém, portanto, pequena quantidade de melanina. Ele só se torna maduro, ou seja, completamente ocupado pela melanina, quando se extingue a atividade tirosinásica. Você viu que o grande problema dos albinos é justamente o fato de eles serem incapazes de sintetizar a enzima tirosinase. O único item errado nesta atividade é o d.

Células de Langerhans

Nas Figuras 7.2 e 7.6 você pode ver que as células de Langerhans são de origem mesodérmica, muito ramificadas, e têm um importante papel protetor na pele. Elas podem ser encontradas em qualquer estrato da epiderme, porém são mais freqüentes no estrato espinhoso. Elas captam e processam antígenos e os apresentam aos linfócitos presentes na derme e estão constantemente migrando da epiderme para a derme e vice-versa.

ATIVIDADE



8. As células da epiderme que fazem parte do sistema imunitário são:

- a. Células de Langerhans.
- b. Células de Merkel.
- c. Queratinócitos.
- d. Melanócitos.
- e. Adipócitos.

RESPOSTA

Se você sabe que os itens a, b, c, d compõem a epiderme, vai lembrar que o item correto é a letra a.

Células de Merkel

Da mesma forma que os melanócitos, as células de Merkel são originadas das cristas neurais e se localizam entre os queratinócitos basais (Figura 7.6), e a eles se ligam por meio de desmossomos. São mais numerosas na pele espessa, principalmente nas pontas dos dedos. A base das células de Merkel está em contato com fibras nervosas da derme, através de uma placa nervosa. São responsáveis pela sensibilidade tátil.

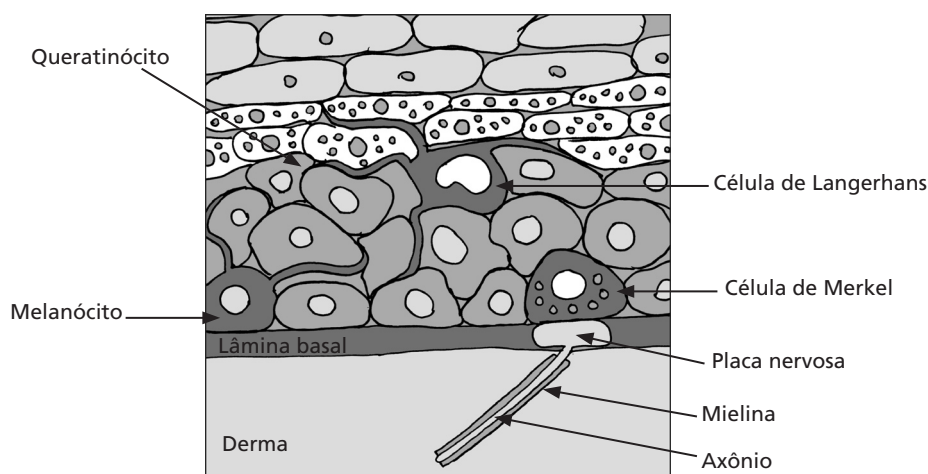


Figura 7.6: Esquema representativo da epiderme mostrando os seus diferentes tipos celulares. Observe que a célula de Merkel, contendo grânulos com neurotransmissores, contata uma pequena placa nervosa, formada a partir de uma fibra nervosa.

Para finalizar o estudo da epiderme...

A Figura 7.2 mostra que o limite entre a epiderme e a derme é muito irregular. A epiderme projeta cristas (*cristas epidérmicas*) em direção à derme, que são acompanhadas pelo tecido conjuntivo da derme (*papilas dérmicas*). Essa interação entre epiderme e derme ajuda a fixar mecanicamente um componente ao outro. Não esqueça que entre ambas você encontrará a membrana basal, já estudada na Aula 8 de Biologia Celular II.

Derme

Abaixo da epiderme, você encontrará a derme, constituída por tecido conjuntivo e, portanto, de origem mesodérmica. Sua espessura varia de acordo com a região do corpo examinada. Na Figura 7.7, vemos que a derme é subdividida em duas regiões: a região mais próxima da epiderme, onde estão localizadas as papilas dérmicas, está a

O **TECIDO CONJUNTIVO** é constituído por células separadas entre si por abundante quantidade de matriz extracelular (MEC). A MEC, por sua vez, é composta por fibras colágenas e elásticas e por substância amorfa (água, proteoglicanas, glicosaminoglicanas e glicoproteínas). Você já estudou esse assunto nas Aulas 7 e 8 de Biologia Celular II. Quando o tecido conjuntivo se apresenta predominantemente celular, dizemos que ele é **FROUXO**. Quando, ao contrário, ele se mostra predominantemente fibroso, dizemos que ele é **denso** ou **fibroso**. Se as fibras desse tecido tiverem uma orientação definida, o tecido será classificado como conjuntivo denso modelado. É o caso observado nos tendões e ligamentos. Se as fibras forem dispostas aleatoriamente, como na derme reticular, ele será denominado **TECIDO CONJUNTIVO DENSO NÃO-MODELADO**. Enquanto o tecido modelado resiste fortemente a forças de tração em uma única direção, o não-modelado resiste a forças que nele incidam em várias direções. Percebeu por que a pele é tão resistente?

derme papilar, constituída por **TECIDO CONJUNTIVO FROUXO**. Abaixo da derme papilar, observe que há uma região formada por **TECIDO CONJUNTIVO DENSO NÃO-MODELADO**, que é a *derme reticular*. A derme é ricamente vascularizada e inervada; é nela que se localizam os derivados da epiderme: os folículos pilosos, as glândulas sebáceas e sudoríparas.

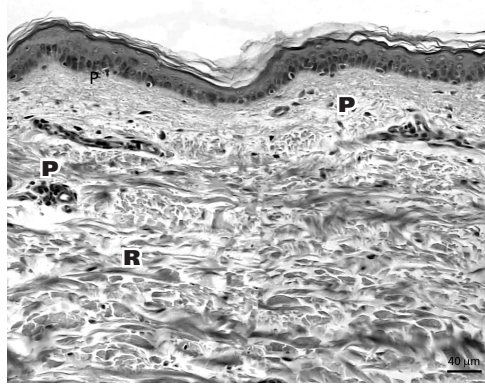


Figura 7.7: Fotomicrografia de um corte de pele fina mostrando a derme papilar (P), composta por tecido conjuntivo frouxo e a derme reticular (R), por tecido conjuntivo denso não-modelado. Tricrômico de Gomori. (www2.uerj.br/~micron/atlas)

Além das fibras do sistema colágeno que você estudou na Aula 8 de Biologia Celular II, a pele é rica em fibras do sistema elástico, responsáveis pela sua elasticidade. Esse sistema é composto por três tipos de fibras: *oxitalânicas*, *elaunínicas* e *elásticas*. Elas são produzidas em três estágios sucessivos, podendo permanecer em um deles ou coexistir harmonicamente, a depender das funções que irão realizar.

Ao microscópio eletrônico, você observará que as fibras oxitalânicas são constituídas por feixes de microfibrilas de 10nm de diâmetro, compostas principalmente pela proteína *fibrilina*. A fibrilina forma o arcabouço necessário para a deposição da elastina, que é o material elástico da fibra. Observe, portanto, que as fibras oxitalânicas não têm elasticidade, pois não possuem elastina. São fibras resistentes à tração. As elaunínicas são formadas por fibrilina e por elastina disposta irregularmente entre os feixes de microfibrilas. Já as elásticas têm a mesma constituição das elaunínicas, embora a elastina, nas elásticas, esteja acumulada em grande quantidade no centro da fibra. As microfibrilas se dispõem periféricamente, e a elastina, centralmente.

Na microscopia de luz, a identificação das fibras do sistema elástico é feita com técnicas especiais de coloração como a orceína, a resorcina-fuccina de Weigert entre outros. Na **Figura 7.8**, você poderá visualizar os três tipos de fibras do sistema elástico.

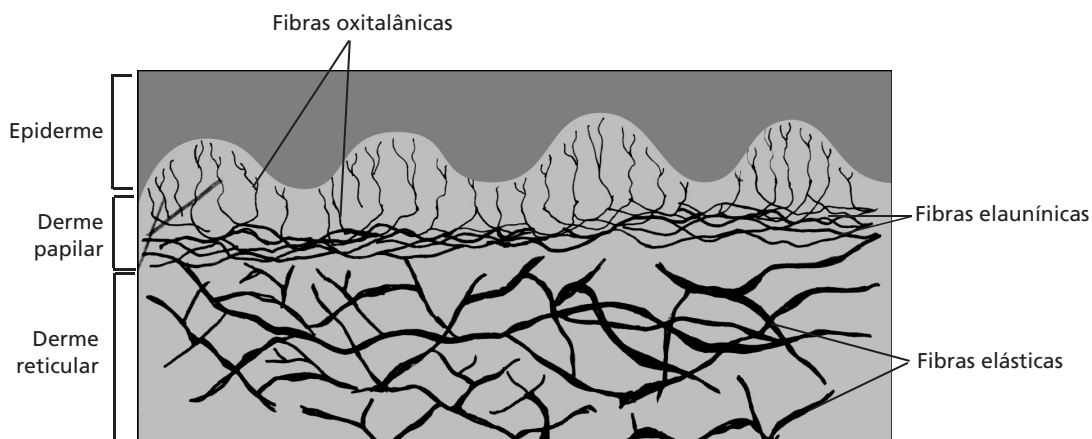


Figura 7.8: Esquema de pele evidenciando as fibras do sistema elástico. Note que as fibras oxitalânicas se dispõem verticalmente ao limite epiderme-derme. As elaunínicas formam um plexo horizontal de fibras entre a derme papilar e reticular, e as elásticas, mais espessas, se localizam na derme reticular.



Você já ouviu falar na síndrome de Marfan? É uma doença caracterizada pela falta de resistência dos tecidos ricos em fibras elásticas, como é o caso das grandes artérias (aorta), que recebem o sangue sob alta pressão hidrostática. Nessa doença, ocorrem mutações do gene da fibrilina, localizado no cromossomo 15, e, como consequência disso, a parede do vaso defeituoso não aguenta as altas pressões e se rompe, podendo levar o paciente à morte.

ATIVIDADE



9. Na derme:

- As fibras colágenas conferem grande resistência à pele.
- As fibras oxitalânicas são resistentes à tração e estão situadas na derme papilar.
- As fibras elaunínicas se localizam na transição entre derme papilar e reticular.
- As fibras elásticas, as principais responsáveis pela elasticidade da pele, localizam-se preferencialmente na derme reticular.
- todos os itens estão corretos.

RESPOSTA

O item **e** está correto. Você certamente o marcou, pois ao estudar a derme você viu todas essas características.

Hipoderme

A hipoderme é a camada mais profunda da pele que a une aos órgãos subjacentes. É constituída por tecido conjuntivo frouxo com quantidade variável de células adiposas, a depender da sua localização no corpo e do estado nutricional do indivíduo (**Figura 7.9**). É também conhecido como tecido celular subcutâneo ou panículo adiposo. Modela o corpo e é também um importante reservatório de energia para as atividades metabólicas. Como a gordura é um bom isolante térmico, essa camada proporciona proteção contra o frio.

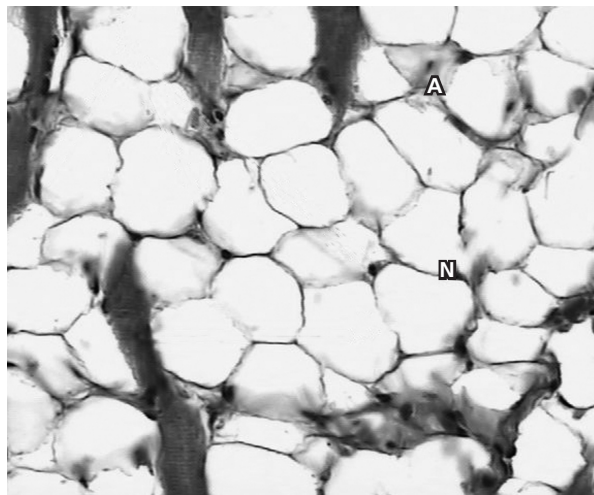


Figura 7.9: Fotomicrografia do tecido adiposo (A) semelhante ao encontrado na hipoderme. As células adiposas são volumosas, contêm uma única loja lipídica e apresentam um único núcleo (N) de localização periférica H&E. x100. (www2.uerj.br/~micron/atlas).

Vascularização da pele

A pele é um órgão ricamente vascularizado. Veja a **Figura 7.10**. Nela você poderá distinguir três redes de vasos interconectados, localizados na derme e na hipoderme. A primeira rede vascular se localiza na derme papilar e é denominada *plexo subpapilar*. A segunda, o *plexo cutâneo*, está na região de transição entre a derme papilar e a reticular; a terceira, o plexo hipodérmico (ou subcutâneo), fica na região da hipoderme. Veja também que do plexo subpapilar originam-se alças capilares que penetram em cada papila dérmica. É muito comum você observar anastomoses arteriovenosas entre as três redes vasculares. Essas anastomoses desempenham importante papel na termorregulação do corpo. Mas lembre-se de que a epiderme é avascular. Se tiver esquecido isso, releia a seção sobre Epiderme.

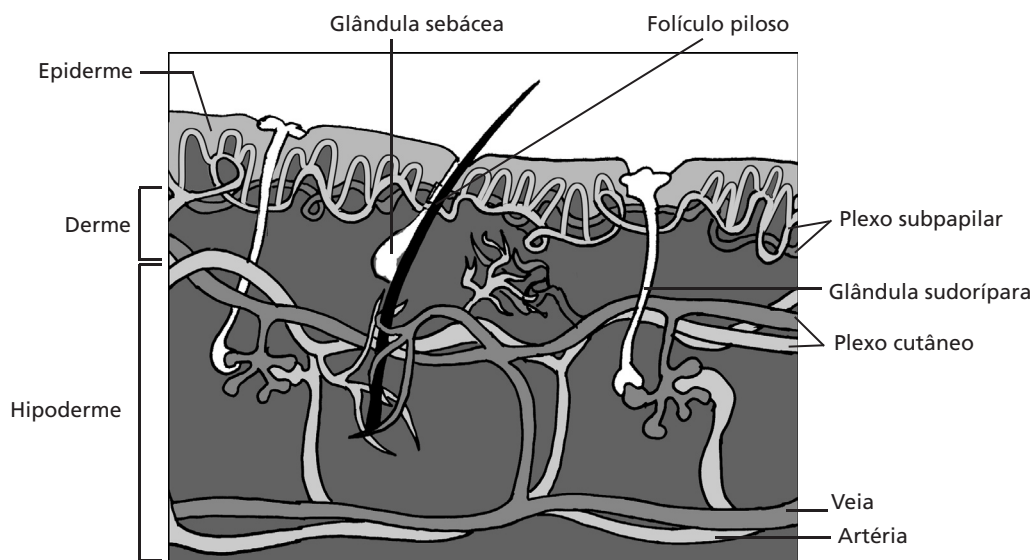


Figura 7.10: Desenho esquemático mostrando a vascularização da pele.

ATIVIDADES



10. Em relação à pele, podemos afirmar que:

- É composta por epiderme, derme e hipoderme.
- A melanina secretada pelos melanócitos a protege da ação lesiva dos raios infravermelhos.
- A queratina é produto de secreção dos queratinócitos e das células de Merkel.
- O limite entre epiderme e derme é regular.
- A derme papilar é constituída por tecido conjuntivo denso não-modelado.

RESPOSTA

Se você estudou a primeira parte desta aula, você certamente marcou o item **a**. A pele é composta por epiderme, derme e hipoderme. A melanina protege a pele contra a ação lesiva dos raios ultravioletas e não contra os infravermelhos. Enquanto os queratinócitos produzem a queratina, as células de Merkel conferem sensibilidade à pele. Você viu também que o limite entre epiderme e derme é altamente irregular e que a derme papilar é constituída por tecido conjuntivo frouxo.

11. Na porção mais profunda da pele encontramos tecido:

- a. Conjuntivo frouxo.
- b. Conjuntivo denso não-modelado.
- c. Conjuntivo denso modelado.
- d. Adiposo.
- e. Epitelial.

RESPOSTA

Você estudou que a parte mais profunda da pele é a hipoderme, que é constituída por tecido adiposo; assim, deve ter marcado corretamente o item d. O tecido epitelial é encontrado na epiderme, a camada mais superficial da pele. O tecido conjuntivo frouxo e o denso não-modelado compõem, respectivamente, a derme papilar e reticular. O tecido conjuntivo denso modelado não é observado na pele, e sim nos tendões e ligamentos.

RECEPTORES SENSORIAIS

Os receptores sensoriais são estruturas histológicas especializadas para melhor detectar os diferentes estímulos que incidem sobre a pele ou sobre os órgãos internos. São compostos pelas extremidades de uma fibra nervosa, que pode estar livre ou associada a células não-neurais, formando um miniórgão. Esses miniórgãos permitem que você receba informações sobre as diferentes partes do seu corpo.

Na pele e em outros órgãos você poderá encontrar três categorias de receptores sensoriais:

- *Exteroceptores* – são receptores sensoriais que fornecem informações sobre o meio ambiente.
- *Proprioceptores* – são receptores sensoriais que fornecem informações sobre a posição e o movimento do corpo.
- *Interoceptores* – são os receptores que fornecem informações sensoriais dos órgãos internos do corpo.

Você encontrará uma outra classificação desses receptores que se baseia no tipo de estímulo ao qual o receptor responde. Por essa classificação, os receptores são divididos em:

- *Mecanorreceptores* – são os que respondem à deformação mecânica dos tecidos ou do próprio receptor. Fazem parte desse grupo

os exteroceptores e os proprioceptores. São mecanorreceptores: as terminações nervosas livres (Figura 7.11), os discos ou terminações de Merkel (Figuras 7.6 e 7.11), os corpúsculos de Meissner, Ruffini e os de Pacini (Figura 7.11). Os dois primeiros são não-encapsulados, enquanto os demais são encapsulados, ou seja, são envolvidos por cápsula de tecido conjuntivo.

- *Termorreceptores* – são receptores que respondem ao frio e ao calor.
- *Nociceptores* – são receptores que respondem a estímulos dolorosos.

Na Tabela 7.1, você poderá ver a localização e as funções dos mecanorreceptores. Esse sistema sensorial será melhor estudado na próxima aula sob o tema “Como sentimos o mundo a nossa volta?”.

Tabela 7.1: Os principais receptores sensoriais da pele, suas respectivas localizações e funções

Receptor	Terminação Nervosa Livre	Célula de Merkel	Corpúsculo de Meissner	Corpúsculo de Ruffini	Corpúsculo de Krause	Corpúsculo de Pacini	Terminação Nervosa Peritricial
Localização	Epiderme	Epiderme	Derme papilar	Derme Hipoderme	Derme papilar	Derme Hipoderme	Haste do folículo piloso
Função: detectar	Dor Temperatura Tato grosseiro Propriocepção	Tato Pressão estática	Tato Pressão Vibratória lenta	Estiramento do Corpúsculo de Pacini	Frio? Tato?	Pressão Vibração rápida	Movimentos do pêlo

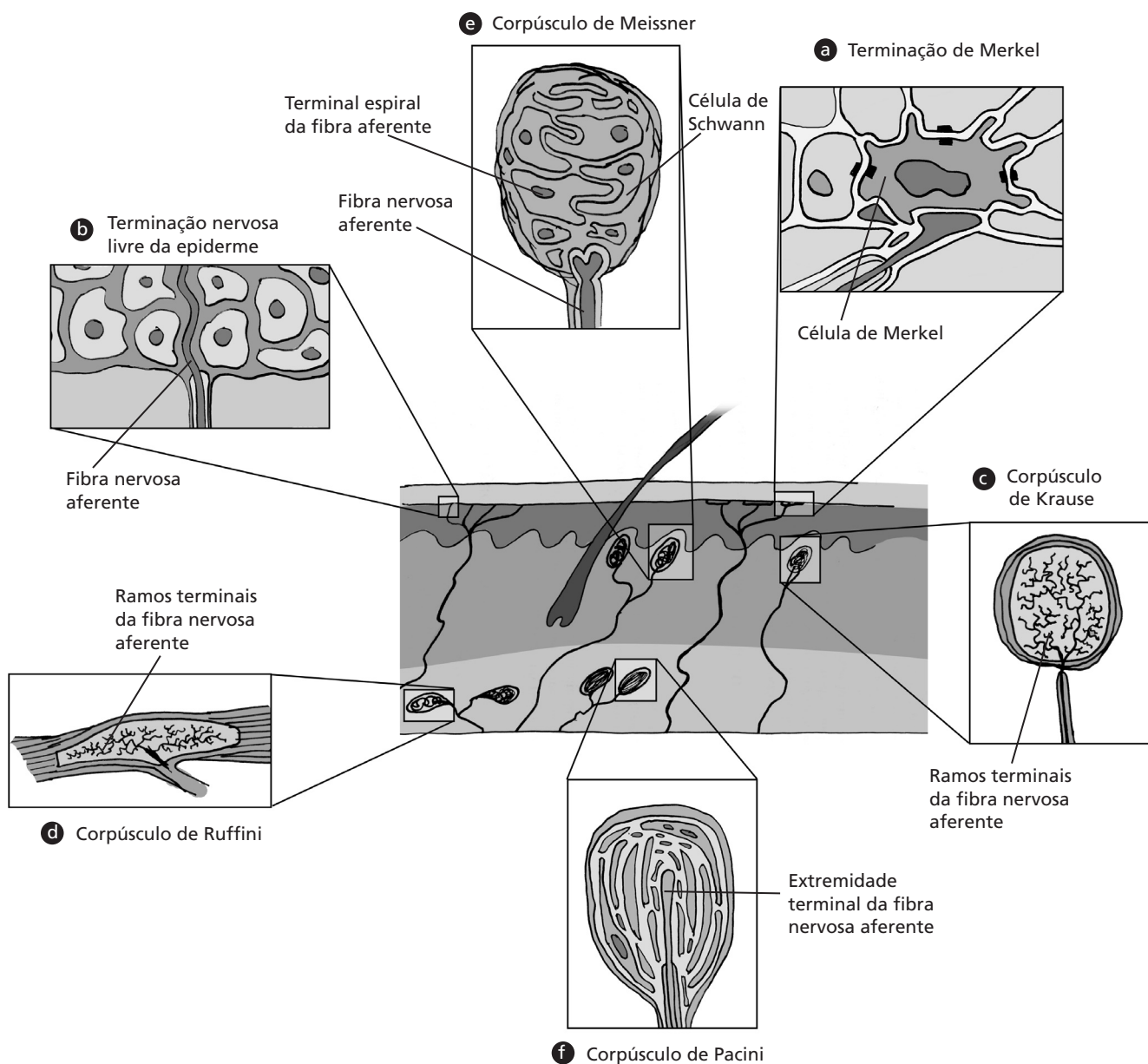


Figura 7.11: Desenho esquemático dos receptores sensoriais da pele. (a) e (b) Receptores não-encapsulados. (c) a (f) Receptores encapsulados.



ATIVIDADE

12. Em relação aos receptores sensoriais da pele, podemos afirmar que:
- As terminações nervosas livres da epiderme são sensíveis à pressão.
 - As células de Merkel detectam sensações tácteis.
 - Os corpúsculos de Pacini detectam alterações de temperatura.
 - Os corpúsculos de Ruffini são sensíveis à vibração.
 - Todos os itens estão corretos.

RESPOSTA

*Você acabou de estudar as funções dos receptores sensoriais e deve ter marcado corretamente o item **b**. Lembre-se de que as terminações nervosas livres são sensíveis à dor e às mudanças de temperatura; as células de Merkel são sensíveis ao tato; os corpúsculos de Pacini, à vibração e pressão, e os de Ruffini são sensíveis ao estiramento dos corpúsculos de Pacini.*

ANEXOS DA PELE

Os anexos da pele são estruturas que se originam por invaginação da epiderme na derme. São eles: pêlos, glândulas sebáceas, glândulas sudoríparas e unhas. A distribuição, o arranjo e a estrutura detalhada deles variam nas diferentes regiões da pele, mas a estrutura geral obedece a um padrão básico.

Pêlos

Os pêlos são estruturas queratinizadas formadas a partir da invaginação da epiderme na derme. Dessa invaginação originam-se pequenos órgãos denominados *folículos pilosos*. Na **Figura 7.12**, você pode observar que o folículo piloso no pêlo em fase de crescimento apresenta uma dilatação terminal, que é o *bulbo piloso*, e, na sua porção central, uma *papila dérmica*, que induz o crescimento do pêlo. As células que recobrem a papila formam a raiz do pêlo, que é constituída por queratinócitos e melanócitos. À medida que os queratinócitos da raiz do pêlo se diferenciam, eles vão sofrendo queratinização, incorporando melanina e aflorando na superfície da epiderme.

Você sabe como é formado um pêlo? Um pêlo completo é formado por três regiões com diferentes níveis de queratinização: a *medula*, porção mais central e fracamente queratinizada; o *córtex*, região mais queratinizada que envolve a medula; e a *cutícula*, região mais externa, fortemente queratinizada, que envolve o córtex sob a forma de escamas.

Periféricamente, o folículo piloso é envolvido pelas *bainhas radiculares interna e externa* e é separado do tecido conjuntivo da derme por uma membrana basal bem desenvolvida, a *membrana vítrea*.

Veja que, na bainha conjuntiva que circunda o folículo piloso, você encontrará o *músculo eretor do pêlo* (um feixe de músculo liso) se fixando, de um lado, na bainha e de outro, na derme. A sua contração provoca o eriçamento do pêlo.

! Nos pêlos em fase de repouso, a papila, que exerce papel indutor no crescimento do pêlo, se retrai. Em relação ao crescimento, é importante você saber que ele é descontínuo, alternando fases de crescimento e de repouso. A duração dessas fases varia de região para região do corpo. No couro cabeludo, por exemplo, a fase de crescimento é longa, podendo durar seis anos, enquanto a fase de repouso dura cerca de quatro meses. Os hormônios sexuais têm grande influência sobre as características dos pêlos em algumas regiões do corpo.

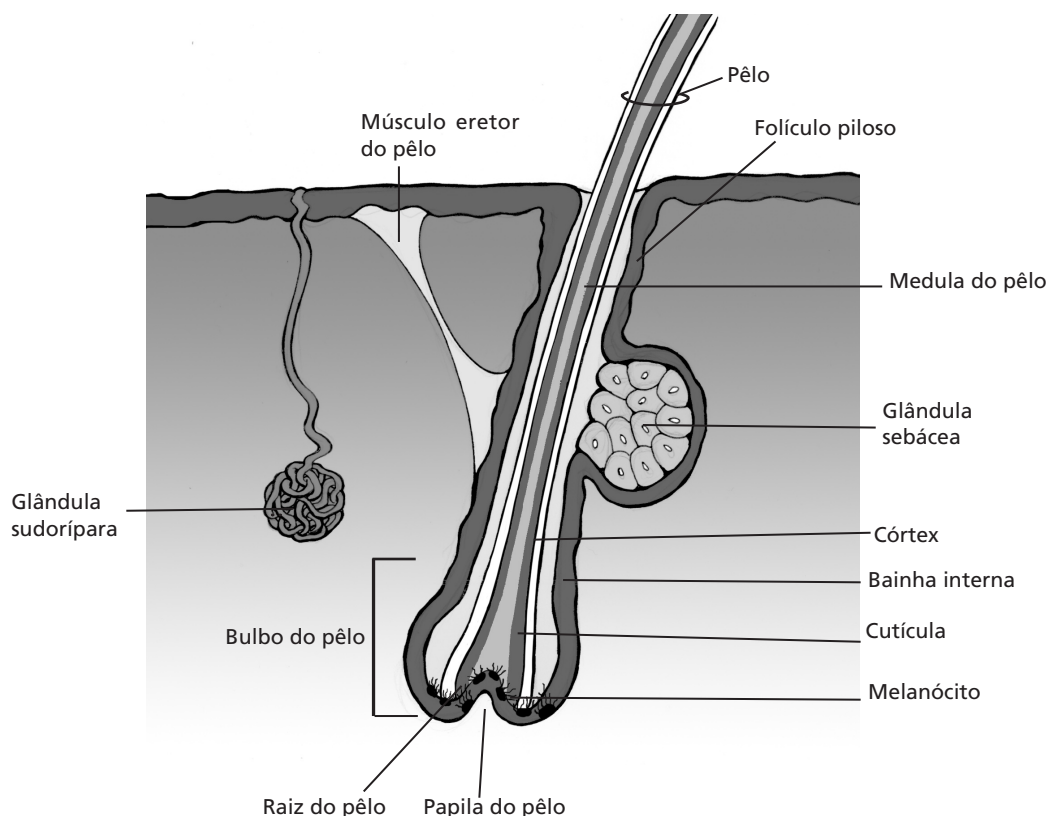


Figura 7.12: Desenho esquemático da pele mostrando um folículo piloso e as glândulas sebácea e sudorípara. Observe que no folículo piloso, as células mais centrais da papila induzem à diferenciação dos queratinócitos que vão formar a medula do pêlo. As células mais periféricas da papila induzem à diferenciação dos queratinócitos do córtex e da cutícula, respectivamente.

Glândulas sebáceas

Ainda falando dos anexos da pele, as glândulas sebáceas se originam da mesma bainha epitelial que forma o folículo piloso. Como você pôde ver na **Figura 7.12**, o duto da glândula sebácea se abre no canal do folículo piloso; portanto, na maior parte do corpo, as glândulas sebáceas estão associadas a esses folículos. O produto de secreção dessas glândulas é o sebo, que se constitui como uma mistura semelhante à cera. O sebo é formado por colesterol e triglicerídeos. Ele é o hidratante natural da pele e, como tal, contribui para a manutenção de sua textura e para a flexibilidade do pêlo.

Na **Figura 7.13** pode ser observado que as células basais da glândula (células-fonte) proliferam e, à medida que vão sendo empurradas para a superfície, começam a se diferenciar e a acumular secreção no seu interior. As organelas e os núcleos dessas células desaparecem, e elas são eliminadas como produto de secreção. A glândula, cujo produto de secreção é a própria célula, é classificada como *holócrina*.

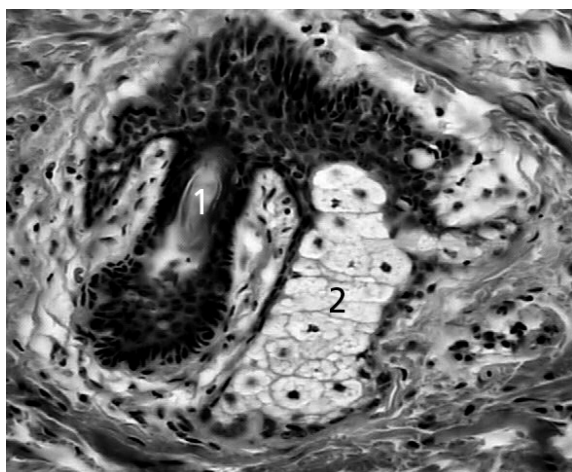


Figura 7.13: Fotomicrografia folículo piloso (1) e (2) de glândula sebácea. Observe que as células mais superficiais não apresentam núcleos. Tricrômico de Gomori. x400. (www2.uerj.br/~micron/atlas)



Você sabia que a acne é uma doença inflamatória crônica que envolve as glândulas sebáceas e os folículos pilosos? A secreção dessas glândulas, bem como os restos de queratina do pêlo, obstruem o canal do folículo piloso e podem servir como substrato para a proliferação de bactérias anaeróbicas, gerando essa doença.

Glândulas sudoríparas

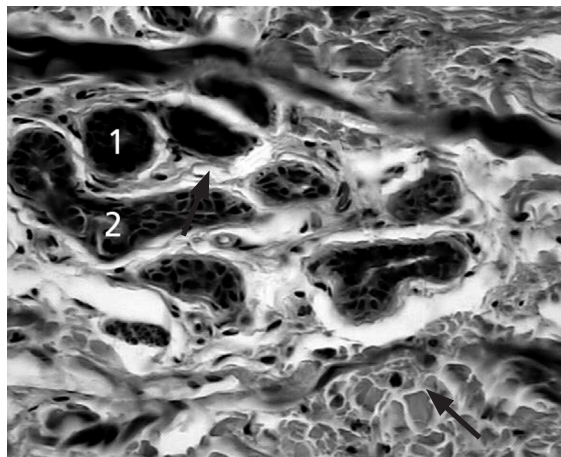
Como você já pode imaginar, as glândulas sudoríparas são responsáveis pela produção do suor, uma secreção que, além de permitir a eliminação de produtos tóxicos, resultantes do metabolismo celular, é também, um componente importante do mecanismo da termorregulação humana.

