EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA

SISTEMAS FUNCIONAIS I
TOMO I

Gleydes Gambogi Parreira
Gleide Fernandes de Avelar
Jaqueline Melo Soares

EDITORA ufmg

SISTEMAS FUNCIONAIS I
TOMO I



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Reitor: Ronaldo Tadêu Pena
Vice-Reitora: Heloisa Maria Murgel Starling

Pró-Reitoria de Graduação

Pró-Reitor: Mauro Braga
Pró-Reitora Adjunta: Carmela Maria Polito Braga
Coordenadora do Centro de Apoio à Educação a Distância:
Maria do Carmo Vila

EDITORA UFMG

Diretor: Wander Melo Miranda
Vice-Diretora: Silvana Cóser

Conselho Editorial

Wander Melo Miranda (presidente)
Carlos Antônio Leite Brandão
Juarez Rocha Guimarães
Márcio Gomes Soares
Maria das Graças Santa Bárbara
Maria Helena Damasceno e Silva Megale
Paulo Sérgio Lacerda Beirão
Silvana Cóser

Gleydes Gambogi Parreira
Gleide Fernandes de Avelar
Jaqueline Melo Soares

SISTEMAS FUNCIONAIS I
TOMO I

Belo Horizonte
Editora UFMG
2009

© 2009, Gleydes Gambogi Parreira, Gleide Fernandes de Avelar, Jaqueline Melo Soares
© 2009, Editora UFMG
Este livro ou parte dele não pode ser reproduzido por qualquer meio sem autorização escrita do Editor.

P258s

Parreira, Gleydes Gambogi.
Sistemas funcionais I / Gleydes Gambogi Parreira ... [et al.]. –
Belo Horizonte : Editora UFMG, 2008-2009.
2 v.: il.

Outros autores: t.1. Gleide Fernandes de Avelar, Jaqueline Melo Soares. – t. 2. Cleida Aparecida de Oliveira, Patrícia Massara Martinelli

ISBN: 978-85-7041-660-5

1. Histologia. 2. Morfologia. I. Avelar, Gleide Fernandes de. II. Soares, Jaqueline Melo. III. Oliveira, Cleida Aparecida de. IV. Martinelli, Patrícia Massara.

CDD: 574.8
CDU: 611.018

Ficha catalográfica elaborada pela CCQC - Central de Controle de Qualidade da Catalogação da Biblioteca Universitária da UFMG

Este livro recebeu o apoio financeiro da Secretaria de Educação a Distância do MEC.

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO DE TEXTOS DE BIOLOGIA: Gleydes Gambogi Parreira
EDITORAÇÃO DE TEXTOS: Maria do Carmo Leite Ribeiro
REVISÃO E NORMALIZAÇÃO: Maria do Carmo Leite Ribeiro
REVISÃO DE PROVAS: Eliane Sousa
PRODUÇÃO GRÁFICA: Warren Marilac
PROJETO GRÁFICO e CAPA: Eduardo Ferreira
FORMATAÇÃO: Warren Marilac

EDITORA UFMG
Av. Antônio Carlos, 6.627 - Ala direita da Biblioteca Central - Térreo
Campus Pampulha - 31270-901 - Belo Horizonte - MG
Tel.: +55 31 3409-4650 - Fax: +55 31 3409-4768
www.editora.ufmg.br - editora@ufmg.br

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
Av. Antônio Carlos, 6.627 - Reitoria – 6º andar
Campus Pampulha - 31270-901 - Belo Horizonte - MG
Tel.: +55 31 3409-4054 - Fax: +55 31 3409-4060
www.ufmg.br - info@prograd.ufmg.br - educacaoadistancia@ufmg.br

Os Cursos de Graduação da UFMG, modalidade a distância, foram concebidos tendo em vista dois princípios fundamentais. O primeiro deles se refere à democratização do acesso à educação superior; o segundo consiste na formação de profissionais de alto nível, comprometidos com o desenvolvimento do país.

A coletânea da qual este volume faz parte visa dar suporte aos estudantes desses cursos. Cada volume está relacionado com um tema, eleito como estruturante na matriz curricular. Ele apresenta os conhecimentos mínimos que são considerados essenciais no estudo do tema. Isso não significa que o estudante deva se limitar somente ao estudo do volume. Ao contrário, ele é o ponto de partida na busca de um conhecimento mais amplo e aprofundado sobre o assunto. Nessa direção, cada volume apresenta uma bibliografia, com indicação de obras impressas e obras virtuais que deverão ser consultadas na medida em que se fizer necessário.

Cada volume da coletânea está dividido em aulas, que consistem em unidades de estudo do tema tratado. As aulas podem se constituir em apresentação, reflexões e indagações teóricas, em experimentos ou em orientações para atividades a serem realizadas pelos estudantes.

Para cada aula ou conjunto de aulas, foi elaborada uma autoavaliação com o objetivo de levar o estudante a avaliar o seu progresso e a desenvolver estratégias de metacognição ao se conscientizar dos diversos aspectos envolvidos em seus processos cognitivos. A autoavaliação auxiliará o estudante a tornar-se mais autônomo, responsável, crítico, capaz de desenvolver sua independência intelectual. Caso ela mostre que as competências e habilidades indicadas nos objetivos não foram alcançadas, ele deverá estudar com mais afinco e atenção o tema proposto, reorientar seus estudos ou buscar ajuda dos tutores, professores especialistas e colegas.

Agradecemos a todas as instituições que colaboraram na produção desta coletânea. Em particular, agradecemos às pessoas (autores, coordenador da produção gráfica, coordenadores de redação, desenhistas, diagramadores, revisores) que dedicaram seu tempo e esforço na preparação desta obra que, temos certeza, em muito contribuirá para a educação brasileira.

Maria do Carmo Vila
Coordenadora do Centro de Educação a Distância
UFMG

SUMÁRIO

Introdução 09

AULA 1 Tecido epitelial 11

AULA 2 Tecido epitelial de revestimento simples 17

AULA 3 Tecido epitelial de revestimento estratificado 21

AULA 4 Tecido epitelial glandular – características gerais. 27

AULA 5 Glândulas endócrinas e anfícrinas. 35

AULA 6 Tecido conjuntivo propriamente dito. 41

AULA 7 Células do tecido conjuntivo. 51

AULA 8 Variedades do tecido conjuntivo 61

AULA 9 Tecido conjuntivo cartilaginoso. 69

AULA 10 Tecido conjuntivo ósseo 75

AULA 11 Ossificação 81

AULA 12 Tecido nervoso – neurônio e glia. 87

AULA 13 Tecido nervoso – fibras nervosas e nervos 95

AULA 14 Tecido nervoso – sinapses e terminações nervosas 103

AULA 15 Tecido muscular estriado esquelético 111

AULA 16 Tecido muscular estriado cardíaco e tecido muscular liso 123

INTRODUÇÃO

A presente disciplina tem como **objetivo** o estudo da organização histológica dos diferentes órgãos que compõem os sistemas orgânicos de vertebrados e, ao mesmo tempo, correlacioná-la com os aspectos funcionais dos mesmos.

No entanto, antes de discutirmos os sistemas orgânicos, vamos apresentar a organização dos tecidos separadamente, de tal forma que você compreenda que o órgão é a associação desses tecidos. Assim, na primeira fase trataremos dos tecidos **Epitelial**, **Conjuntivo**, **Nervoso** e **Muscular**. Na segunda fase, seguiremos para a compreensão da histofisiologia dos órgãos, ou seja, vamos agrupar os conhecimentos adquiridos separadamente na descrição dos tecidos, feita na primeira etapa, e entender suas ações nos diferentes órgãos que compõem o sistema corporal.

Os sistemas orgânicos dos vertebrados apresentam grande variação, não somente entre as diferentes classes, mas também entre grupos dentro de uma mesma classe. Portanto, torna-se impossível, dentro de uma única disciplina, esgotar todo o conhecimento existente sobre o assunto. Assim, trataremos dos aspectos mais relevantes da histofisiologia sistêmica, que capacitará o aluno a distinguir diferentes grupos de animais, incluindo o homem, e, ainda, lhe trará subsídios para buscar mais informações sobre os assuntos tratados em outras fontes de conhecimento.

É importante que o aluno tenha sempre em mente a importância da especulação, analisando e criticando as informações fornecidas, de forma a construir conceitos dinâmicos e passíveis de adição e atualização de conhecimento. Para tanto, é importante buscar outras fontes de informações, sejam elas em outras disciplinas do curso, diferentes livros, apostilas, páginas da Internet, entre outros.

Para estudo complementar, encontra-se no final do texto a lista de referências sobre o assunto. No texto, quando possível e quando considerado importante, é chamada a atenção do aluno para a busca de maiores detalhes sobre determinado assunto. No que se refere ao estudo prático, além do roteiro básico associado ao texto, o aluno deverá, sempre que possível, acessar o Atlas Histológico *on-line* da disciplina Histologia Especial, do Departamento de Morfologia do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, disponível no endereço <http://www.icb.ufmg.br/mor/hem>.

BOM ESTUDO!

AULA 1

Tecido epitelial

TECIDO EPITELIAL DE REVESTIMENTO - CARACTERÍSTICAS GERAIS

Introdução

Nós, os seres vivos, temos mecanismos próprios que nos protegem das adversidades do ambiente e também de patógenos que possam de alguma maneira prejudicar a homeostase corporal (funcionalidade metabólica, fisiológica e orgânica). Nesse aspecto, há vários sistemas envolvidos nessa "blindagem", sendo um deles o sistema tegumentar que reveste e protege a superfície da pele. Mas a variedade é maior! Podemos lembrar os epitélios que revestem o trato gastroentérico, o urinário e o respiratório que igualmente ao tegumentar estão sujeitos ao atrito. Citamos ainda, com igual importância, o endotélio vascular, que reveste os vasos circulantes que conduzem o sangue responsável pela manutenção e sincronia do sistema orgânico como um todo.

Os sistemas orgânicos serão discutidos oportunamente. Nosso objetivo nesta Aula é conhecer melhor a estrutura e a morfologia dos tecidos de revestimento e isso será possível a partir do estudo dos epitélios.

O epitélio é composto por uma ou mais lâminas de células fortemente aderidas que recobrem ou revestem a superfície do corpo, podendo também formar a unidade funcional das glândulas secretoras e o neuroepitélio. Essas diferenças permitem classificá-lo em três modalidades: **epitélio de revestimento**, **epitélio glandular** e **neuroepitélio**. De um modo geral, suas principais características são:

- Apresentar pouca matriz extracelular;
- Ser formado por células com diferentes morfologias, quais sejam: cilíndricas, cúbicas e achatadas;
- Suas células se posicionam justapostas e orientadas de acordo com a polaridade das mesmas – polo basal voltado para a região de sustentação e polo apical voltado para a superfície externa do órgão;

- Apresentar elaborada coesão graças à membrana basal, às junções intercelulares e ao glicocálice;
- Apresentar intensa renovação tecidual;
- Apresentar terminações nervosas sensitivas, ou seja, não contam com a formação de feixes nervosos;
- Ser avascular.

Assim, baseando-se nas características acima citadas, você será capaz de classificar os diferentes epitélios, entender seus aspectos funcionais e sua localização. No entanto, o assunto será abordado nesta Aula e também nas aulas 2, 3, 4 e 5, com mais vagar, pois, algumas características são particulares tanto da organização dos epitélios quanto de sua associação ao tecido conjuntivo. Uma dessas características é a membrana basal.

Membrana basal

A organização das células nos diferentes epitélios depende diretamente de dois fatores: as junções entre elas e sua adesividade e orientação em relação ao tecido conjuntivo subjacente. Essa "ancoragem" está especificamente relacionada à **membrana basal (MB)**, uma camada acelular formada basicamente por glicoproteínas organizadas em duas camadas: a lâmina basal e a lâmina reticular. A primeira é o resultado da associação de glicoproteínas como o colágeno do tipo IV, a entactina, a nidogenina e os glicosaminoglicanos. A lâmina reticular, por sua vez, é formada por colágeno do tipo III, chamadas fibras reticulares (Figura 1).

Seria muito simplista conferirmos à membrana basal a função apenas de ancoragem. Podemos listar ainda a participação no metabolismo de transporte das células epiteliais para o conjuntivo, e vice-versa, processos de seletividade e orientação para a disposição das células epiteliais.

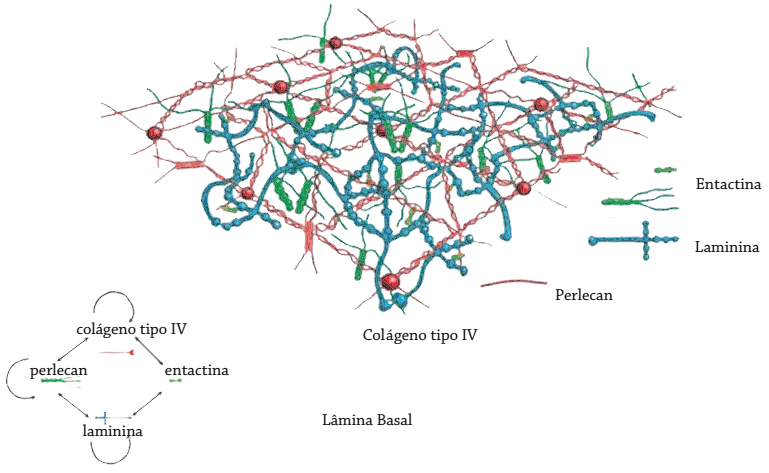


Figura 1 - Desenho esquemático da membrana basal (= lâmina basal + lâmina reticular)

Antes de avançarmos, é importante lembrar que a função de adesividade da membrana basal está também associada a alguns outros elementos que você já estudou. Vamos lembrar? Quando estudamos a membrana plasmática conhecemos as interdigitações entre as membranas das células vizinhas representadas pelas zônulas de adesão, zônulas de oclusão e dos desmossomos. A adesividade do epitélio com o conjuntivo adjacente na região basal é promovida pelos hemidesmossos e temos ainda o glicocálice, que é a camada de glicoproteínas voltada para o meio extracelular. Não podemos também nos esquecer dos elementos do citoesqueleto que exercem, entre outras funções, a de participar tanto da composição de algumas especializações de membrana (ex.: cílios e microvilosidades) quanto da manutenção da adesividade celular, através de sua relação com os componentes do complexo juncional. Assim sendo, devemos considerar na organização epitelial:

- A polaridade celular - determinada graças aos três domínios que respondem por sua orientação, a saber (Figura 2a e 2b):

  - Apicais: cílios, microvilosidades e estereocílios;

  - Laterais: complexo juncional, representado pela zônula de oclusão, zônula de adesão, desmossomos e as moléculas de adesão; além dessas, citamos as junções comunicantes ou do tipo gap, cuja função primordial é a comunicação célula-célula com consequente sincronia das funções epiteliais;

  - Basais: hemidesmossos.

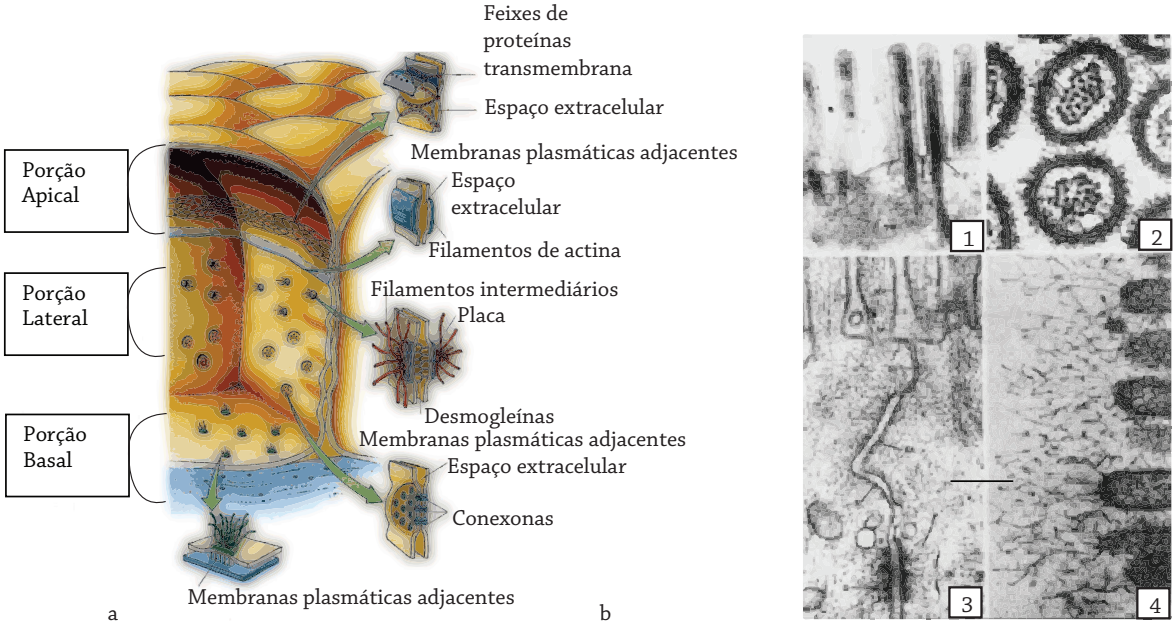


Figura 2 - a) desenho esquemático da associação entre duas células do epitélio intestinal. Observe os domínios apical, lateral e basal, e as associações existentes nesses domínios; b) micrografia eletrônica de células intestinais adjacentes: 1) microvilosidades sustentadas por filamentos de actina; 2) microvilosidades cortadas transversalmente; 3) complexo juncional: zônula de adesão, zônula de oclusão, desmossomos; 4) detalhe do glicocálice aderido à membrana plasmática

- O glicocálice – camada glicoproteica localizada na superfície externa das células e responsável por funções como reconhecimento celular, transporte, seletividade e adesividade (Figura 3).

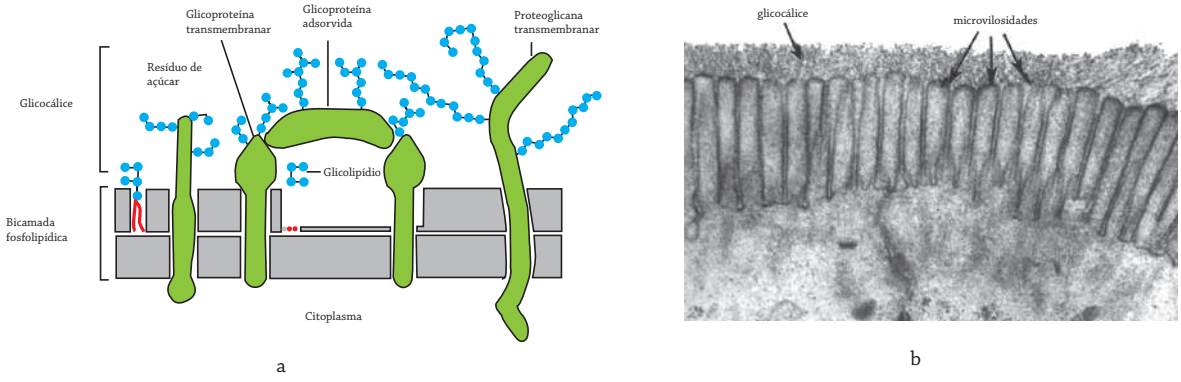


Figura 3 - a) esquema dos componentes do glicocálice; b) micrografia eletrônica de transmissão exibindo o glicocálice na superfície das microvilosidades

Critérios para classificação dos epitélios

É muito simples entendermos a classificação dos epitélios. Basta associarmos os critérios descritos a seguir, e depois relacionarmos os epitélios aos órgãos nos quais se encontram. Vamos aos critérios:

1 - **Quanto à forma das células voltadas para a superfície externa:**

• Pavimentosa - célula alongada e achatada; geralmente associada a epitélios que sofrem pressão;

• Cúbica - forma de cubo; geralmente associada a epitélios que apresentam metabolismo alto;

• Prismática ou colunar - forma de cilindro; presente em epitélios que estejam envolvidos com absorção e/ou secreção.

2 - **Quanto ao número de camadas:**

• Epitélio simples - apenas uma camada de células, sendo que todas elas se apoiam na membrana basal;

• Epitélio estratificado - mais de uma camada de células, sendo que apenas a primeira camada se apoia na membrana basal.

3 - **Quanto à presença de especializações de membrana**:

• Cílios;

• Microvilosidades;

• Queratina;

• Com células caliciformes.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Conceitue tecidos.
2. Citar as características dos tecidos.
3. Sobre a membrana basal, citar:
    a) componentes
    b) localização
    c) funções
4. Cite um exemplo de epitélio que represente todos os critérios para sua classificação.

AULA 2

Tecido epitelial de revestimento simples

Para avançar no estudo dos tipos de epitélio, você deverá usar os critérios de diferenciação que vamos lembrar a seguir:

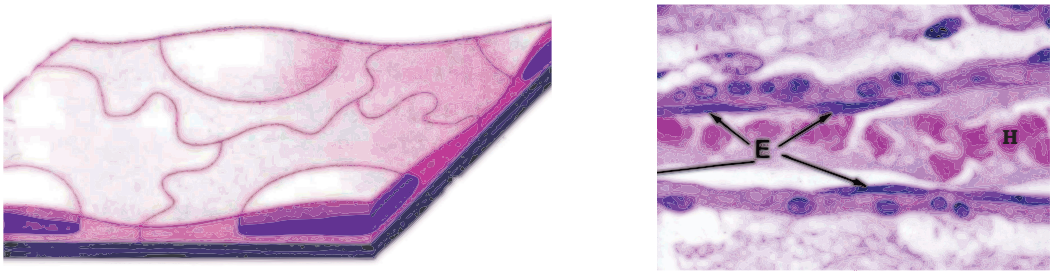
- A classificação do epitélio em **simples** leva em conta o contato de todas as células da primeira camada com a membrana basal; o epitélio **estratificado** é classificado considerando o contato apenas da primeira camada, dentre as seguintes do estrato;
- No caso do epitélio estratificado, a última camada voltada para a superfície externa, é aquela considerada para fins de classificação no critério quanto a **forma das células**;
- Estruturas como os cílios, as microvilosidades e as células caliciformes são consideradas especialiações que ajudam na diferenciação dos tipos de epitélio.

A partir de agora você será capaz de classificar os tecidos epiteliais! Vamos a eles!

Epitélios simples

- **Tecido epitelial de revestimento simples pavimentoso (Figura 1)**

Ex.: Endotélio de vasos sanguíneos



a b

Figura 1 - a) desenho esquemático; b) capilar sanguíneo. E = endotélio; H = hemácias

- **Tecido epitelial de revestimento simples cuboide** (Figura 2)

  Ex.: Epitélio do ducto renal

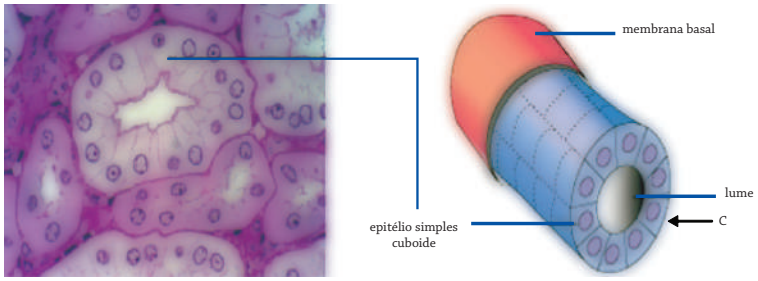


Figura 2 - a) ducto renal; b) desenho esquemático. C = célula cuboide; MB = membrana basal

- **Tecido epitelial de revestimento simples prismático** (Figura 3)

  Ex.: Epitélio do estômago

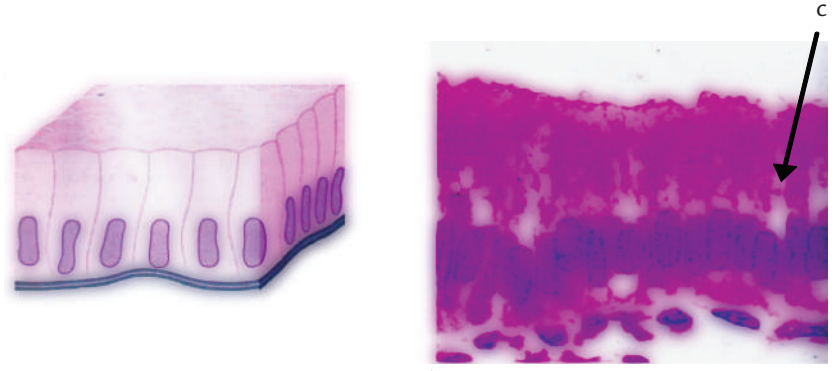


Figura 3 - a) desenho esquemático; b) epitélio cilíndrico. C = célula prismática

- **Tecido epitelial de revestimento simples prismático ciliado com célula caliciforme e borda estriada** (Figura 4)

  Ex.: Epitélio do intestino

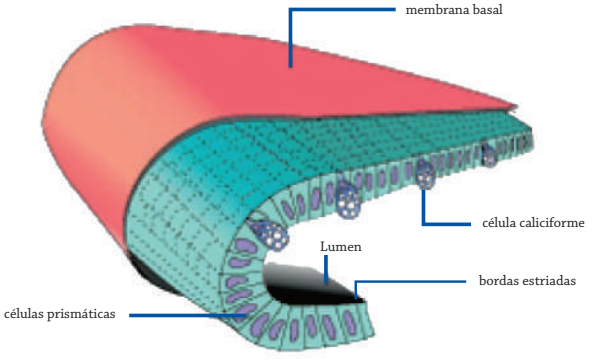


Figura 4 - a) desenho esquemático do epitélio intestinal

- **Tecido epitelial de revestimento simples prismático com célula caliciforme e borda estriada** (Figura 5)

  Ex.: Epitélio do intestino grosso

Cabe ressaltar, que, o termo "borda estriada" na classificação deste epitélio corresponde às microvilosidades que só são vistas à microscopia eletrônica de transmissão (MET). (Figura 5b)

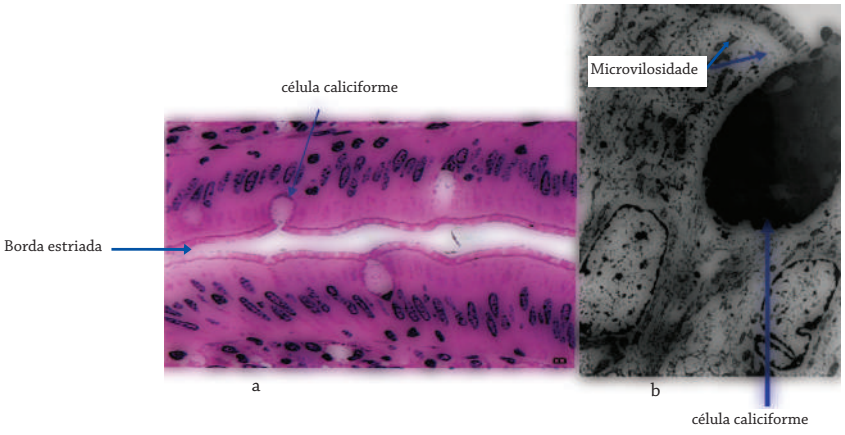


Figura 5 - a) epitelial intestinal visto à microscopia de luz (ML); b) epitelial intestinal visto à microscopia eletrônica de transmissão (MET)

- **Tecido epitelial de revestimento simples prismático pseudo-estratificado ciliado com célula caliciforme**

  Ex.: Epitélio da traqueia (Figura 6)

Esclarecimento importante: observe que nessa classificação usamos o termo "pseudoestratificado". Isto porque, ao observarmos esse tecido à microscopia de luz (ML), os núcleos das células apresentam-se em várias camadas, sugerindo estratificação. No entanto, à microscopia eletrônica de transmissão (MET), que, como você sabe, permite maior riqueza de detalhes, foi possível certificar-nos de que, na verdade, TODAS as células tocam a membrana basal, ainda que seja por uma pequena parte do seu citoplasma.