No corpo humano, existem dois tipos diferentes de glândulas sudoríparas: as merócrinas e as apócrinas.

As glândulas sudoríparas merócrinas ou écrinas (Figuras 7.12 e 7.14) são glândulas túbulo-enoveladas, cujas células eliminam somente o produto de secreção, sem comprometimento das células. Essas glândulas são as mais numerosas no nosso corpo. O suor por elas produzido é eliminado diretamente para a superfície da pele, por meio de um duto excretor, e é composto por uma solução aquosa contendo íons, (Na^{++} , K^{+} , Cl^{-}), uréia, amônia, ácido úrico e pouquíssima proteína.

As glândulas sudoríparas apócrinas são encontradas nas regiões axilares, pubiana e perianal do nosso corpo. Parte do citoplasma dessas células é perdida durante o processo de secreção. Além disso, as glândulas sudoríparas apócrinas produzem uma secreção viscosa que é descarregada para o canal dos folículos pilosos, em vez de diretamente para a superfície da pele.

Figura 7.14: Fotomicrografia de glândula sudorípara merócrina. Os dutos, mais corados, apresentam epitélio cúbico estratificado (1). A porção secretora da glândula, menos corada, apresenta epitélio simples (2). H&E. x32. (www2.uerj.br/~micron/atlas)



A secreção das glândulas sudoríparas apócrinas é inodora. O odor desagradável e característico é adquirido pela ação de bactérias da pele. Quando há necessidade de o corpo perder calor, o fluxo sanguíneo na pele e a produção de suor são aumentados; a evaporação do suor provoca o resfriamento da superfície da pele e a perda de calor do leito vascular subjacente.

Unhas

Você poderá ver a estrutura e a formação da unha na **Figura 7.15**. As unhas são placas de células fortemente queratinizadas, *placas ungueais*, que crescem nas superfícies dorsais das falanges terminais dos dedos, os *leitos ungueais*. Elas são limitadas lateralmente pelas *pregas ungueais laterais*, que apresentam estrutura semelhante à epiderme adjacente, e, na região proximal, pelo *eponíquio* (cutícula), ou seja, uma projeção pregueada do estrato córneo da pele. O limite proximal da placa é a *raiz ungueal*, que é a região da epiderme responsável pela formação da substância da unha. A união entre o leito e a placa ungueal na ponta do dedo é denominada *hiponíquio*, que tem como função proteger o leito ungueal da invasão de bactérias e fungos.

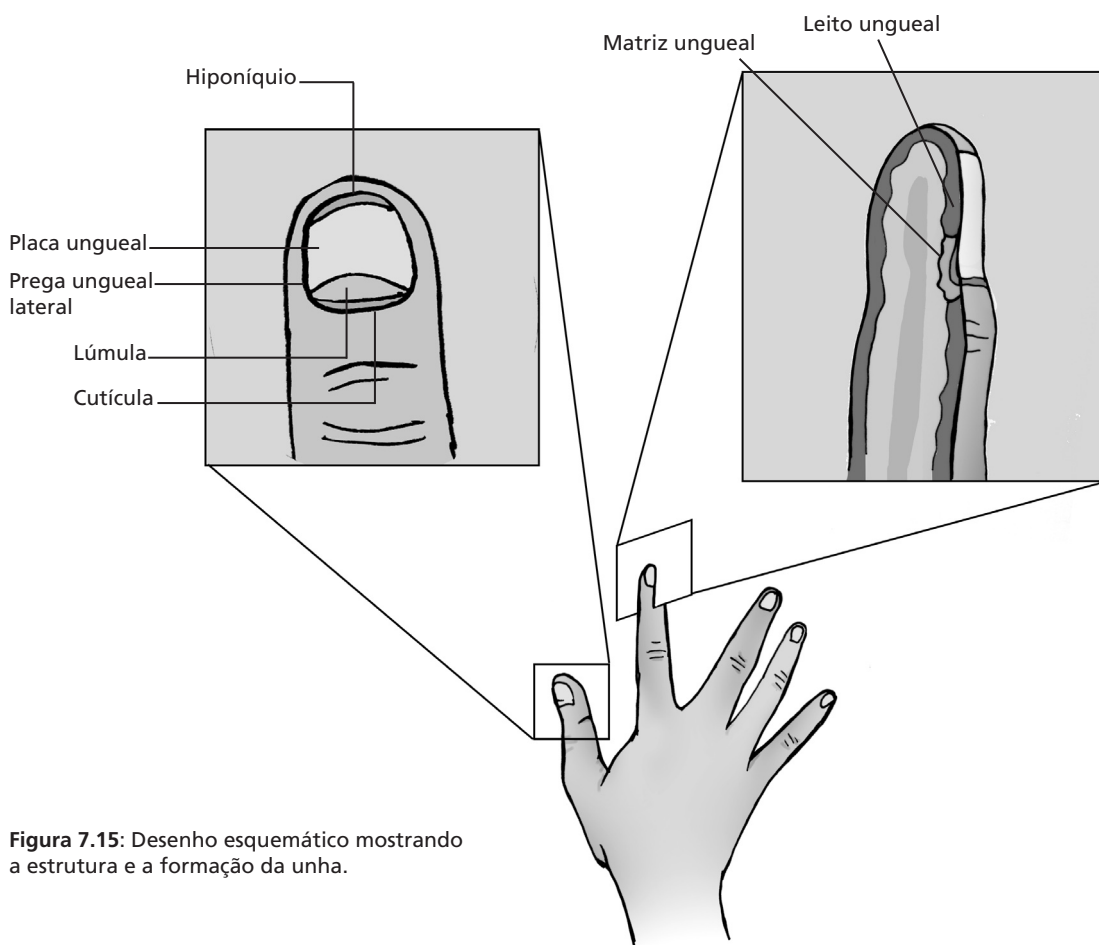


Figura 7.15: Desenho esquemático mostrando a estrutura e a formação da unha.



ATIVIDADES

13. Os pêlos:

- a. São hastes cilíndricas de células queratinizadas que emergem de folículos epiteliais.
- b. Apresentam glândulas sebáceas a eles associados na maior parte do organismo.
- c. Apresentam crescimento cíclico com perda constante de sua haste.
- d. Apresentam uma região bulbosa mais profunda que funciona como raiz.
- e. Todos os itens estão corretos.

RESPOSTA

Você viu, ao estudar os folículos pilosos, que todas estas características estão corretas. O item e, portanto, é o que deve ser marcado.

14. As glândulas sebáceas da pele humana são classificadas como:

- a. Merócrinas.
- b. Holomerócrinas.
- c. Écrinas.
- d. Apócrinas.
- e. Holócrinas.

RESPOSTA

O item correto é o e. Relembrando: as glândulas sebáceas são caracterizadas como holócrinas, porque durante o processo de secreção, suas células morrem e são eliminadas. Você viu que as glândulas sudoríparas das regiões axilares e pubiana pertencem a essa categoria.

15. Em relação aos anexos cutâneos, podemos afirmar que:

- a. As unhas são placas córneas calcificadas.
- b. As papilas dos folículos pilosos têm papel indutor fundamental para o crescimento dos pêlos.
- c. As glândulas sudoríparas apócrinas são encontradas somente nas áreas de pele espessa.
- d. As glândulas sebáceas são glândulas merócrinas.
- e. Os pêlos têm um padrão contínuo de crescimento.

RESPOSTA

*O item correto é o **b**, pois, como você observou, as unhas são placas córneas, ou seja, placas queratinizadas e não calcificadas. As papilas são responsáveis pela indução do crescimento dos pêlos. As glândulas sudoríparas apócrinas são encontradas em áreas de pele fina, nas regiões axilares e pubiana. As glândulas sebáceas são do tipo holócrina, como você acabou de ver. O crescimento dos pêlos alterna fases de repouso e de atividade, portanto, ele não é contínuo e sim, cíclico.*

16. A cor do pêlo é dada devido à presença de melanócitos; eles estão localizados:

- a. Na bainha conjuntiva interna.
- b. No córtex do pêlo.
- c. Na cutícula do pêlo.
- d. No bulbo do folículo piloso.
- e. Na membrana vítrea.

RESPOSTA

*No folículo piloso. Os melanócitos se localizam na região do bulbo onde se encontram as células da raiz do pêlo. O item correto é o **d**.*

CONCLUSÃO

Com essa leitura, você pôde perceber a importância da pele não só como um órgão de revestimento para o corpo, mas também como um órgão de defesa, que está estruturado para impedir não só a entrada de microorganismos no meio interno, e a perda excessiva de água por evaporação, como também para alertar o sistema nervoso central quanto às alterações do meio ambiente através dos seus inúmeros órgãos sensoriais. Você viu, inclusive, que a pele, através da sua rica rede vascular e das glândulas sudoríparas, exerce importante função termorreguladora. Não esqueça, pois, que a textura e a cor da pele refletem a saúde dos outros sistemas do corpo.

RESUMO

O tegumento é constituído pela pele e seus anexos, como pêlos, glândulas sebáceas, glândulas sudoríparas e unhas. A pele é composta pela epiderme, pela derme e pela hipoderme. A epiderme é a camada mais superficial da pele, e é constituída por epitélio pavimentoso estratificado queratinizado. Nesse epitélio, a maioria das células, os queratinócitos, originam-se a partir do ectoderma cutâneo e são responsáveis pela produção da queratina. Entre os queratinócitos, encontram-se os melanócitos, produtores de melanina; as células sensoriais de Merkel, ambas originadas das cristas neurais, e as células de Langerhans, que são as células de defesa de origem mesodérmica. A derme, situada logo abaixo, apresenta uma região constituída por tecido conjuntivo frouxo, isto é, a derme papilar, e também uma região mais profunda, composta por tecido conjuntivo denso não-modelado, denominada derme reticular. A camada mais interna, caracterizada como hipoderme, é formada por quantidades variáveis de tecido adiposo, e prende a pele às estruturas localizadas mais profundamente. A maioria dos órgãos sensoriais da pele, com exceção das terminações nervosas livres (nociceptores e termorreceptores) e das células de Merkel (receptores tácteis), localiza-se na derme e na hipoderme, como é o caso dos seguintes corpúsculos: a) Meissner (receptores tácteis e de estímulos vibratórios lentos); b) Pacini (sensíveis à pressão e à vibração rápida); c) Ruffini (detectam o estiramento dos corpúsculos de Pacini); d) Krause (sensíveis ao frio e ao tato); e) as terminações nervosas peritriciais (detectam movimentos nos pêlos).

ATIVIDADES FINAIS

1. Descreva, sucintamente, o processo de queratinização da epiderme.

RESPOSTA

A queratina é uma família de proteínas produzida pelos queratinócitos presentes na epiderme, nos pêlos e nas unhas. Ela é formada, majoritariamente, pela associação entre os filamentos intermediários de citoqueratina e os grânulos de querato-hialina. A sua produção se inicia no estrato basal da epiderme sob a forma das citoqueratinas 5 e 14. No estrato espinhoso, essas citoqueratinas são substituídas pelas isoformas 1 e 10 e, no estrato granuloso, pelas citoqueratinas 2e e 9. A partir do estrato granuloso, as citoqueratinas vão se associando aos grânulos de querato-hialina, que são os seus principais componentes e vão, gradativamente, preenchendo as células dos estratos lúcido e córneo, no caso da pele espessa.

2. Cite as funções da pele.

RESPOSTA

No item *Composição e Funções da Pele*, você tomou conhecimento de que a pele desempenha as seguintes funções: a) proteção contra o atrito e contra a perda de água por evaporação, contra a ação lesiva dos raios ultravioleta, contra a invasão de microorganismos; b) termorregulação, que ocorre através da sua extensa rede vascular, das suas glândulas sudoríparas e do tecido adiposo nela presente; c) excreção de vários produtos tóxicos do metabolismo celular, como uréia, amônia e ácido úrico; d) sensorial, através de suas terminações nervosas sensitivas, a pele recebe várias informações do meio ambiente e as envia para o sistema nervoso central; e) metabólica, através da síntese de vitamina D, essencial para a fixação do cálcio nos ossos; e f) reserva energética através do tecido adiposo que constitui a hipoderme.

3. Com base nas características da derme, comente a sua importância para a estrutura da pele.

RESPOSTA

Como você pôde observar, a derme é constituída por tecido conjuntivo, que, por suas características histológicas, exerce várias funções importantes para a manutenção de sua integridade, tais como: nutrição da epiderme e das células do conjuntivo; resistência mecânica proveniente do arcabouço de fibras do sistema colágeno; elasticidade e resistência mecânica, fornecida pelas fibras do sistema elástico; resistência às forças de compressão fornecidas pelas GAGs (Aula 7 de Biologia Celular II); turgidez da pele, pois como as GAGs retêm água, a pele se mantém esticada nos indivíduos jovens; sensorial, já que a maioria dos receptores sensoriais nela se localizam; termorregulação. Como você leu também na Aula 7 de Biologia Celular II, a matriz extracelular sintetizada pelas células do conjuntivo, além de auxiliar na ligação entre elas e a própria matriz, serve como reservatório para vários hormônios, que controlam a proliferação e a diferenciação celular, e para ativar várias vias de sinalização celular. Você lembra que as células da papila do folículo piloso induzem à diferenciação dos queratinócitos da raiz do pêlo? Essas são algumas das funções do tecido conjuntivo que compõe a derme.

AUTO-AVALIAÇÃO

Você conseguiu responder a todas as atividades? Nesta aula, é importante que você saiba os mecanismos que mantêm a integridade da pele, pois como você viu, ela é essencial para a manutenção da homeostase do meio interno. Relembre as aulas de Biologia Celular citadas no texto, pois elas contêm informações importantes para o seu aprendizado. Se ainda tiver dúvidas, converse com seus colegas e com o seu tutor.

LEITURA RECOMENDADA

Seria muito proveitoso para você, complementar 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: 19 jul. 2004.

Como sentimos o mundo a nossa volta?

AULA 8

Meta da aula

Apresentar os mecanismos pelos quais detectamos, processamos e percebemos as informações sensoriais táteis que nos rodeiam.

objetivos

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

- Definir somestesia.
- Descrever os diferentes receptores e suas características.
- Definir campo receptor, adaptação e transdução de sinal.
- Relacionar as vias de processamento de tato e de dor.
- Descrever o processamento cortical somestésico.
- Compreender a gênese e o processamento da dor.
- Considerar a importância das vias analgésicas endógenas.

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 5 e 6 de Corpo Humano I.

INTRODUÇÃO

Em termos evolutivos, os primeiros organismos a se estabilizar foram aqueles capazes de localizar e utilizar nutrientes necessários ao seu metabolismo. A vida de qualquer organismo depende, portanto, de sua capacidade de perceber o meio ambiente, bem como de interagir com ele. Embora todas as células vivas possam converter eventos físicos em sinais biológicos, somente algumas são especializadas em mandar para o Sistema Nervoso Central (SNC) informações sobre a detecção e discriminação de diferentes estímulos do mundo à nossa volta. Estas células são denominadas receptores sensoriais.

Em seres mais complexos, o contato com o meio ambiente externo e interno ocorre por meio dos receptores sensoriais, estruturas especializadas em transformar energia física ou química em impulsos nervosos. Alguns estímulos físicos, em forma de onda, são capazes de excitar nossos receptores sensíveis à luz ou ao som. Outros, mecânicos e térmicos, estimulam nossos receptores de tato. Já os estímulos químicos nos geram sensações de gosto e cheiro. Trataremos nesta aula apenas dos estímulos capazes de nos trazer sensações táteis e dolorosas e de seu processamento. Reservaremos a Aula 8 para visão, a Aula 9 para audição e a Aula 10 para os sentidos químicos de olfato e gustação.

SOMESTESIA

Como sentimos os objetos que tocamos? Como definimos se algo é liso ou áspero? Por que sentimos frio? Como a dor nos faz aprender a não nos expormos ao que nos causa lesão? A resposta é uma: o sistema somestésico. O termo “somestesia”, ou o seu sinônimo, sensibilidade somática, define as diversas qualidades da modalidade sensorial que constituem nosso sentido popularmente denominado tato.

A percepção do mundo ao nosso redor, assim como a do nosso “mundo interno”, é captada inicialmente por receptores sensoriais distribuídos em toda a nossa superfície corporal (pele) e em nossos órgãos internos. Eles realizam uma filtragem altamente especializada e eficiente do estímulo, por meio de um mecanismo de transformação do estímulo físico ou químico em eletroquímico. Este mecanismo, que se inicia na membrana plasmática e utiliza a variação de seu potencial elétrico, é denominado transdução e já foi visto nas Aulas 13 e 14 de Biologia Celular I. Dessa forma, de acordo com a característica do estímulo, temos esta modalidade sensorial, a somestesia, dividida em qualidades específicas, como você pode verificar na **Tabela 8.1**.

Tabela 8.1: Qualidades específicas dos estímulos somestésicos e seus receptores

Modalidade Sensorial	Estímulos Ideais	Qualidades Sensoriais	Órgãos e Estruturas Sensoriais	Receptor Sensorial	
				Classes	Tipos
Tato	Térmicos	Temperatura	Pele, mucosas, viscerais, músculos, articulações	Termorreceptores	Receptores para quente e frio
	Mecânicos (pressão)	Toque discriminativo (tamanho, forma, textura, movimento)		Mecanorreceptores	Mecanorreceptores cutâneos: - órgão de Ruffini, - corpúsculo de Meissner, - corpúsculo de Pacini, - discos de Merkel
	Mecânicos (deslocamento, movimento)	Propriocepção (localização do corpo no espaço)		Mecanorreceptores	Mecanorreceptores Musculares e articulares: - órgão tendinoso de Golgi, - fuso neuromuscular
	Térmicos, mecânicos, químicos	Dor		Termorreceptores, mecanorreceptores, quimiorreceptores (nociceptores)	Nociceptores mecânicos, térmicos ou polimodais; quimiorreceptores para agentes irritantes

RECEPTORES SENSORIAIS

Várias modalidades de receptores são capazes de intermediar a transdução de sinais, cada um de maneira particular e exclusiva. Diferentes tipos de receptores são capazes de responder a estímulos de diferentes naturezas (dentro de uma gama limitada, é claro). Temos um contínuo morfológico indo desde terminações neuronais livres (mais específicos para dor e temperatura), até receptores encapsulados de grande complexidade morfológica (mais específicos para o toque e a propriocepção) (Figura 8.1), como é o caso do corpúsculo de Pacini (Figuras 8.1.b e c). Outros receptores não ficam situados na pele, mas em músculos, tendões e articulações, e apresentam uma grande complexidade estrutural, sendo essenciais para nossos reflexos (que você verá com detalhes nas Aulas 18 e 19). Resumidamente, podemos dividir os receptores somestésicos como na Tabela 8.2, mas vejamos a seguir características mais detalhadas deles.

Tabela 8.2: Tipos de receptores táteis, suas características e localização

Tipo morfológico	Transdução	Tipo de fibra	Localização	Função	Adaptação
Terminações livres	Mecanoelétrica, Termoelétrica, Quimioelétrica	C, A δ	Toda a pele, órgãos internos, vasos sanguíneos, articulações	Dor, temperatura, tato grosseiro, propriocepção	Lenta
Corpúsculos de Meissner	Mecanoelétrica	A β	Epiderme glabra (sem pêlos)	Tato, pressão vibratória	Rápida
Corpúsculos de Pacini	Mecanoelétrica	A β	Derme, periósteo, paredes das vísceras	Pressão vibratória	Rápida
Corpúsculos de Ruffini	Mecanoelétrica	A β	Toda a derme	Indentação da pele	Lenta
Discos de Merkel	Mecanoelétrica	A β	Toda a epiderme glabra e pilosa	Tato, pressão estática	Lenta
Bulbos de Krause	Mecanoelétrica Termoelétrica	A β	Bordas da pele com as mucosas	Tato Temperatura	Lenta
Folículos pilosos	Mecanoelétrica	A β	Pele pilosa	Tato	Rápida
Órgãos tendinosos de Golgi	Mecanoelétrica	Ib	Tendões	Propriocepção	Lenta
Fusos musculares	Mecanoelétrica	Ia e II	Músculos esqueléticos	Propriocepção	Lenta e rápida

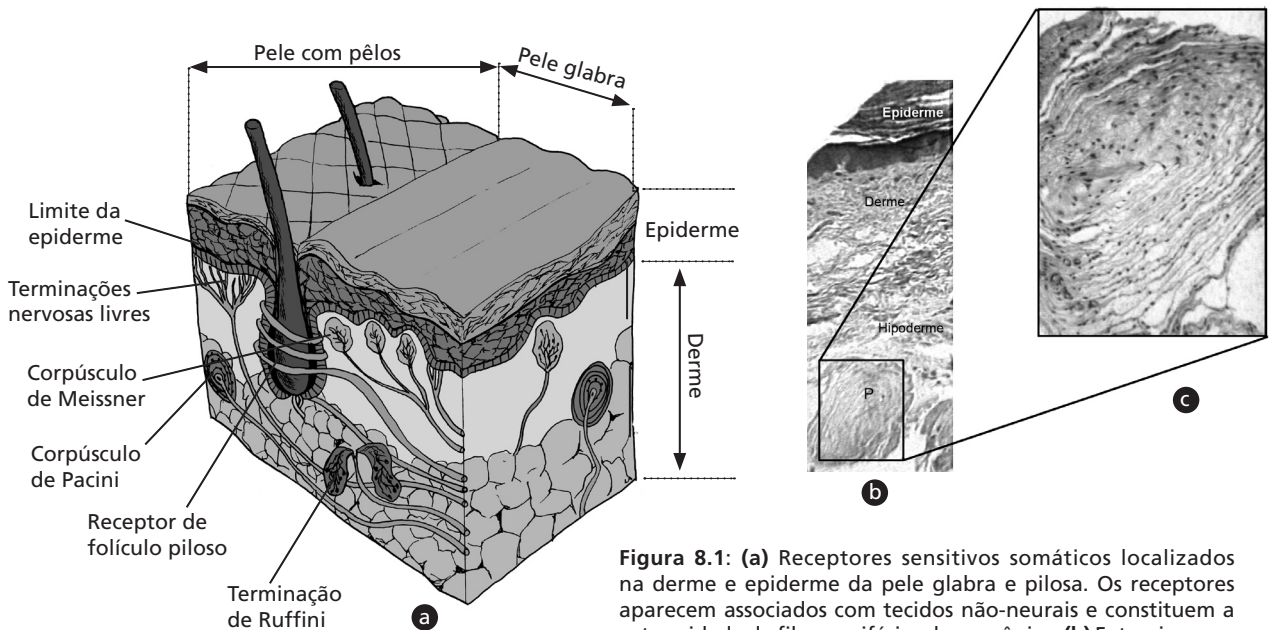


Figura 8.1: (a) Receptores sensitivos somáticos localizados na derme e epiderme da pele glabra e pilosa. Os receptores aparecem associados com tecidos não-neurais e constituem a extremidade da fibra periférica de neurônios. (b) Fotomicrografia em pequeno aumento de um corte histológico de pele humana, evidenciando os receptores contidos na derme e hipoderme. (c) Fotomicrografia em grande aumento evidenciando as lamelas das cápsulas dos corpúsculos de Pacini encontrados na hipoderme.

Os receptores sensoriais somestésicos são especializações do ramo terminal de axônios cujos corpos celulares estão localizados no gânglio da raiz dorsal, ao lado da medula espinhal (volte às **Figuras 6.3 e 6.7.a** e ao texto da Aula 6 para rever o conceito de gânglios). Estes corpos celulares apresentam também um prolongamento central que se dirige ao SNC, penetrando no segmento da medula referente topograficamente ao local do estímulo (veja mais adiante o conceito de dermatômos).

TIPOS DE RECEPTORES

Mecanorreceptores

Tato

Na pele sem pêlos (glabra) estão receptores que detectam preferencialmente estímulos descontínuos (vibrações ou superfícies irregulares), como os corpúsculos de Meissner (superficiais) e os corpúsculos de Pacini (profundos), e outros que detectam, com mais precisão, estímulos de toque ou pressão contínuos, como os corpúsculos de Merkel (superficiais) e os corpúsculos de Ruffini (profundos). Estas diferenças se dão pelas características adaptativas dos receptores. Os receptores que detectam pressão contínua disparam uma série de potenciais de ação que se mantêm longamente e não são modificados se houver outros estímulos durante a duração do primeiro (**Figura 8.2.a**). Já os que detectam vibração são receptores de adaptação rápida: quando estimulados, disparam uma série de potenciais de ação, rapidamente se silenciam, e disparam outro **TREM DE POTENCIAIS** ao término do estímulo, podendo responder a um estímulo imediatamente depois (**Figura 8.2.b**). São os receptores de adaptação rápida que respondem preferencialmente quando entramos em contato com superfícies irregulares ou ásperas, como lixas. Na pele com pêlos, os corpúsculos de Meissner são substituídos por terminações em suas raízes.

TREM DE POTENCIAIS

Potenciais de ação disparados por um neurônio, de forma encadeada, numa sequência.

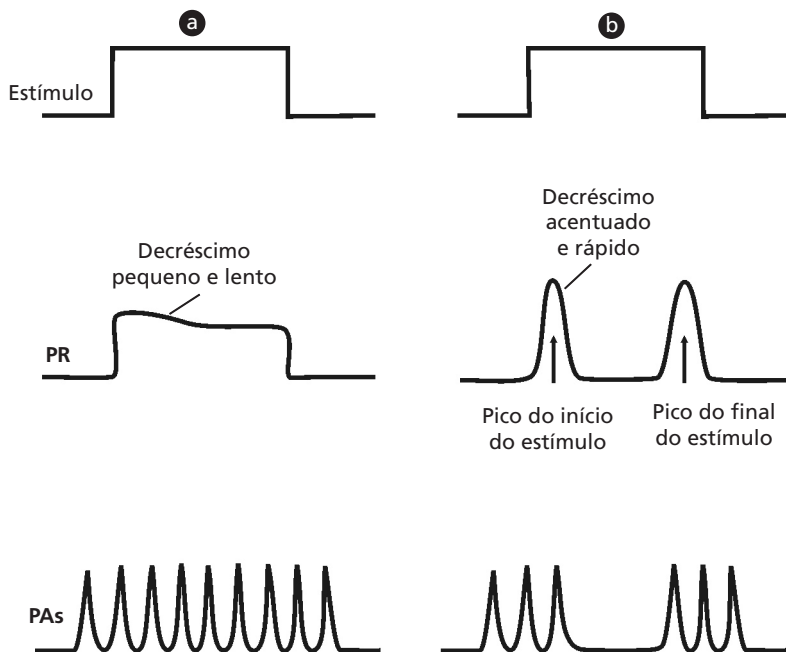


Figura 8.2: Diferenças no potencial receptor (PR) e nos potenciais de ação (PAs) entre receptores de adaptação lenta (a) e rápida (b). Os receptores de adaptação lenta apresentam um potencial receptor de duração semelhante àquela do estímulo, enquanto os receptores de adaptação rápida apresentam um PR no início do estímulo e outro no fim. Os PRs refletem diretamente a série de PAs nos dois tipos de receptores.

Receptores proprioceptivos musculares

São de dois tipos: os fusos neuromusculares, que aparecem distribuídos no **VENTRE MUSCULAR**, e os órgãos tendinosos de Golgi, que aparecem nos tendões dos músculos. Estes receptores são essenciais para nossa consciência corporal, pois nos permitem localizar as partes de nosso corpo no espaço. É importante que aqui você compreenda a organização anatômica dessas duas estruturas, pois veremos suas funções nas Aulas 18 e 19.

Os fusos neuromusculares (**Figura 8.3**) são estruturas macroscópicas especializadas, encapsuladas e fusiformes, como o próprio nome indica. Cada fuso é formado por 2 a 12 fibras musculares estriadas especiais, as fibras esqueléticas intrafusais, envolvidas por uma cápsula de tecido conjuntivo, que se fixa pelas extremidades ao **ENDOMÍSIO** das fibras extrafusais do músculo, ao tendão ou ao **PERIMÍSIO**. Na região média do fuso há uma expansão da cápsula, trabeculada e cheia de linfa. Os fusos sinalizam mudanças no comprimento do músculo, mais especificamente no grau de contração muscular. Além das fibras intrafusais, cuja porção medial não apresenta componentes contráteis, o fuso apresenta terminais sensoriais mielinizados de grande diâmetro, que se originam das porções mediais dessas fibras intrafusais. Além disso, têm outros componentes essenciais ao reflexo motor, como as fibras motoras mielinizadas.

VENTRE MUSCULAR

Parte central do músculo, “carnuda”, enquanto as extremidades, mais delgadas, se continuam com os tendões, que ancoram os músculos, na maioria dos casos, em ossos.

ENDOMÍSIO

Camada delicada de fibras reticulares que envolve cada fibra muscular.

PERIMÍSIO

Camada de tecido conjuntivo mais denso que envolve um grupo de fibras para formar um fascículo.

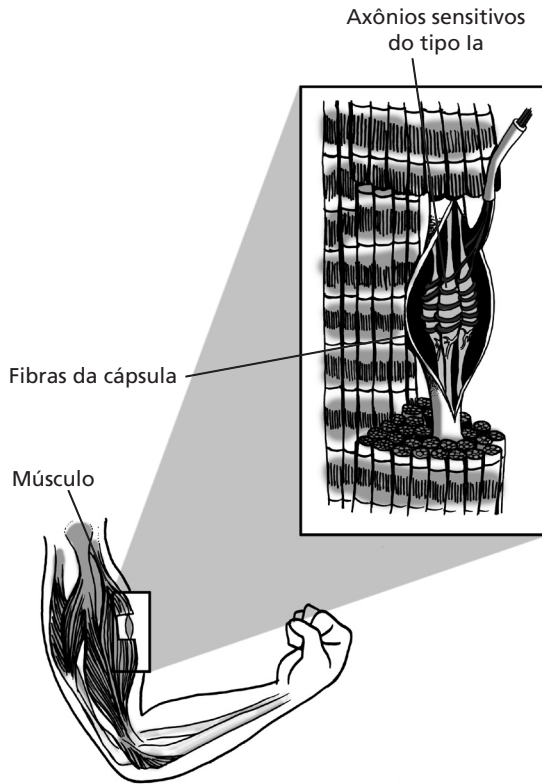


Figura 8.3: Organização morfofuncional do fuso muscular. As fibras nervosas aparecem entremeadas em paralelo às fibras musculares encapsuladas do fuso e disparam, codificando o grau de contração do ventre muscular.

O órgão tendinoso de Golgi, mostrado esquematicamente na **Figura 8.4**, é uma estrutura sensorial composta por receptores capazes de reagir ao estiramento. Estes receptores estão localizados na junção dos músculos estriados esqueléticos com o seu tendão e conectados em série com as fibras musculares estriadas esqueléticas. Consiste em vários fascículos tendinosos nos quais as fibras nervosas aferentes se ramificam e se enrolam, sendo o conjunto envolto por uma cápsula conjuntiva (aproximadamente 1mm de comprimento e 0,1mm de diâmetro).

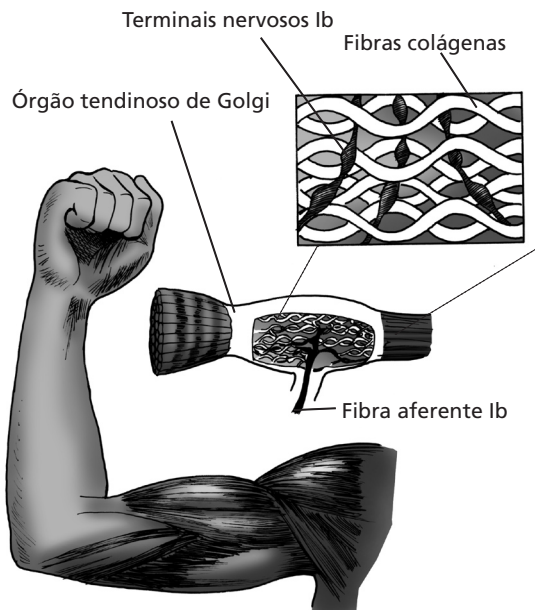


Figura 8.4: O órgão tendinoso de Golgi fica inserido na junção entre o músculo e o tendão. As fibras nervosas aparecem em série com as fibras colágenas encapsuladas em seu interior, codificando o grau de estiramento do músculo.

Termorreceptores

São terminações nervosas livres e de adaptação lenta. É interessante notar que os receptores para frio e calor têm características físicas diferentes. A sensação térmica é pontual, ou seja, há zonas discretas de inervação, de aproximadamente 1mm de diâmetro, onde a estimulação térmica provoca calor ou frio. Nos receptores para frio, a frequência de disparo é proporcional à temperatura. Sua ativação está na faixa de 5-30°C. Os receptores para calor são ativados na faixa de 30-45°C, com margem do ideal entre 38-43°C. Temperaturas abaixo de 5°C ou acima de 40°C ativam nociceptores e já são codificadas como dor.

Nociceptores

Tipicamente são terminações livres que apresentam adaptação lenta e respondem preferencialmente a estímulos nocivos. Os nociceptores podem ser sensíveis a estímulos:

- estímulos mecânicos, como objetos cortantes ou pontiagudos;
- térmicos, ativados pelo aquecimento do campo receptor acima de 40°C;
- polimodais, que respondem a estímulos mecânicos, térmicos e químicos.

O estímulo nocivo pode ativar diretamente, o receptor, ou indiretamente, por meio de intermediários químicos liberados pelo tecido traumatizado e pelos vasos locais como, por exemplo, prostaglandina, bradicinina, serotonina, que excitam as terminações.

CAMPOS RECEPTORES

São áreas receptivas corporais definidas, inervadas pelo terminal de um receptor, que, quando na presença de um estímulo adequado, alteram a atividade de uma única célula sensorial, excitando-a ou inibindo-a.

Ao pensarmos numa imagem de computador, falamos de sua resolução em *pixels*: quanto maior o número de *pixels*, melhor sua resolução e, conseqüentemente, melhor é a impressão que ela nos causa. Dessa maneira, podemos dizer que a resolução somestésica de uma determinada área está diretamente relacionada aos campos receptores, de maneira que, quanto maior a densidade de receptores em uma menor área (ou melhor, menor o campo receptor dos neurônios que inervam esta determinada área), maior a resolução de uma determinada área. Assim, apresentamos áreas do corpo com uma maior resolução, como a ponta dos dedos ou os lábios, e áreas “menos sensíveis”, como as costas e a panturrilha (Figura 8.5).

Nossa acuidade na determinação de pontos estimulados em nosso corpo depende do tamanho do campo receptor, da densidade de inervação da região e da convergência do estímulo para centros superiores de processamento. Podemos testar nossa resolução espacial com práticas simples, utilizando compassos de ponta-seca com diferentes aberturas. Vemos que, na ponta dos dedos das mãos, aberturas muito pequenas ($< 5\text{mm}$) já nos permitem distinguir entre 1 ou 2 pontos, ao passo que em regiões como as costas ou a panturrilha, somente distâncias maiores de 40mm nos permitem dizer que dois pontos estão sendo estimulados simultaneamente. Os campos receptores de neurônios sensoriais que aparecem em outros níveis da via somestésica (no bulbo, tálamo, ou córtex) são maiores e mais complexos do que aqueles dos receptores sensoriais. Eles são maiores, pois recebem estímulos convergentes de vários outros receptores, cada um com um campo receptor ligeiramente diferente, mas sobreposto na periferia.

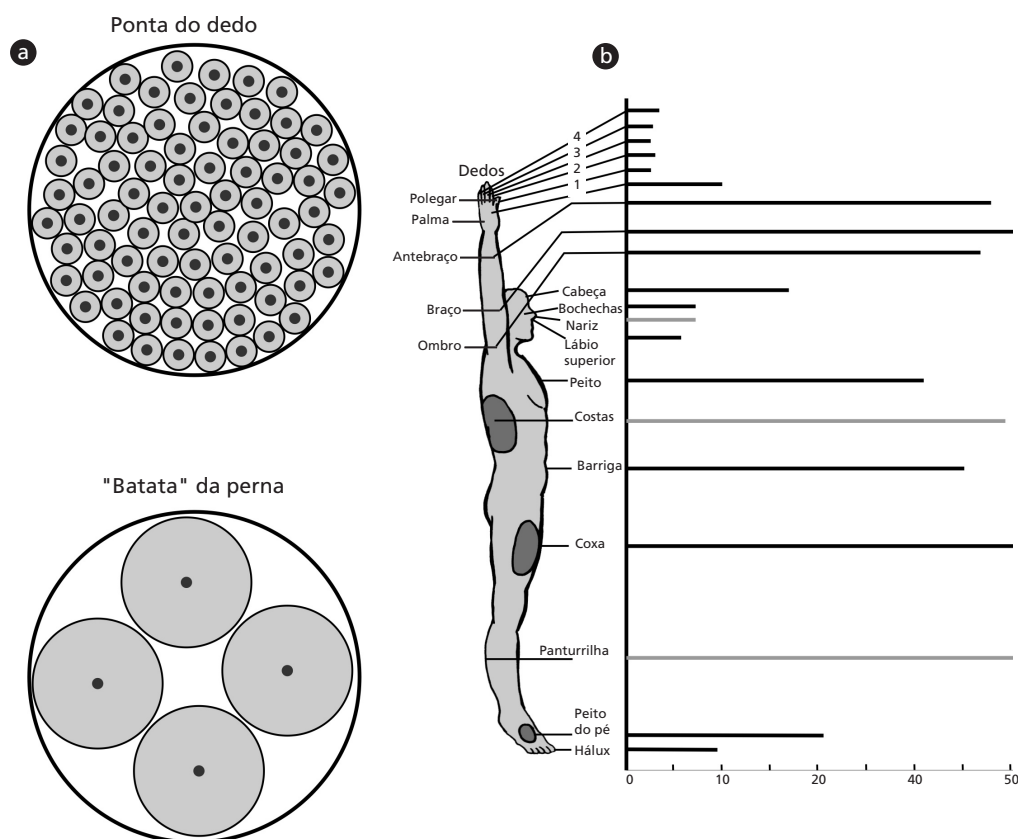


Figura 8.5: (a) Comparação do número e tamanho dos campos receptores em regiões de grande sensibilidade tátil (ponta de dedos) e de pouca sensibilidade tátil (panturrilha). (b) Distância mínima de discriminação entre dois pontos de estímulos simultâneos em diferentes partes do corpo. Em (b), a linha inferior representa uma escala em milímetros.

ADAPTAÇÃO

A estimulação continuada de um receptor pode gerar o fenômeno de adaptação, que é essencial para a percepção de um estímulo e para a sua correlação com outros estímulos associados. A adaptação é uma propriedade de todos os receptores e representa a diminuição gradual da resposta em função do tempo. A adaptação resulta freqüentemente das propriedades da resposta desencadeada, caracterizada pela excitabilidade da membrana do neurônio sensorial (pela inativação de um canal de Na^+ e Ca^{++} ou ativação de um canal de K^+ dependente de Ca^{++}), como você viu na Aula 10 de Biologia Celular II. A adaptação pode também depender da deformação das estruturas formadas por tecido conjuntivo que circundam o terminal do axônio, tal como observado no caso do corpúsculo de Pacini. De acordo com suas características adaptativas, classificamos os receptores em: receptores de adaptação rápida ou fásicos (como os corpúsculos de Meissner); receptores de adaptação lenta, ou tônicos (como os corpúsculos de Merkel); e receptores mistos. Os receptores fásicos respondem no momento da aplicação e da retirada do estímulo. Já os receptores tônicos e mistos são receptores de adaptação lenta. A amplitude do estímulo determina a freqüência do potencial de ação. Sensações mediadas por receptores de adaptação lenta informam sobre estímulos contínuos (veja a **Figura 8.2**), como quando corremos a mão sobre um objeto para buscar determinar sua forma.

ATIVIDADES

1. Qual a importância evolutiva da somestesia?

RESPOSTA COMENTADA

Nosso contato com o ambiente é absolutamente necessário para nossa sobrevivência. Poder retirar informações do meio, processá-las e reagir a elas nos torna mais capazes e aumenta nossas chances de sermos selecionados na evolução. A somestesia permite que o maior órgão de nosso corpo, a pele, esteja em íntimo contato com o ambiente e nos informe se a temperatura está agradável ou se precisamos vestir casacos; se podemos sentar numa cama de espelhos ou se preferimos um colchão de molas.



2. Explique o conceito de campo receptor. Qual a sua importância na capacidade resolutive de um estímulo?

RESPOSTA COMENTADA

Campo receptor é uma região determinada, pela qual um único receptor tátil é responsável por responder a um estímulo. Quanto maior o número de receptores, menor será o campo receptor de cada um e maior será nossa resolução espacial. Assim, áreas do corpo com maior número de receptores, e, portanto, com campos receptores menores apresentam maior capacidade resolutive de um estímulo.

3. Correlacione a adaptação com a capacidade de determinados receptores em detectar estímulos contínuos e descontínuos.

RESPOSTA COMENTADA

Adaptação é a diminuição gradual da resposta em função do tempo. Os receptores de adaptação rápida disparam uma série de potenciais de ação no início e outra no fim do estímulo, ficando em silêncio no meio tempo. São esses receptores que respondem preferencialmente quando entramos em contato com superfícies irregulares. Os receptores de adaptação lenta disparam uma série de potenciais de ação que se mantêm longamente, e não são modificados se houver outros estímulos durante a duração do primeiro.

SISTEMAS PROTOPÁTICO E EPICRÍTICO

O sistema somestésico inclui dois mecanismos distintos de sensibilidade tátil-dolorosa:

(1) epicrítico ou discriminativo, envolvido na percepção detalhada do meio ambiente, permitindo a análise do contexto e da organização espaço-temporal do meio;

(2) protopático ou grosseiro, conduzindo aferências mais intimamente relacionadas com a estrutura do próprio corpo, informando sobre alterações do meio que agem de uma maneira imediata sobre o corpo.

Como seria de se esperar, este sistema mais rudimentar, mais relacionado à “autopercepção” do que à percepção do meio ambiente, é filogeneticamente mais antigo. O sistema protopático é o de maior capacidade de recuperação, retornando de forma mais rápida após a secção de nervos periféricos. Nele estão representadas as sensibilidades dolorosa, térmica e um pequeno componente tátil capaz apenas de assinalar o contato com a superfície corpórea, não discriminando, porém, de forma precisa o contexto e o local do estímulo. Essas informações são mediadas por receptores do tipo terminação livre e conduzidas pelo sistema ântero-lateral (sensibilidade térmico-dolorosa, **Figura 8.6**, como você verá mais adiante).

O sistema epicrítico é aquele de recuperação mais tardia após a interrupção da via neural periférica, estando envolvido no aspecto discriminativo espaço-temporal. Este sistema se relaciona aos aspectos finos do toque, sendo mediado por receptores encapsulados. Tais estímulos são conduzidos pelo sistema coluna dorsal-lemnisco medial (sensibilidade discriminativa, **Figura 8.6**). Essas sensações incluem as habilidades de **TOPOGNOSIA**, de discriminação entre dois pontos adjacentes apresentados simultaneamente, de discriminação de intensidade e velocidade, e de **ESTEROGNOSIA**.

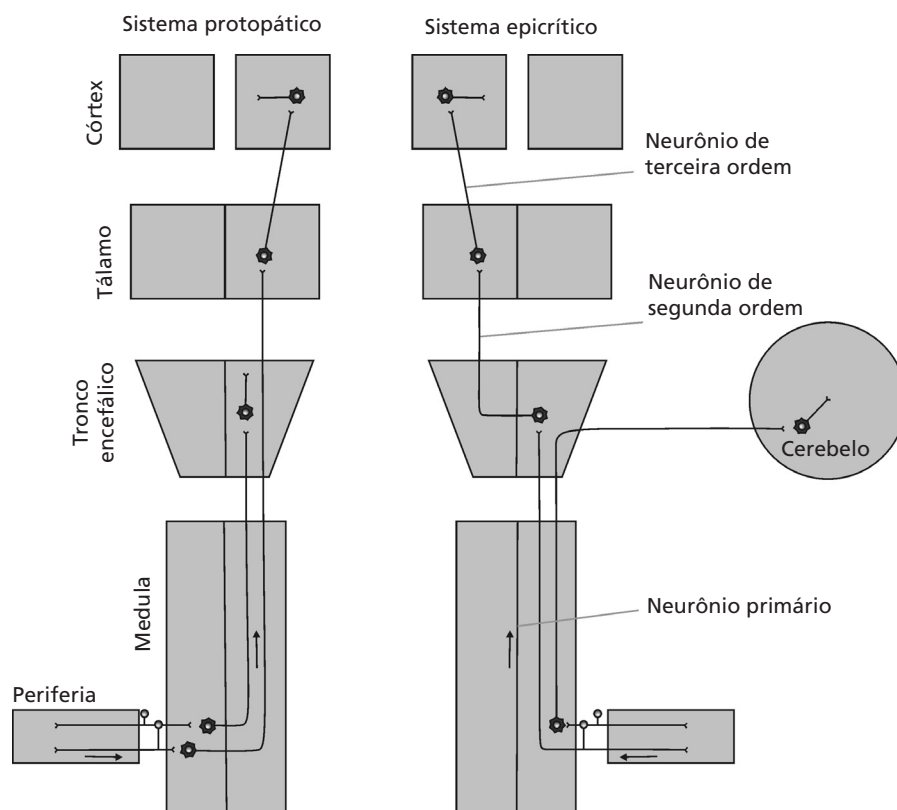
TOPOGNOSIA

Senso de localização espacial do toque que nos possibilita saber qual parte exata do corpo foi estimulada.

ESTEROGNOSIA

Capacidade de reconhecimento da forma de objetos quando tocados. Por exemplo: quatro bordas com quatro ângulos retos caracterizam um quadrado.

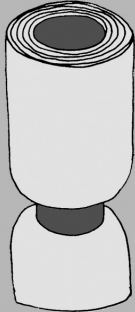



Figura 8.6: Representação das diferenças anatômicas entre os sistemas de tato epicrítico e protopático, com os diversos níveis da via de projeção e os pontos de sinapse.



TIPOS DE FIBRAS

Uma vez que o receptor detecte o estímulo, é necessário transmiti-lo ao SNC para ser processado. Os diversos tipos de receptores estão associados a fibras de diferentes diâmetros, que variam desde fibras mielínicas calibrosas (22-24µm) até fibras amielínicas com diâmetros menores do que 1µm (Figura 8.7). As fibras de maior diâmetro têm origem em receptores com estrutura complexa, tais como fusos musculares e órgãos tendinosos de Golgi. As fibras de menor diâmetro são originárias das terminações mais simples, como as terminações livres que apresentam ramificações entre células epiteliais. O calibre e a mielinização refletem também a velocidade de propagação do estímulo, maior nas mielínicas do que nas amielínicas.

Figura 8.7: Classificação das fibras axônicas quanto ao tipo de fibra, diâmetro, velocidade de condução do estímulo e receptores periféricos.

CLASSES DE FIBRAS				
Axônios provenientes da pele Axônios provenientes dos músculos	Aα	Aβ	Aδ	C
	Grupo I	II	III	IV
				
Diâmetro	13–20	6–12	1–5	0.2–1.5
Velocidade	80–120	35–75	5–30	0.5–2
Receptores sensoriais	Proprioceptores de músculo esquelético	Mecanorreceptores da pele	Dor, temperatura	Temperatura, dor, comichão

PERCURSO DA INFORMAÇÃO TÁTIL AO LONGO DA VIA:
ORGANIZAÇÃO DA VIA SOMESTÉSICA

Na Aula 6, você já viu a organização da medula espinhal; portanto, sabe que ela é constituída centralmente de substância cinzenta e periféricamente de fibras axonais dispostas em feixes longitudinais que formam substância branca. Lateralmente, pequenos filamentos radiculares que se juntam para formar as raízes dorsal (sensitiva) e ventral (motora) dos nervos espinhais (que compõem o SNP) penetram e deixam a medula, que funciona, então, como uma estação na condução de estímulos que trafegam da periferia ao encéfalo e vice-versa.

!

Se você quiser refrescar a memória, dê uma paradinha, volte à Aula 6 e reveja a Figura 6.8.

ORGANIZAÇÃO METAMÉRICA OU METAMERIA

É um dos princípios básicos de organização do corpo humano.

Baseia-se na superposição, no sentido longitudinal, de segmentos semelhantes, em que cada segmento corresponde a um metâmero.

A metameria é mais evidente durante o desenvolvimento embrionário, mas ainda permanece em alguns aspectos no adulto. Os somitos são um exemplo no embrião, e as vértebras da coluna vertebral, no adulto.

O tráfego de informação da periferia até a medula ocorre da seguinte forma: o segmento periférico dos axônios, cujos corpos celulares estão localizados nos gânglios dorsais, carregam a informação tátil até o gânglio, de onde o segmento central a leva até a medula. Dependendo do tipo de informação somestésica, a primeira sinapse já ocorrerá na medula; em outras, somente ao nível do tronco encefálico. No caso de dor e temperatura, os axônios que chegam à parte (ou corno) posterior da medula fazem sinapse neste local e cruzam para o lado oposto. Já os axônios que carregam informações de tato fino penetram na medula e emitem ramos que fazem sinapses locais, mas o axônio principal sobe para núcleos bulbares, onde fará sua primeira sinapse.

Cada segmento medular fornece a inervação sensitiva para uma região corpórea inervada por cada um desses segmentos, denominados dermatômos. Os dermatômos são as regiões da superfície cutânea inervadas pelos 31 pares de nervos espinais e pelo nervo trigêmeo, como mostrado na **Figura 8.8**. Os dermatômos apresentam uma distribuição que reflete a **ORGANIZAÇÃO METAMÉRICA** do corpo, podendo-se evidenciar uma verdadeira segmentação no sentido dos pés para a cabeça. Dessa forma, existe uma organização topográfica capaz de representar ordenadamente a superfície receptora, no SNC, desde a medula até os centros superiores no córtex cerebral. A topognosia, ou seja, a capacidade de discriminar a localização exata do estímulo na superfície receptora, se deve a essa organização.

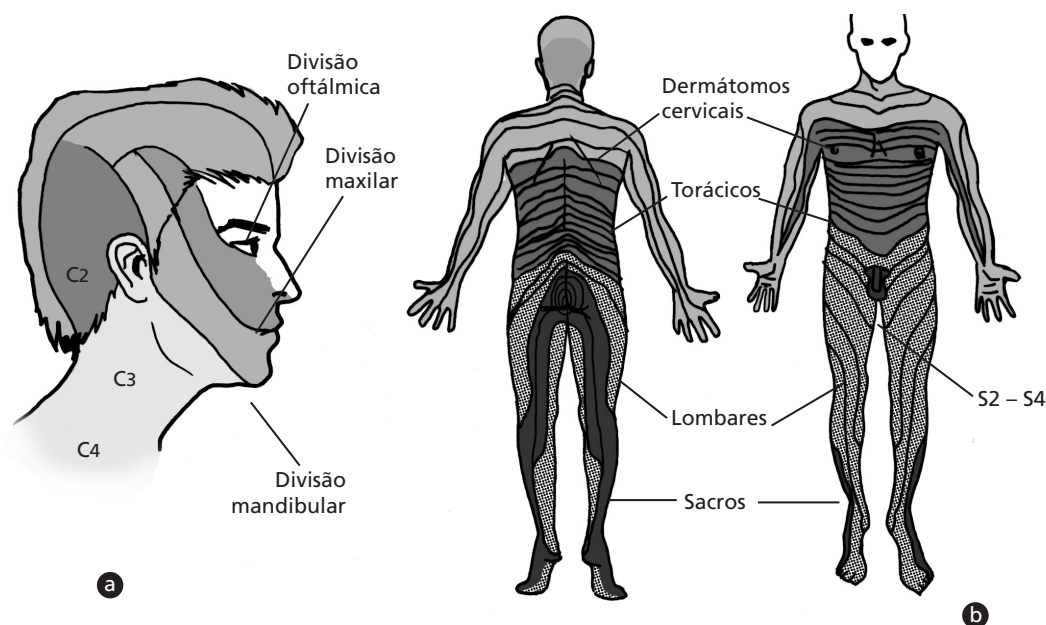


Figura 8.8: Os dermatômos corporais. As regiões em padrões diferentes convergem ramos do nervo trigêmeo (a) ou para segmentos medulares diferentes (b), sendo a organização da periferia respeitada na medula e em todos os níveis hierarquicamente superiores (tronco encefálico, tálamo e córtex).

Ao nível das raízes dorsais, as diversas qualidades da modalidade somestésica não estão separadas. No entanto, as fibras, ao se aproximarem do ponto de penetração na medula, separam-se em dois componentes: um lateral e um medial. O componente lateral inclui fibras de menor diâmetro, conduzindo informações térmicas, dolorosas e de tato não-discriminativo (**Figura 8.9.a**). Esses axônios fazem sinapse com neurônios medulares localizados no corno posterior. Os axônios destas células, por sua vez, seguem em uma direção ventromedial, cruzando para o lado oposto, ventralmente ao canal central da medula, na comissura medular anterior. Estas fibras prosseguem até atingir o **QUADRANTE LÁTERO-VENTRAL** do lado oposto e sobem em direção aos níveis superiores, formando o **FEIXE ESPINO-TALÂMICO ÂNTERO-LATERAL**. Quando chegam à ponte, parte das fibras faz sinapse com células do **NÚCLEO DA RAFE MEDIANA**, e ao nível do mesencéfalo, com células da substância cinzenta periaquedutal, essencial no controle da dor, que veremos mais adiante. No tálamo ocorre mais uma sinapse, e neurônios talâmicos vão enviar seus axônios para o córtex somestésico primário (S1).

O componente medial inclui as fibras de maior diâmetro, conduzindo as informações de tato fino e propriocepção (**Figura 8.9.b**). Após penetrar na medula, estas fibras se ramificam, dando origem a axônios colaterais. Alguns desses axônios estabelecem sinapses com elementos celulares localizados no mesmo segmento ou em segmentos vizinhos. Estas ramificações são as responsáveis pelos reflexos medulares (veja detalhes nas Aulas 18 e 19 sobre o sistema motor). O tronco axonal principal dirige-se a níveis mais altos no sistema nervoso pelos **FASCÍCULOS GRÁCIL E CUNEIFORME** (coluna dorsal), indo estabelecer sinapses com células situadas no bulbo encefálico. Dessa forma, não há cruzamento da via em nenhum nível medular. Os neurônios pós-sinápticos dos núcleos grácil e cuneiforme do bulbo enviam seus axônios para o lado **CONTRALATERAL**, e estes ascendem até o complexo nuclear ventroposterior do tálamo, formando o **LEMNISCO MEDIAL**, e no tálamo fazem nova sinapse. Deste ponto, o trajeto é semelhante ao da via ântero-lateral, convergindo para S1.

As propriedades funcionais destes dois sistemas apresentam marcadas diferenças. Os componentes que ascendem pelo cordão dorsal são responsáveis pela sensibilidade tátil discriminativa e cinestésica, informando, portanto, aos centros superiores, sobre a forma e a textura de objetos tocados, assim como sobre a movimentação e a posição no

QUADRANTE LÁTERO-VENTRAL

Por convenção, dividimos a medula em quadrantes ventrais e dorsais do lado direito e esquerdo, com o objetivo de localizarmos os feixes ascendentes e descendentes.

FEIXE ESPINO-TALÂMICO ÂNTERO-LATERAL

Conjunto de fibras que ascende na medula no quadrante ântero-lateral e se dirige ao tálamo. Veicula sensações dolorosas e térmicas.

NÚCLEO DA RAFE MEDIANA

Núcleo extenso no tronco encefálico que contém neurônios serotoninérgicos que se projetam para a medula e participam dos mecanismos de regulação endógena da dor.

FASCÍCULOS GRÁCIL E CUNEIFORME

Conjunto de fibras que ascendem na medula no quadrante pósteromedial e se dirigem aos núcleos de mesmo nome no bulbo do tronco encefálico.

CONTRALATERAL

O Sistema Nervoso, assim como o corpo todo, pode ser dividido em lado direito e esquerdo. Podemos dizer que as fibras que cruzam de um lado do corpo para o outro passam para o lado contralateral.

LEMNISCO MEDIAL

As fibras que deixam os núcleos somestésicos bulbares e se encaminham para o tálamo assumem uma conformação achatada, em forma de fita, denominada lemnisco. Como este feixe aparece mais medialmente, em contraposição às fibras auditivas que são mais laterais, é denominado lemnisco medial.

espaço das diversas partes do corpo. Os componentes que ascendem pelo feixe espino-talâmico lateral conduzem informações de ordem mais geral: o toque não-discriminativo, a sensibilidade térmica e a sensibilidade dolorosa. Se o feixe sofre processos patológicos poderá afetar efetivamente o processamento de informações carregadas por estas vias de projeção, como você verá no box “Patologias das vias medulares”.

As fibras sensitivas que chegam à medula dão origem aos feixes ascendentes (grácil e cuneiforme). Sua organização dentro do feixe não é aleatória, mas em um arranjo espacial que corresponde à sua origem segmentar. Assim, as fibras que se originam em segmentos caudais da medula (às que correspondem a segmentos mais inferiores do corpo, como os membros inferiores) irão ter uma localização próxima à linha média, ao passo que as fibras originárias de segmentos cervicais (às que correspondem a segmentos mais superiores do corpo, como o tórax) ocuparão uma posição mais próxima ao seu local de entrada (mais lateralmente, próximo ao corno dorsal). É essencial ressaltar que a organização topográfica é respeitada ao longo de toda a via, desde a periferia até as regiões mais centrais, como o tálamo e o córtex cerebral, evidenciando-se, principalmente nestas duas estruturas, uma representação ponto a ponto de nosso corpo (Figura 8.10).

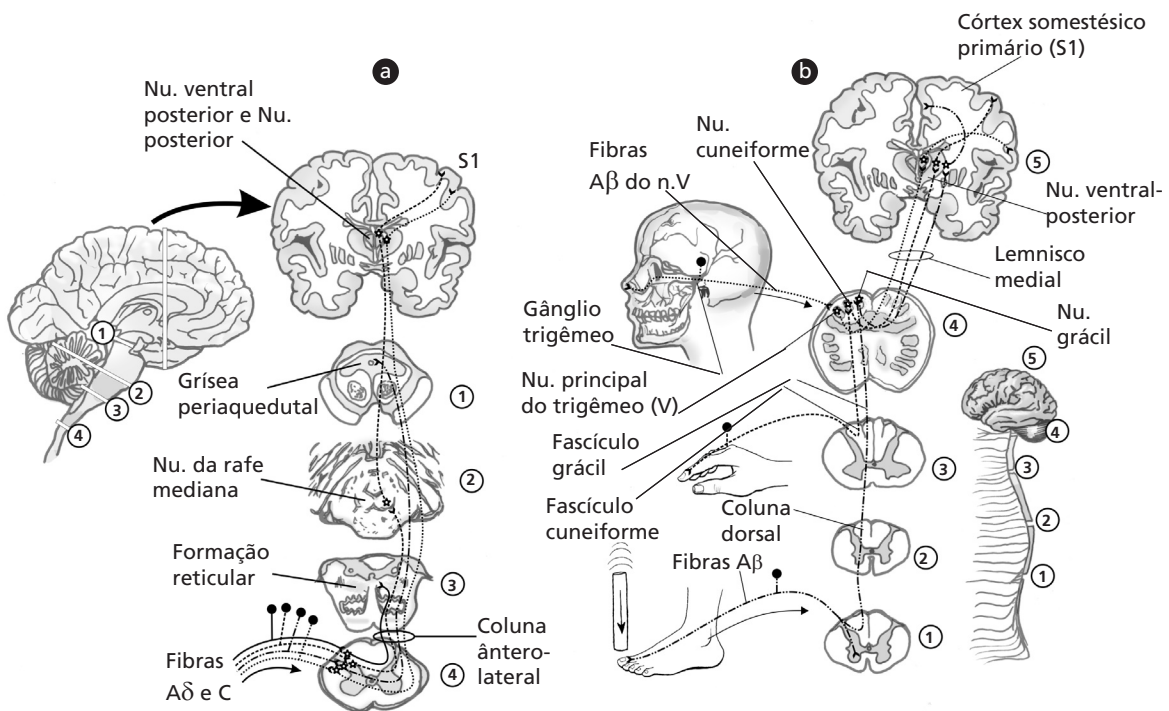


Figura 8.9: Diferentes níveis da via somestésica de processamento de: (a) dor, temperatura e tato grosseiro, e (b) tato fino e propriocepção. Note que a via em (a) cruza imediatamente após penetrar na medula, enquanto em (b) só há cruzamento ao nível do bulbo.

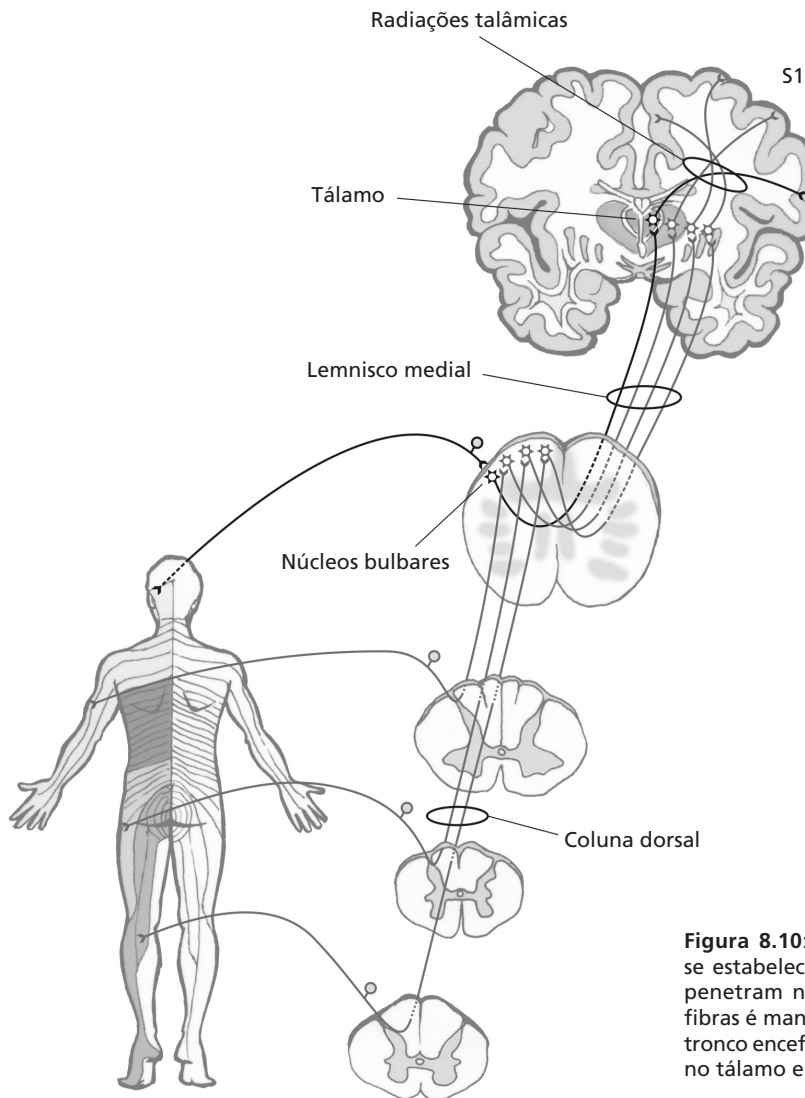


Figura 8.10: O mapa somatotópico se estabelece a partir das fibras que penetram na medula. A ordem das fibras é mantida na coluna dorsal, no tronco encefálico, no lemnisco medial, no tálamo e no córtex cerebral.