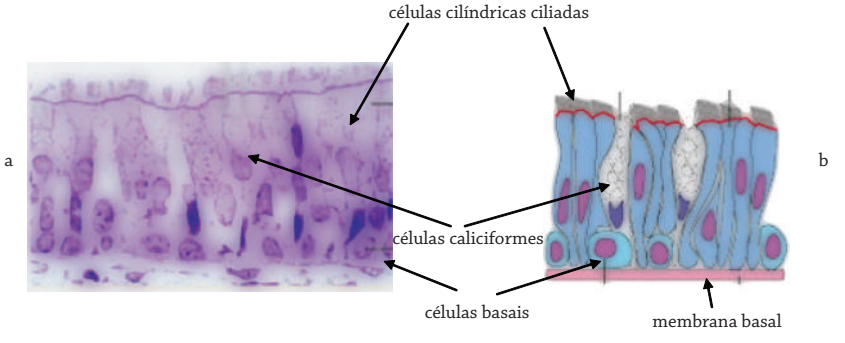


Figura 6 - a) corte longitudinal do epitélio pseudoestratificado da traqueia; b) desenho esquemático do epitélio pseudoestratificado

AUTOAVALIAÇÃO

1. Liste os critérios básicos para classificar os epitélios.
2. Explique:
    - diferença entre epitélio simples e estratificado;
    - que critério é utilizado para classificar o epitélio como estratificado?
    - que estruturas são adicionadas para a diferenciação dos epitélios?
3. Utilizando-se dos critérios de classificação, cite sobre os epitélios:
    - os tipos de epitélio;
    - suas respectivas localizações.

AULA 3

Tecido epitelial de revestimento estratificado

Para lembrar-se dos critérios de classificação, volte às características gerais, no início da Aula 1. Lembre-se, por exemplo, de que os epitélios estratificados são formados por várias camadas de células sobrepostas e que sua classificação completa baseia-se na camada de células voltada para o meio externo. Vamos seguir em frente!

- **Tecido epitelial de revestimento estratificado pavimentoso**

  Ex.: Epitélio esofágico (Figura 1)

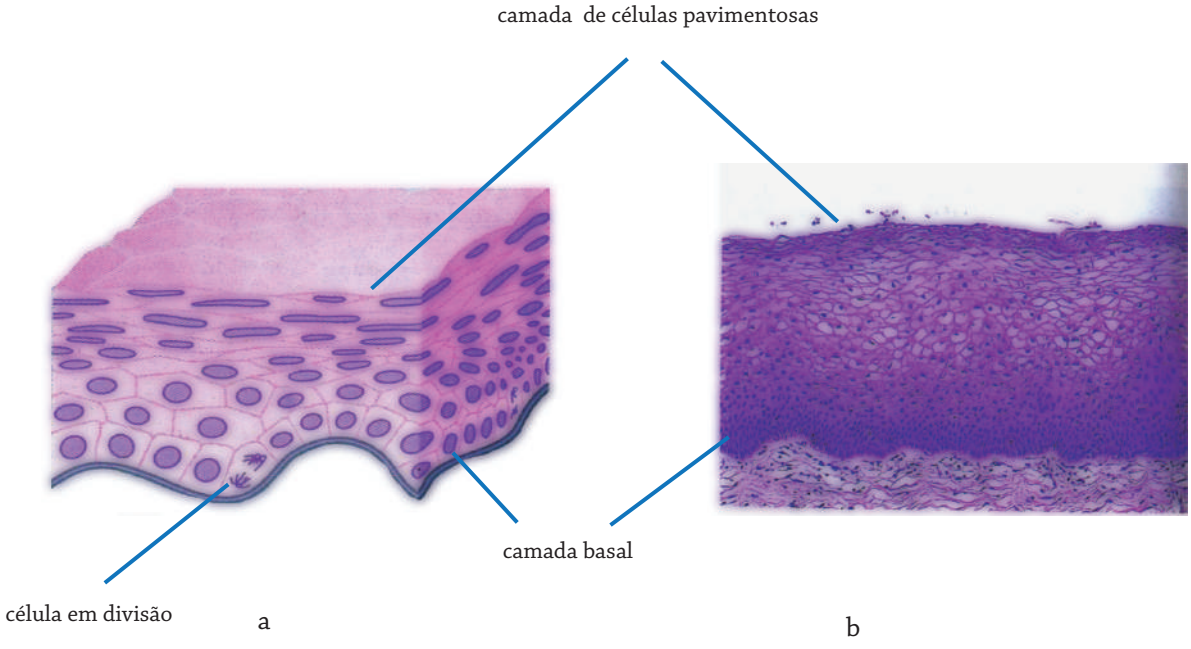


Figura 1 - a) desenho esquemático; b) epitélio do esôfago

- **Tecido epitelial estratificado cúbico**

  Ex.: Epitélio de revestimento de ductos (Figura 2)

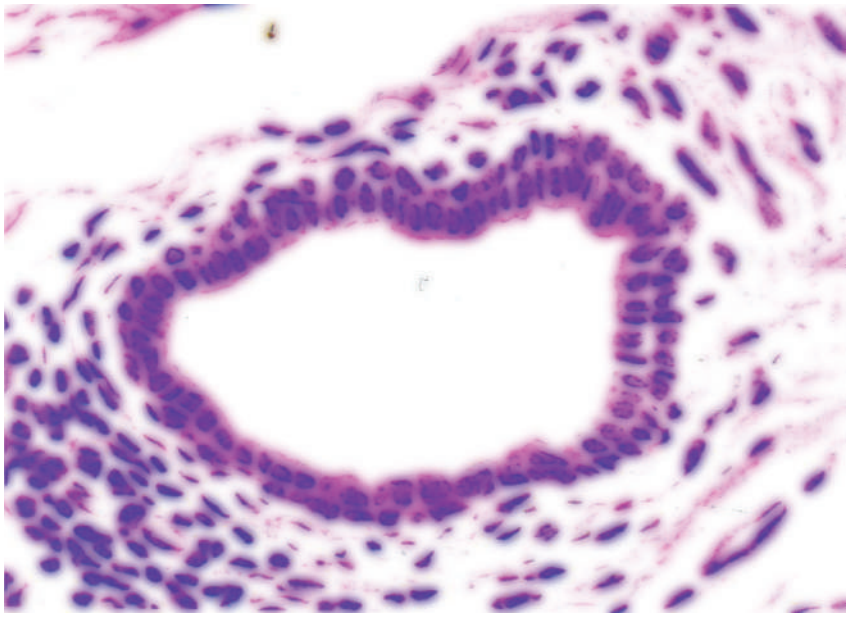
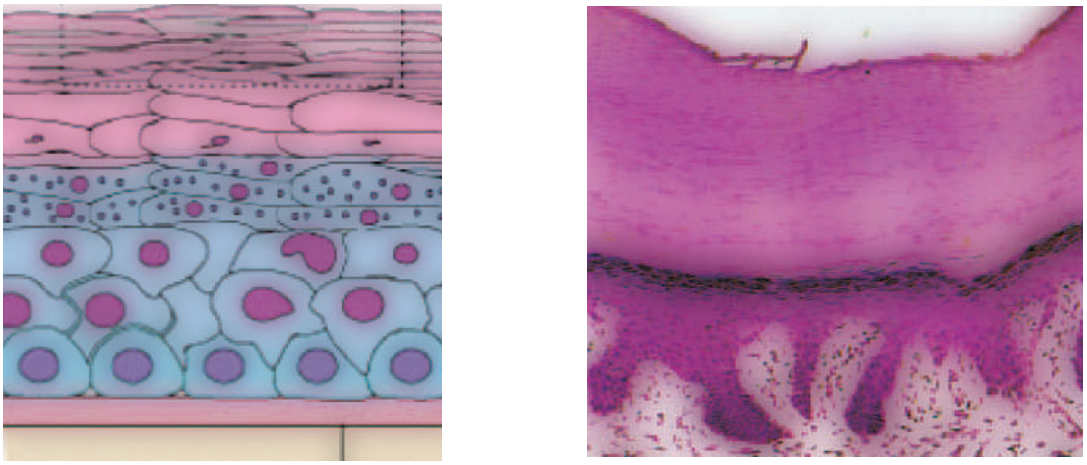


Figura 2 - Corte transversal de ducto mostrando duas camadas de células

- **Tecido epitelial de revestimento estratificado pavimentoso queratinizado**

  Ex.: Epitélio de revestimento da pele (Figura 3)

Esclarecimento importante: o termo "queratinizado" é aplicável nesse tipo de tecido epitelial de revestimento porque a última camada, ou seja, aquela voltada para a superfície externa, é formada por células ricas em queratina, uma glicoproteína citoplasmática. Essa camada tem a importante função de dar proteção aos tecidos que estão em contato com zonas de atrito e, portanto, passíveis de sofrerem desgaste, por exemplo, os tecidos da pele. Neste momento do nosso curso, não descreveremos as etapas de formação da camada de queratina, que será tratada oportunamente.



a b

Figura 3 - a) desenho esquemático; b) corte longitudinal do epitélio da pele

- **Tecido epitelial de transição**

  Ex.: Epitélio da bexiga (Figura 4)

Esclarecimento importante: temos aqui um outro caso curioso. O tecido epitelial de transição, também chamado de urotelial, consiste em dois tipos celulares: 1) colunares ou superficiais, que se estendem desde a base do epitélio até o lume; 2) células basais, apoiadas na membrana basal. Essencialmente, o urotélio é um tecido pseudoestratificado, embora tenha a aparência de estratificado. Esse epitélio responde funcionalmente à tensão feita pela urina contida na bexiga quando no seu estado cheio, e por esta razão, altera sua geometria e configuração. O mecanismo de alteração da célula é bem interessante. As células superficiais guardam vesículas proteicas discoidais no interior do citoplasma, próximo à membrana plasmática. Quando a bexiga enche, essas vesículas migram e se fundem à membrana, formando placas que promovem a distensão da superfície desta célula e consequentemente de todo o epitélio. Lembre-se de que as células epiteliais estão unidas entre si através de junções de suas membranas plasmáticas (Figura 4c).

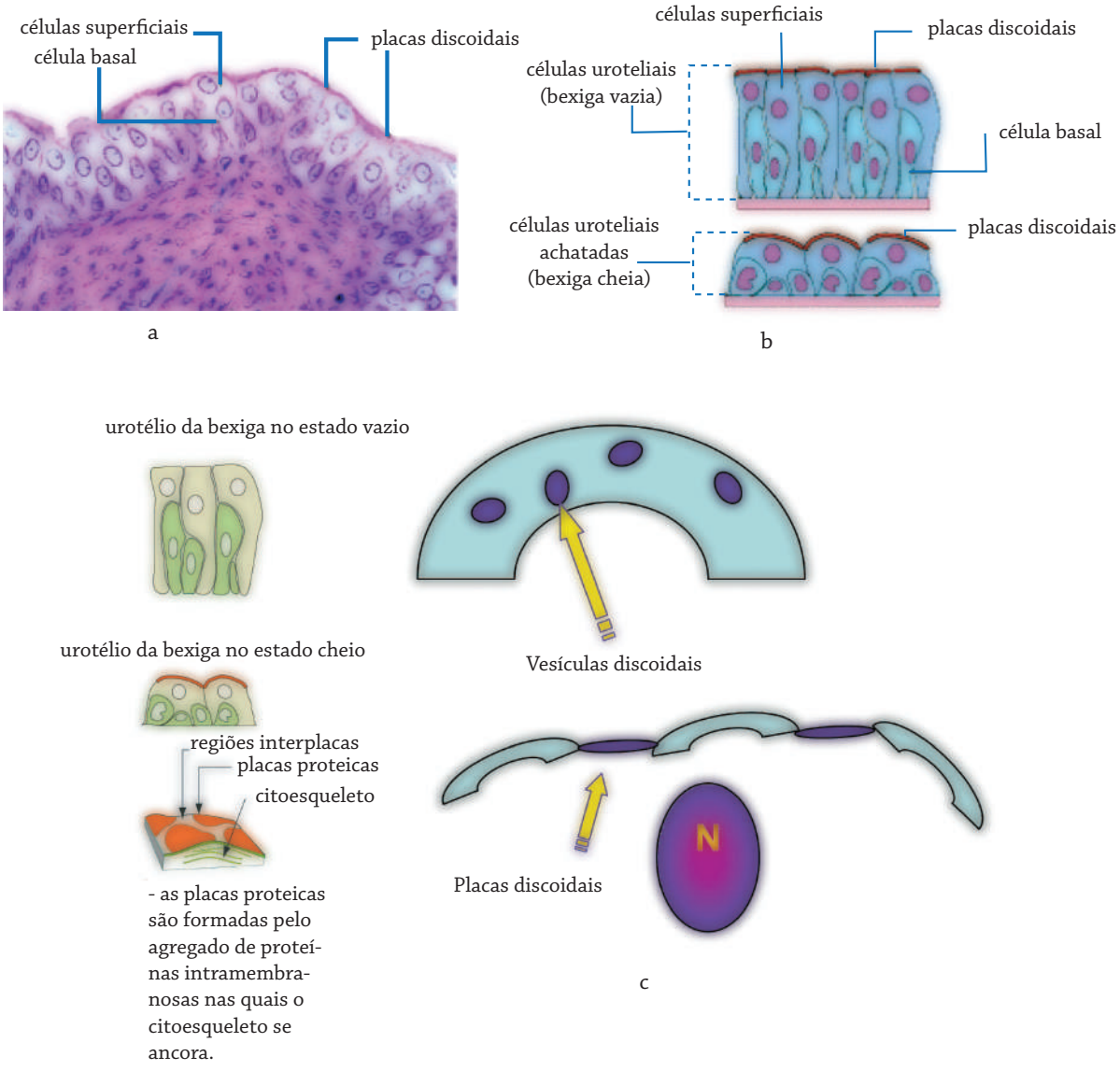


Figura 4 - a) desenho esquemático; b) corte longitudinal do epitélio da pele; c) desenho esquemático da alteração da superfície da célula superficial

AUTOAVALIAÇÃO

1. Qual é o conceito de tecido estratificado?
2. Cite os tipos de epitélio estratificado e dê um exemplo de ocorrência de cada um deles.
3. Como se explica a alteração morfológica das células do epitélio de transição?

AULA 4

Tecido epitelial glandular
características gerais

INTRODUÇÃO

Quando dizemos “deu água na boca”, diante de um alimento apetitoso, é sinal de que nossas glândulas salivares receberam um estímulo. Essas células e as de outros epitélios glandulares são especializadas na atividade de secreção. As moléculas a serem secretadas são armazenadas em pequenas vesículas envolvidas por uma membrana, chamadas de grânulos de secreção, presentes no citoplasma das células. Esses grânulos contêm substâncias de várias naturezas, como proteínas, lipídios e até complexos de carboidratos e proteínas.

ORIGEM DOS EPITÉLIOS GLANDULARES

As glândulas são formadas a partir da proliferação dos epitélios que invadem o tecido conjuntivo. Esta invasão caracteriza-se na formação do ducto, o que classifica a glândula como **exócrina**. Durante a formação embriológica da glândula **endócrina**, há a ocorrência do ducto, que desaparece no indivíduo adulto. Nesse caso, o produto de secreção é lançado diretamente nos vasos sanguíneos. (Figura 1)

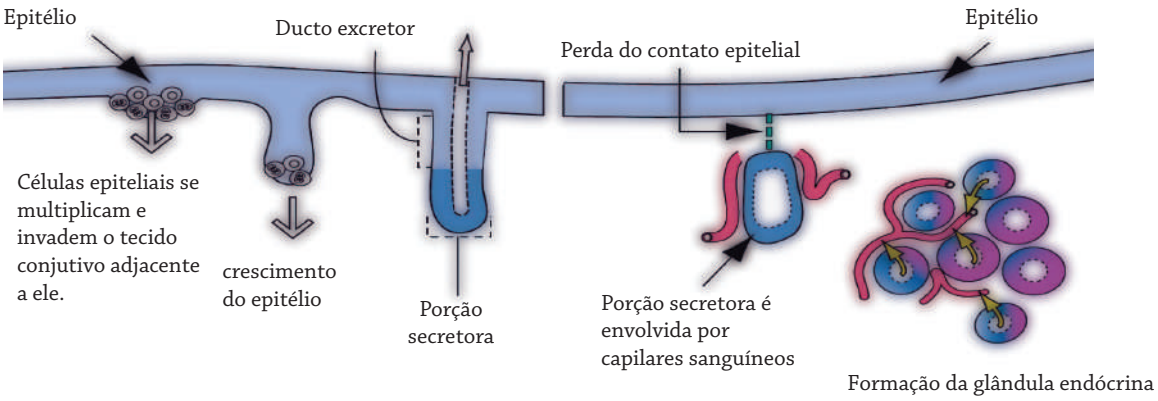


Figura 1 - Desenho esquemático da origem epitelial das glândulas exócrina e endócrina

CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DAS GLÂNDULAS

Obs.: As glândulas podem ser unicelulares, como é o caso da célula caliciforme, mas em sua maioria são multicelulares.

- Glândulas exócrinas - lançam o produto de secreção no meio externo;
- Glândulas endócrinas - lançam o produto de secreção em vasos sanguíneos;
- Glândulas anfícrinas - resultam da associação dos dois tipos de células, exócrina e endócrina, em uma mesma glândula.

Glândulas exócrinas multicelulares

Igualmente ao que vimos no epitélio, existem critérios que são aplicados para classificar as glândulas. Alguns conceitos importantes devem ser considerados. A parte condutora da glândula é chamada de ducto, e a parte secretora da glândula é denominada adenômero. Ambos sofrem variações de acordo com o tipo glandular. Vamos a eles!

Classificação:

a) Quanto ao número de ductos (Figura 2)

. Simples - um único ducto;

. Composto - ocorre a ramificação do ducto (ex.: pâncreas, parótida, sublingual).

b) Quanto à forma dos adenômeros (Figura 2)

. Tubuloso - disposição das células em cilindro (ex.: intestino grosso);

. Acinoso - disposição das células em círculo (ex.: parótida);

. Túbulo-acinoso - associação das duas disposições acima (ex.: esôfago).

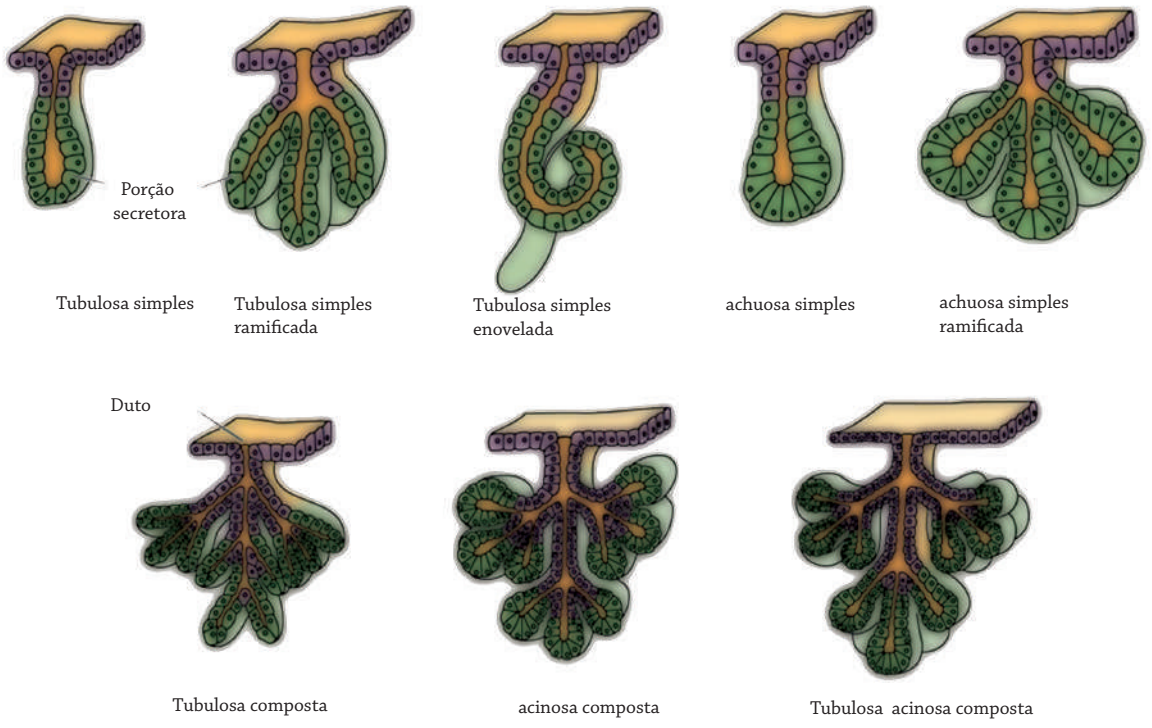


Figura 2 - Desenho esquemático dos tipos de glândulas, quanto ao número de ductos e quanto à forma de adenômeros

c) Quanto ao produto de secreção (Figura 3)

. Mucosa - as células se caracterizam por apresentar núcleos achatados e localizados na região basal; citoplasma rico em gotículas lipídicas e secreção mucípara (ex.: esôfago);

. Serosa - as células se caracterizam por apresentar núcleos vesiculosos e localizados na região basal; citoplasma rico em secreção proteica (ex.: parótida);

. Sero-mucosa - associação de células secretoras com a morfologia descrita para os tipos serosa e mucosa, com a secreção mista, ou seja, mucípara e proteica (ex.: submandibular).

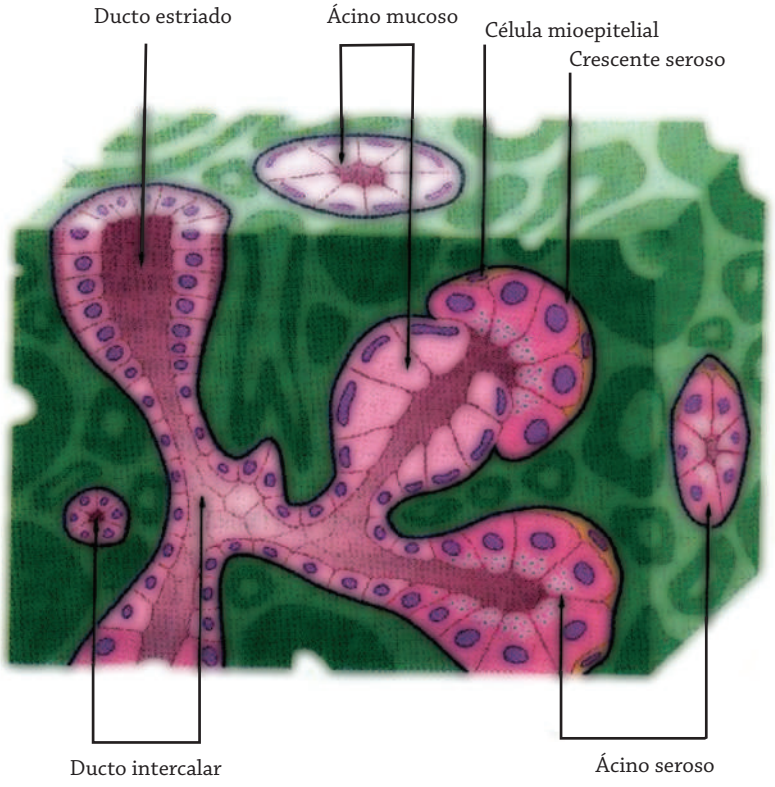


Figura 3 - Desenho esquemático exibe células com secreções serosa e mucosa

d) Quanto ao modo de liberação da secreção

- Holócrina - a secreção acumula-se na célula e este corpo celular é desprendido (ex.: glândula sebácea) (Figura 4a);
- Merócrina - a glândula libera apenas o produto de secreção (ex.: pâncreas; parótida etc.) (Figura 4b);
- Apócrina - a secreção é liberada com parte do citoplasma (ex.: glândula mamária) (Figura 4c).