A sensibilidade da face, como você pode observar nas Figuras 8.7 e 8.8.a, é feita pelo nervo trigêmeo, ou V PAR CRANIANO, e não por nervos espinhais. No bulbo, vias aferentes derivadas do V par craniano se somam aos sistemas já descritos. Os corpos celulares das fibras periféricas estão situados no gânglio deste nervo. Este gânglio é homólogo aos gânglios da raiz dorsal, associados aos nervos espinhais. A extremidade central das fibras trigeminais estabelece sinapses com células situadas nos núcleos celulares específicos (núcleos trigeminais) no tronco encefálico. A organização da sensibilidade somática ao nível do trigêmeo apresenta aspectos comuns com a sensibilidade somática mediada pelos nervos espinhais. Ela está também dividida quanto a modalidade somestésica (tato fino e propriocepção separado de dor e temperatura). A sequência das conexões é idêntica àquela já descrita para os componentes espinhais.

PAR CRANIANO

Os nervos cranianos (ou pares, pois aparecem de ambos os lados) são responsáveis pela sensibilidade da cabeça e pela movimentação de seus músculos. São ao todo 12. No restante do corpo, a sensibilidade e função motora são feitas por nervos espinhais (31 pares).

Além do trigêmeo, outros componentes sensitivos serão conduzidos por pares cranianos mistos tais como o VII (nervo acessório), IX (nervo glossofaríngeo) e X (nervo vago).

Patologias das vias medulares

Algumas patologias podem causar danos específicos à medula, prejudicando seu funcionamento. Você verá aqui algumas delas.

- **Tabes Dorsalis:** processo decorrente da infestação do sistema nervoso central pelo *Treponema pallidum*, o agente etiológico da sífilis. Estes microorganismos apresentam afinidade pelos corpos celulares das fibras do cordão dorsal, levando à destruição destas. A sintomatologia resultante é a perda da sensibilidade tátil discriminativa e da cinestésica, sem afetar, no entanto, as qualidades conduzidas pelos feixes espino-talâmicos: a sensibilidade térmica e dolorosa e uma pequena parte do componente tátil não-discriminativo.

- **Siringomielia:** afeta o tecido endimário provocando uma hipertrofia do canal central da medula, causando compressão e conseqüente bloqueio das fibras que cruzam próximo ao canal central para formar os feixes espino-talâmicos. O processo resulta em uma perda da sensibilidade térmica e dolorosa bilateral restrita ao segmento afetado. Outros processos patológicos, tumores intra e extramedulares, hematomas e outras causas de compressão medular podem ocasionar perda da sensibilidade na região corporal correspondente ao segmento medular atingido.

- **Síndrome de Brown-Sequard:** no setor sensorial, esta síndrome é caracterizada por uma região de perda da sensibilidade cutânea total, **IPSOLATERAL**, restrita ao segmento da lesão; uma perda ipsolateral dos componentes tátil, discriminativo e cinestésico abaixo do nível da lesão e um comprometimento da sensibilidade térmica e dolorosa do lado contralateral, abaixo do nível da lesão. Esta síndrome pode ser resultante de tumores, hematomas ou traumatismos medulares.

IPSOLATERAL

Em contraposição a denominação “contralateral”, podemos dizer que as fibras que seguem sempre por um lado do corpo sem cruzar para o outro são fibras ipsolaterais.

CLASSIFICAÇÃO DE BRODMANN

Korbinian Brodmann (1864-1915) foi um neuroanatomista que dividiu, com base na organização das camadas (citoarquitetônica), o córtex cerebral em 47 diferentes áreas. Veja na **Figura 9.15** da Aula 9 este mapa de áreas proposto por Brodmann.

REPRESENTAÇÃO CORTICAL

Após estabelecer sinapses ao nível do núcleo ventroposterior do tálamo, a via somática prossegue até o córtex cerebral. Esta projeção é feita sobre as áreas corticais imediatamente posteriores ao sulco central, no giro pós-central (**Figura 8.11.a**). Esta região corresponde às áreas 3, 1 e 2, segundo a **CLASSIFICAÇÃO DE BRODMANN**. Semelhantemente ao que aparece na medula, as fibras chegam ordenadamente ao córtex, mantendo uma organização espacial.

A projeção tálamo-cortical é essencialmente ipsolateral, ou seja, não há cruzamento de fibras entre tálamo e córtex. Assim, temos ao nível das áreas 3, 1 e 2 a representação da superfície corpórea contralateral, estando a cabeça representada na porção mais lateral do sulco central, e o membro inferior em sua porção mais dorsal, próximo ao sulco inter-hemisférico (Figura 8.11.b).

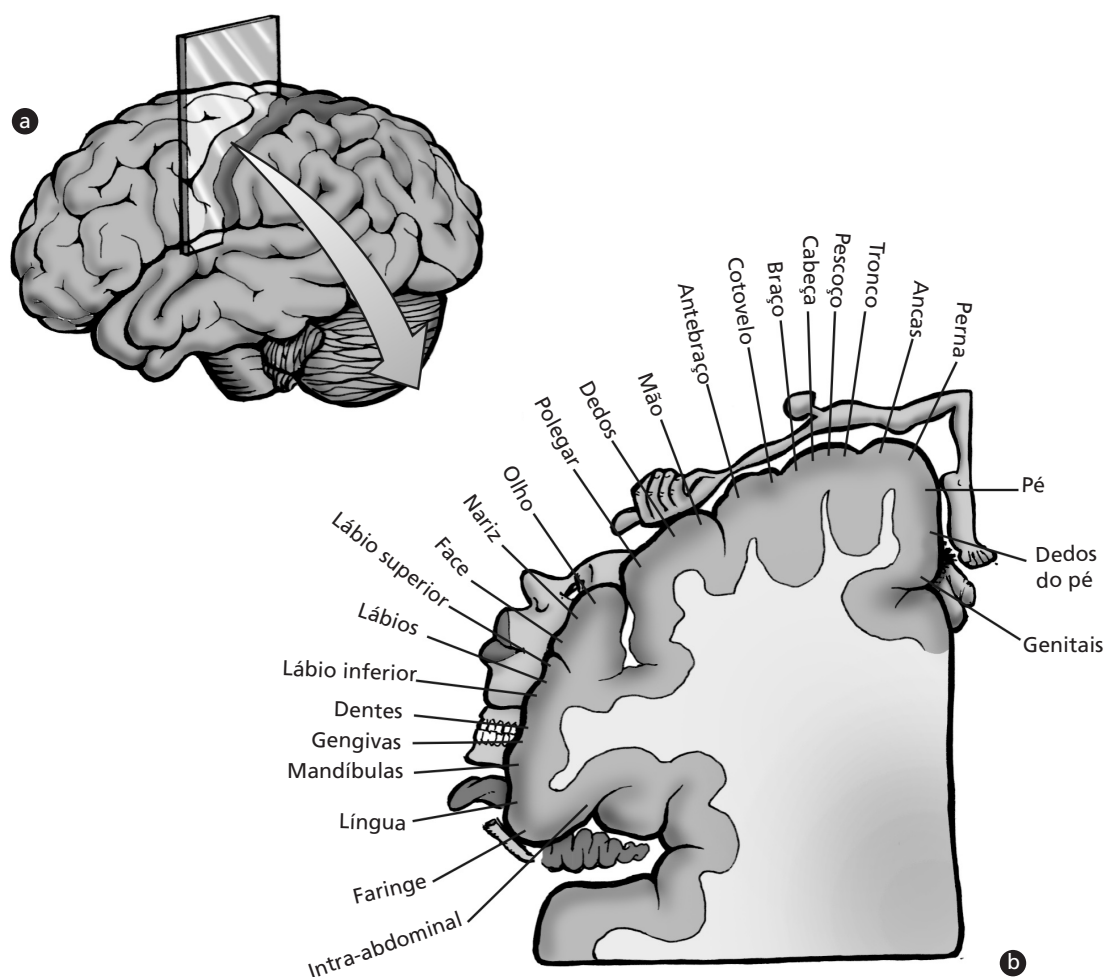


Figura 8.11: (a) Vista lateral de um encéfalo, evidenciando a região do córtex somestésico primário; (b) é uma "fatia" retirada desta região, onde está representada a superfície corporal do indivíduo.

SOMATOTOPIA

Organização ponto a ponto do córtex representada no córtex cerebral.

PENFIELD

Neurocirurgião canadense que estimulou diferentes pontos do córtex cerebral de paciente sob anestesia local. Desta forma, localizou as áreas de representação da superfície corporal e propôs a figura do homúnculo.

A esta região de projeção **SOMATOTÓPICA**, localizada nas áreas 3, 1 e 2, reservamos a denominação área primária da sensibilidade somática ou córtex somestésico primário, ou abreviadamente S1. No entanto, não é esta a única região de representação cortical da sensibilidade somática. Existe na porção mais ventral do lobo parietal, parcialmente oculta no interior do sulco lateral, uma outra região de projeção que denominamos área secundária ou S2. Encontramos também em S2 um arranjo espacial, estando a totalidade do corpo representada sem, no entanto, a mesma riqueza de detalhes observada em S1.

A representação da superfície corporal não reflete, porém, a extensão da superfície que reproduz, mas sim a densidade de receptores existentes nestas. Assim, áreas ricamente inervadas, como os lábios e os dedos das mãos, ocupam uma porção cortical mais extensa do que áreas de menor inervação, como o dorso ou a panturrilha. Temos, assim, a representação cortical deformada que gera o homúnculo (**Figura 8.12**), sugerido por **PENFIELD** (1891-1976) em seus estudos de eletrofisiologia com pacientes humanos acordados. Volte à **Figura 8.5** e veja como a densidade de receptores é alta na ponta dos dedos quando comparada à região da panturrilha. Você consegue perceber que esta grande densidade é o fator essencial para que a representação de uma parte do corpo ocupe grande extensão cortical?

O tamanho real de nossa mão é certamente menor do que o do nosso tórax, mas sua área de representação no córtex é, proporcionalmente, muito maior. O que o córtex “vê” não é o tamanho real, mas sim a densidade de receptores.

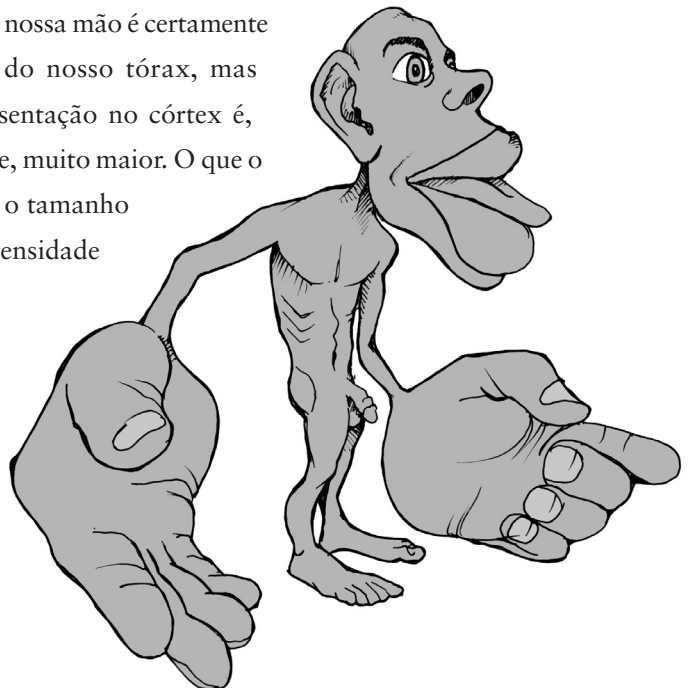


Figura 8.12: Homúnculo de Penfield, mostrando a deformação da representação cortical do espaço corpóreo, segundo a densidade de inervação das diferentes regiões.

A informação somestésica não se restringe somente a S1. Há também processamento somestésico em S2 e em outras áreas denominadas associativas. A complexidade da informação somestésica é progressivamente maior fora da área primária, e é por isso que somos capazes de reconhecer bordas, contornos e ângulos a partir da palpação de objetos. Além disso, estas informações são também integradas em áreas associativas com informações visuais, por exemplo, o que nos confere a capacidade de localizar objetos no espaço e correlacionar sua característica visual com sua impressão tátil. A integração de informações táteis com nosso “léxico” mental (dicionário de palavras disperso em nosso córtex cerebral, sobre o qual falaremos melhor na Aula 9) nos permite nomear objetos e correlacioná-los com elementos conhecidos e familiares.



ATIVIDADES

4. Indique os níveis da via somestésica protopática e epicrítica onde ocorrem sinapses.

RESPOSTA COMENTADA

Sistema protopático: carrega informações de tato grosseiro, dor e temperatura. Faz uma primeira sinapse na medula, quando o axônio do neurônio receptor penetra no corno dorsal. Depois faz sinapse no tálamo e no córtex somestésico primário. Parte das fibras faz sinapse também em núcleos pontinos e mesencefálicos.

Sistema epicrítico: carrega informações de tato fino e propriocepção. Não faz sinapse na medula. Sua primeira estação sináptica se dá no bulbo e depois no tálamo e, finalmente, no corte somestésico primário.

5. Correlacione a organização dos nervos espinhais com a superfície corpórea inervada (conceito de dermatômos).

RESPOSTA COMENTADA

As regiões do nosso corpo podem ser delimitadas, segundo sua posição embrionária, e correlacionadas com os nervos espinhais que irão inervá-las. Assim, as regiões mais inferiores do nosso corpo são inervadas por segmentos medulares sacrais, ao passo que regiões mais superiores são inervadas por segmentos cervicais. Assim, nosso corpo aparece “fatiado” em dermatômos.

6. Por que a representação corporal cortical é deformada, formando a figura do homúnculo?

RESPOSTA COMENTADA

A representação corporal não depende diretamente da extensão da superfície corporal à qual ela se refere, mas da densidade de inervação existente. Desse modo, regiões com alta densidade de receptores, como a ponta dos dedos, ocupam uma grande extensão cortical. Assim, regiões de dedos, mãos e lábios têm uma grande representação.

7. Proponha a algum amigo a seguinte brincadeira: você, com uma caneta hidrocor azul, deverá tocar, numa seqüência aleatória, a pele dos dedos, a palma da mão e o antebraço dele, que terá os olhos vendados durante toda a brincadeira. Ele, de posse de uma hidrocor vermelha, sempre de olhos vendados, tentará, imediatamente depois do seu toque, marcar a mesma região que você tocou. Que ocorre? Onde há mais acertos? E mais erros?

RESPOSTA COMENTADA

Nas regiões de maior sensibilidade, os pontos feitos por seu amigo vendado serão bem próximos aos seus, ficando mais distantes nas regiões de mais baixa densidade de inervação. Mais acertos: dedos. Mais erros: antebraço.

DOR

A dor é uma sensação de mal-estar, normalmente relacionada a algum grau de acometimento tecidual. É uma modalidade sensorial extremamente subjetiva, de difícil interpretação e classificação. Durante muito tempo, acreditou-se que a dor resultava da estimulação, por demais intensa, de receptores sensíveis a outras modalidades. Hoje em dia, já se sabe que, na realidade, a dor é por si uma das modalidades da sensibilidade somática. O estudo da dor é de grande interesse não apenas para os fisiologistas que procuram esclarecer os mecanismos responsáveis pelas sensações, como também para os clínicos, pois este é o sinal que, em maior frequência, leva o paciente a procurar tratamento médico.

Mas, afinal, para que serve a dor? Por que uma sensação de desconforto tão grande foi selecionada pela Natureza? Simples: questão de sobrevivência! Aprendemos com a dor! Imagine a seguinte situação: o bico do fogão aceso e uma criança por perto. Apesar de a criança ouvir a frase “Meu filho, sai daí, fogo queima!” inúmeras vezes, ela insiste e põe a mão no fogo. Esta foi certamente a primeira e última vez que tentou fazê-lo, e por quê? Porque doeu! Se não tivesse doído, talvez ela tivesse insistido em fazer de novo. Desde cedo aprendemos a nos afastar de estímulos que nos causem dor. Portanto, apesar de desconfortável, a dor é útil. É um sinal de que algo não anda bem, tanto no nosso meio interno quanto no externo.

RECEPTORES E VIAS DE PROCESSAMENTO

Não há especialidade quanto à natureza do estímulo responsável por esta modalidade, de forma que estímulos elétricos, mecânicos, valores extremos de frio e calor ou produtos químicos são igualmente eficazes. O fisiologista inglês Sherrington (1857-1952) foi o primeiro a chamar a atenção para o fato de que esses diversos tipos de estímulo apresentavam como denominador comum um efeito básico sobre as células e propôs o termo nociceptivo para designá-los.

Não parece haver um tipo de receptor morfológicamente distinto responsável pela detecção de estímulos dolorosos. Sabe-se que terminações nervosas livres de fibras de pequeno diâmetro, encontradas em praticamente todos os tecidos, são os elementos responsáveis. Como

você pode ver na **Figura 8.7**, nos troncos nervosos as informações dolorosas são carreadas por grupos de fibras amielínicas e por fibras mielínicas de pequeno diâmetro.

Observações experimentais e clínicas sugerem que o aparecimento da dor está relacionado com a destruição tecidual. Substâncias potencialmente capazes de estimular terminações nervosas são liberadas pelas próprias células lesadas ou por células do sistema imune que migram para o local da lesão. Dentre essas substâncias, podemos destacar:

- bradicinina, que age ativando nociceptores e regulando a liberação de prostaglandina E2 por células vizinhas à lesão;
- metabólitos do ácido aracdônico, dentre eles, a prostaglandina E2 que gera hiperalgesia; serotonina, ATP e acetilcolina, que podem agir sozinhos ou em combinação para sensibilizar os nociceptores para os outros agentes;
- substância P, que pode agir diretamente no local, produzindo vasodilatação e conseqüente edema e aumento na infiltração de células do sistema imune, e indiretamente, pela ativação de mastócitos e linfócitos, que por sua vez passam a liberar substâncias como a histamina, que excita nociceptores polimodais e por conseguinte atua na reação inflamatória (**Figura 8.13**).

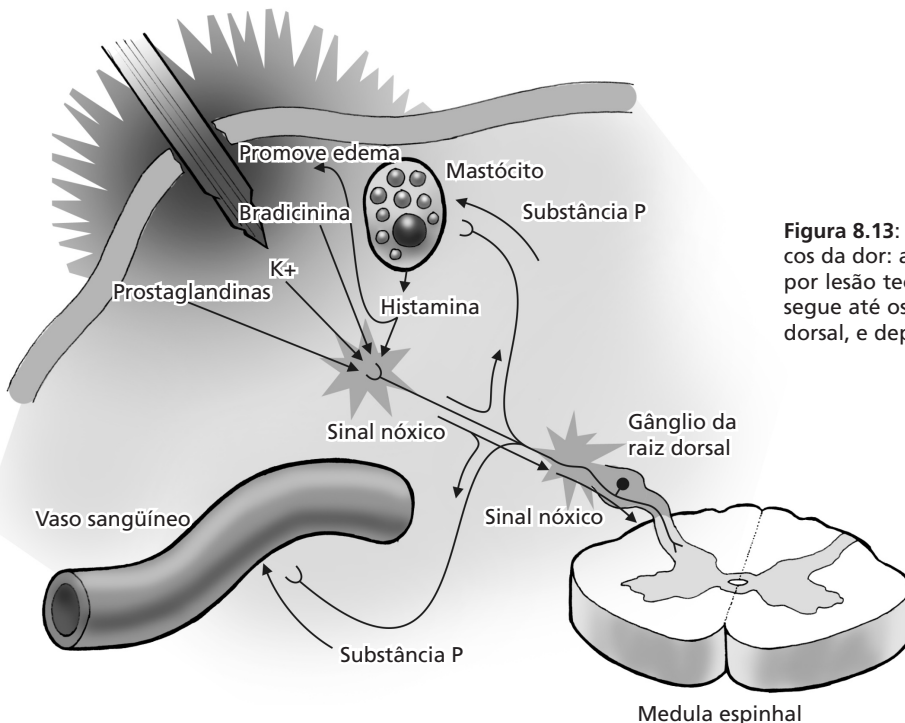


Figura 8.13: Mediadores químicos periféricos da dor: ativação dos receptores de dor por lesão tecidual. A informação dolorosa segue até os neurônios do gânglio da raiz dorsal, e depois para a medula.

Como você já viu, os elementos responsáveis pela sensibilidade dolorosa estabelecem sinapses no corno dorsal com células que enviam seus axônios através da comissura medular anterior, vindo a participar na formação do feixe espino-talâmico ântero-lateral. Estes irão estabelecer conexões com centros superiores, como você pode observar na **Figura 8.9.a**. As aferências dolorosas estabelecem ligações sinápticas com diversas estruturas ao nível do tronco cerebral e do diencefalo. Importantes ligações são feitas com neurônios da porção medial da formação reticular do tronco cerebral. Esses neurônios, por sua vez, através de vias multissinápticas, enviam projeções para os núcleos ventrais do tálamo e para núcleos da linha média. Outros elementos do feixe espino-talâmico irão terminar diretamente sobre os núcleos talâmicos ventrais e da linha média. Essas diversas estruturas talâmicas enviam projeções para extensas áreas corticais (projeções difusas). As projeções corticais parecem ser importantes para a integração da percepção dolorosa e para o processar e compreender a dor como uma sensação ruim.

LOCALIZAÇÃO DA DOR

Quando um estímulo é aplicado à superfície corpórea, as estruturas centrais responsáveis por sua detecção ao nível consciente assinalam sua presença e permitem localizar esse estímulo em uma determinada porção da superfície corpórea, como o fazemos para estímulos táteis. Por exemplo, quando comprimimos o nervo cubital na região do cotovelo (aquele que dá um “choque” quando batemos o cotovelo), estamos ativando fibras nervosas que enviam mensagem aos centros superiores. Esses centros interpretam a mensagem promovendo uma sensação que parece surgir da região onde as fibras ativadas têm origem: sentimos uma sensação de formigamento no dedo mínimo, região inervada pelo nervo cubital. Esta precisão topográfica é mais evidente para estímulos localizados na superfície cutânea (dor superficial) do que em estruturas profundas (dor profunda).

Sensações dolorosas podem ter origem nos mais diversos órgãos e tecidos que compõem o corpo humano, permitindo assim uma classificação baseada em seu local de origem em: somática, superficial (de origem cutânea) ou profunda (de origem em músculos, aponeuroses,

tendões e articulações); e visceral, originária das vísceras torácicas e abdominais. As dores superficial e profunda atingem o sistema nervoso central por meio de nervos somáticos. A superficial se origina de estruturas cutâneas. Já a dor profunda tem origem em estruturas somáticas situadas abaixo da superfície cutânea. Sua localização é difusa, já que a dor tende a se irradiar. Essa dor pode ser causada por estímulos mecânicos ou pela presença de substâncias químicas endógenas ou exógenas. Um exemplo de dor profunda é aquela decorrente da contração muscular em condições de isquemia, como nas câimbras musculares.

Diferente da dor superficial e profunda, a dor visceral ganha acesso aos centros superiores por meio de nervos que fazem parte do sistema autônomo, principalmente os do componente simpático. Em condições normais, todas as vísceras têm uma baixa sensibilidade à dor, podendo ser cortadas, pinçadas ou mesmo cauterizadas sem dar origem a sensações dolorosas. Os estímulos mais eficazes para promoção da dor visceral são a distensão súbita, os espasmos e contrações mantidas principalmente quando há isquemia, assim como a presença de substâncias químicas e irritações mecânicas.

DOR REFERIDA

Podemos dizer que se trata de um erro sistemático de projeção. A dor que ocorre em consequência de estímulos nocivos em uma víscera é sempre referida a um ponto característico da superfície cutânea. A região à qual a dor é referida não corresponde à projeção da víscera na superfície cutânea e sim à região cutânea de origem embriológica comum. Diversas teorias têm sido propostas para explicar o fenômeno da dor referida. A mais aceita atualmente propõe que aferentes viscerais e somáticos compartilhem de projeções comuns sobre um mesmo neurônio medular. Assim, a mensagem enviada ao Sistema Nervoso Central é interpretada como sendo proveniente do território cutâneo de onde se origina o aferente somático (**Figura 8.14**).

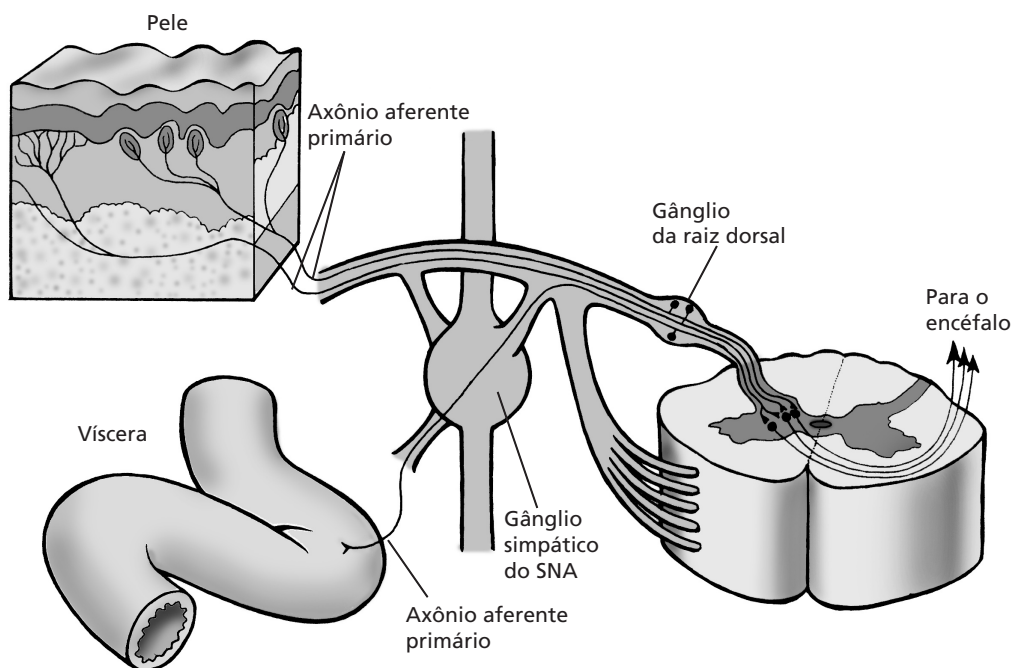


Figura 8.14: Os estímulos originados da pele e em órgãos de um dado segmento corporal excitam fibras de neurônios diferentes, situados num mesmo gânglio da raiz dorsal. Estes estímulos superficiais e viscerais convergem para o mesmo segmento medular, muitas vezes gerando confusão no sistema e causando a dor referida.

PERCEPÇÃO E REAÇÃO À DOR

Os tipos de dor são mais facilmente relatados por uma comparação a um tipo de estímulo. Assim, costumamos dizer: “Sinto como que uma alfinetada.” Também podemos nos referir a uma dor latejante (do latim *latere* = bater), em que o caráter desse tipo de dor se deve às pulsações transmitidas pelos vasos sangüíneos à região lesada. Sensações dolorosas originárias de estruturas viscerais são freqüentemente acompanhadas de marcadas alterações no tônus do sistema nervoso autônomo, levando ao aparecimento de sudorese, náuseas e hipotensão. Você verá estas características autonômicas mais à frente, na Aula 11.

Mais do que qualquer modalidade sensorial, a dor depende de efeitos modulatórios exercidos pelo SNC. O limiar absoluto da reação dolorosa é praticamente idêntico em todos os indivíduos, porém, a reação à dor varia de um indivíduo para outro. Sabe-se que indivíduos por treinamento, transe religioso ou após manipulações mecânicas como a acupuntura não apresentam reações a estímulos que seriam insuportáveis fora dessas situações.

CONTROLE ENDÓGENO DA DOR

Quando éramos pequenos e batíamos com a cabeça, ou prendíamos o dedo na porta, nossas mães vinham rapidamente e afagavam o local machucado. Elas aprenderam com nossas avós, que, por sua vez, já viam nossas bisavós fazerem os mesmo.

Mas, afinal, o efeito do carinho após machucar-se seria apenas psicológico? A resposta é não, e a explicação fisiológica é relativamente simples. Como você pode observar na **Figura 8.15**, o circuito medular responsável por propagar o sinal de dor está indiretamente conectado a fibras de tato. A fibra C que traz informações dolorosas excita o neurônio medular, cujo axônio irá compor o feixe ântero-lateral, e ao mesmo tempo inibe um **INTERNEURÔNIO** responsável por manter este neurônio de projeção inibido. Aí sentimos dor. Quando as fibras de tato são excitadas, elas estimulam o mesmo interneurônio medular, que aumenta, então, a inibição do neurônio de projeção. Aí a sensação dolorosa diminui. Esta teoria é chamada teoria do portal (ou das comportas) e envolve exclusivamente os circuitos locais da região do corno dorsal medular. Olhe cuidadosamente a **Figura 8.15** para compreender como inibindo ou excitando um neurônio inibitório podemos modular uma via.

INTERNEURÔNIO

Em geral são neurônios de corpo celular pequeno cujo neurotransmissor é inibitório (em sua maioria GABA) e que se interpõem nos circuitos, podendo, com grande eficiência, modulá-los.

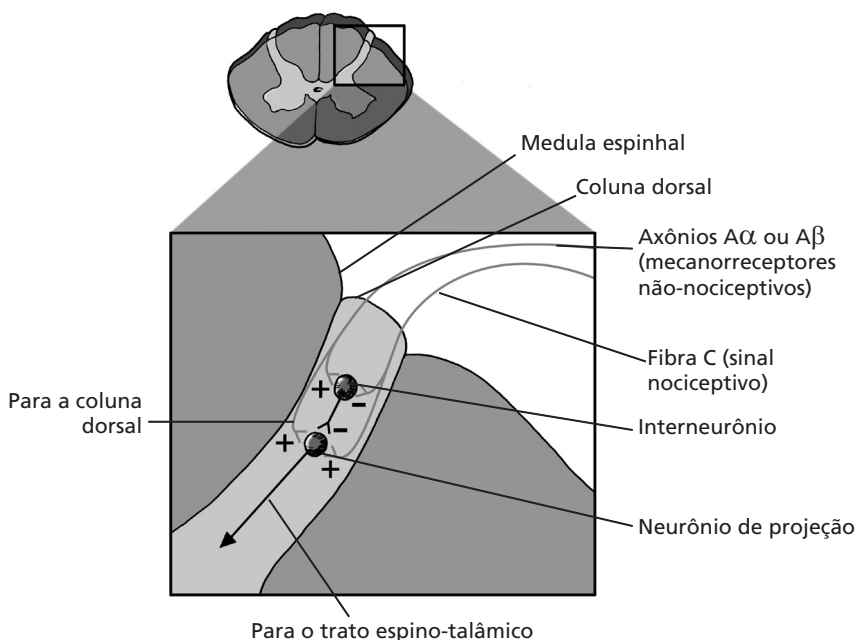


Figura 8.15: Note que as fibras de dor (do tipo C) e de tato (do tipo A) que chegam ao corno posterior da medula fazem sinapse com os mesmos neurônios, mas têm ação oposta. As fibras de tato estimulam o neurônio inibitório que diminui a ativação do neurônio que carrega a informação dolorosa. Desta forma, simples conexões locais entre neurônios de projeção e interneurônios do corno dorsal da medula modulam a percepção da dor.

A transmissão de estímulos nociceptivos não só na medula, mas também em outro ponto da via, como no bulbo, pode ainda ser regulada por mecanismos centrais da **VIA DOS OPIÓIDES ENDÓGENOS** liberados por neurônios que contêm dimorfina e encefalina. Estas substâncias funcionam como verdadeiros neurotransmissores e diminuem a ativação das fibras de dor. Sabe-se que existem vias descendentes que partem da substância cinzenta periaquedutal no mesencéfalo, como você pode observar na **Figura 8.16**. Estes neurônios liberam opióides próximo aos sítios sinápticos de terminais de fibras aferentes nociceptoras e regulam a transmissão sináptica neste local. Esta ativação se dá tanto no terminal pré-sináptico (diminuição da liberação de neurotransmissor) quanto na fibra pós-sináptica (suprimindo a atividade neuronal). Normalmente, os níveis destes opióides endógenos não são elevados, mas quando ocorre uma situação de estresse, níveis endógenos de opióides sobem para aliviar a dor provocada. Exercícios extremos também podem desencadear uma maior liberação de opióides no intuito de diminuir a dor causada pelo desgaste físico. A morfina, muito utilizada em situações médicas de dor extrema, como no câncer ou em amputações, é um análogo desses opióides endógenos e age por este mecanismo.

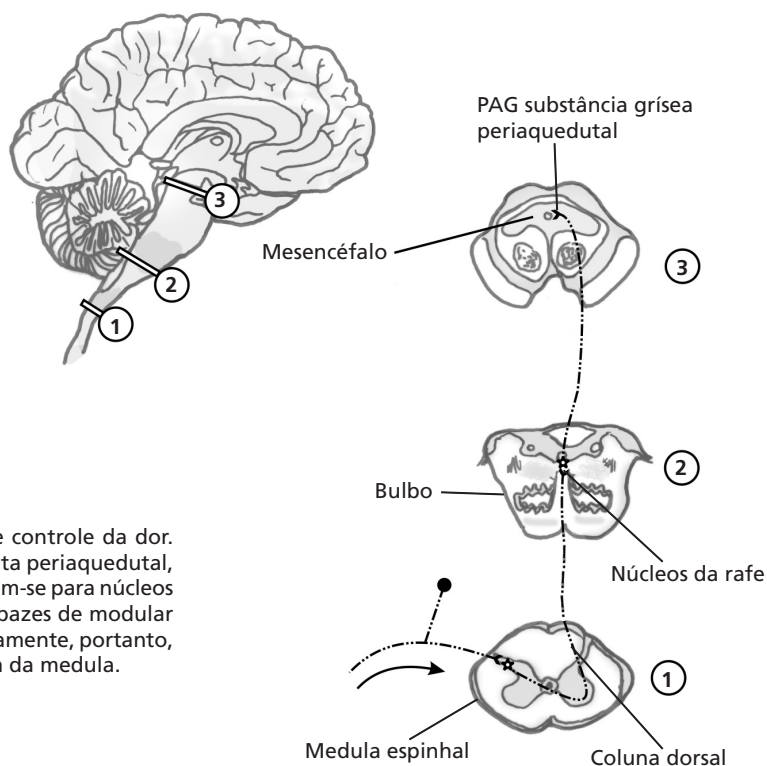


Figura 8.16: Vias descendentes de controle da dor. Os neurônios da substância cinzenta periaquedutal, localizada no mesencéfalo, projetam-se para núcleos da rafe pontina e bulbar e são capazes de modular sua atividade, modulando, indiretamente, portanto, o fluxo de informação nociceptiva da medula.

VIA DOS OPIÓIDES ENDÓGENOS

Sistema de regiões neurais conectadas às vias aferentes nociceptivas que modulam ou bloqueiam a passagem da informação de dor que ascende para o córtex cerebral. Para isso, utilizam substâncias opióides semelhantes à morfina como mediadores químicos.

Anestesia & Analgesia

Utilizamos a expressão “analgesia” para definir um estado de diminuição da sensação de dor. A analgesia pode ocorrer simplesmente ao se reduzir, no tecido lesado, a liberação de substâncias que sensibilizam o receptor (como é o exemplo da aspirina, que age na via do ácido aracdônico, diminuindo a produção de prostaglandinas), ou por impedir a propagação do estímulo doloroso.

Em contrapartida, o termo “anestesia” significa perda da sensibilidade a estímulos e é classificada em anestesia geral e anestesia local (isto é, regional). A anestesia geral é um estado induzido por um ou por uma combinação de agentes, propiciando uma depressão reversível do Sistema Nervoso Central, incluindo inconsciência.

Além da perda de consciência, a anestesia geral é caracterizada pela analgesia, amnésia, e é acompanhada de relaxamento muscular e perda dos reflexos motores. Já a anestesia local é uma condição que resulta no bloqueio da transmissão sensorial a partir de uma região do organismo para o Sistema Nervoso Central.

Em contraste com os anestésicos gerais, os anestésicos locais constituem um grupo de agentes quimicamente semelhantes entre si que bloqueiam os canais de sódio nas membranas excitáveis, impedindo a propagação de potências de ação nos nervos. Como estes agentes podem ser administrados localmente através da aplicação tópica ou por meio de injeção na região-alvo, o efeito anestésico pode ficar restrito a uma área delimitada.

No entanto, é importante lembrar que quando administrados de forma endovenosa, os anestésicos locais terão efeitos em outros tecidos. Por fim, a anestesia pode ainda ser induzida por métodos não-químicos, como a hipotermia, apropriada em certas condições por reduzir o metabolismo tecidual e a probabilidade de danos isquêmicos cardíacos ou cerebrais.

ATIVIDADES



8. Em que aspectos a via anatômica da dor difere daquela do tato?

RESPOSTA COMENTADA

Há basicamente, duas grandes diferenças. A via dolorosa faz uma primeira sinapse na medula e cruza para o lado contralateral no mesmo segmento medular, indo compor o feixe ântero-lateral. A via tátil não cruza ao nível da medula, mas ao nível do bulbo, seguindo até ele pelo fascículo posterior. O restante da via é comum aos dois. A via da dor apresenta ainda fibras que fazem sinapses em núcleos pontinos e na substância cinzenta periaquedutal do mesencéfalo.

9. Quais os principais mecanismos conhecidos de controle endógeno da dor?

RESPOSTA COMENTADA

O mecanismo das comportas e o das endorfinas. No primeiro, a inibição de um neurônio inibitório no corno dorsal da medula libera a via da dor, e sua liberação reduz a transmissão dolorosa. No segundo, vias descendentes provenientes do mesencéfalo liberam substâncias analgésicas endógenas, que reduzem a transmissão dolorosa em qualquer ponto da via ascendente.

A percepção do mundo externo por nossos receptores táteis e dolorosos é essencial para que possamos internalizar e processar informações que preservem nosso bem-estar e a nossa sobrevivência. Aprendemos aqui a encarar a somestesia como uma das vias de entrada de informação para o organismo, que, aliada à visão, à audição, ao olfato e à gustação, possibilita nossa exploração completa de nosso mundo. Apesar da informação existente e de as vias que ela percorre serem semelhantes em todos os indivíduos, seu processamento e interpretação são complexos e particulares a cada um, dependendo de experiências prévias e de memória.

RESUMO

A interação com o mundo que nos cerca é possível, pois possuímos estruturas para perceber os estímulos externos, um desses é o tato. A captação da informação tátil (ou somestésica, como chamamos nesta aula) se dá por inúmeros receptores espalhados pela superfície do nosso corpo e em nossos músculos e articulações. Cada receptor apresenta características específicas que lhe conferem seletividade de resposta a diferentes estímulos, como dor, temperatura, pressão e vibração. A densidade destes receptores varia de acordo com a região corporal, sendo maior em regiões como os lábios e as pontas dos dedos, e menor na região das costas e da panturrilha.

A informação captada periféricamente é transmitida pelos neurônios do gânglio da raiz dorsal para a medula e de lá ascendem para regiões mais superiores em nosso SNC. Em vários pontos da via ocorrem sinapses, como na medula, no tronco encefálico e no tálamo, até que a informação chegue ao córtex somestésico primário (S1).

O córtex somestésico primário fica localizado no giro pós-central de cada um dos hemisférios cerebrais, e nele existe uma representação ponto a ponto da superfície corporal.

A informação inicialmente processada por S1 é passada para áreas secundárias de processamento somestésico e integrada em córtices associativos com informações de outras naturezas, como a visão. Desta forma, podemos perceber o mundo ao nosso redor e interagir com ele, aprendendo progressivamente.

ATIVIDADE FINAL

Agora que você já tem um bom conhecimento sobre o sistema somestésico, chame algum amigo e tente realizar o experimento proposto a seguir. Para isso, você precisará de lixas de gramaturas diferentes (sugestão: 24, 36, 40, 120, 150), que você poderá comprar em qualquer loja de material de construção.

Experimento: Comparar, a partir apenas do toque, a gramatura das diferentes lixas. Oferecer as lixas ao sujeito experimental (um amigo, seu irmão, sua mãe), fora de ordem, para que sejam apenas tocadas. A pessoa deverá utilizar *sempre* o mesmo dedo para a testagem. Você deverá preencher na tabela as informações certas (✓) e erradas (✗). Após completar a primeira tabela, repita a sequência, mas agora o sujeito testado não deverá só tocar, mas deslizar o dedo sobre a lixa. Preencha novamente a tabela e compare com a tentativa anterior. Que tipos de receptores estão sendo estimulados para detectar este estímulo? Em qual das circunstâncias foi mais fácil definir a gramatura? Por quê?

Gramatura (tocando)	24	36	40	120	150
24					
36					
40					
120					
150					
Gramatura (deslizando)	24	36	40	120	150
24					
36					
40					
120					
150					

RESPOSTA COMENTADA

Os receptores utilizados quando a pessoa apenas toca a superfície são todos os mecanorreceptores. Quando o dedo desliza sobre a superfície, há ativação preferencial dos receptores de adaptação rápida, como os de Meissner (superficiais) e os de Pacini (profundos), capazes de detectar vibrações. Isto é que nos torna capazes de detectar a gramatura da lixa. Deslizando o dedo será certamente mais fácil de dizer se as lixas são de grãos mais finos ou mais grossos, mas, mesmo assim, para lixas de gramaturas muito semelhantes, a pessoa terá dificuldade de relatar diferença.

AUTO-AVALIAÇÃO

Você conseguiu responder a todos os exercícios? Para isso, retorne sempre ao texto, já que as aulas de Sistema Nervoso apresentam frequentemente conceitos novos e seu conteúdo é extenso. É essencial que você termine esta aula tendo em mente que o sistema somestésico (assim como os demais que veremos nas próximas aulas) é um sistema de entrada de informação, que será processada pelo Sistema Nervoso. As informações táteis e dolorosas nos permitem conhecer, interagir e interpretar o mundo a nossa volta.

INFORMAÇÕES PARA A PRÓXIMA AULA

Na Aula 9 estudaremos um outro sentido de extrema importância para os seres humanos: a visão. Veremos a estrutura de nosso olho, como ela nos permite captar as informações luminosas do meio e convertê-las em uma linguagem conhecida para o SNC. Estudaremos as vias de processamento e as características do sistema visual que o tornam tão fascinante.

Como vemos o mundo que nos cerca

AULA 9

Meta da aula

Descrever os mecanismos neurais relacionados à visão e a seu processamento.

objetivos

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

- Caracterizar o olho humano e a estrutura da retina.
- Conceituar campo visual e compreender a importância da segregação da informação visual dos dois olhos.
- Descrever a via visual até o córtex cerebral.
- Relacionar aspectos importantes do processamento visual cortical.

Pré-requisitos

Para que você possa acompanhar esta aula, não deixe de voltar às Aulas 7 a 14 de Biologia Celular I, à Aula 10 de Biologia Celular II, e à Aula 5 deste módulo.

INTRODUÇÃO

O sistema visual tem sido utilizado nas últimas décadas como um importante modelo para a compreensão do Sistema Nervoso Central e, em particular, como modelo de estudo dos sistemas sensoriais. A informação visual é processada em estágios sucessivos desde o olho – onde existem células especializadas em converter a energia luminosa em atividade elétrica – até o córtex cerebral, onde informações de cor, forma e movimento são decodificadas. Nesta aula, você conhecerá a estrutura do órgão da visão, sua via e a complexidade de seu processamento.

PROPRIEDADES DA LUZ

Vamos lembrar aqui alguns conceitos de Física que aprendemos no Ensino Médio. Chamamos luz uma parte de todas as radiações eletromagnéticas existentes na Natureza. Estas radiações, capazes de sensibilizar nossos olhos, têm comprimento de onda entre 400 e 700nm, uma faixa bem estreita quando comparada a todas as radiações eletromagnéticas conhecidas (**Figura 9.1.a**). A luz tem dois parâmetros físicos essenciais: a amplitude e o comprimento de onda (distância entre dois picos ou entre dois vales). Enquanto a amplitude codifica a intensidade luminosa, o comprimento

de onda representa a cor percebida (**Figura 9.1.b**).

Os raios luminosos interagem com os átomos e moléculas da atmosfera e dos objetos ao nosso redor. A luz pode ser refletida quando um objeto não deixa passar a energia por sua superfície; absorvida, quando a energia luminosa é transferida para o objeto; ou refratada, quando a onda luminosa sofre uma alteração na sua trajetória ao passar através de objetos transparentes.

A imagem em nossos olhos é formada por refração.

Quando apresentarmos a estrutura do olho, veremos como isso ocorre.

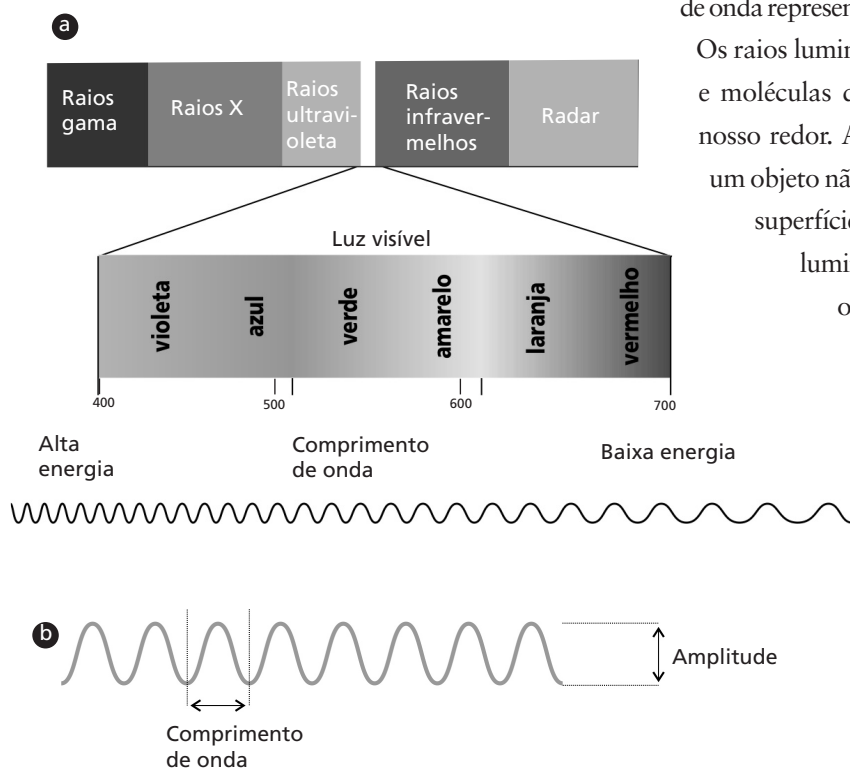


Figura 9.1: (a) O espectro dos raios eletromagnéticos. As radiações que apresentam comprimento de onda entre 400 e 700 nm são visíveis ao olho humano e codificam diferentes cores. (b) O comprimento de onda e a amplitude são características de qualquer onda, e são parâmetros essenciais para a informação luminosa.

ESTRUTURA DO OLHO

Numa visão frontal, a porção mais central do olho é a pupila, que pode regular a entrada da luz ao se contrair ou ao dilatar-se. A pupila nos parece preta, pois é um orifício por onde entra a luz. Colocando-se um raio luminoso e uma lente de aumento bem próximo à pupila, conseguimos enxergar no interior de nosso olho. É o que os oftalmologistas e neurologistas fazem com o uso de um oftalmoscópio.

Ao redor da pupila está a íris (a porção que proporciona a cor diferenciada entre os olhos), onde estão os músculos que controlam o grau de abertura da pupila. A pupila e a íris são recobertas em sua superfície externa (transparente) pela córnea, uma primeira lente onde incidem os raios luminosos. A córnea é contínua à esclera, que corresponde a toda a região branca em nosso olho (Figuras 9.2.a e b). Inseridos na esclera temos três pares de músculos, os **MÚSCULOS EXTRA-OCULARES**, responsáveis pelo movimento do olho no interior da órbita (Figura 9.2.b).

MÚSCULOS EXTRA-OCULARES

Pequenos músculos que se inserem no globo ocular, responsáveis por sua movimentação para os lados, para cima e para baixo. É importante notar que a ação desses músculos é compassada, de forma que os dois olhos dirigem-se para um mesmo estímulo ao mesmo tempo. São ao todo seis: reto lateral, reto medial, oblíquo superior, oblíquo inferior, reto superior e reto inferior.

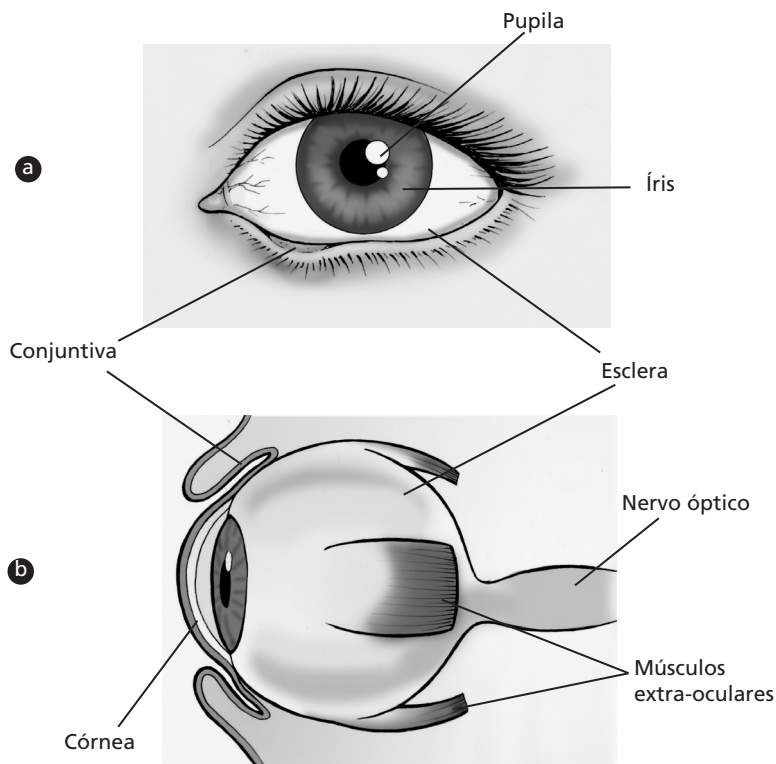


Figura 9.2: (a) Vista frontal do olho humano evidenciando todas as estruturas externas, sem remoção de tecido: esclera, conjuntiva, íris, pupila e pálpebras. (b) Vista lateral do globo ocular, retirada a pele, evidenciando a córnea e expondo parte dos músculos extrínsecos do olho (reto lateral, oblíquos superior e inferior), o nervo óptico e as demais estruturas presentes em (a).

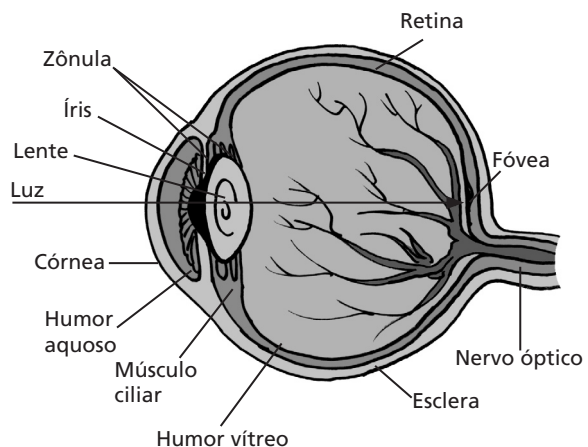
HUMOR AQUOSO

Líquido cristalino que preenche a câmara anterior do olho, entre a córnea e o cristalino, banhando-os. É composto de água, aminoácidos, ácido ascórbico e talvez glicose.

HUMOR VÍTREO

Preenche a câmara posterior do olho, entre o cristalino e a retina. É mais viscoso do que o humor aquoso. Manter sua pressão é essencial para que o globo ocular fique sempre esférico.

Figura 9.3: Corte sagital do olho, evidenciando uma câmara anterior e outra posterior. No fundo da câmara posterior situa-se a retina, onde os estímulos visuais são inicialmente processados e decodificados em impulsos elétricos para o SNC.



No corte sagital do olho, observamos também o percurso que a luz deve percorrer até atingir a retina: córnea -> humor aquoso -> cristalino -> humor vítreo -> retina.

O feixe luminoso é difratado pela córnea e pelo cristalino, mudando a direção da onda em relação ao ângulo de incidência na superfície do olho. Assim, atravessa o humor vítreo até alcançar a retina.

Na retina, o feixe deve atravessar todas as camadas deste tecido até chegar aos segmentos externos dos fotorreceptores, onde se inicia todo o processo de transdução do sinal luminoso, a partir da absorção de fótons pelos pigmentos visuais (**Figura 9.4**).

Após conversão do sinal luminoso em sinal elétrico, a informação visual é processada e decomposta em qualidades específicas através dos demais tipos neuronais da retina, de modo que ao final estas qualidades convergem para as células ganglionares. Estas células são os neurônios de projeção da retina, responsáveis por gerar potenciais de ação e por propagá-los, ao longo do nervo óptico, até os centros visuais superiores.

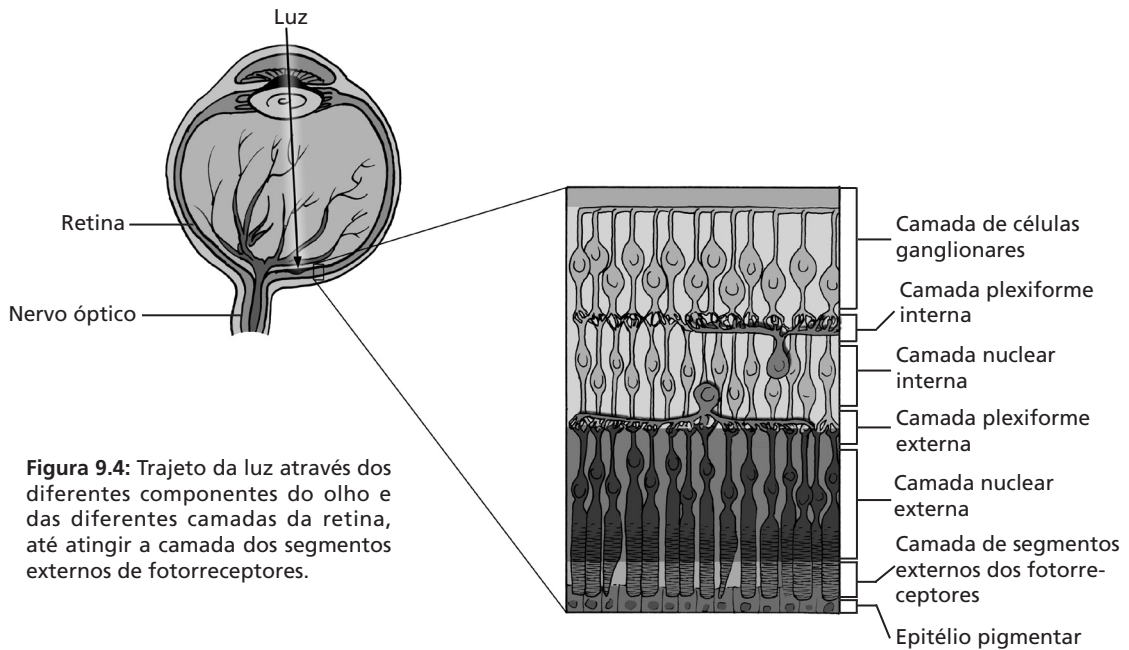


Figura 9.4: Trajeto da luz através dos diferentes componentes do olho e das diferentes camadas da retina, até atingir a camada dos segmentos externos de fotorreceptores.

Com o uso de um oftalmoscópio é possível, ainda, observarmos o fundo do olho, mais especificamente a retina e os vasos que a nutrem. Identificamos a região da mácula lútea (fóvea), localizada centralmente, e vasos sanguíneos que penetram na retina pelo disco óptico, por onde o nervo óptico tem sua saída do tecido retiniano (Figura 9.5). A região do disco óptico é insensível à luz, uma vez que não apresenta fotorreceptores, e está localizada mais próxima à LINHA MÉDIA do que a fóvea.

A fóvea é uma região especializada localizada centralmente em cada retina, com aproximadamente 2mm de diâmetro e que representa nosso maior ponto de acuidade visual. Ela é utilizada como ponto de referência anatômico na divisão da retina em quadrantes.

Cada retina é tecnicamente dividida em quadrantes com referência a uma linha vertical imaginária que corta a linha média, delimitando desta forma a hemi-retina nasal (próxima ao nariz) e a hemi-retina temporal (próxima à região das têmporas). Cada metade da retina é ainda subdividida em porções superior e inferior.

LINHA MÉDIA

Linha imaginária que passa na altura da sutura sagital do crânio, dividindo todo o organismo em duas porções: esquerda e direita. Observamos uma linha média em todas as regiões do SNC.

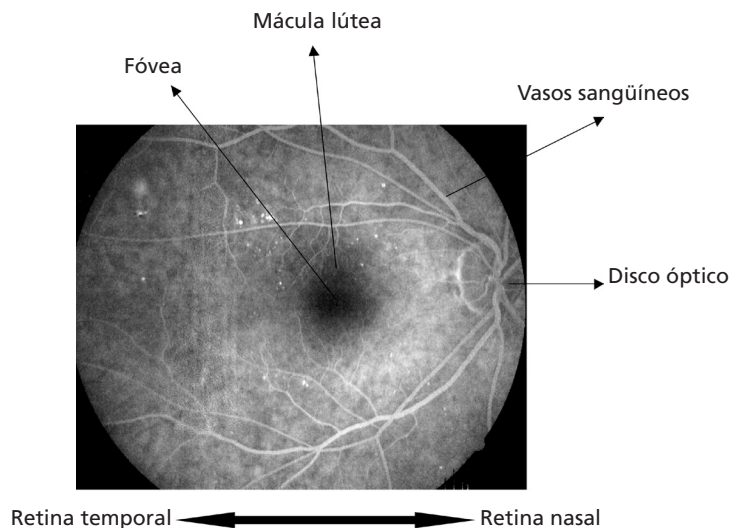


Figura 9.5: Fundo de olho humano visto com o auxílio de um oftalmoscópio, e onde é possível identificar a região da mácula lútea, a fóvea, a região do disco óptico e diversos vasos sanguíneos.

ACOMODAÇÃO

São as modificações de curvatura do cristalino, aliadas à convergência dos olhos e à variação do diâmetro pupilar que ocorrem para que exista uma focalização automática da imagem sobre a retina. Quando os objetos estão próximos fazemos a acomodação para perto, em que há aumento da curvatura do cristalino (fica mais bojudo), enquanto para longe o cristalino fica mais esticado.

FORMAÇÃO DA IMAGEM NA RETINA

O olho capta os raios de luz do ambiente e os focaliza sobre a retina para formar as imagens. A função da córnea, nesse sistema óptico, é fazer a refração da luz, pois os raios que incidem sobre ela tendem a convergir para a região posterior do olho, onde está localizada a retina. A distância entre a superfície de refração (córnea) e o ponto de convergência (retina) é denominada distância focal, e depende da curvatura da córnea.

O cristalino atua como uma lente, uma vez que possui uma elasticidade natural que pode aumentar sua curvatura (aumentando o seu poder de refração), gerando um poder de focalização adicional denominado **ACOMODAÇÃO**.

A capacidade elástica do cristalino e sua conseqüente mudança de curvatura quando da contração da musculatura ciliar varia com a idade. A compensação para esta perda se dá com o uso de lentes artificiais. A correspondência entre regiões do campo visual e a imagem ao nível da retina pode parecer complicada, a princípio. Uma característica do cristalino é que ele inverte a imagem na retina, num processo idêntico ao das máquinas fotográficas comuns (**Figura 9.6**).

A pupila funciona como um diafragma, se contraindo e dilatando de acordo com a intensidade luminosa. O aumento da iluminação promove a constrição pupilar bilateral, enquanto a diminuição luminosa leva à dilatação das pupilas.

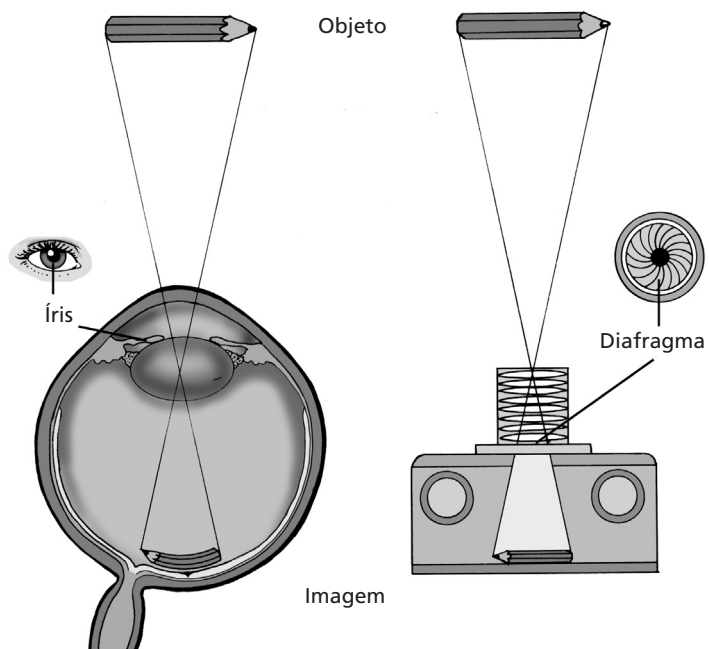


Figura 9.6: A formação da imagem na retina pode ser comparada com a formação da imagem em um filme fotográfico feito por uma câmera. O sistema de abertura e fechamento do diafragma seria representado pela íris e pupila.



ATIVIDADES

1. Constam do texto a seguir sete afirmativas erradas sobre a estrutura do olho. Identifique-as e reescreva o texto corretamente.

Saindo de uma região mais anterior e caminhando posteriormente, observamos: perifericamente a córnea, que se continua com a esclera. Logo depois, encontramos uma cavidade anterior preenchida por humor vítreo entre a córnea e a pupila (região mais periférica, de cor variável) e íris (região central à pupila, preta por ser um orifício). Entre a cavidade anterior e a posterior, aparece o cristalino, uma lente imóvel. A cavidade posterior é preenchida por humor aquoso, e posteriormente a ela aparece a retina. A luz deve passar por todas estas estruturas, sofrendo desvio ao longo de sua passagem. Ao chegar à retina, atravessa a camada plexiforme interna, a camada nuclear interna e a camada plexiforme externa, e a camada de fotorreceptores, até atingir a camada de células ganglionares.

RESPOSTA COMENTADA

Saindo de uma região mais anterior e caminhando posteriormente, observamos: centralmente a córnea, que se continua lateralmente com a esclera. Logo depois, encontramos uma cavidade anterior preenchida por humor aquoso entre a córnea e a pupila (região mais central, preta do olho) e a íris (região periférica à pupila, de cor variável). Entre a cavidade anterior e a posterior, aparece o cristalino, uma lente cuja concavidade pode ser modificada em função do ajuste focal. A cavidade posterior é preenchida por humor vítreo, e posteriormente a ela aparece a retina. A luz deve passar por todas estas estruturas, sofrendo desvio ao longo de sua passagem. Ao chegar à retina, atravessa a camada de células ganglionares, a camada plexiforme interna, a camada nuclear interna e a camada plexiforme externa, até atingir a camada de fotorreceptores.

2. Como definimos o “ponto cego” e a fóvea?

RESPOSTA COMENTADA

O ponto cego é a região de emergência do nervo óptico, isto é, para onde todos os axônios das células ganglionares da retina se dirigem para deixar o olho e se dirigir a estruturas do sistema nervoso central. A fóvea fica localizada mais lateralmente ao ponto cego e é uma escavação, onde não se observa a camada de células ganglionares e a camada nuclear interna. É a região de maior concentração de fotorreceptores, para onde os raios luminosos se dirigem quando olhamos para um objeto.

CAMPO VISUAL

O campo visual é definido como o espaço (ou área) que pode ser visualizado pelos olhos quando estão fixos em um ponto (sem movimentos dos olhos ou da cabeça). Um olho é capaz de, sem se movimentar, responder por 150° do campo visual (**Figura 9.7.a**). Estando as fóveas de ambos os olhos fixas em um único ponto espacial, é possível, então, definir a metade esquerda e a metade direita do campo visual. O hemis campo esquerdo, ou metade esquerda do campo visual, é visto pela hemi-retina nasal do olho esquerdo e pela hemi-retina temporal do olho direito. O hemis campo direito é visto pela hemi-retina nasal do olho direito e sobre a hemi-retina temporal do olho esquerdo (**Figura 9.7.b**). A luz projetada na região central do campo visual penetra em ambos os olhos em uma região chamada zona binocular.