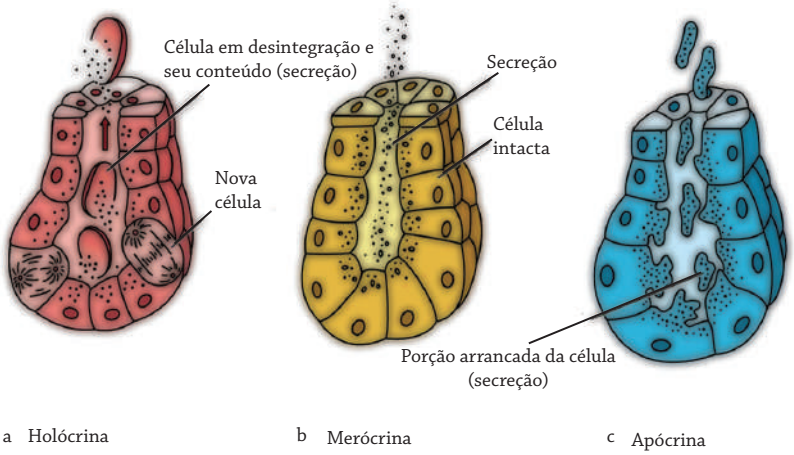


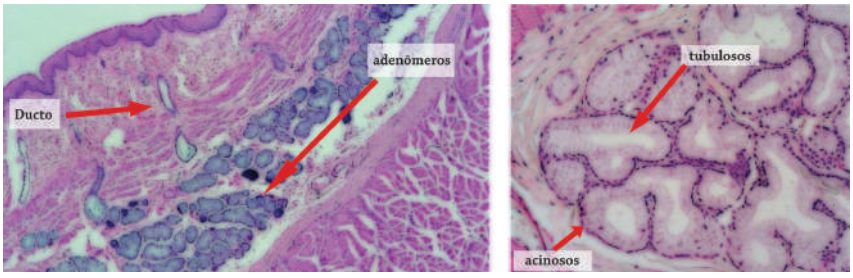
Figura 4 - Desenho esquemático dos tipos de secreção das glândulas exócrinas. a) Holócrina – a célula é expelida juntamente com a secreção; b) Merócrina – a célula secreta apenas o produto de secreção e restabelece sua forma; c) Apócrina – parte do citoplasma é secretado junto com a secreção

Exemplos de glândulas exócrinas

Seguem alguns exemplos de glândulas com suas devidas classificações, baseadas nos critérios anteriormente citados:

- Glândula exócrina simples túbulo-acinosa mucosa

  Ex.: Glândula esofágica (Figura 5)



a b

Figura 5 - a) visão panorâmica da glândula esofágica mostrando ducto e corpo glandular, os adenômeros; b) adenômeros túbulo acinosos, mostrando adenômeros com as duas morfologias, tubulosa e acinosa

- Glândula exócrina composta acinosa serosa

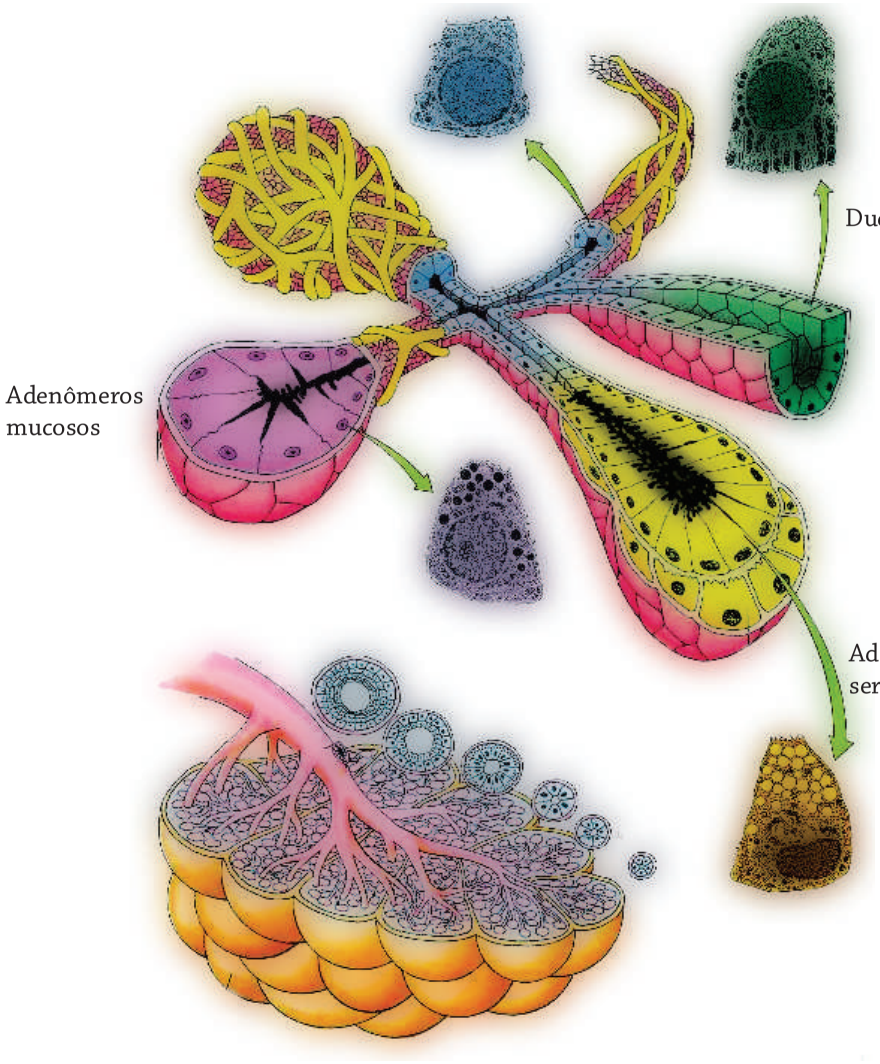
  Ex.: Parótida (Figura 6)



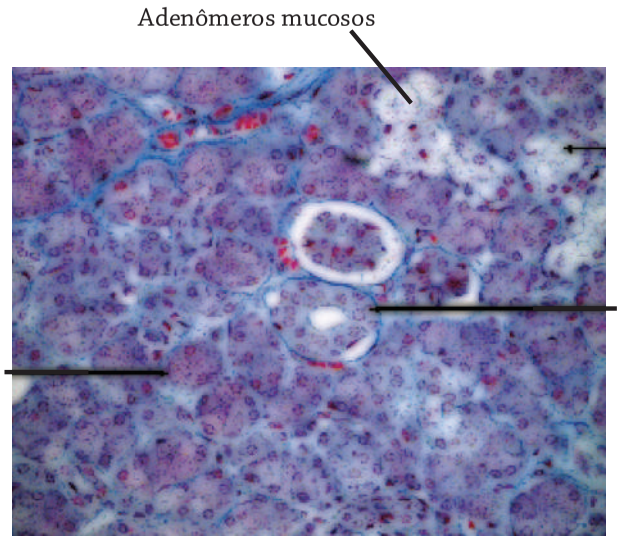
Figura 6 - Visão panorâmica da glândula parotídica mostrando ductos (epitélio simples cúbico) e adenômeros acinosos – células organizadas em círculos

- Glândula exócrina túbulo-acinosa sero-mucosa

  Ex.: Submandibular (Figura 7)



a



b

Figura 7 - a) desenho esquemático da glândula submandibular mostrando ductos de vários calibres (epitélio simples cúbico) e adenômeros tubulosos e acinosos; b) corpo glandular com adenômeros e ductos

- Glândula exócrina tubulosa.

  Ex.: Glândulas intestinais (intestino grosso) (Figura 8)

Esta glândula é considerada "atípica", pois apresenta uma associação de dois tipos celulares com características funcionais bem distintas, organizados num arranjo glandular tubuloso. São eles:

- Células caliciformes, que são glândulas unicelulares, produtoras de muco;
- Células absortivas intestinais, responsáveis pela absorção de água.

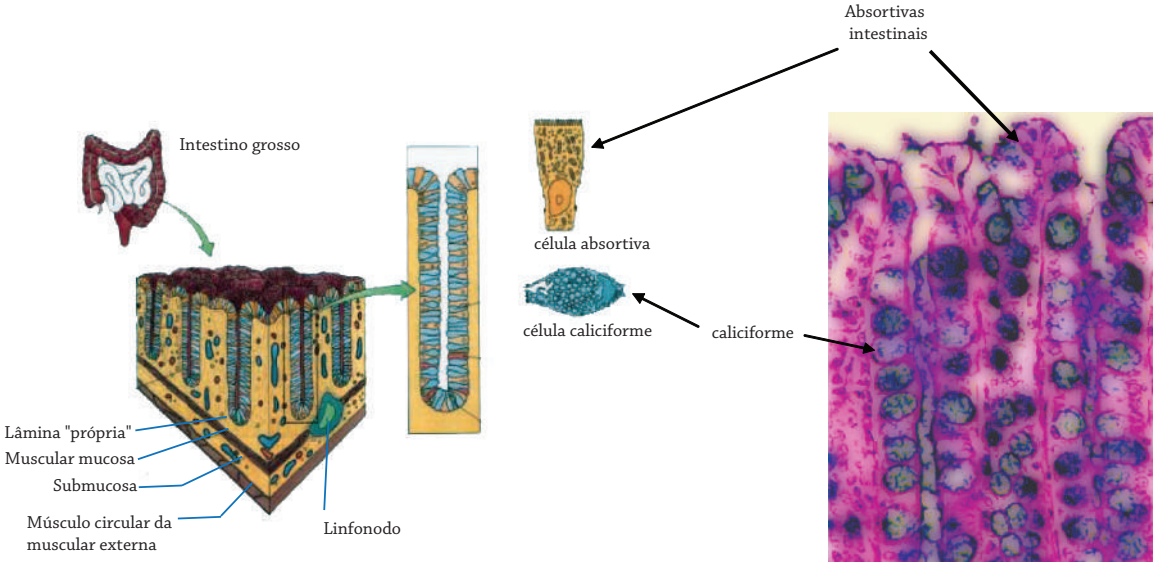


Figura 8 - a) desenho esquemático da glândula intestinal mostrando o arranjo tubular que associa células secretoras e absortivas, organizadas em túbulos, ductos de vários calibres (epitélio simples cúbico) e adenômeros tubulosos e acinosos; b) corpo glandular mostrando células caliciformes e absortivas intestinais

AUTOAVALIAÇÃO

1. Qual é a origem das glândulas?
2. Quais são os tipos de glândulas?
3. Quais são os critérios de classificação para identificar os tipos de glândulas exócrinas?
4. Utilizando esses critérios, cite as classificações das glândulas.

AULA 5

Glândulas endócrinas e anfícrinas

GLÂNDULAS ENDÓCRINAS

Inicialmente, vamos nos lembrar, que, de acordo com o que aprendemos quanto à origem das glândulas, na aula anterior, as glândulas endócrinas não têm ductos, que constituem a porção condutora dos produtos de secreção das mesmas. Nesse caso, as glândulas endócrinas usam a corrente sanguínea para a liberação do seu produto de secreção, ou então, para alguns casos, o mesmo é lançado no meio extracelular, sem migrar para o sangue. Estas glândulas têm a importante característica de produzir hormônios e peptídeos, que somente serão liberados quando houver um estímulo do organismo e o produto será levado, na sua maioria, para um órgão-alvo. Em outras palavras, o hormônio é produzido por uma glândula endócrina e seu produto de secreção terá atuação em outro órgão. (Figura 1)

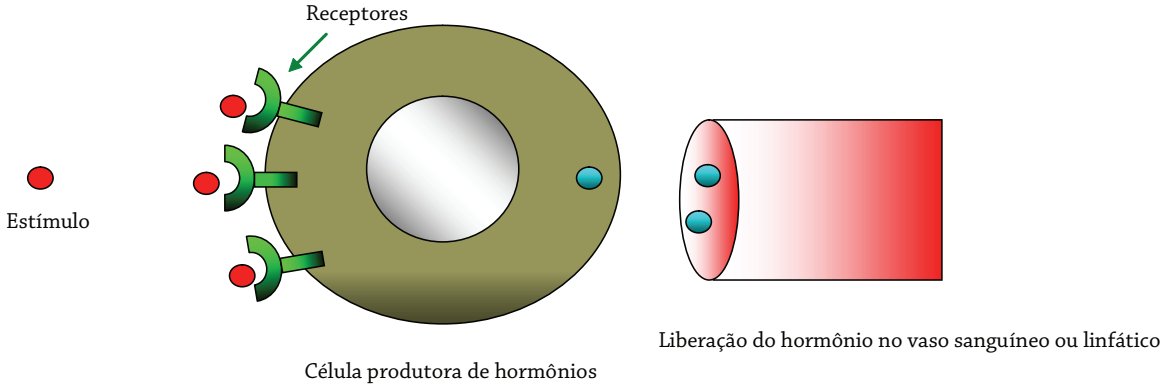


Figura 1 - Desenho esquemático do mecanismo de ação das glândulas endócrinas

Estruturalmente, as células secretoras desses tipos glandulares organizam-se de duas formas:

- Cordonal;
- Vesicular ou folicular.

Obviamente, o caráter funcional de cada uma delas é particular. Vamos a elas!

Glândulas endócrinas cordonais

As células secretoras se organizam em forma de cordões celulares que armazenam a secreção até o momento de liberação no interior do vaso sanguíneo, presente no tecido conjuntivo adjacente. Um dos exemplos das glândulas que assume essa organização celular é a adrenal ou suprarrenal (Figura 2). Essa glândula está localizada logo acima do rim e tem uma riqueza funcional absolutamente importante, pois produz uma grande variedade de hormônios esteroides. Suas células organizam-se em duas regiões, a **medular** e a **cortical**, subdivididas em glomerulosa, fasciculada e reticular. As células da camada glomerulosa produzem o mineralocorticoide aldosterona. A camada fasciculada está geralmente associada à produção de glicocorticoides, como o cortisol. Já a camada reticulada está comprometida com a síntese de hormônios sexuais esteroides. A medula da suprarrenal (adrenal) consiste de duas populações celulares envolvidas por capilares sinusoides venosos, que secretam epinefrina e noradrenalina. Você terá oportunidade de tratar este assunto com mais detalhe quando estudar os sistemas orgânicos separadamente. Apenas para ilustrar, acompanhe a Figura 3, para que possa ter a noção dessa organização.

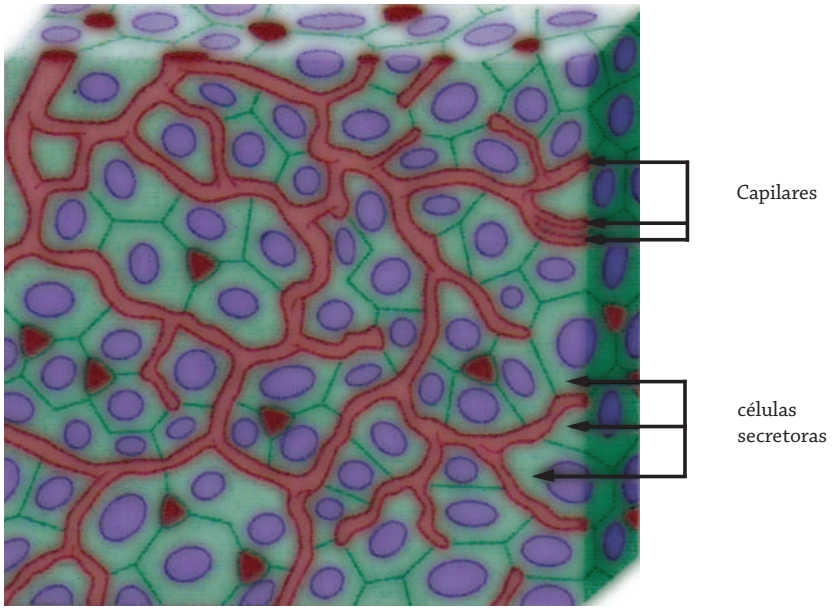


Figura 2 - a) desenho esquemático de células da adrenal, organizadas em fileiras ou cordões

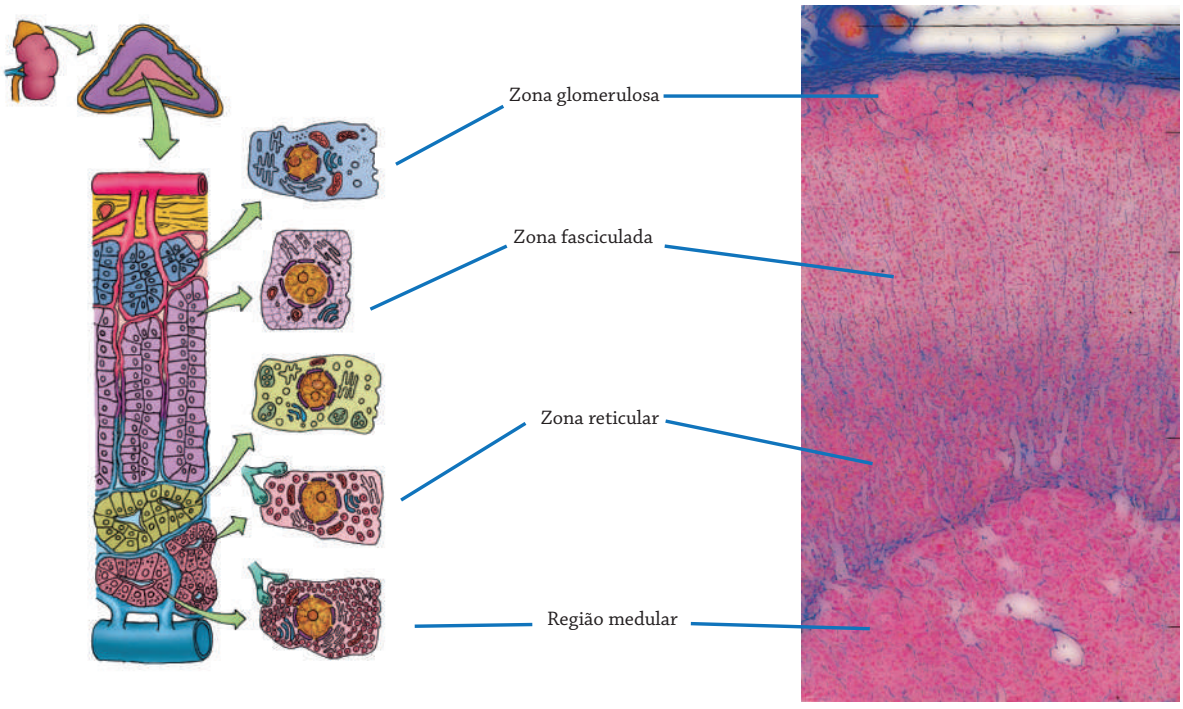


Figura 3 - a) desenho esquemático das camadas da glândula adrenal; b) corte histológico

Glândulas endócrinas vesiculares ou foliculares

As células se organizam em forma de vesículas cujas disposições delimitam um espaço que contém o produto de secreção, denominado **coloide**. O exemplo desta glândula é a tireoide (Figura 4), que tem um mecanismo de síntese bastante elaborado. Não vamos entrar neste detalhe aqui já que você terá oportunidade de aprender detalhadamente quando estudar os sistemas orgânicos. No entanto, é importante citarmos que a tireoide é responsável pela produção dos hormônios tireoidianos T3 e T4, que uma vez liberados no sangue são conduzidos aos tecidos, onde estimulam a transcrição de muitos genes que codificam vários tipos de proteínas. Como resultado, esses hormônios induzem um aumento generalizado no metabolismo celular em até 100%, aumentam a taxa de crescimento dos jovens, facilitam o processo mental, atuam no metabolismo de carboidratos, controlam a síntese de colesterol, controlam o ritmo cardíaco e a função muscular. Enfim, os hormônios participam da homeostase (equilíbrio) corporal.

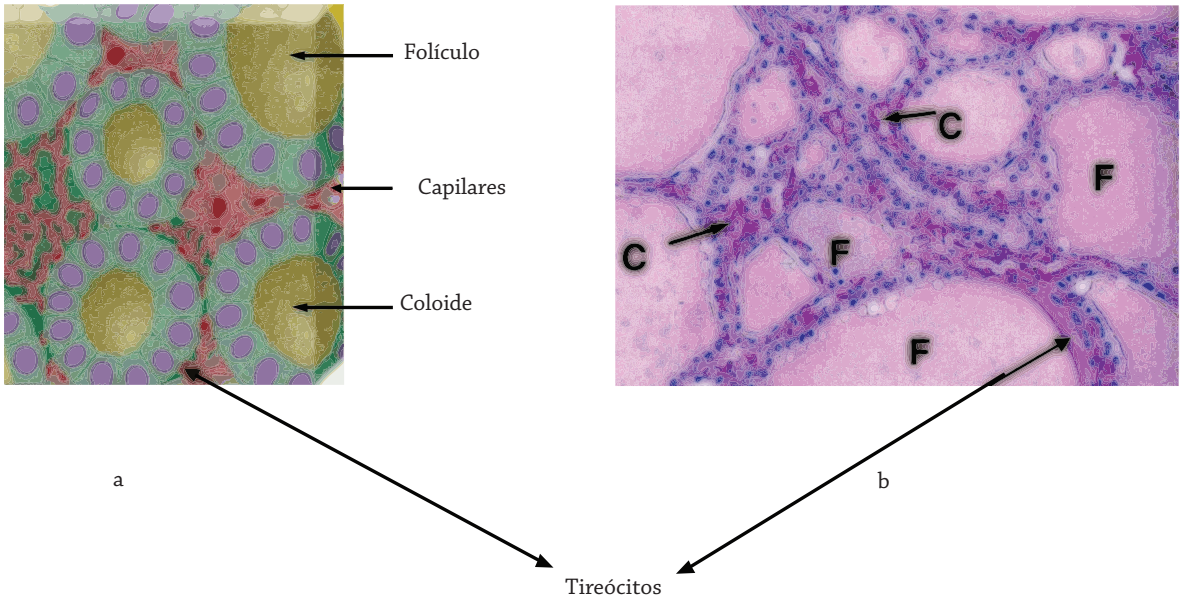


Figura 4 - a) desenho esquemático da glândula folicular ou vesicular; b) corte histológico da tireoide, exemplo desse tipo glandular; c) capilares; f) folículo

Observe que os tireócitos delimitam uma cavidade na qual o coloide é armazenado.

GLÂNDULAS ANFÍCRINAS

São as glândulas que possuem células com função exócrina e células com função endócrina. Certamente, as células da porção exócrina organizam-se em adenômeros cujos produtos de síntese são conduzidos pelos ductos. Já o produto de secreção das células da porção endócrina será liberado na corrente sanguínea. Podemos citar como exemplos, o pâncreas e os testículos.

Vamos considerar a morfologia pancreática para exemplificar esse tipo glandular (Figura 5). A porção exócrina do pâncreas libera a enzima pancreática, e a porção endócrina, hormônios, peptídeos etc.

Na porção endócrina, encontramos três tipos celulares:

- α produz o glucagon, que tem ação hiperglicemiante;
- β produz a insulina, que tem ação hipoglicemiante;
- δ produz a somatostatina, que tem ação local, ou seja, controla a produção das células α e β.

Aproveitamos aqui para introduzir mais um critério interessante de liberação do produto de secreção, a **secreção parácrina**. Este é o caso da célula δ (delta), cuja secreção, o hormônio somatostatina,

tem ação inibitória sobre as células α e β, controlando localmente a ação das células α e β, que deverão ou não liberar glucagon e insulina, respectivamente, para repor os níveis séricos. Cabe ressaltar, que, as células α (alfa) e β (beta) certamente apresentam proteínas receptoras, sensíveis à ação da somatostatina, em suas membranas plasmáticas.

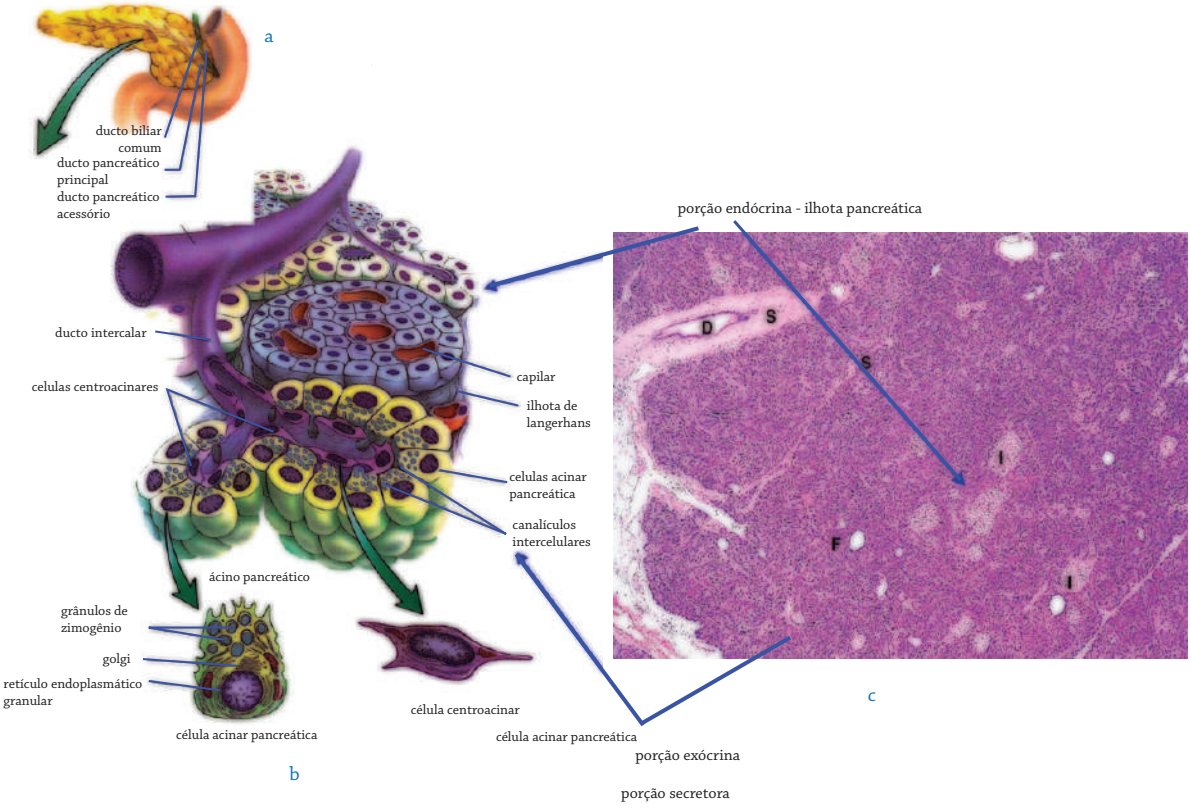


Figura 5 - Pâncreas - a) desenho esquemático da localização anatômica; b) desenho esquemático da organização microscópica, onde se observam a porção exócrina contendo adenômeros secretores e ductos que se ramificam em calibres diferentes e a porção endócrina, formada por células organizadas em cordões margeados por vasos sanguíneos; c) corte histológico do pâncreas exibindo as porções endócrina (ilhota pancreática) e exócrina

AUTOAVALIAÇÃO

1. Qual é o conceito de glândulas endócrinas?
2. Quais são as diferenças morfológicas entre os tipos de glândulas endócrinas?
3. Quais são os critérios de classificação para identificar os tipos de glândulas exócrinas?
4. Utilizando esses critérios, cite as classificações das glândulas.