Em cada metade do campo visual há também uma zona monocular: a luz da porção lateral ou temporal do hemis campo é vista somente pela hemi-retina medial ou nasal do olho ao mesmo tempo, porque o nariz bloqueia esta luz que está chegando no olho contralateral. Para compreender este conceito, faça pequenas “brincadeiras” com seu sistema visual. Por exemplo, estenda seu braço, feche um dos olhos e estique seu

polegar. Sobreponha seu polegar à imagem de um objeto qualquer na sala. Agora, sem mexer o dedo, feche o olho que estava aberto e abra o que estava fechado. Que aconteceu? Seu polegar ainda cobre a imagem do objeto escolhido? Pense, em termos de retina e de campos visuais, no que isso representa.

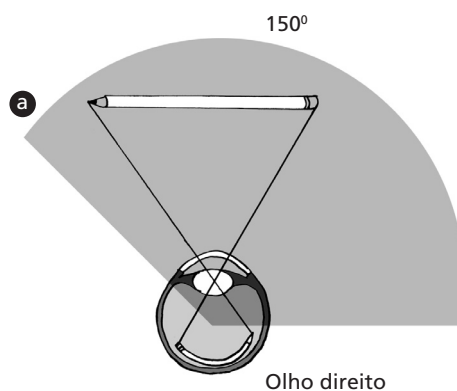
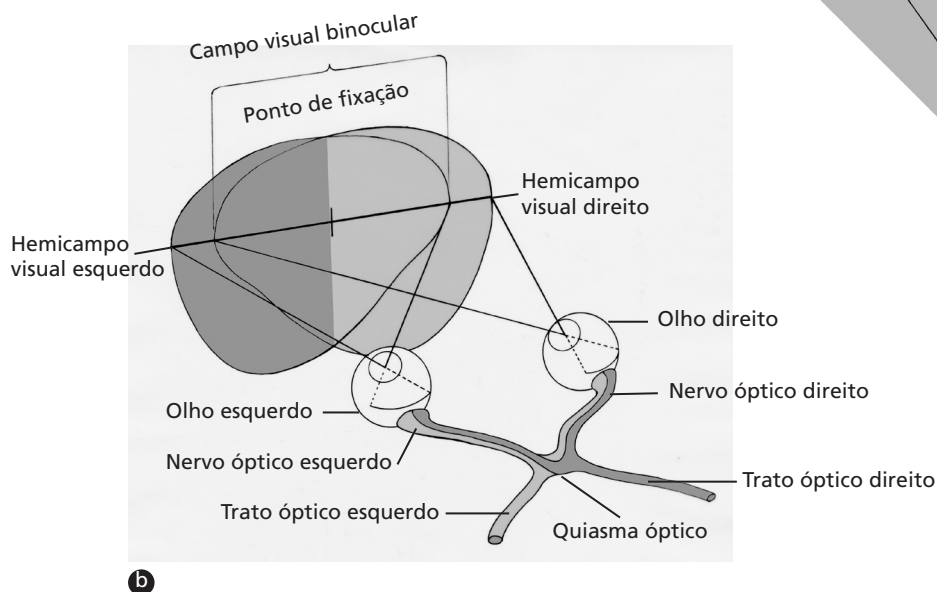


Figura 9.7: (a) Extensão do campo visual de um dos olhos. (b) Hemisférios visuais e sua correspondência na retina.

ORGANIZAÇÃO CELULAR DA RETINA

A retina de animais vertebrados se organiza em cinco camadas principais, por onde a luz deve passar até chegar ao receptor sensorial. Três destas camadas são compostas por corpos celulares e duas por prolongamentos neuríticos (**Figura 9.8**). Na camada nuclear externa estão contidos os corpos das células fotorreceptoras. Esta é a última camada onde chega a luz para alcançar os segmentos externos dos fotorreceptores, que contêm o pigmento fotossensível. A camada nuclear interna contém os corpos das células horizontais, células bipolares, células amácrinas e células da glia (denominadas, na retina, de glia de Muller). Já a camada de células ganglionares é a mais interna das camadas e contém os corpos celulares de células ganglionares. É desta camada que emergem os axônios das células ganglionares que formam o nervo óptico. Esta camada é a mais próxima do humor vítreo.

As camadas de neuritos (ou sinápticas) se interpõem às camadas celulares. Na camada plexiforme externa, encontramos os contatos sinápticos entre os fotorreceptores e as células horizontais e bipolares. Já a camada plexiforme interna, localizada entre a camada nuclear interna e a camada de células ganglionares, é a camada de conexões sinápticas entre células bipolares, células amácrinas e células ganglionares.

A via mais direta do fluxo de informação visual, relacionado ao processamento da informação visual, é feita na seguinte ordem: fotorreceptores -> células bipolares -> células ganglionares (**Figura 9.9**). Estas últimas são as responsáveis pelo disparo de potenciais de ação e propagação destes pelo nervo óptico até as diferentes áreas cerebrais.

Atrás da retina, adjacente aos fotorreceptores, existe uma camada de células do epitélio pigmentar retiniano. Este epitélio é rico em melanina, pigmento que absorve a luz não captada pela retina. Desta forma, uma de suas funções é impedir que a luz incidente em excesso sofra reflexão e retorne para a retina, o que poderia distorcer a imagem visual. Além disso, o epitélio pigmentar promove a síntese do pigmento visual fotossensível e a fagocitose da extremidade do segmento externo dos fotorreceptores.

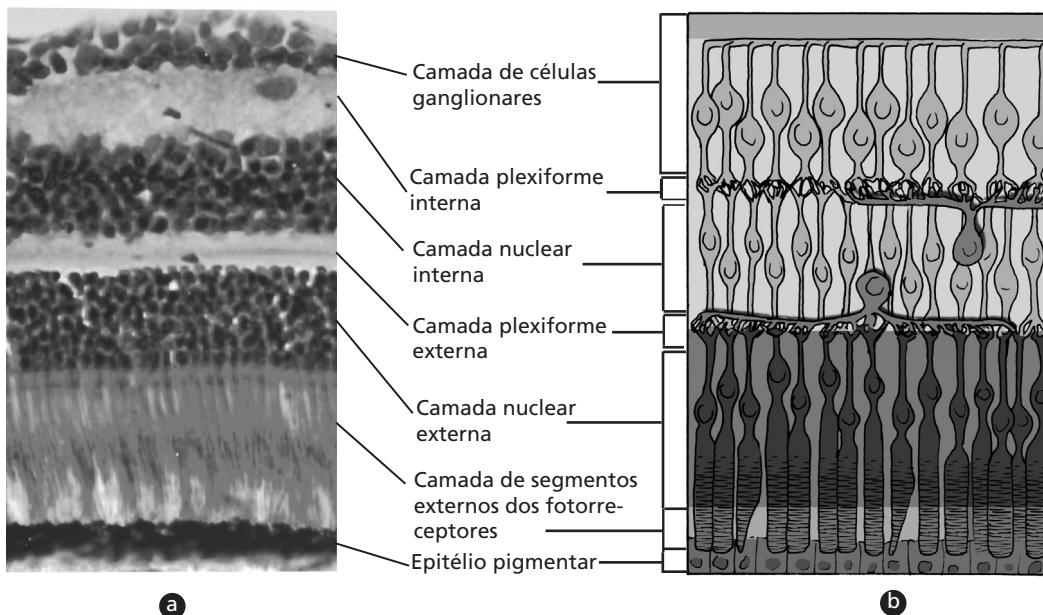


Figura 9.8: Organização da retina. Em (a) uma fotomicrografia mostrando as camadas celulares e camadas sinápticas da retina de um rato adulto, e em (b) a indicação esquemática dessas camadas.

Os fotorreceptores são as células responsáveis pela transformação de energia luminosa (fótons) em energia eletroquímica (potenciais de ação), ou seja, pela transdução do sinal luminoso. Existem aproximadamente 125 milhões de células fotossensíveis na retina de humanos. Cada fotorreceptor é constituído por um segmento externo, por um segmento interno e um corpo celular. O segmento externo é o mais estudado, pois contém os fotopigmentos responsáveis pela absorção da luz e é onde se inicia a cascata de reações responsáveis pelas alterações nas propriedades elétricas da membrana. Existem dois tipos de fotorreceptores: os cones e os bastonetes. Os bastonetes apresentam uma maior concentração de fotopigmento, o que os torna mais sensíveis à luz. De fato, na visão por contraste (escotópica), os bastonetes são os responsáveis pela detecção de luz, e os cones, pela visão em cores (fotópica). Outra diferença entre estes fotorreceptores é que os bastonetes apresentam apenas um tipo de fotopigmento, ao passo que os cones apresentam três tipos (com sensibilidades distintas a comprimentos de onda específicos, verde, vermelho e azul). Nos bastonetes, o fotopigmento é a rodopsina, que absorve a luz de comprimento de onda em torno de 495nm. Os cones apresentam pigmentos diferentes, capazes de absorver a luz azul (comprimento de onda em torno de 420nm), verde (comprimento de onda em torno de 530nm) ou vermelha (comprimento de onda em torno de 560nm).

A região mais especializada, de alta resolução, é a fóvea (porção central da mácula). Isto se deve ao fato de haver um deslocamento lateral das células ganglionares desta região, permitindo que a luz chegue mais facilmente aos fotorreceptores, aumentando a acuidade visual desta região. Outra peculiaridade é que na fóvea só encontramos cones.

As células ganglionares são os neurônios de projeção da retina. Estas células são classificadas conforme sua aparência, conectividade e propriedades eletrofisiológicas. As células ganglionares apresentam campos receptores, cujos tamanhos variam de acordo com a localização na retina.

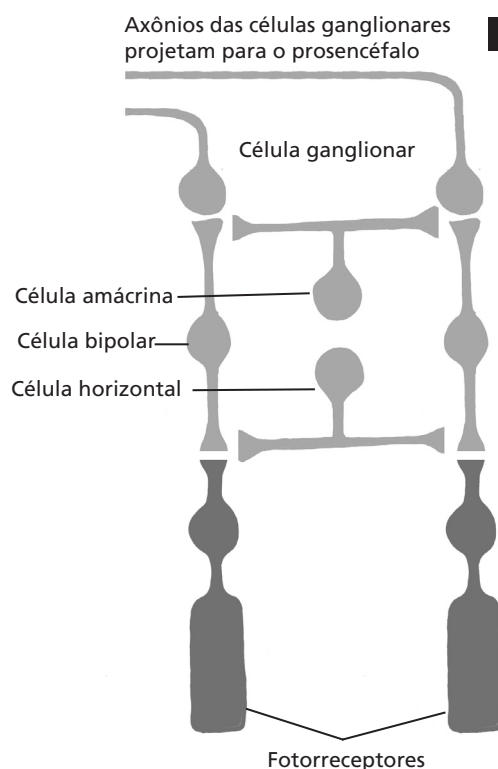


Figura 9.9: Fluxo de informação pelas células que compõem a retina: dos fotorreceptores para as bipolares e destas para as ganglionares. As células horizontais e amácrinas, interpostas entre as demais, veiculam informações entre as colunas de células vizinhas.



Cuidado ao escolher seus óculos escuros! Verifique bem se eles conferem proteção contra os raios UV. O diâmetro de nossa pupila varia conforme a quantidade de luz que chega até ela. Assim, grandes intensidades de luz levam a uma constrição da pupila (diminuição do diâmetro), enquanto intensidades menores levam a sua dilatação (aumento do diâmetro). Quando colocamos óculos escuros, nossas pupilas imediatamente se dilatam, permitindo a maior entrada de luz. Todos sabemos que a luz do sol possui raios UV, que em grande quantidade e por períodos prolongados são nocivos à nossa pele e também a nossa retina. Desta forma, permitir que uma maior quantidade de luz atinja nossas retinas sem que os raios UV tenham sido filtrados pode levar à destruição de suas células. Portanto, ao escolher seus óculos escuros, certifique-se de que eles conferem proteção contra os raios UV!

Na fóvea, os campos receptores são pequenos e em regiões periféricas, maiores. A exemplo do que ocorre no sistema somestésico, quanto menor o tamanho do campo receptor, maior a resolução espacial de um estímulo, já que este será analisado por um número maior de neurônios centrais.

Principais distúrbios da visão humana causados por déficits de emetropia (medida certa para que o foco do objeto observado caia exatamente em cima da retina, para que sejam vistos com nitidez).

Quadro 9.1: Patologias visuais periféricas

Tipo	Características	Descrição	Lentes Corretoras
MIOPIA	Alongamento do globo ocular. Convergência do cristalino	As imagens formam-se num ponto virtualmente definido antes da retina	Divergentes (côncavas)
HIPERMETROPIA	Encurtamento do globo ocular	As imagens formam-se atrás da retina; há dificuldade para ver o infinito	Convergentes (convexas)
ASTIGMATISMO	Alteração da forma (curvatura) da córnea	Não-focalização (estigma) ou definição de pontos na retina	Cilíndricas
PRESBIOPIA (vista cansada)	Os músculos ciliares não conseguem alterar a curva do cristalino	Não forma uma visão nítida de objetos próximos por falta de acomodação visual	Convergentes (côncavas)

DEFICIÊNCIAS NA VISÃO EM CORES

A cor que percebemos é determinada pela quantidade relativa de luz absorvida pelos cones verde, azul e vermelho. A anormalidade na visão em cores é resultante de erros genéticos que levam à perda de um pigmento visual ou de uma alteração na sensibilidade do espectro de um pigmento. A doença mais comum envolve a perda da distinção

entre verde e vermelho (em homens). Os genes para os pigmentos verde e vermelho estão localizados no cromossoma X, ao passo que o gene para o pigmento azul está localizado no cromossoma Y.

CATARATA

Doença muito comum após os 65 anos. Caracterizada pela opacidade do cristalino, pode ser tratada cirurgicamente com a troca do cristalino por uma lente artificial.

GLAUCOMA

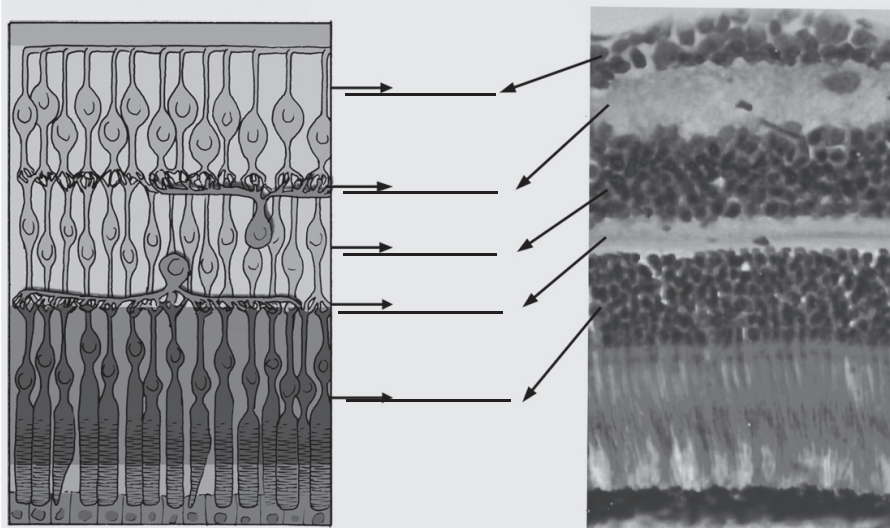
Resulta em uma perda progressiva da visão, associada a um aumento da pressão intra-ocular. Com esse aumento da pressão, estabelecem-se a compressão do nervo óptico e a perda da visão. O tratamento inclui medicação ou cirurgia para reduzir a pressão.



ATIVIDADES

3. Na figura a seguir, identifique as camadas da retina listadas na coluna da direita.

camada nuclear interna
camada plexiforme interna
camada nuclear externa
camada de células ganglionares
camada plexiforme externa



RESPOSTA COMENTADA

Da mais externa (inferior na figura) para a mais interna (superior na figura), temos: camada nuclear externa (fotorreceptores) que muitos autores classificam como uma camada à parte. Logo acima, vê-se, a camada nuclear externa, onde estão os corpos celulares dos fotorreceptores. As camadas mais delgadas, onde a marcação é praticamente inexistente (branca), são as camadas plexiformes. Primeiro a camada plexiforme externa, seguida da camada nuclear interna, onde estão os corpos celulares das células bipolares, das células amácrinas das células bipolares e das glías de Muller. A camada plexiforme mais superficial é a plexiforme interna, seguida da camada de células ganglionares.

4. O que são cones e bastonetes e quais suas características funcionais?

RESPOSTA COMENTADA

São células fotorreceptoras capazes de absorver energia em forma de luz (fótons) e transformá-la em um sinal eletroquímico compreensível pelo sistema nervoso. Os bastonetes apresentam um número maior de discos com maior concentração de fotopigmento (um único pigmento), o que os torna mais sensíveis à luz. Os cones são responsáveis pela visão em cores, e para isso apresentam três tipos de fotopigmentos com sensibilidades distintas a comprimentos de onda específicos ao verde, vermelho e azul.

5. Se já for de noite, apague a luz do quarto e sinta-se num breu completo. Conte quantos segundos você demora a começar a ver os vultos dos móveis e objetos a sua volta. É possível ver cores nesta situação? Que receptores funcionam preferencialmente nas situações de luminosidade? E de ausência de luz?

RESPOSTA COMENTADA

Você vai demorar em média uns 10 segundos para identificar os vultos dos móveis e objetos a sua volta. Este é o tempo de seus fotorreceptores se adaptarem à baixa luminosidade. Lembre-se de que na ausência de luz nossa visão é feita baseada em contraste utilizando nossos bastonetes, ao passo que no claro utilizamos os cones. Os bastonetes só apresentam um fotopigmento, que absorve luz em um único comprimento de onda. Dessa forma, no escuro, não somos capazes de identificar cores, somente gradações de cinza.

VIAS VISUAIS

A retina coleta e integra inicialmente as informações visuais, enviando-as a seguir para processamento no cérebro através do nervo óptico. Este é formado por axônios das células ganglionares da retina que cruzam parcialmente a linha média ao nível do **QUIASMA ÓPTICO** (Figura 9.7.b). Axônios da retina nasal cruzam para o lado oposto do cérebro, enquanto axônios da retina temporal ultrapassam o quiasma e permanecem do mesmo lado do cérebro. Os axônios após o quiasma constituem o trato óptico. Assim, o trato óptico esquerdo contém os axônios da retina temporal esquerda mais os axônios da retina nasal direita (hemisfério visual direito), ao passo que o trato óptico direito é composto por axônios da retina temporal direita e por axônios da retina nasal esquerda (hemisfério visual esquerdo). Portanto, são os tratos ópticos esquerdo e direito que carregam uma representação completa dos hemisférios visuais direito e esquerdo, respectivamente.

Os axônios do trato óptico fazem sinapses no núcleo geniculado lateral dorsal do tálamo. Os axônios deste núcleo por sua vez se projetam, através da radiação óptica, para o córtex visual primário (área 17 de Brodmann ou córtex estriado) (Figura 9.10). Além dessa projeção retino-geniculado-estriada, células ganglionares da retina projetam-se para estruturas mesencefálicas como o colículo superior, os núcleos pré-tectais e o núcleo supraquiasmático (hipotálamo) relacionados com movimentos conjugados dos olhos, os **REFLEXOS PUPILARES** e o **RITMO CIRCADIANO**, respectivamente.

QUIASMA ÓPTICO

Estrutura localizada na face ventral do cérebro, logo abaixo da glândula hipófise.

É o local onde os axônios provenientes dos dois olhos cruzam a linha média para chegar ao tálamo do lado contralateral.

REFLEXOS PUPILARES

A pupila aumenta (midríase) ou diminui (miose) seu diâmetro, de acordo com a quantidade de luz no ambiente. O reflexo é justamente esta resposta involuntária de ajuste da pupila em resposta à luz.

É feito por músculos intrínsecos dos olhos, dilatadores (radiais) e constritores (esfíncteres), controlados por nosso sistema nervoso autônomo.

RITMO CIRCADIANO

É o nosso relógio biológico, que regula, nas 24 horas do dia, períodos alternados de sono e vigília.

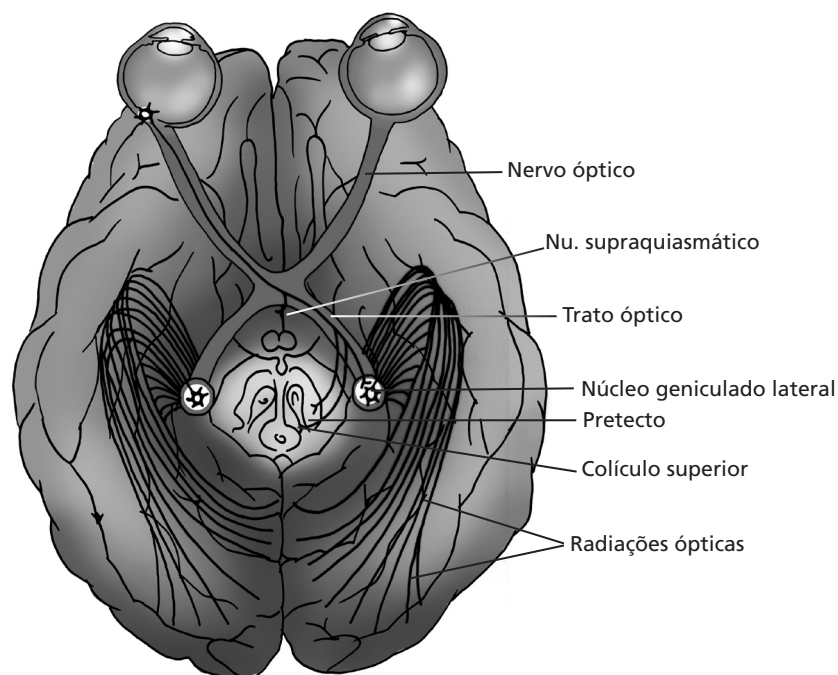


Figura 9.10: Vias visuais desde a retina, passando pelo quiasma óptico, trato óptico, tálamo, radiações visuais e córtex.

CÓRTEX VISUAL: PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO VISUAL

O córtex visual primário também é conhecido como córtex estriado, por sua aparência anômica. O córtex visual de cada hemisfério cerebral recebe informação do campo visual contralateral. O córtex estriado é composto por seis camadas celulares (camadas de 1 a 6). Dessas, é a camada 4 a responsável por receber as aferências provenientes do núcleo geniculado lateral.

Do ponto de vista morfológico, o córtex contém basicamente dois tipos de células: células piramidais e células estreladas. Enquanto as piramidais são neurônios de projeção, com corpos celulares grandes, com longos dendritos, excitatórias (uma vez que usam o glutamato ou aspartato como neurotransmissores), as células estreladas são células com pequenos corpos celulares, de circuitaria local, muitas glutamatérgicas e outras GABAérgicas (inibitórias). A informação que chega do tálamo flui através das camadas do córtex. Células estreladas predominam na camada 4. A partir desta camada, a informação segue para as camadas 2 e 3. Células nas camadas 2 e 3 projetam-se para as células piramidais na camada 5, que excitam outras células piramidais da camada 6. As camadas 2 e 3 formam conexões associativas com outras áreas visuais (secundária ou V2, terciária ou V3 e quaternária ou V4) e, através do **CORPO CALOSO**, também com áreas no hemisfério oposto.

CORPO CALOSO

Grade feixe de fibras que cruza de um hemisfério cerebral para o outro, sendo a principal comissura do telencéfalo. É importante na troca de informações recebidas ou geradas separadamente nos dois hemisférios.

Como você já viu, cada hemisfério cerebral recebe as aferências de um dos hemicampos visuais. Porém, as projeções dos hemicampos contêm informações tanto do olho direito quanto do esquerdo. Estas informações se mantêm segregadas ao longo de toda a via, formando em V1 as chamadas colunas de dominância ocular.

Essas colunas de dominância recebem separadamente informação do olho esquerdo ou direito. A segregação é essencial para a visão de profundidade ou estereopsia, da seguinte forma: já que ambos os olhos estão focalizando o mundo por ângulos ligeiramente diferentes, os objetos situados na frente ou após o plano de fixação se projetam a pontos não correspondentes nas duas retinas. Como essa informação chega segregada ao córtex visual, ela pode ser comparada e interpretada como profundidade. A preservação do padrão segregado de conexões com os neurônios corticais é contingente da atividade normal proveniente dos dois olhos durante a vida pós-natal precoce. O alinhamento incorreto dos olhos durante a infância (estrabismo) pode permanentemente reduzir a eficiência de um olho em ativar neurônios corticais. Como nossos olhos não enxergam exatamente a mesma faixa do campo visual, nosso cérebro utiliza esta informação de disparidade entre os dois olhos como uma pista para visão em terceira dimensão: o cérebro compara permanentemente a informação dos dois olhos para saber a distância dos objetos à nossa volta.



ESTRABISMO

É uma deficiência na musculatura extrínseca dos olhos (ou de apenas um deles) que leva ao desalinhamento destes, com perda da coordenação. Pode ser classificado como estrabismo convergente (para dentro) e divergente (para fora). Em ambos os casos, o estrabismo é congênito e pode ser corrigido na infância, quando as conexões entre a retina e os demais pontos do sistema visual estão sendo formados.

Se o estrabismo permanece, o cérebro passa a receber imagens conflitantes, perturbando a percepção de profundidade e até podendo resultar na supressão da informação proveniente de um olho.

Assim, a não-correção, ou a correção tardia (após os primeiros anos de vida), leva não só a um comprometimento estético, mas também funcional. Se você identifica, na sala de aula onde leciona ou mesmo em locais de convívio social, crianças estrábicas, oriente suas mães a procurarem um oftalmologista.

A convergência progressiva da informação para o córtex visual primário parece ser apenas um dos estágios iniciais da percepção. Em cada nível do sistema visual, células têm maior capacidade de integração e análise do que as células localizadas em níveis inferiores. As vias visuais constituiriam uma hierarquia de estações, cada qual com maior capacidade de abstração. Dessa maneira, a informação que chega ao córtex visual primário não é toda processada neste local, segue fragmentada para outras áreas visuais (V2, V3, V4 e V5). Nestas áreas, as informações de borda, cor e movimento serão analisadas separadamente e posteriormente reintegradas em áreas associativas. Muito do que se sabe sobre o processamento visual decorre do trabalho de dois importantes cientistas, David Hubel e Torsten Wiesel, que receberam o prêmio Nobel de Fisiologia em 1982.

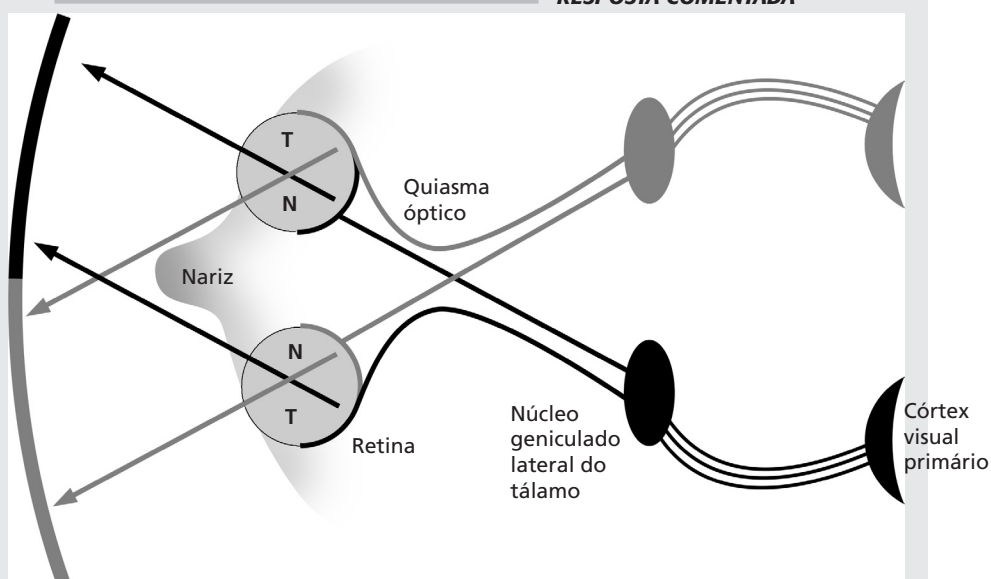
Dentre as questões primordiais para a compreensão do sistema visual estão os problemas de como o cérebro combina as informações que chegam em paralelo em uma única imagem e de como o cérebro traz a imagem para a consciência. A construção da imagem é um processo criativo, em que uma imagem tridimensional é criada no cérebro a partir de uma imagem bidimensional na retina. Sendo assim, o cérebro é capaz de reconhecer formas em várias condições, mesmo que a iluminação e/ou o tamanho da imagem variem. O cérebro organiza a percepção buscando combinações semelhantes às do mundo real. Para tanto, ele busca subsídios na experiência prévia e no padrão intrínseco de conexões do sistema visual, o que em parte também é moldado pela experiência.

ATIVIDADES

6. No espaço a seguir, esquematize a via visual desde a retina até o córtex.



RESPOSTA COMENTADA



7. Como se dá o processamento cortical da informação visual?

RESPOSTA COMENTADA

Os axônios do núcleo geniculado lateral do tálamo se projetam para o córtex visual primário, e os ramos terminais destes axônios chegam à camada 4. A partir daí, a informação é passada para as camadas 2 e 3, e daí para as camadas 5 e 6. As camadas 2 e 3 formam conexões com outras áreas visuais (secundária ou V2, terciária ou V3 e quaternária ou V4), onde diferentes características da imagem, tais como cor e movimento, são processadas. Dessa forma, a informação que chega ao córtex visual primário não é toda processada nesse local, segue fragmentada para outras áreas visuais (V2, V3, V4 e V5), onde serão processadas informações de borda, cor e movimento. Essas informações serão posteriormente reintegradas em áreas associativas.

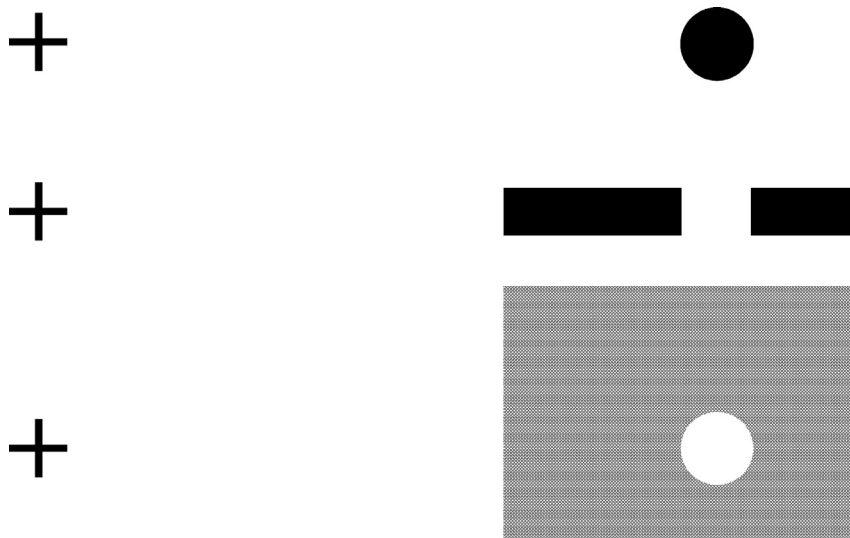
Utilizamos nossa visão todos os dias desde que nascemos e nem nos damos conta de quanto “ver” pode ser complexo. De radiações eletromagnéticas conseguimos transformar fótons em impulsos elétricos e com isso ver o mundo a nossa volta. Mas ver é mais do que um evento físico, requer decodificação e interpretação. Grande parte dos animais possui olhos e os utiliza, mas cada um com suas particularidades: uns para achar suas presas, outros para encontrar refúgios, e outros ainda para admirar horas a fio a beleza de paisagens.

RESUMO

Os sistemas sensoriais se apresentam como uma via que carrega informações do meio externo (periferia) para o SNC. Os cones e bastonetes, receptores sensoriais do sistema visual, estão localizados na retina. Estas células são capazes de captar a energia luminosa e transformá-la em impulsos elétricos que são propagados até o nosso córtex (passando por níveis intermediários de processamento), para que sejam decodificados e compreendidos. Os estímulos visuais convergem para o córtex visual primário, ou V1, localizado no lobo occipital, e daí partem para outras áreas corticais encarregadas do processamento de atributos específicos da visão (cor, movimento, contraste etc.).

ATIVIDADE FINAL

Agora que você está craque na compreensão do processamento visual, experimente a atividade proposta a seguir. Você deve, com sua mão esquerda, cobrir seu olho esquerdo. O papel deverá ser mantido exatamente na sua frente, na altura de seus olhos. Seu olho direito deve mirar “+” na extremidade esquerda do papel, e você deve relatar o que acontece com a figura da direita, à medida que aproxima *Lentamente* o papel do rosto (segure-o inicialmente com os braços bem esticados). Tente uma linha de cada vez: primeiro a bola, depois a barra, e por último o quadrado.

**RESPOSTA COMENTADA**

Você percebeu que a bola preta sumiu, a barra preta ficou contínua, e a bola branca ficou cinza, respectivamente nas três linhas? O que acontece é que, em determinado ponto, a imagem cai em nosso ponto cego, onde não temos receptores e, portanto, não enxergamos. Nosso córtex visual, muito engenhosamente, preenche o espaço deixado pelo ponto cego com a imagem mais próxima a ele (o branco, o preto ou o cinza, nos exemplos anteriores). Assim, quando olhamos uma paisagem, uma imagem ou um texto com um único olho, não vemos um “buraco” no meio do campo.

AUTO-AVALIAÇÃO

Para saber se você compreendeu o processamento visual, feche os olhos e tente imaginar as camadas da retina e como a luz e a informação visual “fluem” através dela. Veja se está claro o conceito de campo visual. É essencial terminar a aula tendo em mente que a via visual segrega informações dos campos visuais e de cada um dos olhos, mas que campo visual de um lado não é sinônimo da área vista por um único olho.

INFORMAÇÕES PARA A PRÓXIMA AULA

A visão foi o segundo sentido a ser estudado. Na Aula 9 enfocaremos a audição, um sentido um pouco menos estudado, e portanto menos conhecido. Veremos que, em muitos aspectos, a audição se assemelha à visão e à somestesia, mas que sua via apresenta algumas particularidades. O processamento da linguagem, muito ligado à audição, será abordado em conjunto.

AULA 10

Sons e vozes: como ouvimos e nos comunicamos

Meta da aula

Apresentar os mecanismos neurais relacionados à audição e ao processamento da linguagem.

objetivos

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

- Descrever a estrutura das orelhas externa, média e interna.
- Compreender o processamento auditivo na cóclea.
- Caracterizar a via auditiva e diferenciá-la das demais vias sensitivas.
- Caracterizar linguagem e fala.
- Localizar as áreas corticais relacionadas à fala e relacioná-las aos distúrbios da fala.

Pré-requisitos

Para que você possa acompanhar esta aula, você já deve ter lido as Aulas 7 a 14 de Biologia Celular I, a Aula 10 de Biologia Celular II e a Aula 5 deste módulo.

INTRODUÇÃO

Os sons são vibrações periódicas do ar capazes de excitar nossos receptores auditivos (ondas sonoras), provocando uma percepção. As espécies têm diferentes capacidades para perceber sons. Assim, muitas das vibrações percebidas por cachorros ou por morcegos não são percebidas por humanos. Apesar de os sons da natureza serem ondas sonoras muito complexas, costumamos representá-las graficamente como senóides, características dos tons puros, somente produzido por diapasões. Do mesmo modo que você observou na **Figura 9.1** quando estudamos a visão, as ondas sonoras também vão apresentar frequências (ou tons, medidos em Hertz ou Hz) diversas, expressas por seu comprimento de onda, e diferentes amplitudes (medidas em decibéis ou dB), que determinarão a intensidade do estímulo sonoro que sensibilizará nossos receptores auditivos. Assim, podemos determinar a sensibilidade da audição humana e de outras espécies em faixas de frequências. Vamos observar alguns exemplos na **Tabela 10.1**.

Tabela 10.1: Faixas de frequência audíveis por diferentes espécies

Espécie (nome vulgar)	Faixa de frequência
Ser humano	20 a 20.000Hz (a voz humana se situa em torno de 8.000Hz)
Cachorro	60 a 45.000Hz
Morcego	2.000 a 110.000
Baleia beluga	1.000 a 123.000
Rato	200 a 76.000
Peixe de aquário	20 a 3.000
Elefante	16 a 12.000

Vejamos, então, quais as estruturas necessárias e o mecanismo de funcionamento de nosso sistema auditivo.

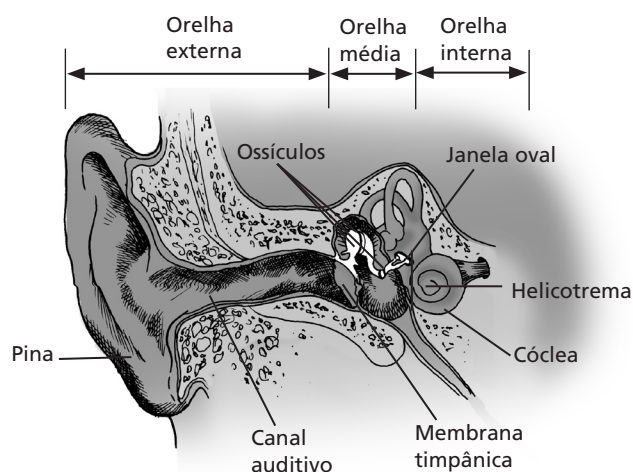
PAVILHÃO AUDITIVO, ORELHA EXTERNA, ORELHA MÉDIA E ORELHA INTERNA

Em mamíferos, incluindo o homem, o órgão responsável por transformar vibrações sonoras em impulsos elétricos compreensíveis ao nosso Sistema Nervoso é a cóclea. Os humanos têm duas cócleas bem protegidas dentro do osso temporal, cada uma embutida em cada um dos lados da cabeça. Para chegar à cóclea, os estímulos auditivos passam pelas orelhas externas, que são compostas pelo pavilhão auricular, concha e meato auditivo externo (**Figura 10.1**).

A conformação anatômica destas estruturas permite que o som seja direcionado e concentrado para que sejamos capazes de melhor determinar sua localização e características. O limite entre a orelha externa e a orelha média é a membrana timpânica. As vibrações que chegam à membrana fazem-na vibrar e movimentam a cadeia de ossículos em nossa orelha média. Fazem parte desta cadeia: o martelo, a bigorna e o estribo, três delicados ossos (os menores no ser humano!) articulados entre si.

O deslocamento da membrana timpânica empurra o martelo e, conseqüentemente, movimentam a bigorna e o estribo. Este osso, por sua vez, percute a janela oval, onde se inicia a cóclea, localizada na orelha interna. A ação dos ossículos é essencial na amplificação do som que chegará à cóclea, já que o som passa do meio aéreo (o meio externo e a orelha média são repletos de ar atmosférico) para um meio líquido dentro da cóclea.

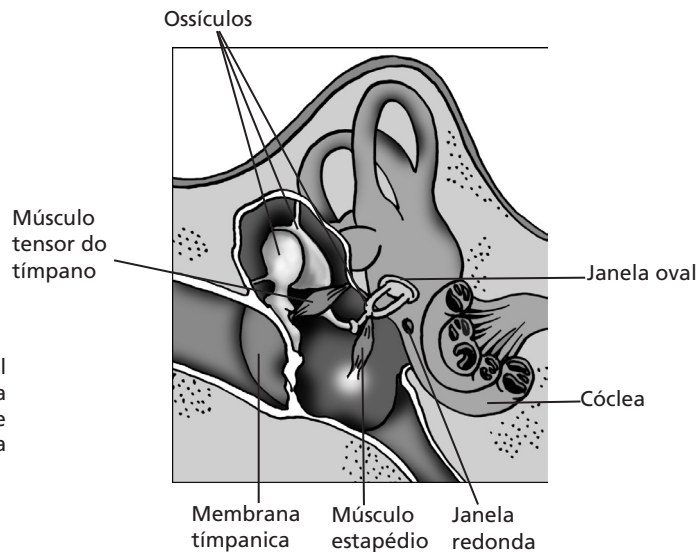
Figura 10.1: Os estímulos auditivos devem percorrer o meato auditivo externo para fazer vibrar o tímpano que mobilizará a cadeia de ossículos. Daí o estímulo seguirá para a cóclea e entrará no SN pelo nervo vestibulococlear.



A ação destes ossículos, ou seja, a força com que vão retransmitir o sinal sonoro amplificando-o, pode ser modulada por dois pequenos músculos localizados na orelha média: o tensor do tímpano e o estapédio, que ancoram respectivamente o martelo e o estribo na parede óssea da cavidade, enrijecendo, quando contraídos, a cadeia e diminuindo sua mobilidade (**Figura 10.2**). Com isso, sons que já chegam à orelha com alto volume não precisam ser amplificados, e também as frequências não ideais para a audição humana são filtradas (as frequências ideais são aquelas próximas à faixa da voz humana, como mostrado na **Tabela 10.1**).

A percussão da janela oval irá causar um deslocamento dos líquidos (perilinf e endolinf) que preenchem os canais cocleares, e que como veremos a seguir, irão estimular os receptores auditivos aí localizados.

Figura 10.2: Detalhe da porção final da orelha externa, orelha interna com os ossículos e os músculos que controlam sua mobilidade, e orelha interna com a cóclea e seus canais.



ORGANIZAÇÃO ANATÔMICA DA CÓCLEA

A cóclea é o órgão auditivo responsável por transformar as ondas sonoras em sinais elétricos que posteriormente serão compreendidos como os diferentes sons. Esta estrutura altamente organizada está localizada na orelha interna, com o órgão do equilíbrio (labirinto, que estudaremos na Aula 19). A cóclea é subdividida em três canais paralelos dispostos de maneira helicoidal, que na espécie humana apresentam-se enrolados por duas vezes e meia sobre o seu eixo. O comprimento da cóclea está relacionado às faixas de frequência audíveis pelos diferentes animais.

Aos canais cocleares foram dados os nomes de escala (rampa) vestibular, escala média (ou canal coclear) e escala timpânica (**Figura 10.3**). Estes canais se encontram cheios de líquido, que é responsável pela propagação da onda vibratória proveniente da orelha média. As escalas timpânica e vestibular contêm perilinfa, ao passo que o canal coclear é preenchido por endolinfa.

Na perilinfa, verificamos uma concentração maior de íons sódio (níveis compatíveis com a concentração presente no líquido extracelular). Já a endolinfa é mais rica em íons potássio, semelhante à concentração deste íon no meio intracelular (lembre-se da Aula 12 de Biologia Celular I onde você viu as concentrações de íons dentro e fora das células). Esta concentração iônica é uma característica da endolinfa, essencial à ativação dos receptores da audição. A extremidade apical da cóclea é denominada helicotrema, ou ponta da hélice. Neste local, o canal vestibular e o canal timpânico se

juntam, sendo a perilinfa circulante contígua entre os dois canais. Na região basal, os dois canais são interrompidos e ficam em contato com a orelha média. A janela oval, na extremidade da escala vestibular, está em contato com o estribo na porção da orelha média. A janela redonda é uma delicada membrana, capaz de se distender, que isola a perilinfa contida na escala timpânica da orelha média. A vibração que movimenta a cadeia de ossículos termina por repercutir na janela oval, fazendo com que a linfa seja deslocada da base para o ápice da cóclea. Este movimento de líquido será necessário e suficiente para excitar nossas células receptoras aí localizadas.

Figura 10.3: Detalhe de um corte da cóclea, evidenciando as escalas timpânica, vestibular e média, e as membranas que as separam.

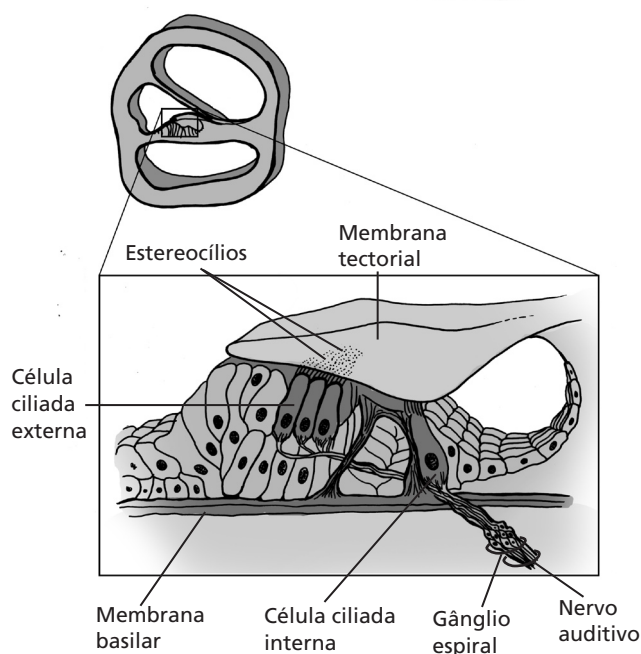
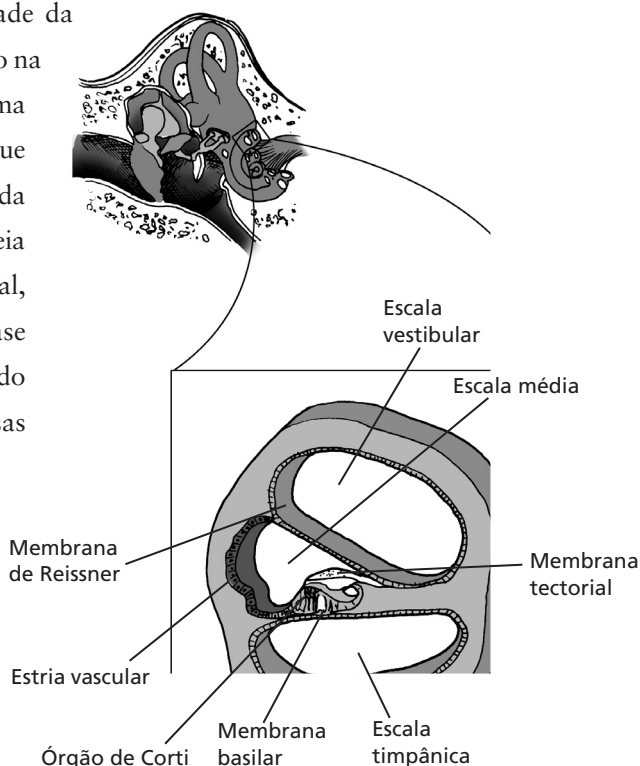


Figura 10.4: Detalhe do órgão de Corti, com as células ciliadas localizadas sobre a membrana basilar, e cujos cílios tocam a membrana tectorial. Note que há duas fileiras de receptores, uma mais interna e outra mais externa.

O limite divisório entre as três escalas (vestibular, médio e timpânico) é constituído por duas membranas denominadas membrana de Reissner e membrana basilar. O aparelho sensorial, denominado órgão de Corti, encontra-se sustentado pela membrana basilar, de modo que a superfície fica em contato com a endolinfa presente na escala média (Figura 10.4). O órgão de Corti contém os receptores sensoriais: células ciliadas internas e externas.

ESTEREOCÍLIO

Microvilão especializado que se assemelha a um cílio e projeta-se a partir da superfície de certos tipos celulares, como as células ciliadas auditivas e as células epiteliais superficiais do epitélio.

CINOCÍLIO

Sinônimo de cílio. É um prolongamento semelhante a um curto e fino pêlo, que aparece individualmente ou formando uma franja. Sua função está muito frequentemente ligada à locomoção celular.

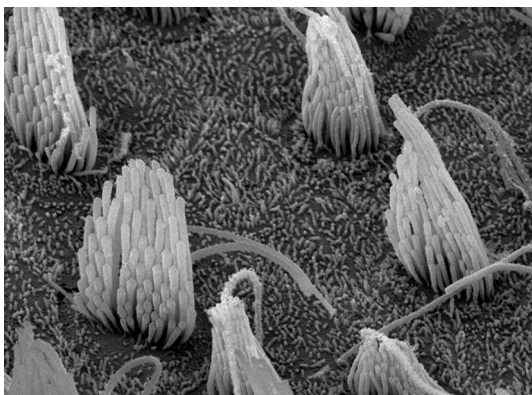


Figura 10.5: Eletromicrografia de células ciliadas da cóclea, vistas do topo, mostrando a disposição dos cílios. (Gentilmente cedida pelo professor Bechara Kachar, NIH, EUA.)

Na superfície apical destas células, encontramos um conjunto de **ESTEREOCÍLIOS** (Figura 10.5) de diferentes tamanhos e dispostos de maneira crescente, e um único **CINOCÍLIO**, maior e mais rígido, todos voltados para o canal coclear. Logo acima do órgão de Corti encontramos a membrana tectorial, composta de uma massa gelatinosa, que está fixa à parede da cóclea, próximo ao eixo da hélice. O contato entre os estereocílios e a membrana tectorial é essencial para a ativação destas células.

Uma outra região de grande importância está localizada ao longo da parede externa (lateral) da escala média, e é denominada estria vascular. Nela se concentram muitos vasos sanguíneos que têm por função fornecer energia e regular a concentração do íon potássio na endolinfa. As células ciliadas do órgão de Corti não são neurônios de projeção, ou seja, não apresentam axônios e não promovem o disparo de um potencial de ação clássico. O transporte da informação até os centros superiores de processamento auditivo se dá através de neurônios ganglionares espirais (neurônios bipolares), cujos prolongamentos periféricos são excitados pelas células ciliadas internas, e cujo prolongamento central se projeta para os núcleos cocleares no bulbo, onde fazem uma primeira sinapse. Note, na Figura 10.4, que as fibras provenientes do gânglio espiral somente se projetam para as células ciliadas internas.

MECANISMO DE TRANSDUÇÃO DE SINAIS

As ondas que se deslocam ao longo dos compartimentos cocleares ativam as células ciliadas da seguinte maneira: as membranas basilar e tectorial, fixas em diferentes pontos da parede medial da cóclea (de maneira paralela), sofrem um movimento ondulatório que empurra o líquido que preenche a cavidade em direção à helicotrema, tendendo a modificar os ângulos de inclinação das membranas. A membrana tectorial é, porém, mais flexível do que a membrana basal, sendo movimentada com mais facilidade. Como os estereocílios das células ciliadas externas estão quase aderidos à membrana tectorial, cria-se um “vai-e-vem” acentuado dos mesmos. Já os estereocílios das células ciliadas internas, que não chegam a

estar aderidos à membrana tectorial, ativam-se pelo deslocamento do líquido subtectorial (Figura 10.6). Este tipo de movimento estereociliar desencadeia a abertura e o fechamento de canais de potássio localizados próximos às extremidades dos estereocílios.

Caso o movimento (deflexão) seja direcionado de modo a começar dos menores estereocílios em direção ao cinocílio, teremos, como resultado, a abertura de canais e a conseqüente despolarização da célula. Entretanto, caso o movimento se inicie do cinocílio em direção ao menor estereocílio, haverá o fechamento de canais e a conseqüente hiperpolarização da célula (Figura 10.7.a). Neste último caso, como os estereocílios estão imersos em líquido endolinfático extremamente positivo (maior concentração de íons potássio), em comparação com o meio intracelular, a abertura de canais de potássio promove a entrada destes íons para dentro da célula (corrente de entrada) de forma a despolarizá-la.

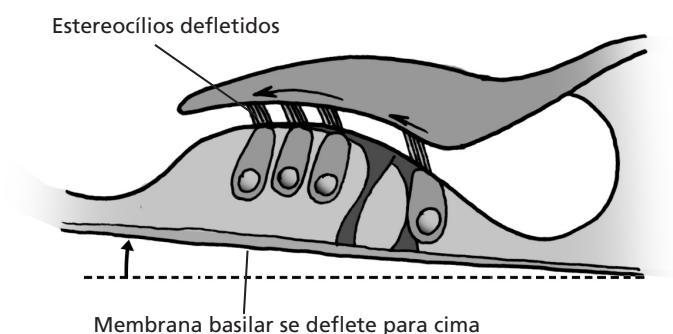


Figura 10.6: Estrutura do órgão de Corti quando há movimento de líquido e conseqüente modificação da angulação das membranas basilar e tectorial, movimentando os cílios das células ciliadas.

A despolarização provocada nas células ciliadas (via entrada de potássio) resulta na abertura de canais de cálcio dependentes de voltagem na base desta célula e no conseqüente influxo de cálcio por esta via, o que, por sua vez, aumenta esta despolarização. Ao mesmo tempo, o influxo aumenta a concentração citoplasmática compartimentalizada deste cátion próximo à superfície da membrana. O cálcio livre irá ativar canais de potássio sensíveis a este íon. Entretanto, estes canais estão na superfície basal desta célula e estão em contato com uma região que apresenta baixa concentração de íons potássio, teremos o efluxo deste íon. A saída do potássio resulta em uma progressiva repolarização, diminuindo a ativação

daqueles canais de cálcio dependentes de voltagem. A saída continuada de cargas positivas acaba por ocasionar a hiperpolarização da célula. Com o tempo, o cálcio livre citoplasmático é compartimentalizado por organelas ou jogado para fora das células por bombas iônicas. Assim, os canais de potássio dependentes de cálcio também interrompem seu fluxo e a célula retorna ao seu estágio inicial de equilíbrio, sendo então capaz de responder a outro estímulo.

O influxo de cálcio na região basal da célula inicia também a fusão de vesículas sinápticas nas especializações pré-sinápticas. Como resultado, temos a liberação de neurotransmissores (principalmente glutamato e aspartato) e conseqüente despolarização e disparo do potencial de ação (caso a estimulação seja suficiente) no neurônio aferente (**Figura 10.7.b**). Neurônios ganglionares espirais (células bipolares) projetam seus axônios até os núcleos cocleares para que a informação seja carregada para os centros superiores de processamento auditivo.

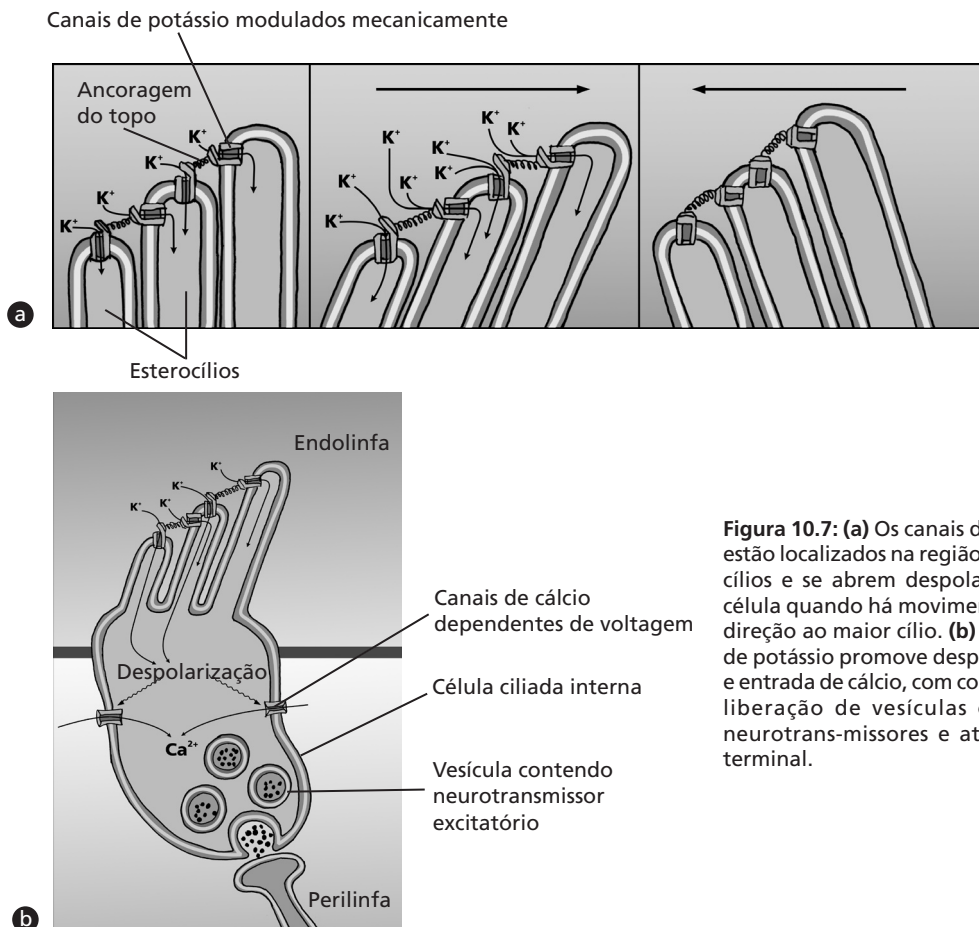


Figura 10.7: (a) Os canais de potássio estão localizados na região apical dos cílios e se abrem despolarizando a célula quando há movimentação em direção ao maior cílio. (b) A entrada de potássio promove despolarização e entrada de cálcio, com conseqüente liberação de vesículas contendo neurotransmissores e ativação do terminal.



ATIVIDADES

1. Defina o limite anatômico da orelha média e explique sua organização funcional.

RESPOSTA COMENTADA

A orelha média se encontra entre a orelha externa, cujo limite é a membrana timpânica, e a orelha interna, cujo limite é a janela oval. Na orelha média estão o martelo, a bigorna e o estribo, três delicados ossos articulados entre si. O martelo está em contato com o tímpano, enquanto o estribo está em contato com a janela oval. Os deslocamentos de ar que fazem vibrar a membrana timpânica movimentam o martelo, e, conseqüentemente, em seqüência, os dois outros ossículos da cadeia. O estribo, por sua vez, percute a janela oval, onde se inicia a cóclea, causando um deslocamento de perilinfa e endolinfa. A ação dos ossículos é modulada pelos músculos tensor do tímpano e o estapédio, que ancoram respectivamente o martelo e o estribo na parede óssea da cavidade, enrijecendo a cadeia e diminuindo sua mobilidade.

2. Explique a organização anatômica da cóclea.

RESPOSTA COMENTADA

A cóclea se inicia na janela oval e termina na janela redonda. Ela é subdividida em três canais paralelos, a escala vestibular, escala média (ou canal coclear) e escala timpânica. As escalas timpânica e vestibular são preenchidas por perilinfa, enquanto o canal coclear é preenchido por endolinfa. Na região apical da cóclea, a perilinfa contida no canal vestibular flui para o canal timpânico. O limite divisório entre as escalas vestibular, média e timpânica é constituído por duas membranas (membrana de Reissner e membrana basilar). O aparelho sensorial, denominado órgão de Corti, encontra-se sustentado pela membrana basilar, de modo que a superfície externa do mesmo fica em contato com a endolinfa presente na escala média. É no órgão de Corti que encontramos os receptores auditivos.

3. Explique a organização celular da cóclea e sua importância na transdução dos estímulos auditivos.

RESPOSTA COMENTADA

No órgão de Corti, sobre a membrana basilar, localizam-se as células receptoras auditivas. Estas células têm, em sua superfície apical, um conjunto de estereocílios de diferentes tamanhos e dispostos de maneira crescente, e um único cinocílio, maior e mais rígido. A porção apical destes cílios é rica em canais de potássio e apresenta pontes que conectam uns aos outros, além de ser rica. Sua extremidade fica presa à massa gelatinosa que compõe a membrana tectorial. Quando existe estímulo sonoro, a vibração é repassada pelos ossículos da orelha média que fazem vibrar a membrana da janela oval. Com isso, a perilinfa e a endolinfa que preenchem as escalas cocleares são empurradas, causando uma onda. O deslocamento do líquido movimenta a membrana tectorial, e conseqüentemente, faz com que os cílios dos receptores sejam dobrados. Isto causa uma entrada de potássio e liberação de neurotransmissores pelas células ciliadas, o que excita os terminais de neurônios cujos corpos celulares estão localizados no gânglio espiral. Desta forma, um estímulo físico (deslocamento do ar ou de líquido) é codificado como um estímulo elétrico, que pode ser interpretado pelo SN.

CODIFICAÇÃO E TONOTOPIA

Até este momento vimos a estrutura do aparelho auditivo. Mas como se processa a codificação das diferentes frequências sonoras que chegam aos nossos ouvidos?

A membrana basilar varia em espessura e rigidez conforme o seu distanciamento da região da base da cóclea. Próximo à base, ela é estreita e rígida, e, quanto mais distante, mais larga e flexível ela se torna. Desta forma, as frequências sonoras afetam diferentes populações de células ciliadas presentes em porções diferenciadas da membrana basilar, de acordo com a oscilação causada nestas regiões. Componentes de alta

freqüência (sons agudos, por exemplo, uma freqüência de 15.000Hz) produzem uma estimulação maior próximo à base da cóclea, que é mais delgada e rígida, ao passo que componentes de baixa freqüência (sons graves, por exemplo, uma freqüência de 100Hz) excitam mais a região flexível apical da cóclea, próxima à helicotrema (**Figura 10.8**).

Assim, analisando-se a organização topográfica da cóclea, relacionou-se esta estrutura sensorial ao papel de um analisador de espectros, de modo que sua função é desmembrar as freqüências de um som composto de tal forma que ele possa ser analisado em módulos por diferentes regiões ao longo da membrana basilar. Este princípio de organização espacial de codificação diferenciada de freqüências (conforme a região mais basal ou apical da cóclea) é denominado, código de lugar ou tonotopia. A condução da informação de diferentes freqüências também é feita tonotopicamente nas estações intermediárias de processamento (tronco encefálico, tálamo) até a informação chegar aos centros auditivos corticais (**Figura 10.9**).

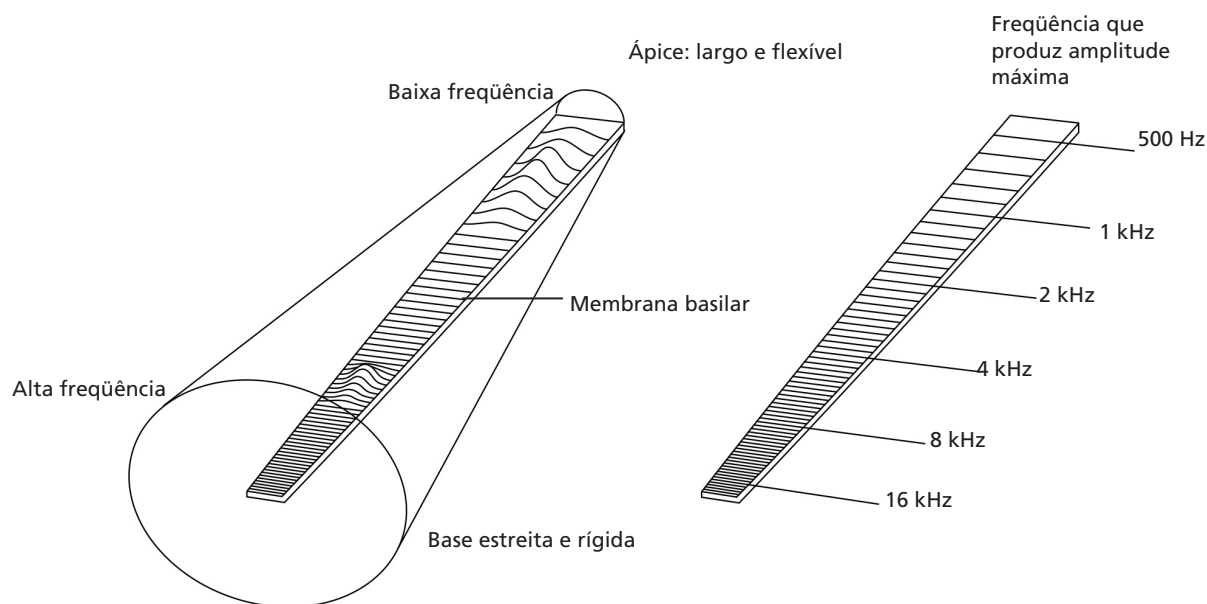


Figura 10.8: Representação esquemática da cóclea, mostrando que ela é mais estreita próxima à base e larga próximo ao ápice. As freqüências vão estimular diferentes regiões, sendo as mais altas na base e as mais baixas no ápice.