AULA 6

Tecido conjuntivo propriamente dito

O tecido conjuntivo pode ser considerado, em linhas gerais, responsável pela sustentação e ligação de todos os tecidos do corpo. Desse modo, ele está presente em diversos órgãos e estruturas, como a derme, o tendão, o osso e até nos músculos. No entanto, a diversidade estrutural dos componentes do tecido conjuntivo os diferencia de tal forma que suas funções gerais podem ser ampliadas para defesa, nutrição, controle energético etc.

Para orientar nossa "viagem" pelo tecido conjuntivo, vamos inicialmente citar o que consideramos como seus componentes básicos. São eles (Figura 1):

1- Matriz Extracelular

- Fibras Colágenas
  Elásticas
  Reticulares
- Substância Fundamental Amorfa (SFA)

2- Células (fibroblastos, macrófagos, mastócitos e células sanguíneas)

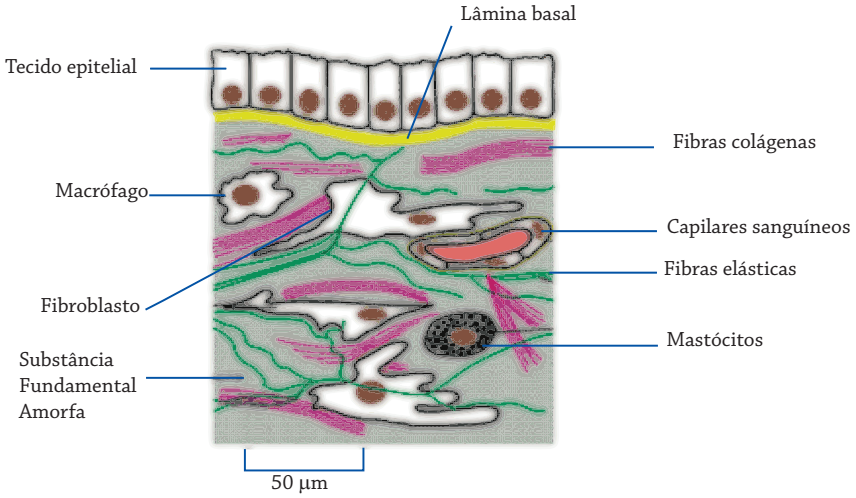


Figura 1 - Desenho esquemático do tecido conjuntivo mostrando seus componentes

Utilizando-se dos componentes indicados na Figura 1, podemos classificar os tecidos conjuntivos de acordo com o seguinte esquema:

1) Tecido conjuntivo embrionário

· Mesenquimal

· Mucoso

2) Tecidos conjuntivos adultos

· Tecido conjuntivo propriamente dito

a) Frouxo

b) Reticular

c) Adiposo

d) Denso não modelado

e) Denso modelado - Colágeno

- Elástico

. Tecido conjuntivo especializado

a) Sustentação - Cartilaginoso

- Ósseo

b) Sangue

Para otimizarmos o entendimento da diversidade estrutural e funcional dos tecidos, vamos estabelecer um "roteiro" a partir do qual nosso estudo vai evoluir. Para tal, vamos descrever cada componente, a começar pelo estudo das **fibras** que constituem o tecido conjuntivo; e seguir para o estudo do material de preenchimento, a **Substância Fundamental Amorfa (SFA)**. Só então vamos detalhar um pouco mais sobre alguns tipos celulares do conjuntivo e, tendo em mãos todos os componentes, poderemos "montar" as variedades do tecido conjuntivo, assunto que será abordado na Aula 8.

MATRIZ EXTRACELULAR

1. Fibras

· Colágenas

· Reticulares

· Elásticas

2. Substância Fundamental Amorfa (SFA)

FIBRAS

- **Fibras colágenas**

O colágeno é a proteína mais abundante no organismo e o principal tipo de fibra encontrado nos tecidos de sustentação, apesar de ser sintetizado por outras células, a principal delas é o **fibroblasto**. O fibroblasto é uma célula alongada, de origem mesenquimal, com a superfície irregular graças à riqueza de prolongamentos, ou seja, projeções citoplasmáticas. Além de apresentar o **núcleo do tipo vesiculoso**, a célula é rica em **retículo endoplasmático rugoso** e **complexo de Golgi**, organelas clássicas da função de secreção proteica (Figura 2).

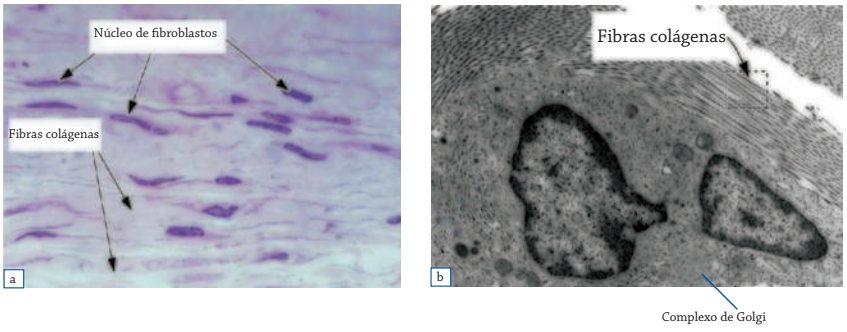


Figura 2 - a) corte histológico do tecido conjuntivo mostrando **fibras colágenas** e núcleos de fibroblastos; b) microscopia eletrônica do conjuntivo mostrando **fibrilas colágenas**

Atualmente, são conhecidos mais de 25 tipos de colágeno, que variam de acordo com a composição dos aminoácidos, sua organização e suas diferentes propriedades físicas. Essa variedade demonstra a importância desta glicoproteína que responde pela função dos tecidos que compõe. O colágeno do tipo I é o mais abundante, e sua formação considera a montagem de várias unidades de **tropocolágeno** (sua menor unidade), que se organizam em **fibrilas colágenas**, que por sua vez se organizam em **fibras colágenas,** cujo processo de síntese será visto a seguir (Figura 3). Há de se esclarecer que as fibras colágenas podem ser delgadas ou mais espessas, se agrupar em feixes ou então se manter individualizadas. Isto vai depender da região em que o tecido conjuntivo está presente e da histofisiologia do órgão. Várias fibras formam feixes.

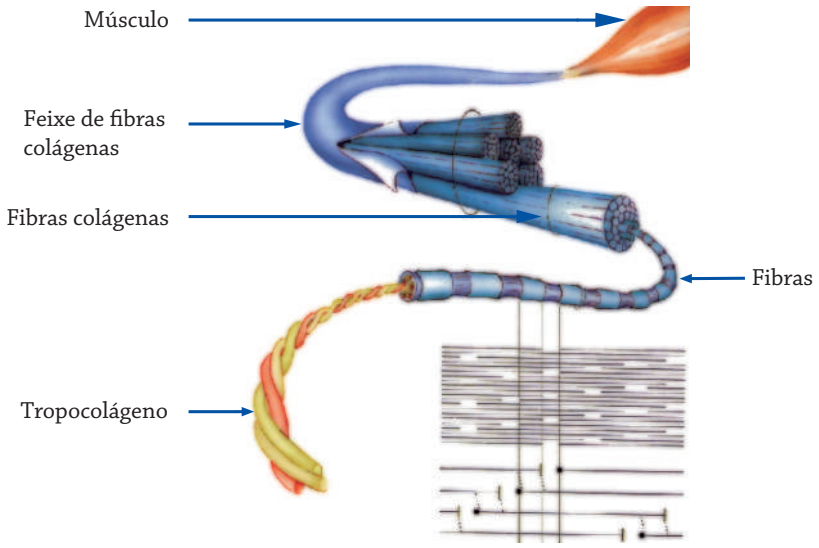


Figura 3 - Desenho esquemático da organização das fibras colágenas

Síntese da fibra colágena

A síntese do colágeno, na verdade, inicia-se a partir da produção do **tropocolágeno**, um polímero formado por três cadeias de polipeptídeos ligadas em conjunto para formar uma estrutura helicoidal. Como já dissemos anteriormente, algumas células podem sintetizar as fibras colágenas, mas o fibroblasto é a principal delas.

Como ocorre essa síntese?

Inicialmente, vamos considerar, que, por se tratar de uma proteína, é de se esperar que tenhamos a participação efetiva das organelas da maquinaria sintética. É isto mesmo, e vamos seguir esta síntese em etapas (Figura 4).

1 **Núcleo** – produz um RNAm para cada tipo de cadeia;

2 **Retículo Endoplasmático Rugoso**

- Síntese de três cadeias α, cada qual com seu peptídeo registro, cuja função é alinhar as cadeias peptídicas;
- Adição de hidroxila (OH) a aminoácidos específicos, o que é crucial para a montagem das fibras:

  - a hidroxilação da **prolina** é importante para manter as três cadeias α unidas;

  - a hidroxilação da **lisina** é importante para garantir a formação de fibrilas no meio extracelular.
- Glicosilação das cadeias com adição de galactose aos radicais de hidroxilisina;
- As cadeias peptídicas se arranjam para formar a molécula de tríplice hélice, o **procolágeno**.

3 Complexo de Golgi

- liberação de vesículas contendo moléculas de **procolágeno** que são conduzidas pelo citoesqueleto para o meio extracelular.

4 Meio Extracelular

- Agora sim, no meio extracelular o colágeno pode ser formado. Para tal, deverá haver a clivagem dos peptídeos registro presentes nas extremidades das moléculas de procolágeno, o que é feito pela enzima **procolágeno peptidase**. Nesse momento, temos, finalmente, a formação da molécula de **tropocolágeno**, a menor unidade proteica funcional.
- Sem os peptídeos registro, as moléculas de tropocolágeno se polimerizam para formar as fibrilas colágenas. Não podemos nos esquecer que a polimerização das fibrilas só é possível graças à hidroxilação que os aminoácidos prolina sofreram quando ainda estavam no interior do retículo endoplasmático rugoso!
- A estrutura fibrilar é reforçada pela formação de ligações covalentes entre as moléculas de tropocolágeno. Este processo é catalizado pela ação da **enzima lisil oxidase**, que também atua no espaço extracelular.

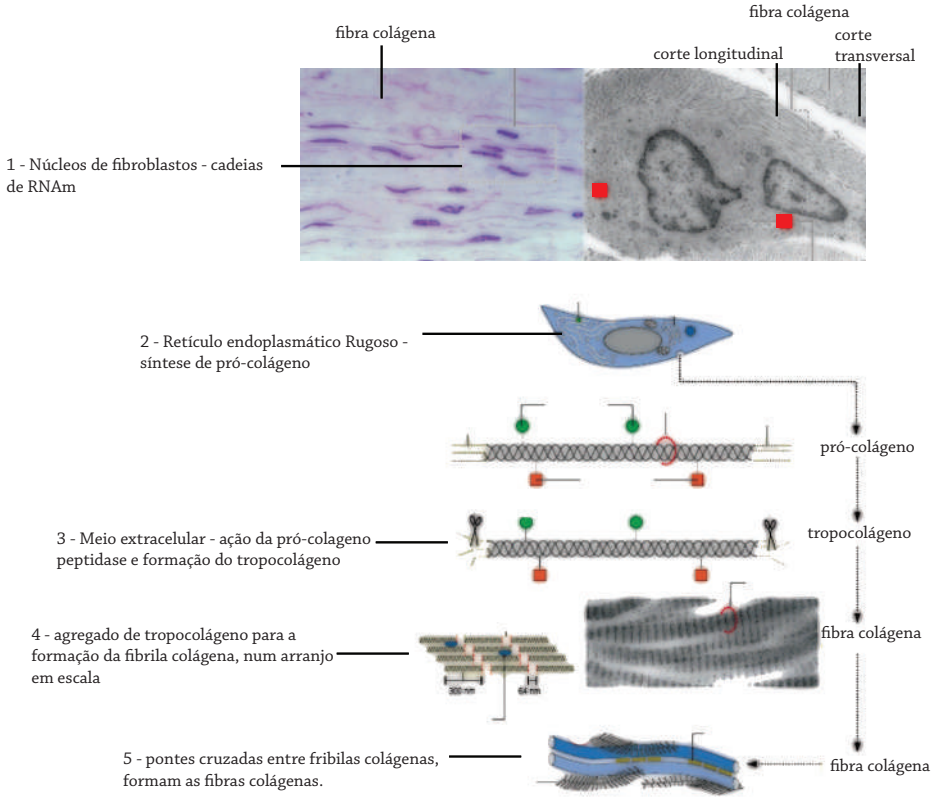


Figura 4 - Desenho esquemático mostrando o fibroblasto e as etapas de síntese do colágeno

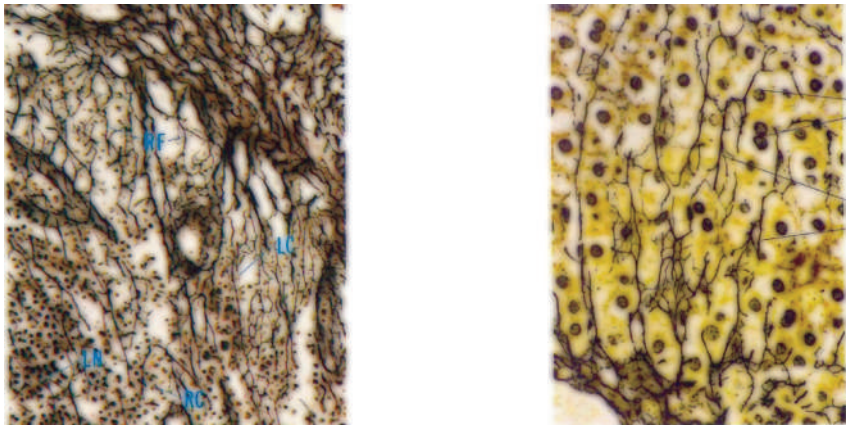
Formação anormal de colágeno

Como acompanhamos anteriormente, o processo de biossíntese do colágeno é bastante particular por contar com etapas sequenciais e sucessivas. Qualquer problema durante este processo, seja por falha enzimática ou por processos patológicos, pode levar a uma deformação da fibra. Um exemplo bastante comum é a formação do queloide, que é um tipo de fibrose que ocorre devido ao acúmulo anormal de tecido conjuntivo durante um processo regenerativo. Outro exemplo é o escorbuto, cuja degeneração das fibras ocorre devido à deficiência de vitamina C (ácido ascórbico), elemento imprescindível durante a síntese e que pode ocasionar perda dentária de pacientes portadores dessa deficiência.

. Fibras reticulares

Como já citamos anteriormente, há mais de 25 tipos de colágeno. No entanto, vamos nos restringir ao conhecimento de alguns mais comumente encontrados, como é o caso do colágeno tipo III, que forma predominantemente as fibras reticulares. São extremamente delgadas e formam uma rede extensa em órgãos como baço, linfonodos, medula óssea, paredes arteriais, útero, fígado, intestino, músculo liso, ou seja, existem em larga distribuição. É o que chamamos de "arcabouço tecidual" ou esqueleto tecidual para esses órgãos.

As fibras reticulares são identificáveis apenas através da técnica de coloração com sais de prata, chamadas de impregnações metálicas (Figura 5) ou através da técnica histoquímica de PAS.



a b

Figura 5 - Técnica de impregnação pela prata mostrando a rede de fibras reticulares no baço (a) e no rim (b)

. Fibras elásticas

De modo similar ao colágeno, a síntese das fibras elásticas envolve o REG e o complexo de Golgi (Figura 6). A elastina, principal componente das fibras e lâminas elásticas, é sintetizada pelos fibroblastos, condroblastos (cartilagem) e células musculares lisas. Sua histofisiologia baseia-se na capacidade de ceder a trações e retornar a sua morfologia normal, sem deformação. Observem portanto, que as fibras estão localizadas em locais que necessitam de elasticidade, por exemplo, pele, cartilagens da orelha, epiglote, laringe e tubas auditivas e ao redor de vasos sanguíneos.

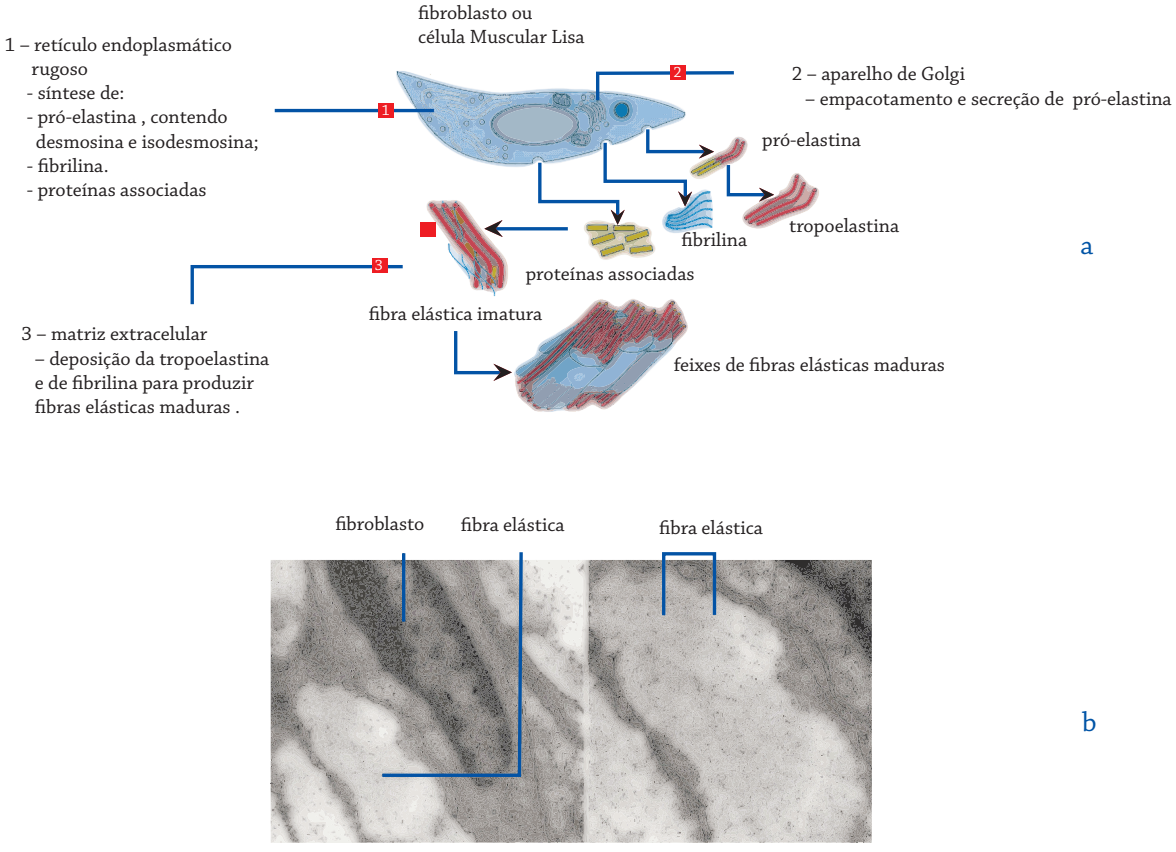


Figura 6 - a) desenho esquemático da fibra elástica exibindo fibrilinas distribuídas ao redor da elastina; b) micrografia eletrônica da fibra elástica

O processo segue as etapas tradicionais de síntese glicoproteica, como a sequência abaixo (Figura 6):

REG - secreta a pró-elastina, fibrilina e proteínas associadas; aparelho de Golgi - empacotamento das proteínas acima e formação da tropoelastina; espaço extracelular - a tropoelastina interage com a fibrilina e com as proteínas associadas para organizar as fibras elásticas imaturas, que se agregam e formam as fibras elásticas maduras. A elastina contém dois aminoácidos, a desmosina e a isodesmosina que, por meio de ligações cruzadas nas fibras elásticas, favorecem ao seu estiramento e encurtamento, semelhante a um elástico (Figura 7).

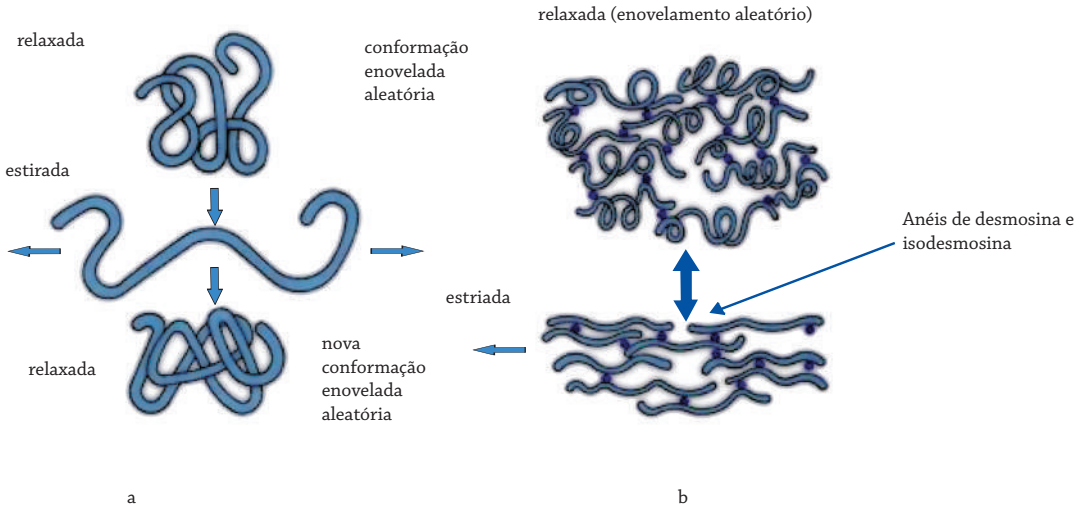
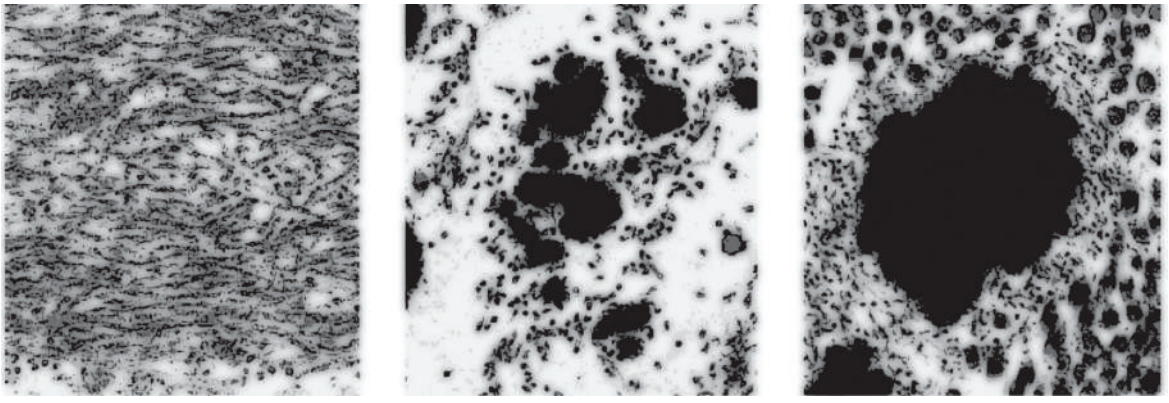


Figura 7 - Desenho esquemático mostrando a associação da elastina com os anéis de desmosina e isodesmosina

As fibras elásticas estão distribuídas em locais do corpo que exigem padrão funcional extensibilidade, e para tal guardam algumas diferenças morfológicas bem particulares. Vamos a elas! O primeiro tipo, as **fibras oxitalânicas** consistem apenas de feixes de fibrilinas que formam o arcabouço tecidual (Figura 8a). Estão presentes, por exemplo, nas fibras da zônula do olho e nas inserções dentárias, regiões que exigem menor extensibilidade. O segundo caracteriza-se pela deposição irregular de proteína elastina entre as fibras oxitalânicas, formando as **fibras elaunínicas** (Figura 8b). Essas estruturas são encontradas ao redor de glândulas sudoríparas e na derme. Já o terceiro tipo, apresenta uma abundância de **elastina** que acumula-se gradualmente até ocupar o centro do feixe de fibrilinas, as quais permanecem livres apenas na região periférica. Essas são as **fibras elásticas maduras**, o componente mais numeroso do sistema elástico (Figura 8c).



a) oxitalânica b) elaunínica c) fibras elásticas

Figura 8 - Tipos de fibras elásticas

A observação da fibra elástica à microscopia de luz só é possível através de colorações especiais, como a técnica de Verhoeff (Figura 9).