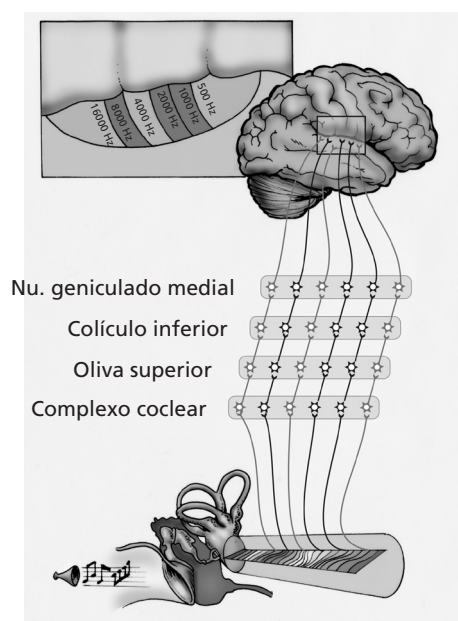


Figura 10.9: A representação tonotópica é mantida em toda a via auditiva, desde a membrana basilar até o córtex auditivo primário.

VIAS AUDITIVAS

Para que o estímulo sonoro proveniente das células ciliadas da cóclea chegue aos núcleos do tronco encefálico onde trarão informações de localização, e ao córtex auditivo, onde serão detalhadamente analisadas quanto a intensidade e frequência, devem percorrer vias anatômicas, como já vimos nas Aulas 8 e 9 para somestesia e visão.

Os prolongamentos centrais dos neurônios bipolares cujos corpos celulares estão no gânglio espiral recebem a informação das células ciliadas cocleares e convergem para o gânglio. Os prolongamentos centrais destes mesmos neurônios convergem para formar o nervo auditivo que se junta ao nervo vestibular para formar o nervo vestibulococlear (VIII par craniano).

Como você pode observar na **Figura 10.10**, o sistema auditivo tem estágios sinápticos em cada um dos níveis do SN: bulbo, ponte, mesencéfalo, diencefalo e córtex cerebral. As fibras do nervo auditivo penetram no SNC no nível do bulbo e fazem uma primeira sinapse nos núcleos cocleares. Os axônios dos neurônios bulbares se conectam com núcleos pontinos (núcleos do complexo olivar superior. Se você tiver dúvida sobre a localização anatômica da ponte, volte à Aula 6) ipso e contralaterais ou com o colículo superior no mesencéfalo, dependendo do tipo de informação que estejam carreando. Do colículo superior há uma projeção ascendente para o núcleo geniculado medial do tálamo, de onde parte uma projeção pela cápsula interna para o córtex auditivo primário (A1) localizado no lobo temporal, bilateralmente.

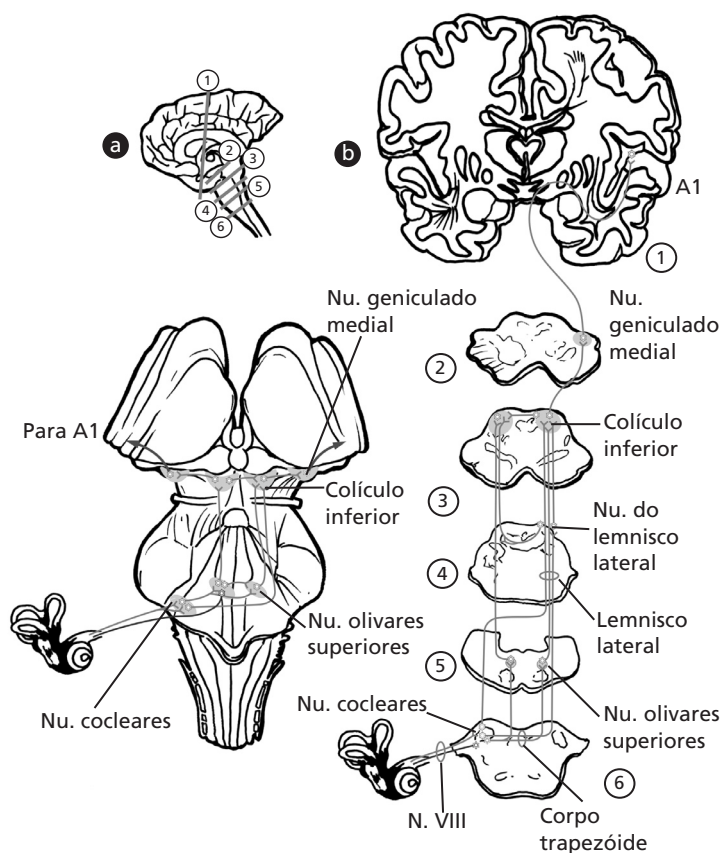


Figura 10.10: Vias de processamento auditivo em seus diferentes níveis sinápticos. Note que até o bulbo a projeção é unicamente ipsilateral, passando a ser bilateral a partir da ponte.

O CÓRTEX AUDITIVO

A função auditiva é bem menos estudada do que a visual e conhece-se relativamente pouco sobre seu processamento. Sabe-se que, além da organização tonotópica, temos colunas de neurônios que respondem preferencialmente a **ESTÍMULOS BINAURAIS**, ao passo que outros respondem a **ESTÍMULOS MONOAURAIS**. Existem outras áreas, cuja delimitação ainda é controversa, que funcionam no processamento superior de estímulos auditivos, recebendo conexões de A1. Além de áreas que atuam na representação da localização e da frequência dos sons, outras áreas corticais se destacam em humanos, como a área de **BROCA** e a área de **WERNICKE** que são essenciais para a perfeita percepção e emissão dos sons da fala, que abordaremos com mais detalhes a seguir (**Figura 10.11**).

De maneira análoga à observada nos sistemas somestésico e visual, diferentes atributos de um estímulo auditivo (diferentes frequências presentes em um som complexo, por exemplo) são carreadas, por vias paralelas distintas, até A1. Antes de chegarem ao seu destino final, A1, as informações passam pelas estações intermediárias citadas no item "vias auditivas" e, quando atingem o córtex auditivo, as vias paralelas de carreamento da informação irão fazer conexões de maneira topograficamente organizada. Observa-se, então, a formação de um mapa tonotópico cerebral ao nível de A1. No sistema auditivo existe uma área auditiva secundária, A2, porém, sua função não é completamente elucidada.

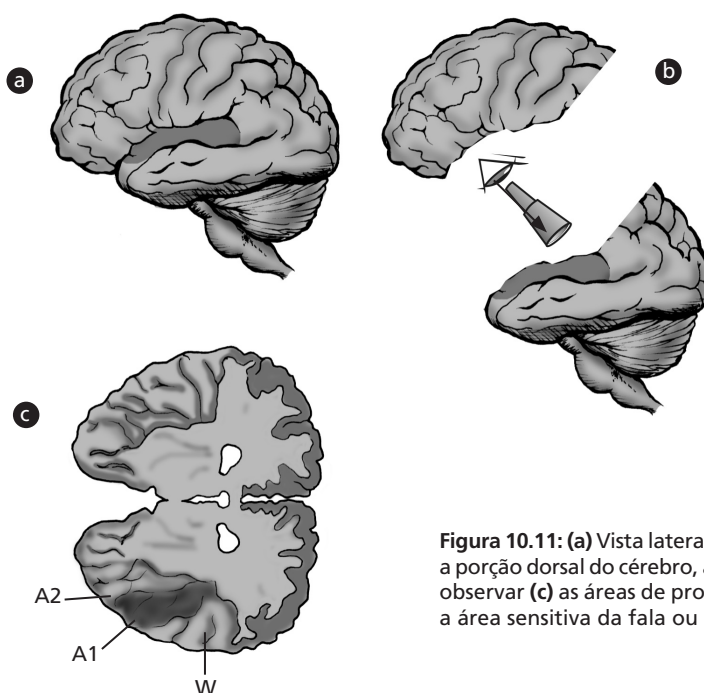


Figura 10.11: (a) Vista lateral do cérebro. (b) Quando se retira a porção dorsal do cérebro, acima da fissura lateral, podemos observar (c) as áreas de processamento auditivo (A1 e A2) e a área sensitiva da fala ou área de Wernicke (W).

ESTÍMULOS BINAURAIS

Estímulos auditivos provenientes de ambas as orelhas (o que ocorre em condições normais).

ESTÍMULOS MONOAURAIS

Estímulos auditivos provenientes de apenas uma das orelhas (ocorre apenas patologicamente ou quando se submete o indivíduo a testagem auditiva).

PIERRE-PAUL BROCA (1824–1880)

Neurocirurgião francês que descreveu o primeiro paciente com distúrbios da fala e demonstrou que o cérebro humano é dividido em áreas funcionais distintas. A área motora da fala recebeu seu nome.

CARL WERNICKE (1848-1904)

Ficou conhecido por seus estudos de neuropatologia relacionados a clínica. Identificou uma área cortical, que hoje recebeu seu nome, essencial para compreensão da linguagem falada.

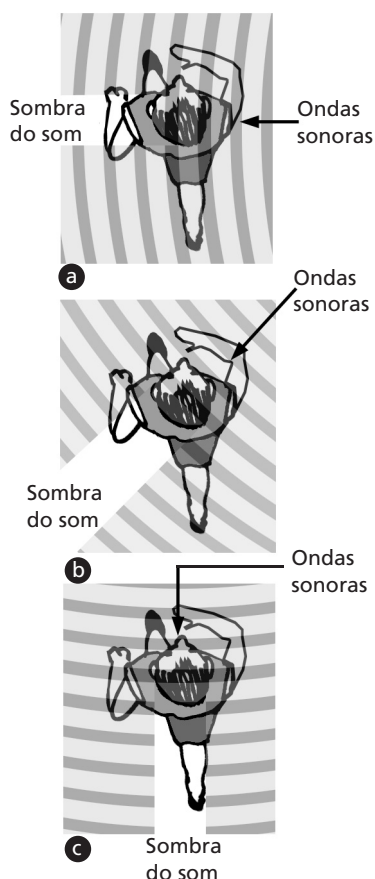


Figura 10.12: Uma das estratégias para a localização espacial do som é a diferença de intensidade entre as duas orelhas, que podemos perceber quando o som vem de um dos lados, como se observa em (a) e (b), mas não quando o som vem de um ponto exatamente na frente ou atrás do indivíduo (c).

LOCALIZAÇÃO DE SONS NO ESPAÇO

Para que sejamos capazes de localizar os sons à nossa volta, devemos considerar um mecanismo de identificação no eixo horizontal (a direita ou a esquerda do indivíduo) e outro no eixo vertical (em cima ou embaixo em relação à cabeça). A identificação no eixo horizontal pode ser explicada por um componente físico e outro biológico. Os sons emitidos à direita de um indivíduo chegam milésimos de segundo mais rápido em sua orelha direita do que na esquerda. O choque do som com as diferentes superfícies (inclusive a própria cabeça) fará com que o som emitido do lado direito chegue ao lado esquerdo com uma intensidade ligeiramente menor (**Figura 10.12.a**). O mesmo ocorrerá para sons que vierem de uma das diagonais (**Figura 10.12.b**), mas não para os que chegarem da frente ou de trás (**Figura 10.12.c**), pois chegarão às duas orelhas simultaneamente.

Outros mecanismos para detecção da origem do som também existem. As células dos núcleos olivares superiores na ponte, quando excitadas de um lado, recebem mais rapidamente a informação do que o núcleo do lado oposto, pois a projeção é mais curta. O lado não diretamente estimulado também receberá estímulos inibitórios, outro componente importante para a distinção da origem do som.

A localização no eixo vertical se deve, ao menos em parte, às dobras no pavilhão auditivo que refletem o som incidente, levando a um atraso na chegada deste à membrana timpânica (**Figura 10.13**).

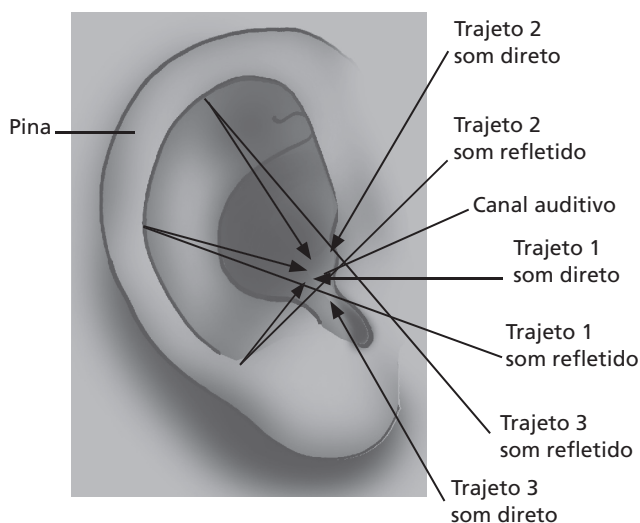


Figura 10.13: As dobras do pavilhão auditivo são assimétricas e refletem o som, permitindo que sejamos capazes de perceber sua origem no eixo vertical. Um som que chega diretamente ao meato auditivo, sem mudança de direção, vai excitar as células cocleares antes dos sons que serão refletidos. Note que o pavilhão auricular não é simétrico, de forma que a informação que chega das várias direções sofrerá um retardo, conforme sua proveniência (de cima, de baixo ou de um dos lados).



ATIVIDADES

4. O que é tonotopia?

RESPOSTA COMENTADA

Na cóclea, diferentes frequências sonoras afetam diferentes populações de células ciliadas presentes em porções da membrana basilar diferenciadas, de acordo com a oscilação causada nestas regiões. Componentes de alta frequência (agudos) produzem uma estimulação maior próximo à base da cóclea, que é mais delgada e rígida, ao passo que componentes de baixa frequência (graves) excitam mais a região flexível apical da cóclea, próxima à helicotrema. Não só a decodificação é feita em porções independentes da cóclea, mas também o carreamento diferencial da informação segundo as frequências ao longo da via é preservado nas estações intermediárias de processamento (tronco encefálico, tálamo) até que chegue aos centros auditivos. A isto chamamos tonotopia, semelhante à somatotopia, que vimos no sistema somestésico.

5. Em que níveis da via auditiva existem sinapses?

RESPOSTA COMENTADA

No bulbo (núcleos cocleares), na ponte (núcleos olivares superiores, núcleo do lemnisco lateral), no mesencéfalo (colículo superior), no tálamo (núcleo geniculado medial) e no córtex (córtex auditivo primário, córtex auditivo secundário e áreas associativas).

6. Existe uma diferença marcante na organização da via visual e auditiva. Você é capaz de apontá-la e dissertar sobre sua importância?

RESPOSTA COMENTADA

Você acertou se pensou na bilateralidade da via auditiva. Na via visual, no nível do quiasma óptico, separamos as informações referentes aos campos visuais direito e esquerdo (lembre-se de que isto não é sinônimo de olho direito e esquerdo. Se isso ainda não está claro para você, volte ao texto da Aula 9). Desta forma, a informação de cada hemimundo segue, independentemente, para o tálamo e depois para o córtex visual primário. Somente no córtex é que existirá integração das informações das duas metades do mundo.

A via auditiva é diferente. A informação proveniente de uma das orelhas segue para o bulbo do tronco encefálico do mesmo lado. As projeções destes núcleos bulbares seguem contralateralmente e ipsolateralmente, ou seja, não há separação da informação auditiva proveniente do lado direito e esquerdo desde um nível bastante inicial da via, e não somente no córtex.

Somos capazes, porém, de identificar a proveniência do som, pois existem mecanismos de atraso do som e alças inibitórias que nos permitem computar a demora da informação auditiva de um dos lados em relação ao outro.

LINGUAGEM

A linguagem pode ser definida como um sistema de comunicação com regras estabelecidas que devem ser empregadas para que a mensagem enviada por um emissor seja compreendida por um receptor. Basicamente, pode ser oral, gestual, ou ainda escrita. A fala é uma forma de comunicação baseada em propriedades acústicas, que utiliza um número limitado de fonemas em combinações diversas. Para que

exista, requer a operação de várias partes do cérebro e envolve emoção e pensamento, utilizando uma complexa estrutura auditiva e motora. A fala apresenta uma base neurobiológica inata que permite a aprendizagem nos primeiros meses de vida pela escuta de outros indivíduos falando e pela prática de emissão de sons.

A linguagem falada é o principal modo de comunicação entre os seres humanos, existente em todas as culturas e sociedades. Os sons de nossa fala derivam quase todos da ação da corrente de ar vinda dos pulmões sobre estruturas do aparelho respiratório, sobretudo a laringe. As unidades mais simples da linguagem falada são os **FONEMAS**. Combinamos fonemas para formar sílabas. Estas, por sua vez, formam palavras, que, associadas, constroem frases. Desta forma, quando falamos, encadeamos uma sequência de palavras conhecidas, com pausas entre elas, e diferentes entonações para expressá-las, caracterizando a prosódia.

Ao longo de nossas vidas, aprendemos palavras e seus significados, construindo um dicionário interno ou um léxico mental que fica armazenado em nossas memórias. Estima-se que um indivíduo adulto educado tenha cerca de 50 mil palavras em seu léxico mental. Não existe uma área única em que se armazenem todas as palavras que conhecemos, mas parece que grupos de palavras que possam ser reunidos em categorias específicas (animais, instrumentos musicais, cores, animais, plantas, por exemplo) ficam localizados em determinadas regiões do córtex cerebral. Para falar, planejamos o conteúdo da mensagem que queremos transmitir e evocamos as palavras ideais para ela, para, então, formularmos as frases. É claro que este processo ocorre naturalmente, sem que, na maior parte das vezes, nos demos conta dos processos que ocorrem.

Quando ouvimos palavras, neurônios de determinadas áreas corticais são ativados. Isto pode ser aferido em indivíduos humanos vivos utilizando-se a tomografia de emissão de pósitros (**PET-SCAN**), como mostrado na **Figura 10.14**. Para a emissão das palavras, entra em ação nosso córtex motor, que coordena a ação dos músculos que movimentam a mímica facial, a língua, as cordas vocais, e os músculos respiratórios (falamos quando expiramos!). Em nosso córtex frontal, há ativação de uma região muito específica, conhecida como área de Broca (veja detalhes no box "Lesões corticais e afasias") que é ativada quando falamos (**Figura 10.14.c**). Assim como temos ativação de determinadas

FONEMA

"Toda distinção significativa entre duas palavras de uma língua estabelecida pela oposição ou contraste entre dois sons revela que cada um desses sons representa uma unidade mental sonora diferente. Essa unidade de que o som é representação (ou realização) física recebe o nome de fonema" (CUNHA, 2001, p. 27).

PET-SCAN

É uma técnica muito utilizada para testar a função cerebral. Os indivíduos a serem testados para alguma função (pode ser uma identificação visual ou auditiva simples, ou até mesmo, tarefas cognitivas mais elaboradas, como reconhecimento de figuras ou evocação de memórias) recebem uma injeção de glicose contendo isótopo radioativo. As regiões do cérebro que são mais utilizadas na tarefa requerida captam mais glicose para funcionarem melhor. A máquina de tomografia utilizada para PET é sensível às variações de glicose, quantificando-as por uma escala de cores.

áreas para emissão da fala, temos ativação de outras quando ouvimos, lemos ou mesmo imaginamos palavras (**Figura 10.14.a, b e d**). Quando conversamos, ativamos em combinação estas áreas, de modo a buscar em nosso léxico o significado do que está sendo transmitido para emitir respostas coerentes.

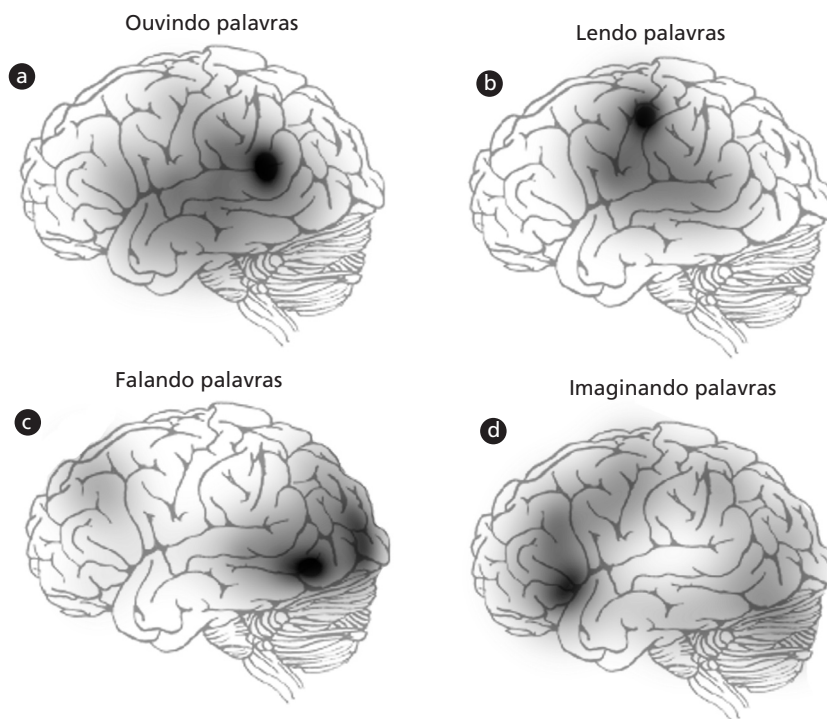


Figura 10.14: Representação das áreas de ativação dos hemisférios cerebrais durante tarefas de audição e fala. Note que as áreas utilizadas nas tarefas de (a) ouvir, (b) ler, (c) falar, e (d) imaginar palavras são diferentes. Ou seja, áreas relacionadas a funções semelhantes não são as mesmas, e muitas vezes não são contíguas, mas extensamente conectadas para que funcionem em harmonia.

Lesões corticais e afasias

Dentre os distúrbios da fala, temos a afasia, caracterizada pela perda da capacidade de emissão e/ou de compreensão da linguagem falada e escrita. Alterações no cérebro causadas por derrame, traumas ou processos degenerativos podem levar à afasia. Como diferentes modalidades de afasia se correlacionam com lesões de partes distintas do cérebro, foi possível estabelecer uma topografia da área afetada com o tipo específico de linguagem comprometida.

A primeira demonstração da heterogeneidade funcional das áreas do córtex cerebral foi realizada em 1861 pelo cirurgião francês Pierre-Paul Broca (1824–1880), que correlacionou lesões em uma região específica do lobo frontal (atualmente conhecida como área de Broca) com a perda da linguagem falada. De maneira mais específica, a área de Broca está situada nas partes opercular e triangular do giro frontal inferior, correspondendo à área 44 e parte da área 45 da classificação de Brodmann (**Figura 10.15**). A lesão desta área leva à chamada afasia motora ou afasia de Broca, na qual o indivíduo se torna incapaz de emitir frases coerentes que expressem seu pensamento.

Outras lesões levam os indivíduos a apresentarem dificuldades para compreender a fala e a escrita (afasia de Wernicke ou afasia sensitiva). Neste caso, a lesão é em outra região cerebral, correspondente ao lobo temporal (área 40 da classificação de Brodmann, **Figura 10.15**). Combinações de lesões destas duas áreas, ou do feixe que as conecta (feixe arqueado), podem gerar distúrbios mistos de compreensão/emissão da linguagem. Curiosamente, pacientes com afasia conseguem cantar quando submetidos a musicoterapia. Oliver Sacks, renomado neurologista americano, demonstrou que, embora a linguagem esteja comprometida nos pacientes com derrame cerebral que afete a área de Broca e outras áreas afins, a habilidade musical (canto) é usualmente preservada. Estas diferenças levantam uma questão geral em todos os estudos que envolvem lesões: quando o paciente perde a capacidade da fala, o que a habilidade de cantar revela a respeito do nosso cérebro? Se a música é uma janela para funções superiores do cérebro, esta poderia ser utilizada como coadjuvante da terapia?

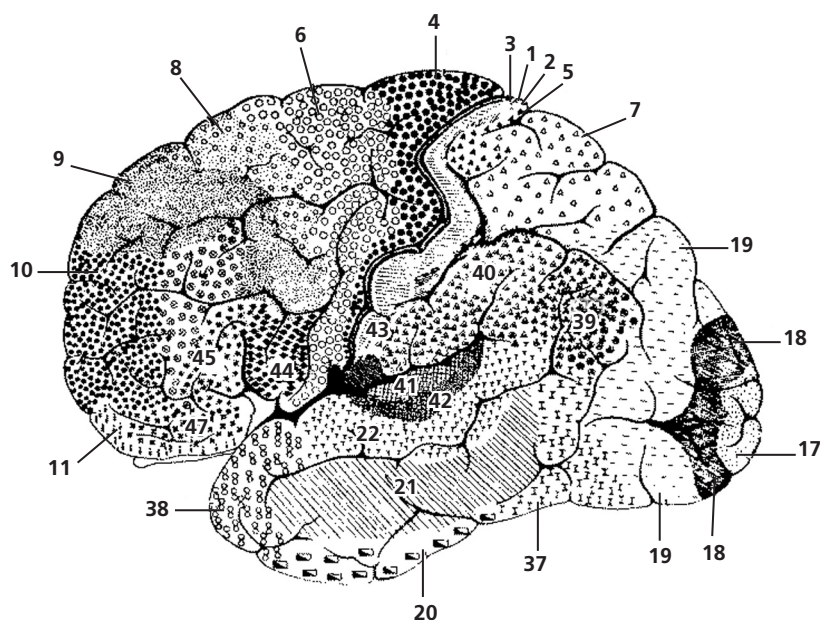


Figura 10.15: Divisão das áreas corticais segundo Brodmann. A divisão foi feita de acordo as características da disposição das células nas áreas. As áreas 44 e 45 são relacionadas à emissão da fala (Broca), e a área 40 está relacionada com a compreensão da fala (Wernicke). Várias outras áreas desta classificação já foram correlacionadas com funções, como é o caso, por exemplo, das áreas 3, 1 e 2 (relacionadas à somestesia, Aula 8), das áreas 17 e 18 (relacionadas à visão, Aula 9) e das áreas 4 e 6 (relacionadas às funções motoras, que serão vistas nas Aulas 18 e 19).

**ATIVIDADE**

7. Defina linguagem.

RESPOSTA COMENTADA

Linguagem é um sistema de comunicação com regras definidas que devem ser empregadas por um emissor para que seja compreendida por um receptor. Basicamente, pode ser oral, gestual, ou ainda escrita. A linguagem falada é uma forma de comunicação baseada em propriedades acústicas, que utiliza um número limitado de fonemas em combinações diversas, gerando palavras e frases.

Ouvimos quando captamos vibrações do ar capazes de sensibilizar nossas células ciliadas da cóclea. Mas estas vibrações passam a codificar informações com sentido, quando passam do órgão de captura (a cóclea), percorrendo vias complexas, até nosso córtex cerebral. Só aí somos capazes de discernir entre um piado, um rosnado, alguém falando japonês ou cantando em francês. A audição é, possivelmente, um sentido tão potente quanto a visão, mas seu estudo precisa ser cada vez mais aprofundado para que possamos compreendê-lo e explorá-lo ainda mais.

RESUMO

Os estímulos auditivos são provenientes de nossa cóclea, localizada na orelha interna. Os receptores cocleares possuem cílios que são estimulados pelo movimento da linfa existente nos canais da cóclea. A informação auditiva chega ao córtex auditivo primário (A1) após passar por vários estágios de processamento, e, diferente da visão e tato, muito precocemente passa a ser um estímulo processado

bilateralmente. Em A1 chegam os sons de nossa fala, que devem não só ser ouvidos, mas compreendidos e interpretados para que possam fazer sentido e evocar outras respostas de linguagem. Existem também áreas muito específicas para a compreensão e a emissão da palavra falada. A lesão destas regiões leva a distúrbios já bastante estudados.

ATIVIDADE FINAL

Um importante livro de Neurociência (*Princípios de neurociência*, de Eric Kandel, James Schwartz e Thomas Jessel) tem, no início de seu capítulo de sistemas sensoriais, o seguinte texto (traduzido livremente aqui): “Cores, tons, cheiros e gostos são criações mentais construídas pelo cérebro a partir de sua experiência sensorial. Assim, podemos responder à pergunta de um antigo provérbio: uma árvore caindo produz som, se não há ninguém por perto para ouvir? O som, como conhecemos, ocorre somente quando as ondas de pressão deslocadas pela árvore caindo são percebidas pelo cérebro de um ser vivo.” Depois de ler esta aula, como você responderia ao provérbio? Não se preocupe em escrever esta resposta, utilize a pergunta apenas como fonte de inspiração para você pensar nos mecanismos da audição a próxima vez que ouvir o barulho das árvores. Fica aqui o convite.

AUTO-AVALIAÇÃO

Neste momento você deve ser capaz de explicar os eventos mecânicos ligados à nossa audição, e como transformamos esta energia em código elétrico que o SNC é capaz de decodificar. Você observou as vias que levam os impulsos auditivos e as áreas corticais essenciais para que sejamos capazes de ouvir e de elaborarmos palavras, frases e conversações coerentes. Afinal, a audição é um sentido comum a muitas espécies (muitas ouvem, inclusive, muito mais e melhor do que o homem), mas que outro animal exibe uma capacidade lingüística tão elaborada quanto a nossa?

INFORMAÇÕES PARA A PRÓXIMA AULA

Nesta aula vimos mais um dos sentidos, a audição, e compreendemos por que somos capazes de ouvir e falar. Na próxima aula veremos os chamados “sentidos químicos”: o olfato e a gustação. Estudaremos como decodificamos os diferentes cheiros e sabores e o por que de sua importância. Com isto, encerraremos o estudo dos sentidos do nosso corpo que nos permitem interagir com o meio que nos cerca.

Corpo Humano I

Referências

Aula 1

MOORE, Keith L.; PERSAUD, Tomas V. N. *Embriologia clínica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 609p.

SADLER, Thomas W. *Langman : embriologia médica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 282p.

Aula 2

MOORE, Keith L.; PERSAUD, Tomas V. N. *Embriologia clínica*. 7.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 609p.

SADLER, Thomas W. *Langman: embriologia médica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 282p.

Aula 3

MOORE, Keith L.; PERSAUD, Tomas V. N. *Embriologia clínica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 609p.

SADLER, Thomas W. *Langman: embriologia médica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 282p.

Aula 4

MOORE, Keith L.; PERSAUD, Tomas V. N. *Embriologia clínica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 609p.

SADLER, Thomas W. *Langman: embriologia médica*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 282p.

DUMM, César Gómez. *Embriologia humana*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

MOORE, Keith L.; PERSAUD, T.V.N. *Embriologia clínica*. 10. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

SADLER, T.W. *Langman embriologia médica*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

LENT, Robert. *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.

JUNQUEIRA, Luis Carlos; CARNEIRO, José. *Histologia básica*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KIERSZENBAUM, Abraham, L. *Histologia e biologia celular: uma introdução à Patologia*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

YOUNG, Barbara; HEATH, John W. *Wheater's histologia funcional*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

Aula 8

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2. ed. São Paulo: Médicas, 2002.

KANDEL, Eric R.; SCHWARZ, James H.; JESSEL, Thomas M. *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.

MARTIN, John H. *Neuroanatomia: texto e atlas*. 2. ed. São Paulo: Arte Médica, 2002.

Aula 9

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. *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.

Aula 10

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

CUNHA, Celso. *Nova gramática do português contemporâneo*. 3. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2001.

JOURDAIN, Robert. *Música, cérebro e êxtase*. Rio de Janeiro: Objetiva, 1997.

KANDEL, Eric R.; SCHWARZ, James H.; JESSEL, Thomas M. *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.

Serviço gráfico realizado em parceria com a Fundação Santa Cabrini por intermédio do gerenciamento laborativo e educacional da mão-de-obra de apenados do sistema prisional do Estado do Rio de Janeiro.



Maiores informações: www.santacabrini.rj.gov.br

ISBN 85-7648-350-5



9 788576 483502



UENF
Universidade Estadual
do Norte Fluminense



Universidade Federal Fluminense



**GOVERNO DO
Rio de Janeiro**

SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Ministério
da Educação