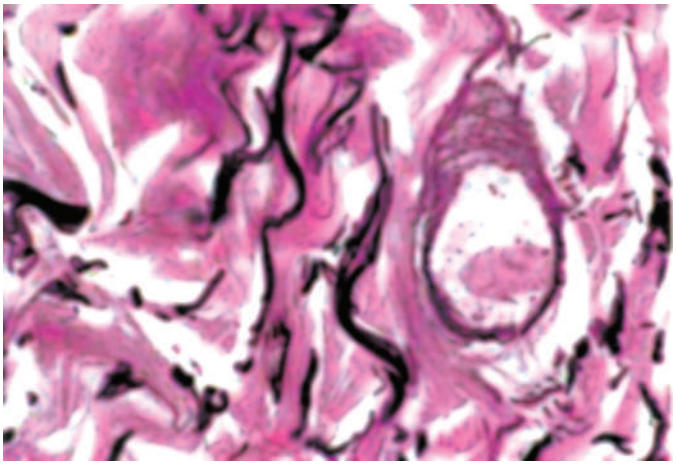


Figura 9 - Corte histológico da derme mostrando as fibras elásticas entre as fibras conjuntivas, coradas pela técnica de Verhoeff

SUBSTÂNCIA FUNDAMENTAL AMORFA (SFA)

Além das fibras descritas acima, a matriz extracelular é constituída dessa importantíssima associação de moléculas, a SFA. Trata-se de um material amorfo com a constituição de um gel hidratado cujos componentes principais são moléculas centrais de ácido hialurônico aos quais associam-se os proteoglicanos. Esses por sua vez são formados de proteínas e glicosaminoglicanos.

As glicosaminoglicanos, originalmente chamados de mucopolissacarídeos ácidos são polissacarídeos longos, não ramificados, compostos por unidades dissacarídeas que se repetem. As unidades dissacarídeas apresentam-se em diferentes associações que, a propósito, respondem pela diversidade dos componentes da SFA. Podemos citar, por exemplo, dissacarídeos formados por ácido urônico, que pode ser o glicurônico ou idurônico e uma hexosamina, sendo que esta pode ser a glicosamina ou a galactosamina.

Com exceção do ácido hialurônico, todos os glicosaminoglicanos são sulfatados e fazem ligações covalentes com proteínas, formando os proteoglicanos, nosso segundo componente a ser apresentado aqui. São caracteristicamente bastante hidratados e, portanto, resistem à pressão, função esta de extrema importância para os tecidos conjuntivos de um modo geral. Além disso, promovem a formação de moléculas de "água de solvatação", que favorecem tanto o transporte de nutrientes quanto retardam o movimento de microorganismos e de células metastáticas. Outra função interessante da SFA é a de favorecer o metabolismo do tecido conjuntivo por meio de seus sítios de ligação para moléculas biologicamente ativas, como fatores de crescimento, proliferativos etc.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Conceitue tecido conjuntivo.
2. Quais são as variedades do tecido conjuntivo?
3. Quais são os componentes básicos do tecido conjuntivo?
4. O que é fibra colágena?
5. O que é tropocolágeno?
6. Como é sintetizada a fibrila colágena?
7. Quais são os tipos de fibra elástica?
8. Quais são as diferenças funcionais entre as fibras elásticas?
9. O que é Substância Fundamental Amorfa (SFA)?
10. Qual é a composição e quais as funções da SFA?

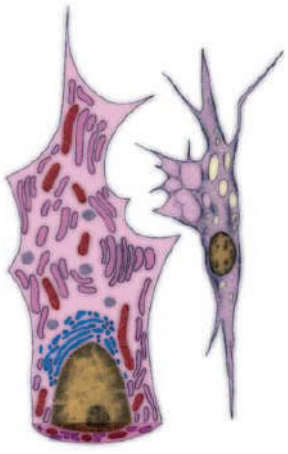
AULA 7

Células do tecido conjuntivo

Lembre-se de que estamos "viajando" pelo tecido conjuntivo e que na primeira etapa conhecemos a matriz extracelular, formada pelos diversos tipos de fibras e Substância Fundamental Amorfa (SFA). Pois bem, nesta aula vamos apresentar alguns tipos celulares que habitam exclusivamente a matriz extracelular. São eles: **fibroblastos**, **macrófagos**, **mastócitos**, **plasmócitos e adipócitos**.

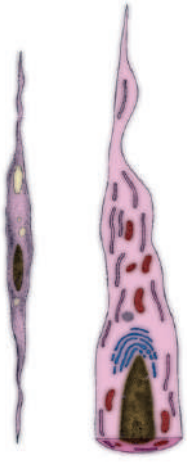
FIBROBLASTO

O aspecto funcional do fibroblasto já foi tratado quando falamos sobre a síntese das fibras colágenas, sua função principal. Falta-nos aqui comentar sobre a morfologia do fibroblasto, cujo corpo apresenta diversos prolongamentos externos e uma maquinaria sintética bastante desenvolvida, ou seja, as organelas envolvidas no processo de síntese como o retículo endoplasmático rugoso e o complexo de Golgi são bastante abundantes. O fibroblasto apresenta uma interessante alteração morfológica que indica seu estado funcional. Quando em alta atividade metabólica, ou seja, intensa síntese de matriz extracelular, a célula mantém o nome de fibroblasto (Figura 1). Se eventualmente a célula reduzir sua atividade de síntese, situação relativamente comum já que não se pode haver síntese contínua de fibras, a célula é chamada de **fibrócito**, e nesse caso há alteração na sua morfologia. Assim, a célula reduz suas dimensões, seus prolongamentos e sua maquinaria sintética, e o núcleo assume o aspecto denso, indicando baixa atividade (Figura 2). Há de se lembrar que o fibrócito reassume a função da síntese dos componentes da matriz frente a algum estímulo, por exemplo, formação de cicatriz.



a b

Figura 1 - Desenho esquemático do fibroblasto, a) vista à microscopia eletrônica de transmissão; b) vista à microscopia de luz



a b

Figura 2 - Desenho esquemático do fibrócito, a) vista à microscopia de luz; b) vista à microscopia eletrônica de transmissão

MACRÓFAGO

Os macrófagos são classificados como células residentes ou transitórias do tecido conjuntivo. Eles têm origem a partir de uma linhagem monocítica do sangue, cuja morfologia mostra poucos prolongamentos e menor quantidade de organelas. Quando migram para os tecidos, sua morfologia é caracterizada pela presença de uma superfície bastante irregular, com projeções variando entre pequenas e espessas a delgadas e longas (Figura 3). Quando em alta atividade fagocítica, chegam a formar dobras das membranas plasmáticas, o que justifica sua capacidade ameboide, ou seja, de locomoção. O núcleo é edentado, sugerindo a forma de um rim, e usualmente está localizado deslocado para a periferia. O citoplasma contém numerosos e pequenos vacúolos fagocíticos, organelas da

maquinaria sintética, portanto, retículo endoplasmático rugoso e complexo de Golgi bastante proeminentes e numerosos lisossomos, esses responsáveis pela conclusão do processo fagocítico, quando necessário (Figura 3). Há de se lembrar da presença também dos elementos do citoesqueleto no citoplasma dessas células, não é verdade? Lembre-se de que as funções de **movimento** e de **transporte**, quando se trata de células, estão necessariamente relacionadas com a participação do citoesqueleto!

Funcionalmente, os macrófagos são considerados fagócitos ativos e, portanto, atuam na remoção de restos celulares e na proteção do organismo contra invasores. No entanto, já foram descritas várias outras funções para esta célula que nos surpreende cada vez mais. Dentre elas podemos citar a propriedade de sintetizar produtos tais como interferon, prostaglandinas, bactericidas, enzimas específicas para a degradação de fibras colágenas e elásticas, ou seja, substâncias eventualmente ligadas a processos de renovação. Em contrapartida, os macrófagos são capazes também de sintetizar substâncias que estimulam o fibroblasto a produzir novas fibras que, por sua vez, substituirão as que estavam velhas. Além das funções citadas, outra curiosa característica do macrófago é a sua atividade como apresentador de antígeno aos linfócitos, como parte das respostas inflamatória e imunológica (Figura 3c).

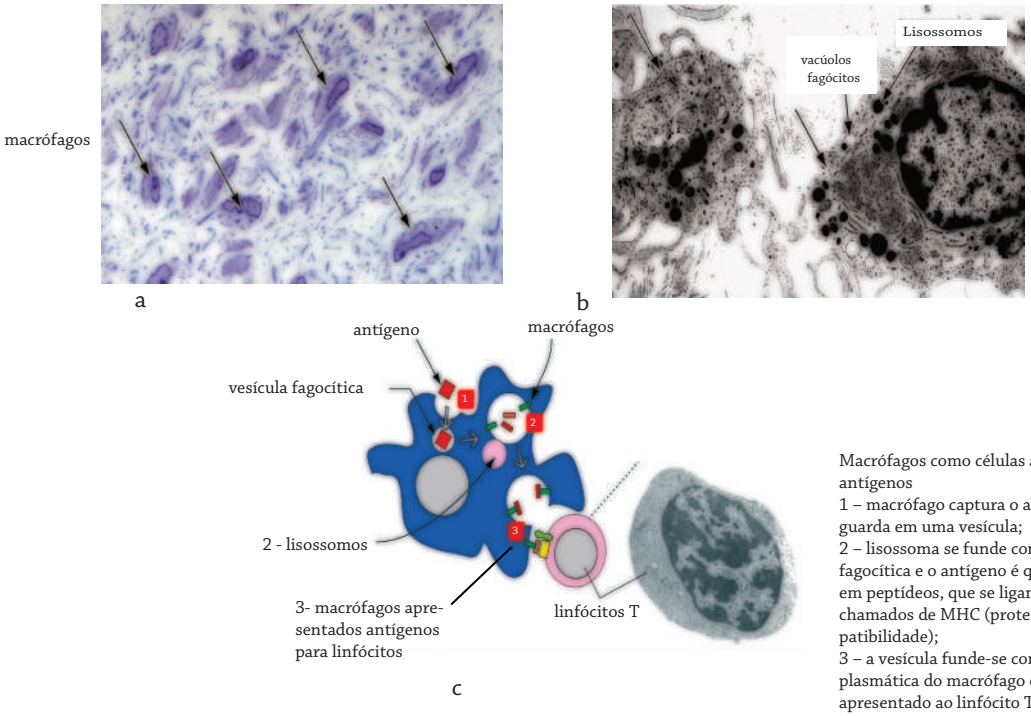


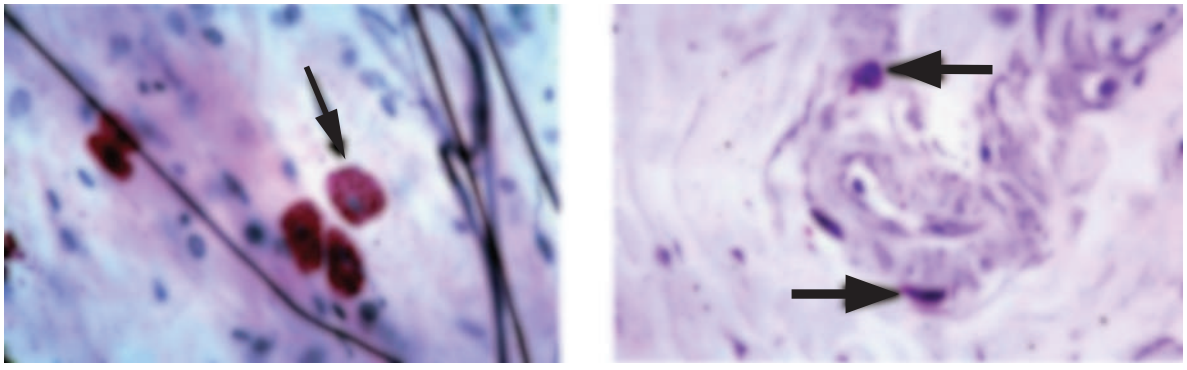
Figura 3 - a) macrófagos observados à microscopia de luz, corados pela técnica do azul de tripan (coloração vital); b) macrófagos observados à microscopia eletrônica de transmissão, exibindo sua superfície irregular, formada por numerosas projeções de membrana. Observam-se também pequenos vacúolos e numerosos lisossomos; c) desenho esquemático da função de apresentador de antígeno para os linfócitos

A Figura 3 exibe os macrófagos vistos à microscopia de luz pela técnica da **coloração vital**, cuja metodologia é interessante, pois mostra a capacidade fagocítica do macrófago, uma vez que o corante azul de tripan é injetado na região subcutânea do animal, e os macrófagos captam partículas do corante e as armazenam dispersamente em seu citoplasma. Este é o método conhecido como ortocromático, ou seja, o macrófago será visto em azul ao microscópio de luz. Quando o elemento intracelular assume uma cor diferente do corante, o método é chamado de **metacromasia**. Você conhecerá, ainda nesta aula, o mastócito que apresenta esta característica.

Os macrófagos possuem designação específica em alguns órgãos; por exemplo, são chamados de **células de Kupffer** no fígado, **osteoclastos** no osso, e **micróglias**, no sistema nervoso central. Assim, como já ressaltamos, os monócitos migram para dentro de alguns tecidos, e, por terem a capacidade de se adaptarem a estes locais, são considerados como células do Sistema Macrofágico Mononuclear.

MASTÓCITO

Continuando nossa viagem pelas células residentes do tecido conjuntivo, vamos comentar sobre o mastócito, uma célula globosa, grande e com citoplasma repleto de grânulos basófilos, quando vistos à microscopia de luz (Figura 4a e 4b), e eletrodensos, quando vistos à microscopia eletrônica de transmissão (Figura 5a e 5b).



a b

Figura 4 - Os grânulos são bem visualizados com azul de toluidina (em vermelho, apontado pelas setas)

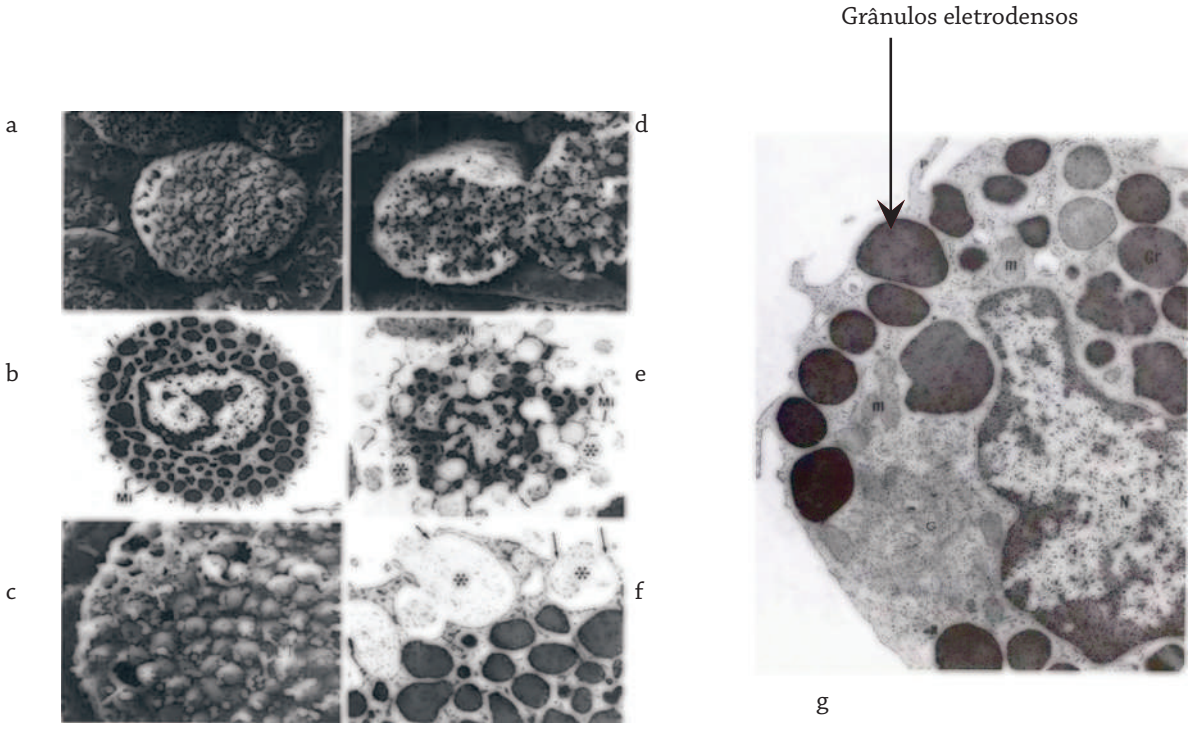


Figura 5 - A sequência de micrografias eletrônicas (a – f) mostra o mastócito nas suas duas atividades funcionais, ou seja, inativo (a, b, c) e ativo, desgranulando (d, e, f). A micrografia 5g mostra detalhes dos grânulos eletrodensos localizados próximos à periferia do mastócito

Funcionalmente, os mastócitos atuam em processos alérgicos, uma vez que armazenam mediadores químicos no interior de seus grânulos. Existe uma grande variedade desses mediadores dentres os quais vamos listar aqueles que exercem funções mais comumente discutidas:

- Heparina: substância anticoagulante que forma um complexo com toxinas a fim de neutralizá-la;
- Histamina: aumenta a permeabilidade das vênulas, levando ao edema, provocando a diluição da toxina e a limitação do processo alérgico em locais pontuais;
- Fatores quimiotáxicos que atraem monócitos, neutrófilos e eosinófilos circulantes no sangue para os locais de ativação dos mastócitos.

O mecanismo de atuação do mastócito inicia-se quando o complexo antígeno-anticorpo (ag-IgE) se liga ao seu receptor de membrana plasmática (1); essa ligação mobiliza íons Ca^{++} citoplasmáticos (2) que promovem a fusão de seus grânulos, seguido da (3) migração destes para a periferia da célula e a consequente liberação para o meio extracelular, onde os medidores químicos vão participar dos processos inflamatórios (Figura 6).

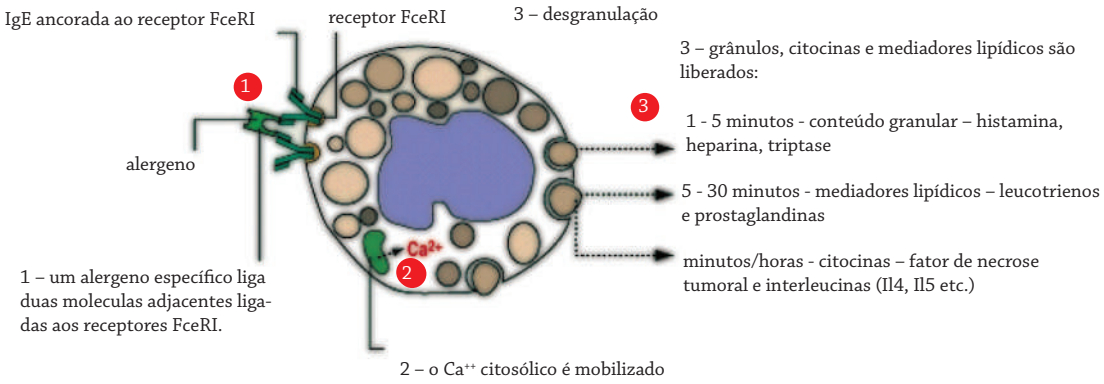


Figura 6 - Desenho esquemático da liberação dos grânulos do mastócito

Os mastócitos participam de algumas reações alérgicas de hipersensibilidade. A secreção de mediadores vasoativos específicos tem um importante papel na regulação da permeabilidade vascular e no tônus do músculo liso bronquiolar durante as reações alérgicas de hipersensibilidade, por exemplo, na asma, febre do feno e eczema. A liberação de histamina durante a asma (**asthma**, ofegante) causa dispneia (**dyspnoia**, dificuldade de respiração), e desencadeia contrações espamódicas do músculo liso que circunda os bronquíolos e hipersecreção das células caliciformes e das glândulas mucosas dos brônquios. Durante a febre do feno, a histamina aumenta a permeabilidade vascular causando o edema (acúmulo excessivo de líquido nos espaços intercelulares).

A reação mais agressiva da função dos mastócitos é o choque anafilático que, em linhas gerais, caracteriza-se pela super exposição a um mesmo antígeno, em um curto espaço de tempo. Este fato estimula a liberação de grânulos por vários mastócitos numa cascata de reações incontroláveis, podendo às vezes levar à morte.

Assim como no caso dos macrófagos, a observação dos mastócitos à microscopia de luz requer técnicas especiais de coloração. O objetivo no caso dos mastócitos é evidenciar os grânulos contidos no seu citoplasma, que, como vimos, armazenam os mediadores químicos envolvidos nos processos alérgicos. Podemos aplicar uma técnica **ortocromática**, já definida anteriormente, usando o corante **safranina** (cor vermelha), que mostrará os grânulos em vermelho intenso. No entanto a técnica considerada mais adequada para os mastócitos é a de **metacromasia**, cujo corante, o azul de toluidina,

cora os grânulos em vermelho. Isso se deve à heparina, um dos mediadores químicos presentes nos grânulos, que tem a capacidade de alterar a cor do corante e os exibir em vermelho-arroxeado.

LINFÓCITOS

Dividem-se em linfócitos B e T, sendo que os linfócitos B migram para os tecidos, dando origem aos plasmócitos, que produzem anticorpos, e os linfócitos T têm a capacidade de reconhecer antígenos na superfície. Você terá oportunidade de estudar este e outros tipos celulares do tecido conjuntivo em outro momento do curso.

PLASMÓCITOS

Embora estejam espalhadas pelos tecidos conjuntivos, estas células são o principal tipo celular durante a **inflamação crônica**. São células ovoides com citoplasma muito basófilo, núcleo esférico, com cromatina em grumos compactos e grosseiros (roda de carroça) (Figura 7). Além disso, possuem o retículo endoplasmático granular bastante desenvolvido e com cisternas intimamente associadas, graças a sua intensa síntese e secreção de imunoglobulinas (Figura 8).

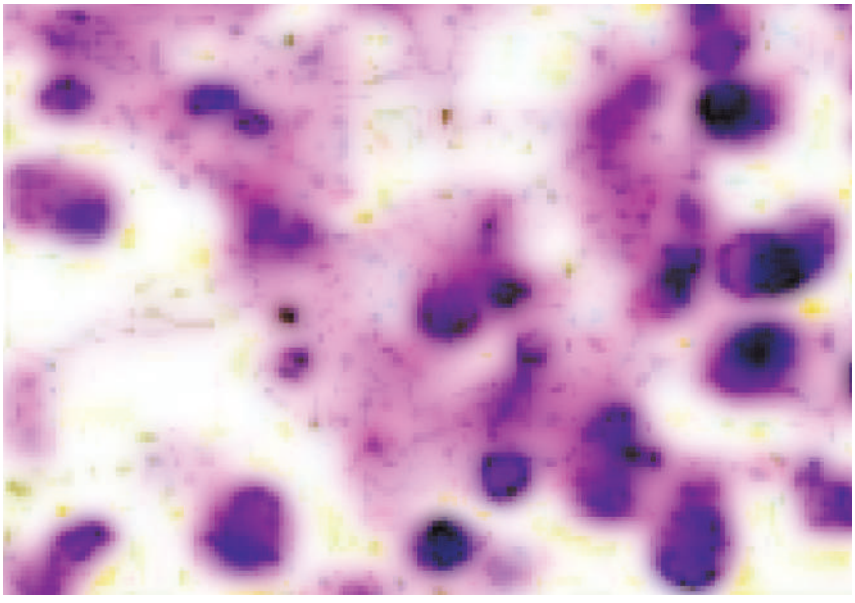


Figura 7 - Plasmócitos vistos à microscopia de luz

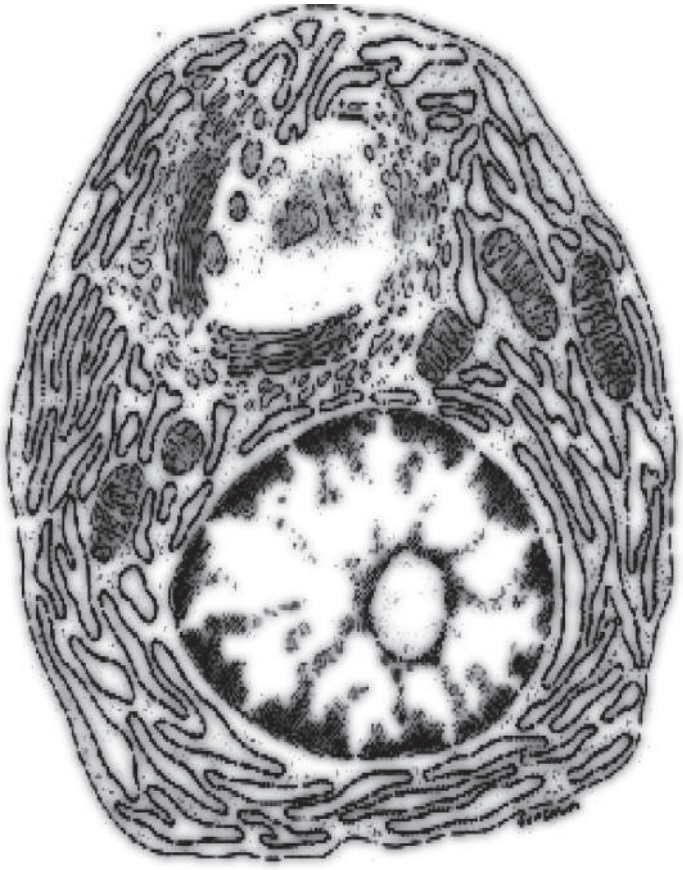
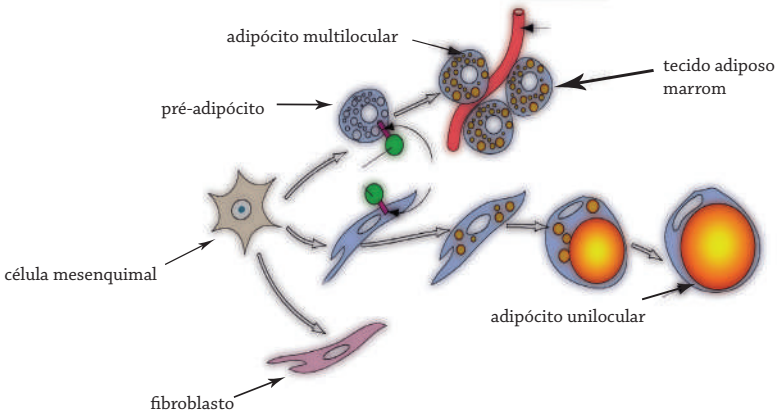


Figura 8 - Desenho esquemático mostrando a riqueza de retículo endoplasmático rugoso

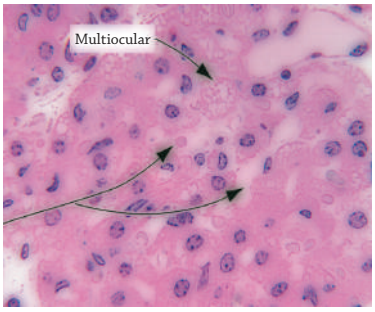
CÉLULAS ADIPOSAS

São as células responsáveis pelo armazenamento de energia em forma de triglicerídeos, além de conferir proteção e isolamento dos órgãos. Suas células têm origem mesenquimal e dão origem aos pré-adipócitos, que por sua vez se diferenciam em tecido adiposo marrom (multilocular) e tecido adiposo branco (unilocular). Essa diferenciação se dá a partir do estímulo da **insulina** que se liga ao **fator de crescimento-I**, um receptor presente na membrana do pré-adipócito (Figura 9a). A primeira formação de gordura no feto é de gordura marrom, o **tecido conjuntivo multilocular** (Figura 9b), cujas células possuem citoplasma repleto de pequenas gotas lipídicas que deslocam o núcleo ligeiramente para a periferia. No adulto, múltiplas gotículas lipídicas coalescem para formar uma única gota lipídica que desloca todo o conteúdo do citoplasma, juntamente com o núcleo e todas as organelas para a periferia da célula, formando o tecido conjuntivo **unilocular** (Figura 9c).

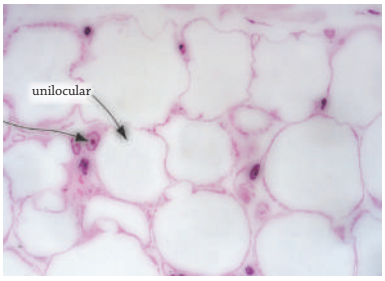
As células adiposas se organizam em pequenos grupos envolvidos pelo tecido conjuntivo frouxo, este ricamente vascularizado e inervado.



a



b



c

Figura 9 - a) desenho esquemático mostrando a origem do adipócito a partir de células mesenquimais; b) tecido conjuntivo multilocular visto à microscopia de luz; c) tecido conjuntivo unilocular visto à microscopia de luz

AUTOAVALIAÇÃO

1. Cite as células residentes do tecido conjuntivo.
2. Qual é a origem das células do tecido conjuntivo?
3. Quais são as características morfológicas do macrófago?
4. Quais são as funções do macrófago?
5. Quais são as funções dos grânulos basófilos dos mastócitos?
6. Quais são os tipos de célula adiposa?

AULA 8

Variedades do tecido conjuntivo

Lembre-se de que desde a Aula 6 vimos discutindo sobre os componentes do tecido conjuntivo visando a "montagem" dos diferentes tipos de tecido conjuntivo e a descrição de sua histofisiologia. Esta variedade dos tecidos está diretamente relacionada à predominância de um dos seus componentes, sejam eles as fibras colágenas, fibras elásticas, Substância Fundamental Amorfa (SFA) ou células. Assim, nos reportamos ao diagrama abaixo e lembramos que o tecido mesenquimal é o que origina todos os demais:

1 - Tecido conjuntivo embrionário

. Mesenquimal

. Mucoso

2 - Tecidos conjuntivos adultos

. Tecido conjuntivo propriamente dito
- a) Frouxo
- b) Denso
  - Não Modelado
  - Modelado
- c) Reticular
- d) Elástico
- e) Adiposo

- Tecido conjuntivo especializado
  - a) Sustentação
    - Cartilaginoso
    - Ósseo
  - b) Sangue

A partir deste diagrama, a caracterização das variedades de conjuntivo vai levar em consideração os seguintes itens:

. Elemento predominante;

. Estruturas associadas;

. Locais de ocorrência;

. Histofisiologia.

TECIDO CONJUNTIVO EMBRIONÁRIO

É importante lembrar que o tecido mesenquimal é um dos representantes do conjuntivo embrionário e é o responsável por dar origem a toda a variedade de conjuntivos.

Tecido conjuntivo mucoso

- Elemento predominante - Substância Fundamental Amorfa (SFA);
- Estruturas associadas - fibroblasto e fibras colágenas do tipo I, delgadas;
- Locais de ocorrência - cordão umbilical (gelatina de Wharton) (Figura 1) e na polpa dental jovem;
- Histofisiologia - defesa, nutrição, amortecimento.

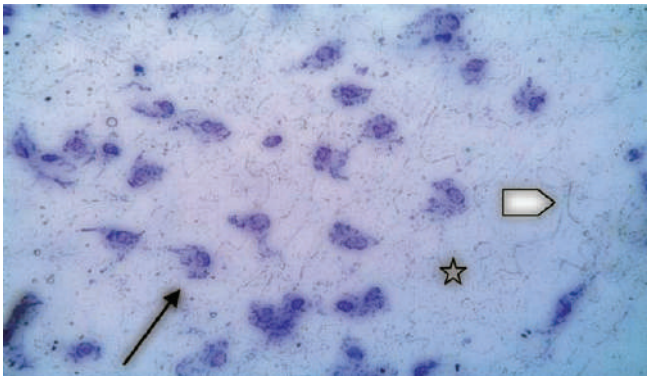


Figura 1 - detalhe da SFA (estrela) onde se observam fibras colágenas delgadas (cabeça de seta) e fibroblasto (setas)

TECIDO CONJUNTIVO ADULTO

Tecido conjuntivo propriamente dito

Vamos iniciar, então, a descrição dos tecidos encontrados nos adultos, seguindo a mesma sequência de itens acima.

Tecido conjuntivo frouxo

- Elemento predominante - fibras colágenas delgadas (Figura 2);
- Estruturas associadas - fibroblasto e macrófagos;
- Locais de ocorrência - presente entre as fibras musculares, apoiando intimamente os tecidos epiteliais e formando camadas em torno de vasos sanguíneos. Sustentam ainda estruturas sujeitas a pressão e pequenos atritos;
- Histofisiologia - sua consistência delicada favorece movimentos em áreas de alta pressão e circulação de nutrientes entre os elementos do tecido conjuntivo.

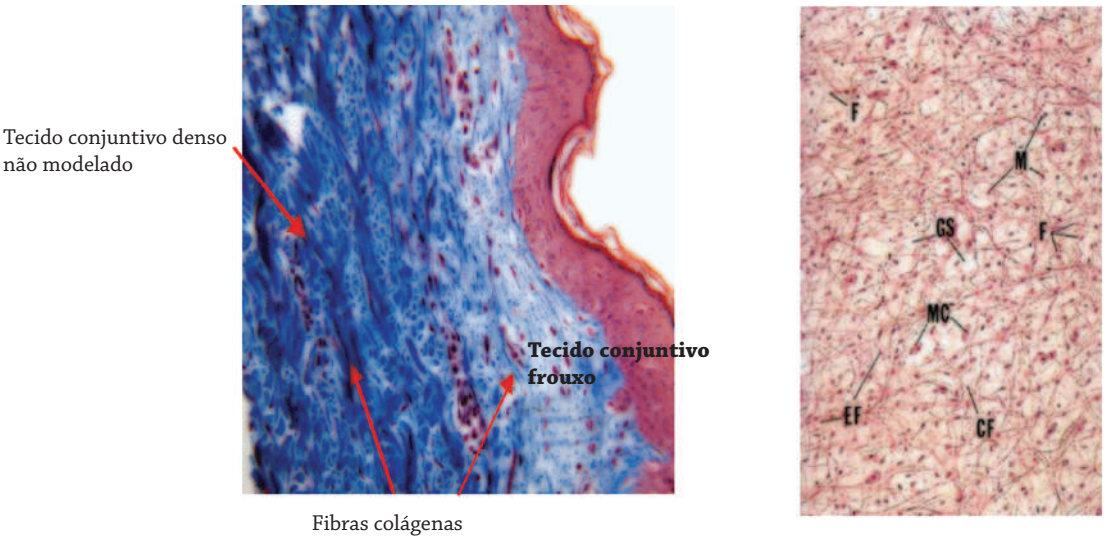


Figura 2 - Microscopia de luz mostrando detalhe do tecido conjuntivo frouxo, com predominância de fibras colágenas delgadas entremeadas por células e SFA (a e b)

Tecido conjuntivo denso não modelado

- Elemento predominante - fibras colágenas espessas dispostas em várias direções (Figura 3);
- Estruturas associadas - fibroblasto e macrófagos;
- Locais de ocorrência - derme da pele;
- Histofisiologia - consistência rígida, favorecendo mais resistência aos locais onde ocorrem.

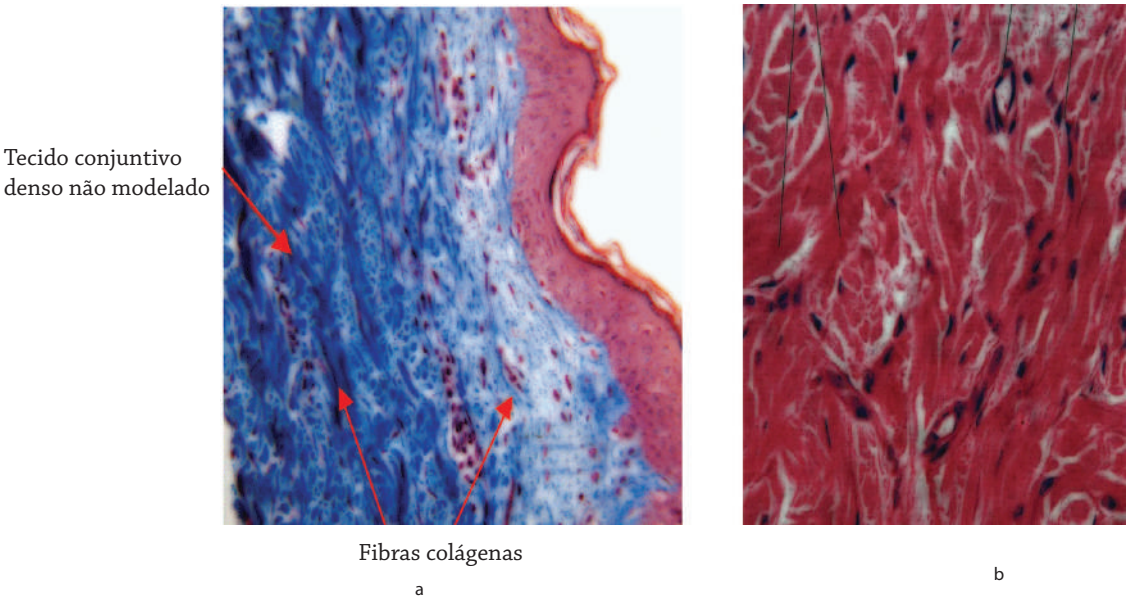


Figura 3 - a) Corte de pele mostrando fibras colágenas não ordenadas; b) detalhe das fibras colágenas

Tecido conjuntivo denso modelado

- Elemento predominante - fibras colágenas espessas dispostas paralelas, em uma única direção (Figura 4a);
- Estruturas associadas - fibroblasto e macrófagos;
- Local de ocorrência - tendão;
- Histofisiologia - a consistência rígida e a orientação das fibras deste tecido favorecem muito mais resistência aos locais onde ocorrem.

Obs.: É muito comum encontrarmos feixes de tecido conjuntivo frouxo entre os de conjuntivo modelado. Isso porque a presença do tecido conjuntivo frouxo nesse local favorece o deslizamento dos feixes que formam o tendão.

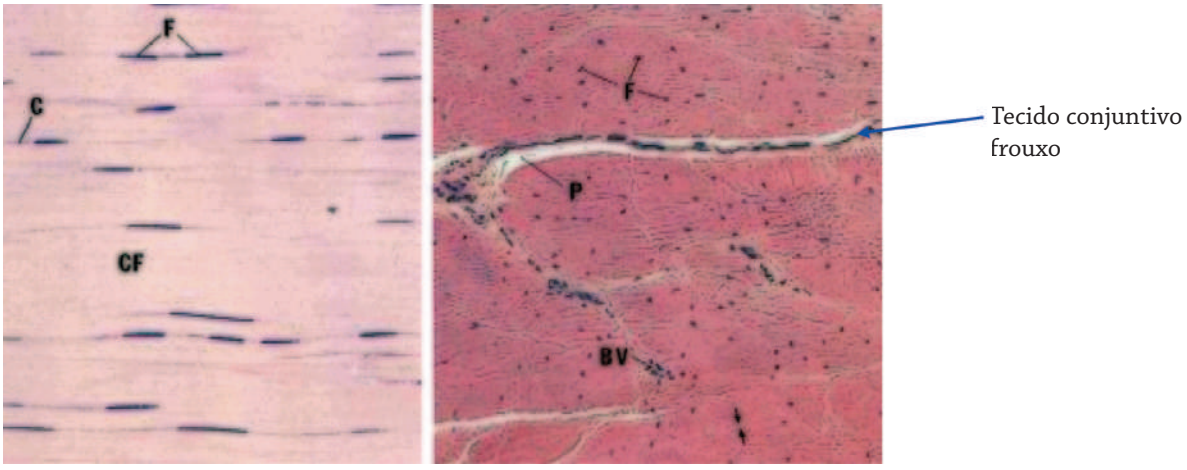


Figura 4 - a) microscopia de luz mostrando detalhe do tecido conjuntivo denso modelado, com predominância de fibras colágenas delgadas orientadas num mesmo sentido; b) observam-se feixes de tecido conjuntivo frouxo (seta) entre os feixes de tecido conjuntivo modelado

Tecido conjuntivo reticular

- Elemento predominante - fibras reticulares em associação com células reticulares (fibroblastos especializados) (Figura 5);
- Estruturas associadas - fibroblasto e macrófagos;
- Locais de ocorrência - órgãos linfoides, medula óssea, fígado;
- Histofisiologia - consistência rígida favorecendo mais resistência aos locais onde ocorrem.

Obs.: A observação das fibras reticulares requer uma técnica especial chamada **coloração de Verhoeff**, cuja técnica utiliza metais de prata que se depositam sobre as fibras reticulares (Figura 5).

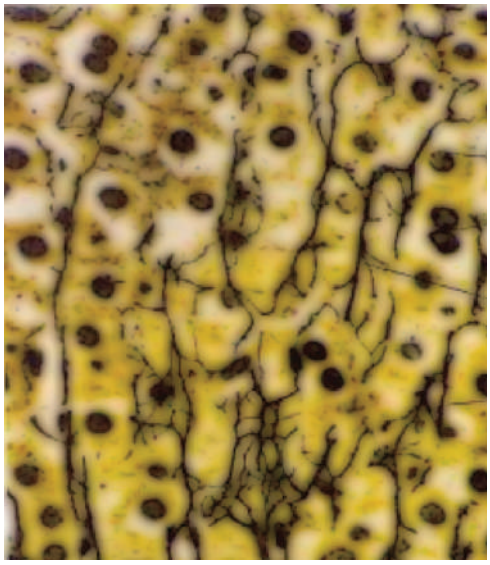
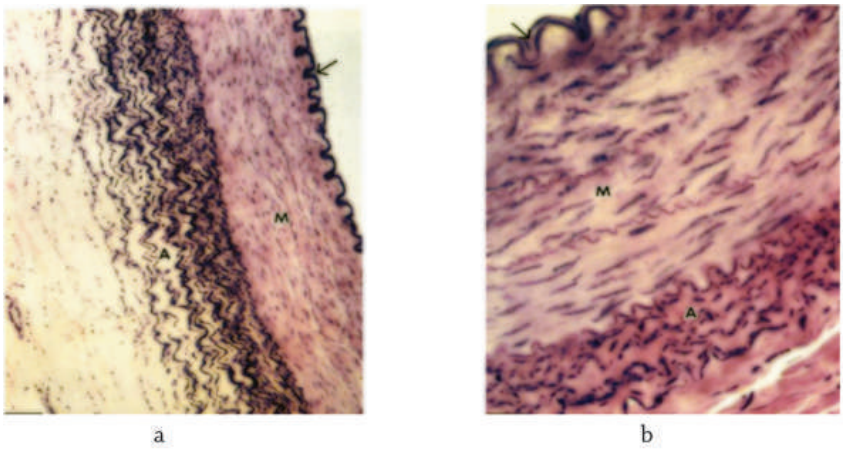


Figura 5 - Fibras reticulares coradas pela técnica de Verhoeff

Tecido conjuntivo elástico

- Elemento predominante - feixes de fibras elásticas espessas (Figura 6a);
- Estruturas associadas - fibras colágenas, fibroblasto;
- Locais de ocorrência - parede de artérias elásticas; cartilagem elástica, ligamentos amarelos da coluna vertebral;
- Histofisiologia - consistência flexível favorecendo extensibilidade e fácil retorno da fibra, sem o risco de rompimento.

Obs.: A observação das fibras elásticas requer uma técnica especial a base de prata (Figura 6b).



a b

Figura 6 - a) Corte longitudinal da parede da artéria elástica; b) detalhe das fibras elásticas e do tecido conjuntivo associado (seta)

Tecido adiposo

- Elemento predominante - células adiposas, cuja descrição já fizemos na aula anterior (Figura 7);
- Estruturas associadas - fibras reticulares e colágenas delgadas;
- Locais de ocorrência - preenchimento de órgãos, coxim plantar;
- Histofisiologia - importante reserva energética em forma de triglicerídeos, modela superfícies, absorve choques, e é isolante térmico.

O tecido adiposo é um tecido conjuntivo especial por ter organizações e funções diferenciadas, dependendo de sua localização e distribuição. Basta lembrar que nosso corpo requer energia a todo momento para desempenhar as inúmeras e constantes atividades diárias. Assim, como dissemos anteriormente, a reserva ou depósito energético na célula adiposa ocorre na forma de triglicerídeos, partículas formadas por três moléculas de ácidos graxos + 1 (uma) de glicerol. Agora temos que entender quais são as possíveis fontes destas moléculas, sendo a alimentação uma delas. Após as refeições, os alimentos são quebrados por enzimas presentes na luz do intestino, chamadas de **lipases**, sem as quais as moléculas seriam muito grandes para serem absorvidas pelas células intestinais. Uma vez quebradas, estas partículas são absorvidas pelas microvilosidades das células intestinais, no interior das quais são ressintetizadas pelo retículo endoplasmático liso. A partir desta organela, são formadas partículas menores, conhecidas como **quilomicrons,** que são lançadas na corrente linfática e depois sanguínea, até que atinjam os vasos que envolvem o tecido adiposo. Na luz destes vasos, através de uma outra enzima, a **lipase lipoproteica**, sintetizada pelo próprio adipócito, promove a quebra dos quilomicrons em partículas de ácido graxo e glicerol que são captadas pelas células adiposas, onde são finalmente ressintetizadas em triglicerídeos.

No processo de mobilização, ou seja, de comprometimento da célula adiposa com a produção de energia, a noradrenalina estimula a quebra do triglicerídeo novamente em ácido graxo e glicerol. Uma vez no sangue, os ácidos graxos se ligam a proteínas denominadas **albumina** que os destinam às células carentes de energia. Como já conhecemos, os ácidos graxos são recrutados pelas mitocôndrias, cujas organelas participam da cadeia transportadora de elétrons, gerando energia em forma de ATP.

No tecido adiposo multilocular, a função primordial é dissipar energia em forma de calor, a termogênese. Isto acontece porque as mitocôndrias desses adipócitos possuem uma proteína conhecida como termogenina, que dissipa o gradiente de prótons estabelecido através da membrana mitocondrial interna quando os elétrons passam pela cadeia respiratória. A termogenina desacopla a

produção de ATP do movimento de prótons contra o gradiente de concentração, gerando calor. Este tipo de tecido ocorre em crianças, sendo substituído pelo tecido adiposo branco nos adultos e nos animais hibernantes.

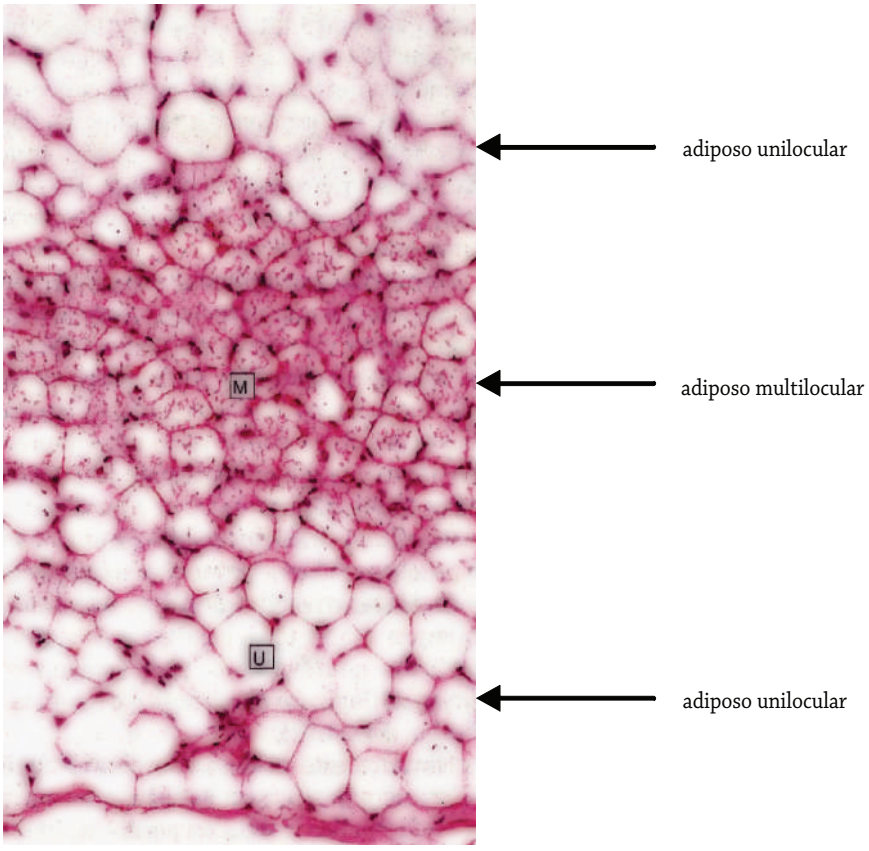


Figura 7 - Microscopia de luz mostrando o tecido adiposo multilocular entre duas porções de adiposo unilocular

AUTOAVALIAÇÃO

1. Faça um quadro diferenciando os tipos de tecido conjuntivo, levando em conta os seguintes critérios:
    - elemento predominante;
    - histofisiologia;
    - locais de ocorrência.

AULA 9

Tecido conjuntivo cartilaginoso

Trata-se de um tecido conjuntivo especializado, presente em locais que exijam apoio a tecidos moles, além de revestir superfícies articulares e ser de extrema importância na formação dos ossos longos.

Assim como os demais tecidos conjuntivos, é formado classicamente por células e matriz extracelular, guardando obviamente as características específicas deste tecido. É um tecido avascular e desnervado, o que o torna dependente do envoltório externo formado de tecido conjuntivo chamado **pericôndrio**, que garante estas funções. Assim, os seguintes componentes formam os diferentes tipos de tecido cartilaginoso:

1. Células:

   . Células condrogênicas (origem mesenquimal);

   . Condroblastos

   . Condrócitos

2. Matriz extracelular:

   . Fibras: - colágenas do tipo II

   - elásticas

3. Substância Fundamental Amorfa (SFA)

A variedade do tecido cartilaginoso está diretamente relacionada à predominância de uma das fibras acima citadas e, baseando neste critério, as cartilagens podem ser classificadas em:

- Cartilagem Hialina
- Cartilagem Elástica
- Cartilagem Fibrosa

O tecido cartilaginoso tem origem a partir de células mesenquimais, que, em resposta a estímulos específicos se diferenciam em condrogênicas, que iniciam sua síntese dos componentes da matriz. Uma

vez iniciada a síntese, a célula assume as características dos **condroblastos** e a matriz recém-sintetizada acumula-se ao redor dessas células, até que as mesmas evoluam para tipo celular chamado **condrócito**. Essas células podem eventualmente entrar em mitoses e gerar até oito filhas. A este conjunto de células é dado o nome de grupos isógenos. Os condrócitos, ainda que em proporções bem limitadas, são capazes de manter a renovação da matriz.

Caso haja lesão de cartilagem, a mesma sofre restrições de regeneração, devido à sua composição. No entanto, existem duas possibilidades de crescimento, o **intersticial** e o **aposicional**. O primeiro é mais raro, pois conta exclusivamente com a atividade dos condrócitos, cuja síntese é baixa. O crescimento aposicional é mais provável de acontecer uma vez que parte da renovação é cedida pelo pericôndrio, a camada de conjuntivo denso que envolve a cartilagem. No pericôndrio residem as células condrogênicas, que eventualmente originam condroblastos e que, portanto, garantem a renovação da cartilagem. Mas atenção, grandes lesões levam à fibrose e a consequente formação de cicatriz. Apenas pequenas lesões garantem a possibilidade de renovação.

Uma vez conhecidas as caracteristicas gerais do tecido cartilaginoso, vamos apresentar, a seguir, os aspectos diferenciais que caracterizam cada tipo de cartilagem.

Cartilagem hialina (Figura 1)

- Compõe o esqueleto do embrião;
- É predominantemente constituída por colágeno do tipo II;
- Condrócitos organizados em grupos de até oito células mitóticas, chamados de grupos isógenos;
- É envolvida por pericôndrio e apresenta crescimento aposicional e intersticial;
- Matriz extracelular compartimentada em duas regiões distintas que garantem a resistência do tecido cartilaginoso: a matriz territorial formada principalmente por proteoglicanos recém-sintetizados e proteínas, dentre elas a condronectina; a matriz interterritorial formada por fibras colágenas do tipo II associadas a uma intrincada rede de Substância Fundamental Amorfa, formada por moléculas longas de ácido hialurônico, que, por sua vez, recebem uma infinidade de proteoglicanos associados;
- Locais de ocorrência: fossas nasais, traqueia e brônquios, e ossos longos;

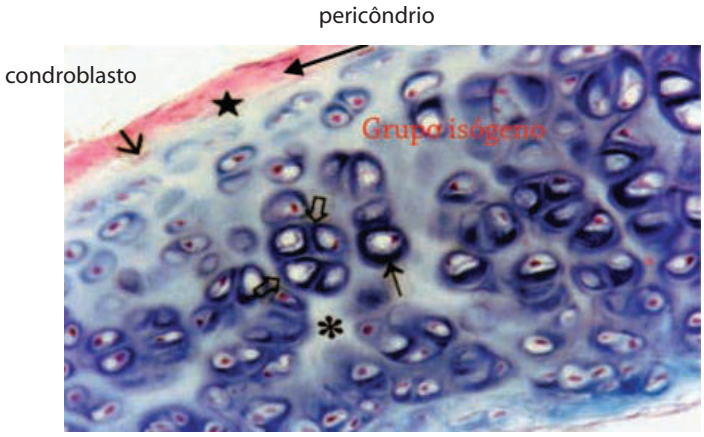


Figura 1 - Microscopia de luz do fragmento da cartilagem em que se observam: revestimento externo de tecido conjuntivo denso, o pericôndrio; grupos isógenos, formados por 2 a 8 condrócitos (seta branca); compartimentos da matriz – territorial (seta preta) e interterritorial (asterisco)

Cartilagem elástica (Figura 2)

- Encontrada no pavilhão auditivo, epiglote e laringe;
- Predominância de fibras elásticas;
- Possui pericôndrio e, como a hialina, cresce principalmente por aposição;
- Crescimento aposicional e intersticial.

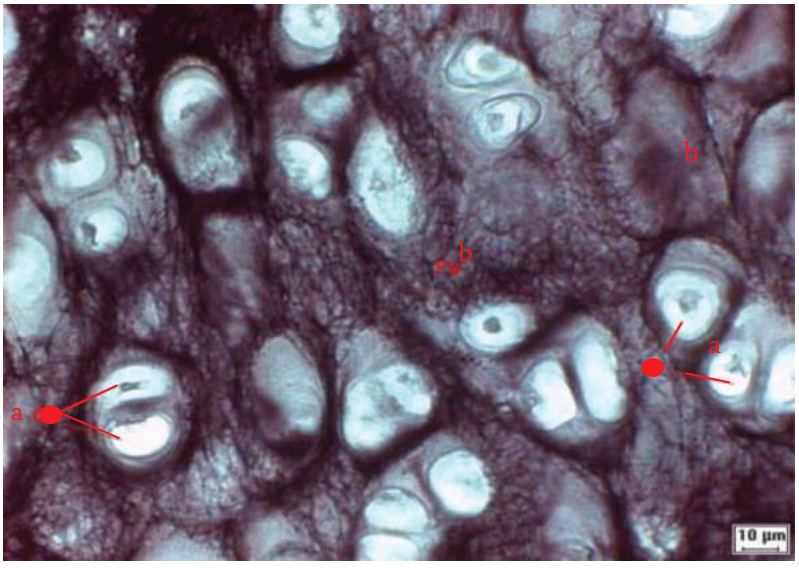


Figura 2 - Corte histológico da cartilagem elástica. Observam-se: a) condrócitos dentro das lacunas; b) emaranhado de fibras elásticas (coradas em negro) na matriz extracelular, envolvendo os condrócitos

Cartilagem fibrosa (Figura 3)

- Formada por colágeno I, resistente a tensões e, em maior proporção por colágeno do tipo II, este imediatamente em contato com os condrócitos;
- Sempre associada ao conjuntivo denso;
- Encontrada nos discos intervertebrais e sínfise pubiana;
- Não possui pericôndrio, portanto apresenta apenas o crescimento intersticial.

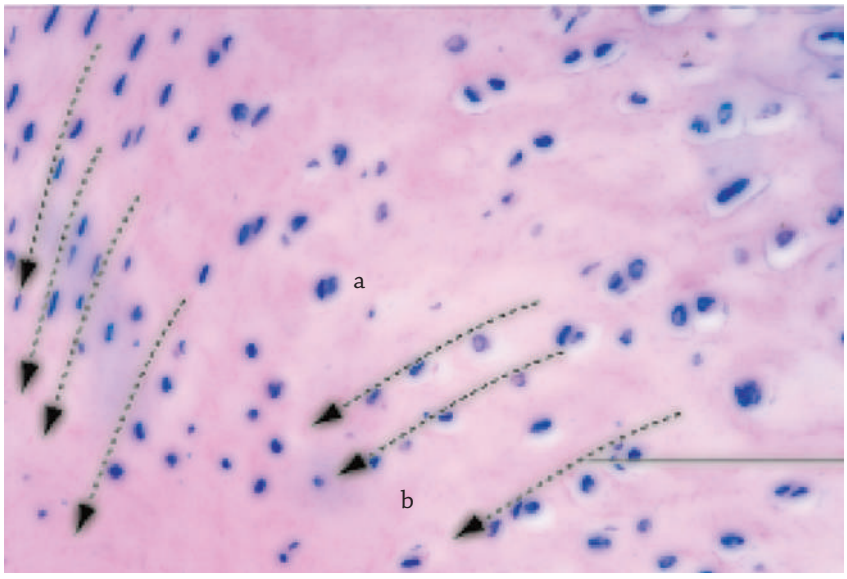


Figura 3 - Corte histológico da cartilagem fibrosa ou fibrocartilagem. Observam-se: a) condrócitos dentro das lacunas e alguns organizados em fileiras (setas); b) matriz extracelular paralela aos condrócitos (em azul - esverdeado)

AUTOAVALIAÇÃO

1. Quais são os componentes básicos do tecido cartilaginoso?
2. Quais são os tipos de cartilagem?
3. Que elementos diferenciam as cartilagens?
4. Relacione os locais de ocorrências com as funções dos diferentes tipos de cartilagem.
5. O que é pericôndrio e qual sua importância?
6. Cite e diferencie os tipos de crescimento da cartilagem.

AULA 10

Tecido conjuntivo ósseo

Para concluir nosso estudo sobre os diferentes tipos de tecidos conjuntivos, vamos tratar daquele que representa o exemplo mais clássico de sustentação e estabilidade: o tecido ósseo. Devemos neste momento, inclusive, salientar mais uma importante função deste tecido: a capacidade de armazenamento de íons, que será oportunamente tratada à frente.

Estruturalmente o tecido ósseo é formado por células e matriz extracelular, associadas à porção mineral. Didaticamente poderíamos apresentar sua morfologia da seguinte maneira:

1 Parte orgânica – conhecida como osteoide, constitui 25% do peso ósseo.

a) Células:

- Osteogênicas – capazes de se diferenciar em células osteoblásticas;

- Osteoblastos – responsáveis pela síntese da matriz extracelular, que inclui as fibras e os componentes da Substância Fundamental Amorfa (SFA);

- Osteócitos – responsáveis pela manutenção da matriz óssea, uma vez que, ainda que de forma reduzida, são capazes de sintetizar matriz extracelular;

- Osteoclastos – são os macrófagos do tecido ósseo, ou seja, tiveram origem do monócito que migrou para o tecido. Fazem parte do Sistema Mononuclear Fagocitário (também no tecido nervoso), e no tecido ósseo têm a função de remodelação óssea.

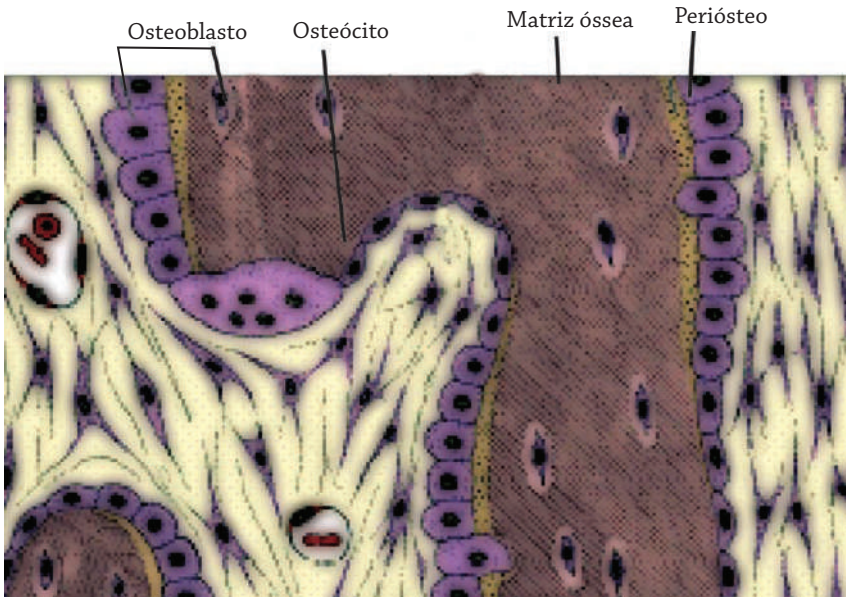


Figura 1 - Desenho esquemático das células ósseas

b) Matriz extracelular:

- Fibras colágenas do tipo I (90% da matriz);

- Glicoproteínas – osteonectina;

- Proteoglicanos e glicosaminoglicanos.

2 Parte inorgânica

- Constitui 75% do peso ósseo;

- Cristais de fosfato de cálcio, conhecidos como cristais de hidroxiapatita;

- Magnésio, carbonato, citrato de sódio etc.

Antes de seguirmos em frente no entendimento do processo de formação óssea e de sua estrutura microscópica, vamos nos reportar à estrutura anatômica ou macroscópica do osso (Figura 2).

Embora haja uma diversidade anatômica, quando falamos em osso, a maioria de nós se lembra daquela imagem de um osso longo, por exemplo, o fêmur, que em corte transversal, apresenta-se como um círculo de bordas largas delimitando uma cavidade oca. Mas qual a constituição destas "bordas largas"? E desta cavidade?

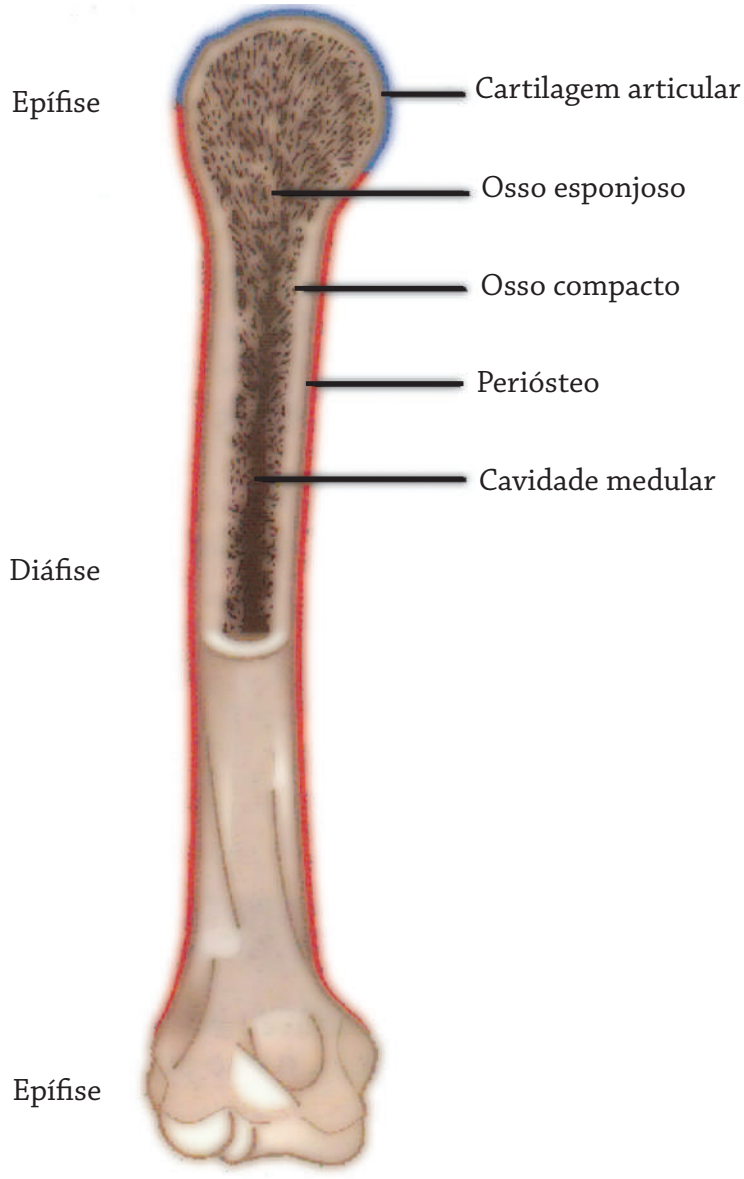


Figura 2 - Desenho esquemático do osso exibindo suas extremidades, as epífises e a diáfise medial, além dos componentes compacto externo e esponjoso, interno

Macroscopicamente, o osso pode apresentar-se como compacto e, ou, esponjoso. Entretanto, usando novamente o fêmur como exemplo, em corte longitudinal, veremos que o mesmo apresenta duas extremidades, as **epífises**, separadas pela região medial chamada de **diáfise**. Na borda externa da sua porção cilíndrica ou diáfise, há uma massa sólida, que é o osso do tipo compacto, enquanto na borda interna, revestindo o canal medular, ocorre o osso esponjoso, que consiste de uma trama de trabéculas ósseas (Figura 3).

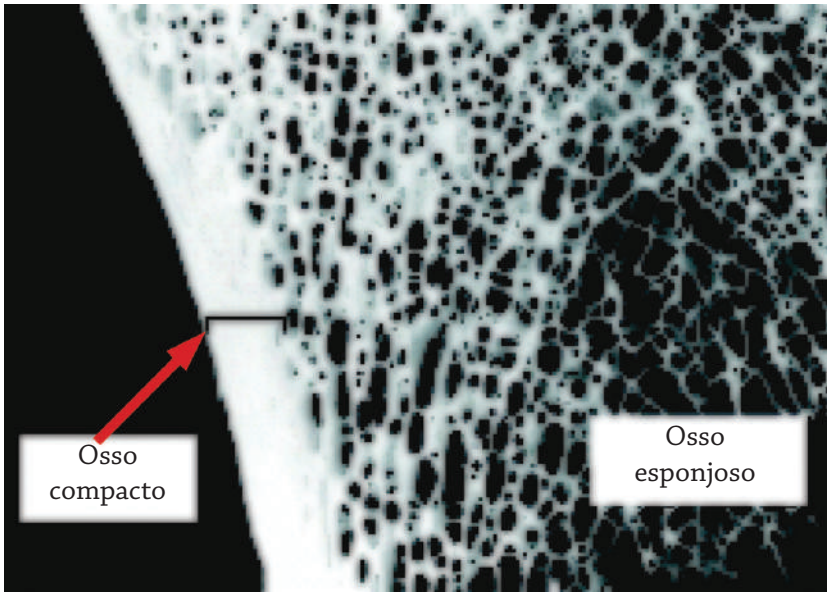


Figura 3 - Fragmento de osso em corte longitudinal mostrando a parte externa, o osso compacto, revestindo a parte interna de osso esponjoso

As extremidades dos ossos longos, chamadas **epífises**, constituem-se de osso esponjoso revestido por cartilagem hialina, as cartilagens articulares. O canal medular e as cavidades do osso esponjoso são preenchidos pela medula óssea, responsável pela produção de células sanguíneas. Em recém-nascidos, a distribuição da medula óssea hematógena é maior, uma vez que, com a idade, o tecido adiposo (medula óssea amarela) preenche grande parte do canal medular, restringindo-a a regiões específicas. Durante o crescimento, as epífises estão separadas da diáfise pelo **disco epifisário** cartilaginoso que representa a zona de crescimento do osso em comprimento.

Uma vez conhecida a estrutura macroscópica, vamos discutir sobre as variedades histológicas do tecido ósseo, que explicam a organização da matriz extracelular do mesmo. Com base nesta organização, dois tipos de ossos são identificados:

- **Osso lamelar ou secundário**, onde os osteócitos se organizam em fileiras paralelas aos feixes de fibras colágenas;
- **Osso não lamelar ou primário**, observado no osso em desenvolvimento, e que permanece no adulto em algumas áreas restritas, por exemplo, nas regiões de fusão dos ossos do crânio. Cabe ressaltar que esta é também a primeira forma de organização que aparece após uma fratura, além de estar presente durante o desenvolvimento embrionário.

No osso lamelar, como já dissemos, as fibras colágenas seguem um padrão de organização lamelar, paralelo ou concêntrico em torno de vasos sanguíneos e nervos, formando o **sistema de Havers** ou **ósteon**. Os vasos e nervos contidos no interior do sistema de Havers

se comunicam por meio de canais transversais ou oblíquos chamados **canais de Volkmann**.

Revestindo o osso interna e externamente, existem células osteogênicas e tecido conjuntivo, que constituem o **endósteo** e o **periósteo**, respectivamente (Figura 4). Essas camadas são responsáveis pela nutrição, crescimento e remodelação óssea.

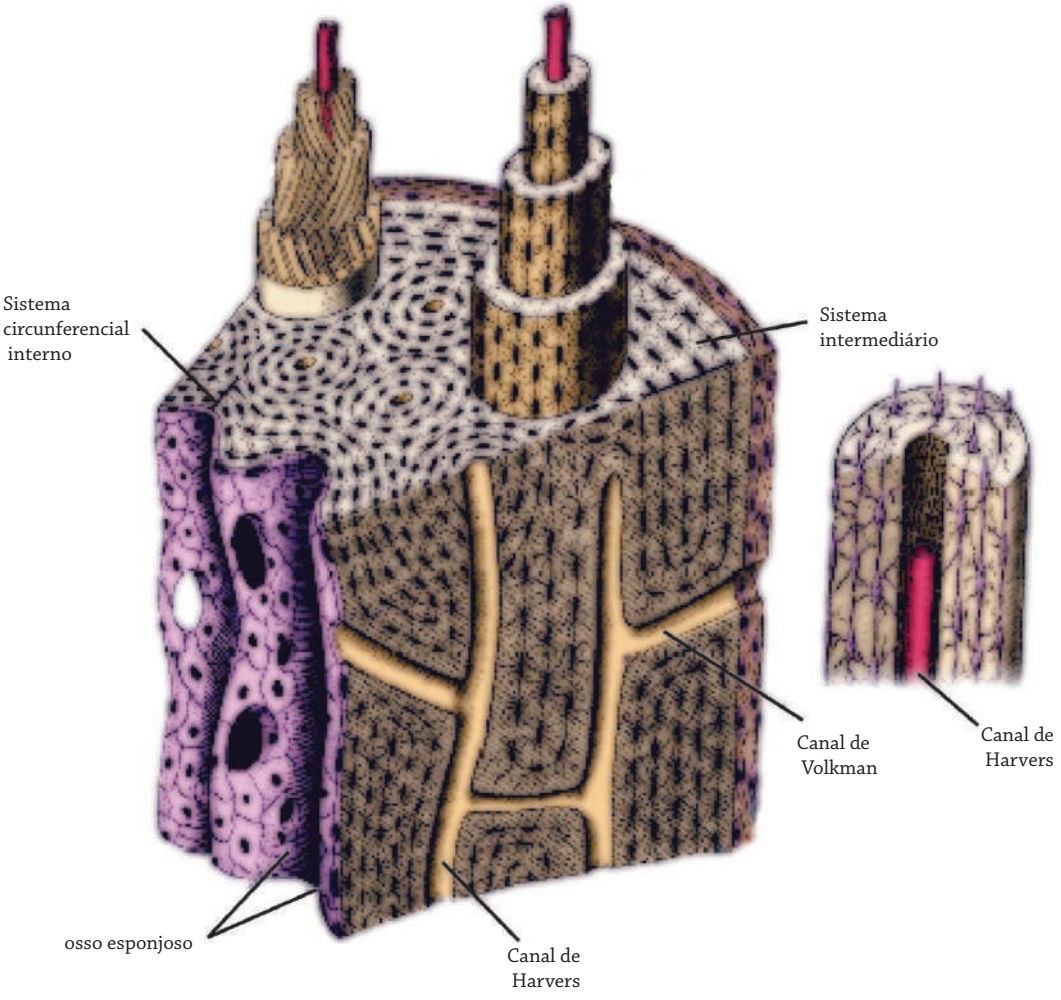


Figura 4 - Desenho esquemático de fragmento de osso em corte longitudinal exibindo a parte externa, o osso compacto revestindo a parte interna de osso esponjoso

AUTOAVALIAÇÃO

1. Para você: quais as principais funções do tecido ósseo?
2. Quais os componentes da matriz extracelular?
3. Quais são as variedades de tecido ósseo, quando analisados macroscopicamente?
4. Quais são as variedades de tecido ósseo, quando analisados microscopicamente?
5. Quais são os revestimentos de tecido conjuntivo interno e externo dos ossos?

AULA 11

Ossificação

A formação dos diferentes tipos de ossos baseia-se em duas modalidades distintas, a saber: sobre uma membrana conjuntiva, chamada **ossificação intramembranosa**, ou sobre um modelo de cartilagem hialina, a **ossificação endocondral**. Em ambas as condições, inicialmente, é formado o tecido ósseo primário, que gradativamente será substituído pelo tecido ósseo secundário.

OSSIFICAÇÃO INTRAMEMBRANOSA

Neste tipo de ossificação, as células mesenquimais que constituem a membrana conjuntiva, após receberem sinalização de fatores de crescimento ósseo, se diferenciam em osteoblastos. Estes osteoblastos sintetizam a matriz não mineralizada (osteoide), que é lançada ao redor destas células. Esta matriz recém-sintetizada, chamada de **blastema ósseo** é rapidamente mineralizada e passa a envolver os osteoblastos. Uma vez "aprisionados", os osteoblastos diferenciam-se dos osteócitos (Figura 1).

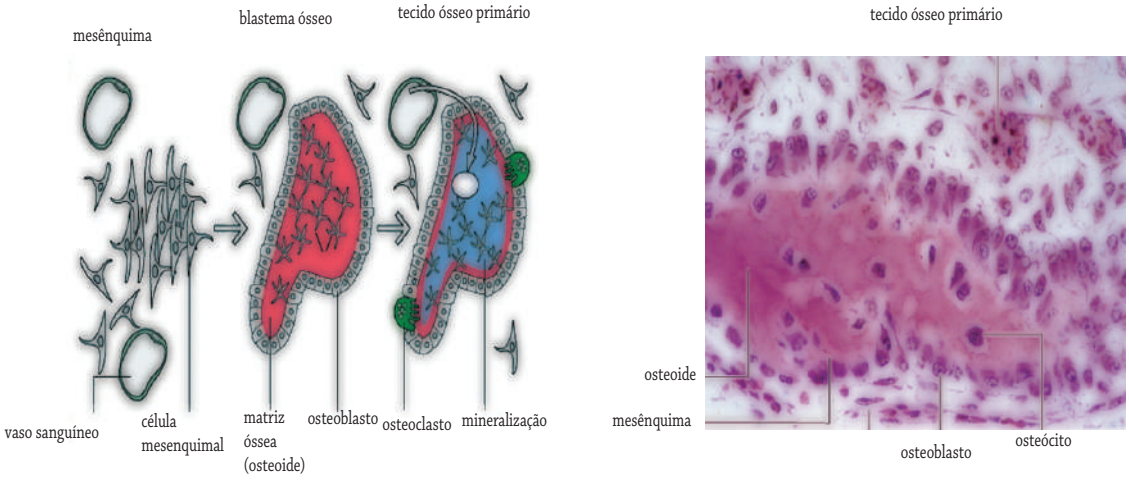


Figura 1 - Esquema do processo de ossificação intramembranosa, no qual um molde mesenquimal é substituído pelo tecido ósseo

Uma vez formada a matriz contendo os osteócitos, estes se organizam em fileiras paralelas à matriz contendo as fibras e SFA, chamadas de lamelas paralelas, que se fundem formando um sincício funcional. Os "novos" osteoblastos, ou seja, aqueles oriundos das células mesenquimais da matriz conjuntiva, ficam aderidos à superfície externa do blastema ósseo, constituindo o endósteo. Recorde que estes novos osteoblastos serão responsáveis pela síntese de mais uma parte da matriz não mineralizada e que, então, darão sequência à continuidade da produção das lamelas ósseas. Estas lamelas organizam-se para formar as trabéculas ou espículas do **osso esponjoso** ou as lamelas concêntricas a canais contendo vasos sanguíneos e nervos, característicos do **osso compacto**.

A ossificação intramembranosa ocorre nos ossos chatos do crânio onde são identificadas duas partes distintas: as camadas externas com o arranjo do osso compacto envolvendo uma camada interna, com a morfologia do osso esponjoso.

OSSIFICAÇÃO ENDOCONDRAL

A ossificação endocondral é o processo que **depende** diretamente de um molde de cartilagem. Parece estranho, mas é exatamente isto! Lembre-se de que a ossificação intramembranosa é o processo no qual um molde mesenquimal é substituído por osso sem passar por uma fase cartilaginosa. Vamos então entender o processo endocondral?

Essa modalidade de ossificação é típica dos ossos longos, pois caracteriza o crescimento dos ossos em comprimento. O processo ocorre em duas etapas: na primeira, a cartilagem hialina passa por modificações tais como hipertrofia dos condrócitos, redução da matriz cartilaginosa, sua mineralização e a morte dos condrócitos por apoptose. Na segunda fase, as cavidades preenchidas pelos condrócitos são invadidas por vasos sanguíneos que conduzem células osteogênicas, sendo estas responsáveis pela deposição de matriz óssea sobre a cartilagem mineralizada (Figura 2). Este processo ocorre na medida em que as células osteogênicas apoiam-se nos septos de cartilagem e sobre os quais vão depositando o osteoide, gradualmente. O depósito assinala o início da formação das trabéculas ósseas que darão origem ao osso esponjoso na região média do molde.

Mais um lembrete importante aqui! À medida que o processo de ossificação avança na direção das epífises, acontecerá formação do **osso esponjoso**, e este evento caracteriza o crescimento do indivíduo em comprimento. Enquanto isso, o anel ósseo terá formado o **osso compacto**, conferindo espessura ao osso longo.

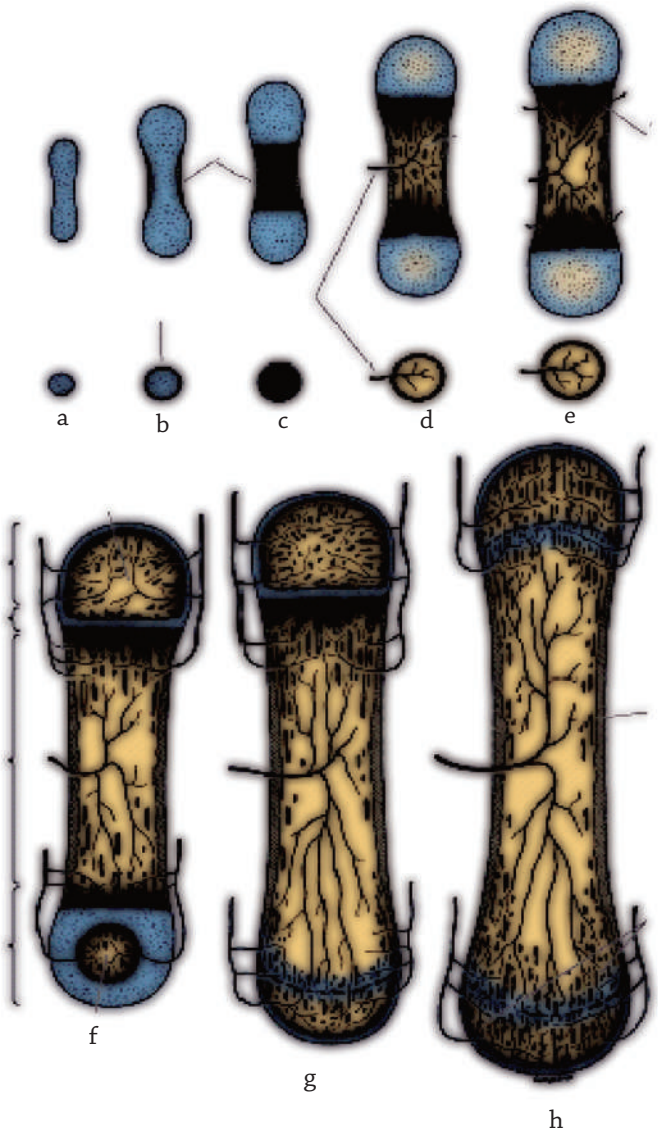


Figura 2 - Desenho esquemático da sequência de eventos durante o processo de ossificação endocondral: a) cartilagem hialina; b) início da formação do anel ósseo a partir da ossificação intramembranosa que se inicia no pericôndrio que reveste a cartilagem; c) hipertrofia e morte dos condrócitos por falta de nutrição e vascularização nesta área; d) invasão do periósteo entre as cavidades formadas pela morte dos condrócitos; d + e) invasão da matriz óssea em direção às epífises e consequente substituição da matriz cartilaginosa; f + g) início da formação das cabeças articulares epifisárias a partir do centro de ossificação sedundário; g + h) delimitação do disco epifisário cujo desaparecimento coincide com o término da fase de crescimento ósseo

Como observamos na Figura 2, o processo de ossificação do osso longo é bastante complexo. Na parte média da diáfise, aparece um **centro de ossificação primária**, que cresce no sentido longitudinal e que ocupa toda a diáfise. Os osteoclastos surgem e absorvem o tecido ósseo

central, resultando no canal medular. Nas epífises surgem os **centros de ossificação secundária**, nos quais observa-se o crescimento radial, responsável pela formação das cabeças articulares. Quando o tecido ósseo preenche toda a epífise, o tecido cartilaginoso fica restrito à porção mais externa, resultando na **cartilagem articular** que não contribui para o crescimento ósseo, e à porção interna, o **disco epifisário**, que manterá o crescimento longitudinal do osso até que o animal atinja a fase adulta.

No disco epifisário, podemos identificar morfologicamente cinco diferentes zonas, a saber: a zona de cartilagem em repouso, zona de cartilagem proliferativa ou seriada, zona de cartilagem hipertrófica, zona de cartilagem calcificada e zona de erosão ou de ossificação (Figura 3).

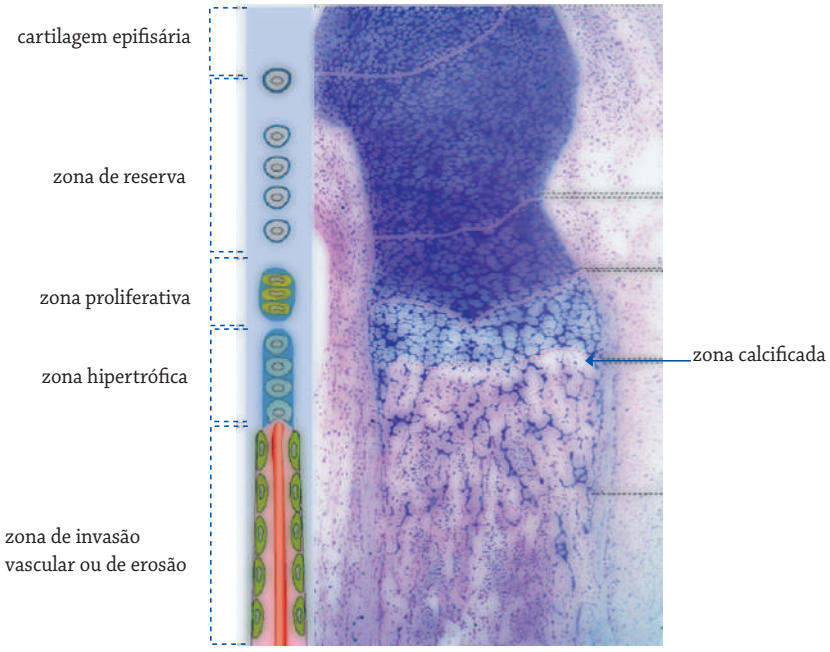


Figura 3 - Corte histológico do disco epifisário exibindo as cinco zonas de ossificação. Coloração por Hematoxilina-Eosina (HE)

É importante lembrar aqui da importância dos **osteoclastos**! Ambos os processos de ossificação, seja o intramembranoso ou o endocondral, sofrem intensas remodelações ósseas que não seriam possíveis sem a participação efetiva destas células macrofágicas. Além de exercer funções de degradação óssea nas regiões necessárias, os osteoclastos estimulam os osteoblastos a sintetizar a matriz orgânica, ou seja, o colágeno e a Substância Fundamental Amorfa, típicos de todo tecido conjuntivo. No caso do tecido ósseo, essa matriz sofre processos de mineralização coordenados também pelos osteoclastos.

OUTRAS FUNÇÕES DO TECIDO ÓSSEO

O esqueleto funciona como reserva de íons cálcio, cuja concentração no sangue deve ser mantida constante para o funcionamento normal do organismo. Inúmeros processos celulares são dependentes de cálcio, como por exemplo, o transporte de vesículas sinápticas e a ativação de alguns fatores de transcrição.

A manutenção dos níveis de cálcio no sangue ocorre por dois mecanismos distintos. O primeiro é por transferência direta de íons contidos nos cristais de hidroxiapatita para o líquido intersticial, por meio do qual passa para o sangue. O segundo mecanismo depende da ação do paratormônio sobre o tecido ósseo. Na presença deste hormônio, há um aumento do número de osteoclastos e, consequentemente, de absorção de matriz óssea, elevando a concentração de cálcio no sangue. Outro hormônio que atua neste eixo é a calcitonina, que, por sua vez, inibe a reabsorção de matriz e, portanto, reduz a mobilização de cálcio. A calcitonina inibe a atividade dos osteoclastos.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Diferencie os tipos de ossificação.
2. Relacione os tipos de ossificação com as modalidades de osso.
3. Como é constituído o disco epifisário?
4. Que alterações morfológicas são importantes durante a formação óssea?
5. Que fatores hormonais e nutricionais interferem na formação óssea?

AULA 12

Tecido nervoso
neurônio e glia

Quando estamos nos relacionando com o mundo, por exemplo, caminhando em direção a um restaurante onde podemos conversar com amigos, ou assistindo a um noticiário, ou ouvindo o canto dos pássaros em um lindo jardim de flores coloridas, usamos a visão, o olfato, o paladar, a audição e o tato. Pois bem, o sistema nervoso é o responsável pela coordenação de todos esses sentidos com as atividades motoras, sejam elas de ação voluntária ou involuntária. Mas a descrição destas funções não é tão simplista. Pelo contrário, o tecido nervoso apresenta uma complexidade organizacional e funcional tal, que permite exatamente esta diversidade de funções.

E como ele se divide? Vamos apresentar a divisão anatômica do **Sistema Nervoso Central** e **Sistema Nervoso Periférico** (Figura 1), para que possamos, então, conhecer o tecido nervoso, propriamente dito.

DIVISÃO ANATÔMICA

Sistema Nervoso Central

- Cérebro
- Cerebelo
- Tronco Encefálico
- Medula

Sistema Nervoso Periférico

- Nervos
- Gânglios



Figura 1 - Desenho esquemático do sistema nervoso central e periférico

DIVISÃO MICROSCÓPICA

Após esta rápida visualização macroscópica dos componentes anatômicos do sistema nervoso, voltaremos nossas atenções para o nível microscópico.

O tecido nervoso é constituído por dois componentes principais: os **neurônios** e **células da glia**, que, além de sustentarem os neurônios, participam da atividade neural, da nutrição dos neurônios e de processos de defesa do tecido nervoso.

No sistema nervoso central, há certa segregação entre os corpos celulares dos neurônios e os seus prolongamentos. Isso faz com que sejam reconhecidas no encéfalo e na medula espinhal duas porções distintas, denominadas **substância branca** e **substância cinzenta**.

A **substância cinzenta** é assim chamada porque mostra essa coloração quando observada macroscopicamente. É formada, principalmente, por corpos celulares de neurônios e células da glia, contendo também prolongamentos de neurônios.

A **substância branca** não contém corpos de neurônios, sendo constituída por prolongamentos de neurônios e células da glia. Seu nome origina-se da presença de grande quantidade de um material esbranquiçado denominado mielina, que envolve certos prolongamentos dos neurônios (axônios).

NEURÔNIOS

Os neurônios constituem-se de três elementos principais (Figura 2):

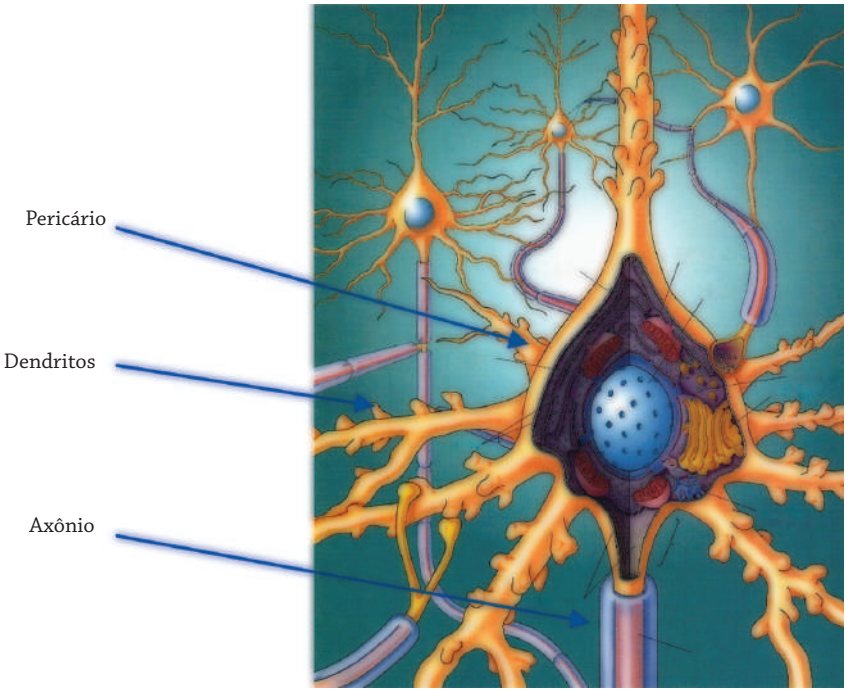


Figura 2 - Desenho esquemático do neurônio

- **Pericário** ou **corpo celular** - onde estão alocadas todas as organelas citoplasmáticas e o núcleo. Dessa forma, o pericário é a região onde se concentra a maioria absoluta das atividades metabólicas dos neurônios;
- **Dendritos** - são ramificações curtas e delgadas que partem do pericário e são especializadas, de um modo geral, na recepção e integração das informações;
- **Axônio** - é um prolongamento único originado a partir do corpo celular do neurônio, no cone de implantação e, em regra geral, está relacionado com a transmissão dos impulsos. A extensão dos axônios é variável e pode ser desde 1µm até 1 metro! Basta você imaginar que o corpo do neurônio responsável pela movimentação dos dedos dos pés está localizado na região lombar da medula óssea, portanto no ambiente do sistema nervoso central.

Os neurônios diferem morfologicamente uns dos outros, e isso se relaciona com a função/local próprios de cada tipo celular. Para tal, a classificação obedece aos seguintes critérios: a) número de prolongamentos; b) forma do pericário e c) aspecto funcional.

Quanto ao número de prolongamentos (Figura 3), que emergem do corpo celular, os neurônios podem ser classificados em:

- Multipolares – apresentam numerosos processos emergindo do corpo celular, que incluem um único axônio e mais de um dendrito. São os mais numerosos no sistema nervoso central. As células piramidais do córtex cerebelar e as células de Purkinje são dois exemplos típicos;
- Bipolares – possuem dois processos e são típicos dos sistemas visual e auditivo;
- Pseudounipolares – possuem somente um curto processo que se origina do corpo celular e estão localizados nos gânglios sensitivos dos nervos cranianos e espinhais. O prefixo **pseudo** se justifica pela fusão de dois processos durante o desenvolvimento embriológico.

Quanto à forma do pericário, os neurônios podem ser classificados em esferoidal (arredondado), estrelado e piriforme (Figura 3).

Quanto ao aspecto funcional, os neurônios podem ser classificados em motores ou sensitivos.

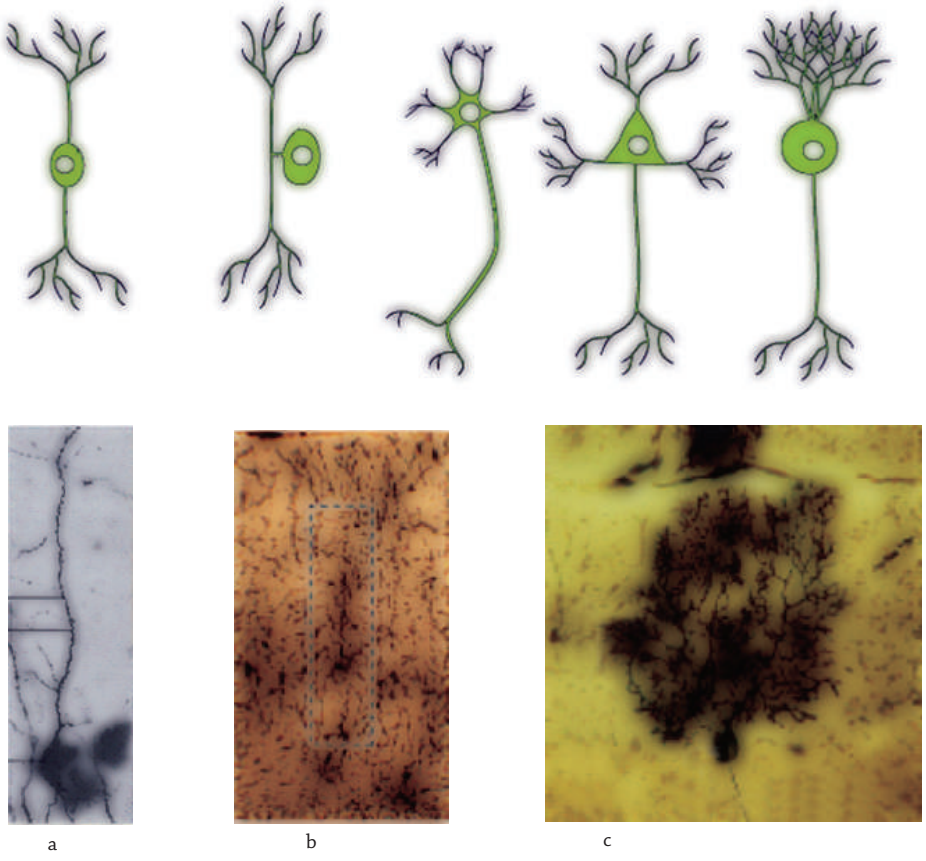


Figura 3 - Desenho esquemático dos tipos de neurônios, a) piramidal; b) estrelado; c) piriforme

GLIA

Como comentamos anteriormente, os neurônios não são as únicas células do tecido nervoso. Junto a eles estão as células da **glia**, que desempenham a importante função de sustentar os neurônios. Entretanto, não se trata apenas de sustentação mecânica, mas também metabólica. Para que possamos avançar no reconhecimento destas células, vamos separá-las de acordo com alguns critérios como localização, morfologia e função.

Inicialmente, poderemos localizá-las diferencialmente no sistema nervoso central e periférico, como sumarizado no esquema:

Neuróglia Central (Sistema Nervoso Ccentral)

1. **Epitelial**
   a) Revestimento
   b) Secretora
2. **Gliócitos livres**
   a) Macróglia
      – Astrócitos
         . Protoplasmáticos
         . Fibrosos
      – Oligodendrócitos
   b) Micróglia

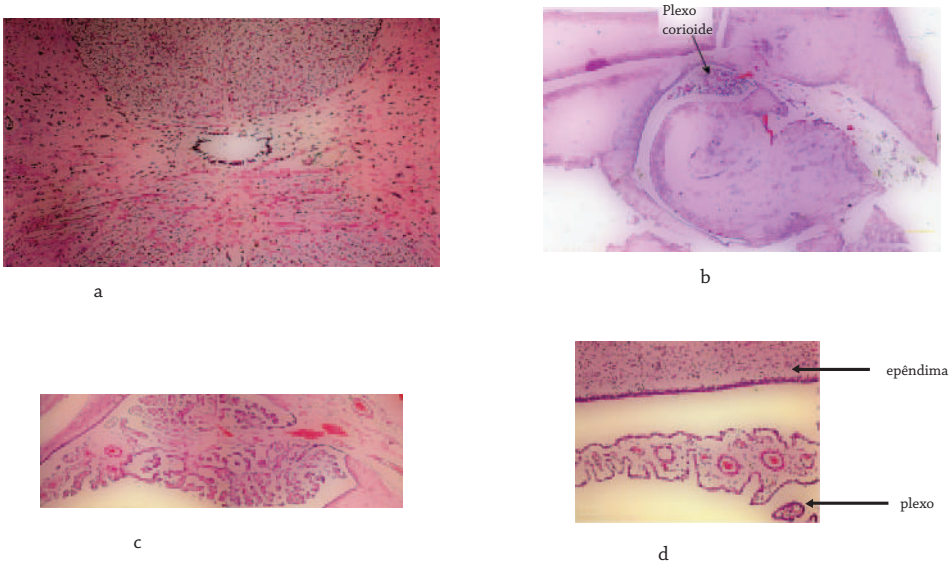
Glia Periférica (Sistema Nervoso Periférico)

1. Células satélites ou anfícitos
2. Células de Schwann

Agora sim, poderemos, a partir da visão geral deste esquema, mostrar as diferenças morfológicas e funcionais entre estas células.

Glia Central Epitelial

- Revestimento - são as **células ependimárias**, que, por seu arranjo em forma de epitélio, revestem os ventrículos cerebrais e o canal central da medula espinhal (Figura 4a e 4b);
- Secretora - células com microvilosidades, reúnem-se para formar o plexo corioide; são funcionalmente responsáveis pela produção do líquido cefalorraquiano.



a b c d

Figura 4 - a) corte transversal da medula, mostrando o canal central revestido pela neuróglia de revestimento; b) corte transversal do 3º e 4º ventrículos, onde se encontra o plexo corioide; c) detalhe do plexo corióide; d) detalhe do epêndima e do plexo corioide

Gliócitos livres

Macróglia

- Astrócitos

. protoplasmáticos

. fibrosos

- Oligodendrócitos

Os astrócitos fibrosos e protoplasmáticos são as maiores células neurogliais, que se diferem pelas ramificações delgadas e espessas, respectivamente. Os astrócitos fibrosos estão distribuídos na substância branca, e os protoplasmáticos no interior da substância cinzenta, onde exercem funções gerais como a manutenção do ambiente, **homeostase** do neurônio, retirando íons e resíduos metabólicos. Contribuem também para o metabolismo energético, liberando glicose. No cérebro, participam da formação da barreira hematoencefálica, pois emitem pseudópodes (seta azul) que envolvem os vasos sanguíneos (Figura 5d).

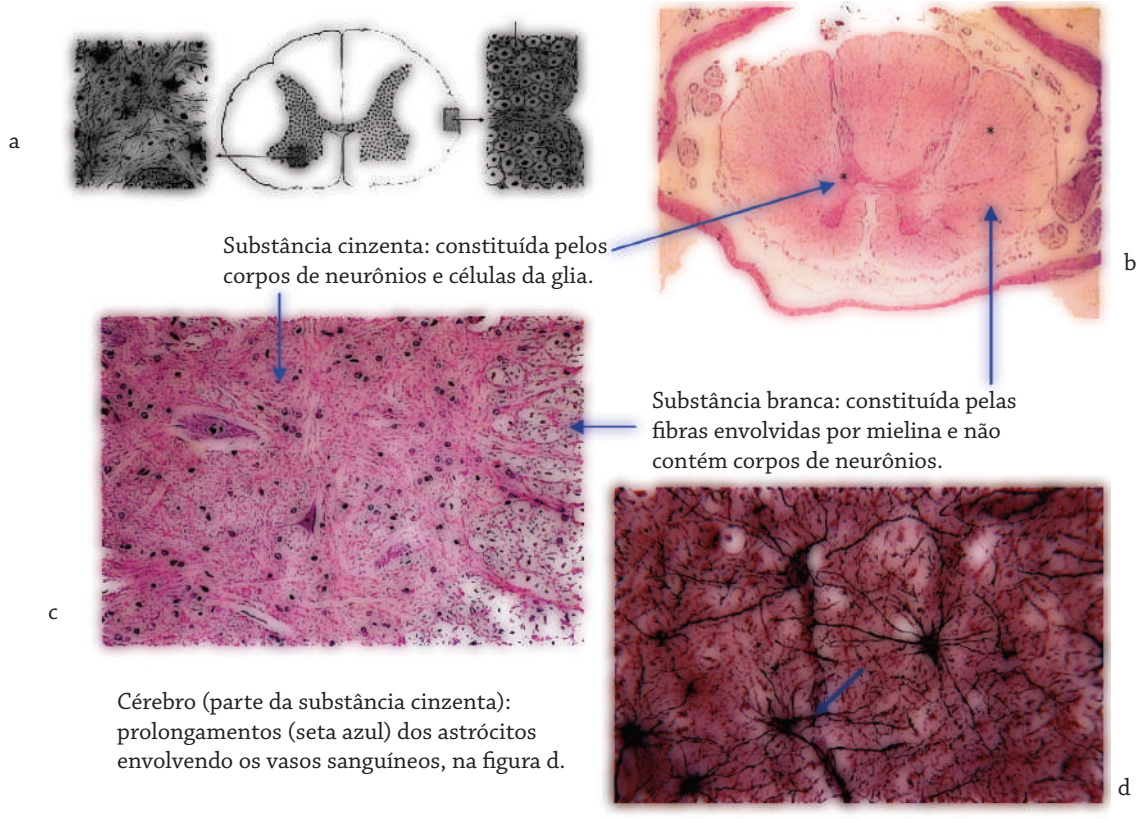


Figura 5 - a) desenho esquemático do corte da medula exibindo as substâncias branca e cinzenta; b) corte da medula visto à microscopia de luz; c) detalhe da substância cinzenta (à esquerda) e da substância branca (à direita); d) detalhe dos astrócitos compondo os pés vasculares

Os oligodendrócitos, assim como os astrócitos, possuem o corpo grande, no entanto, com poucas e delgadas ramificações. Essas células têm a importantíssima função de formar a bainha de mielina das fibras nervosas do SNC. Aliás, quem são as fibras nervosas do SNC? Falaremos sobre este assunto nas próximas aulas!

Micróglia

Completando o grupo das células da glia do SNC, estão as micróglias. Diferentemente das células do grupo das macróglias, estas células têm o corpo pequeno e alongado, de onde partem numerosas ramificações curtas e delgadas (Figura 6). Essas células têm a mesma origem embrionária que os macrófagos, sendo, portanto, funcionalmente responsáveis pela retirada de resíduos e estruturas danificadas do SNC. São encontradas tanto na substância branca quanto na substância cinzenta.

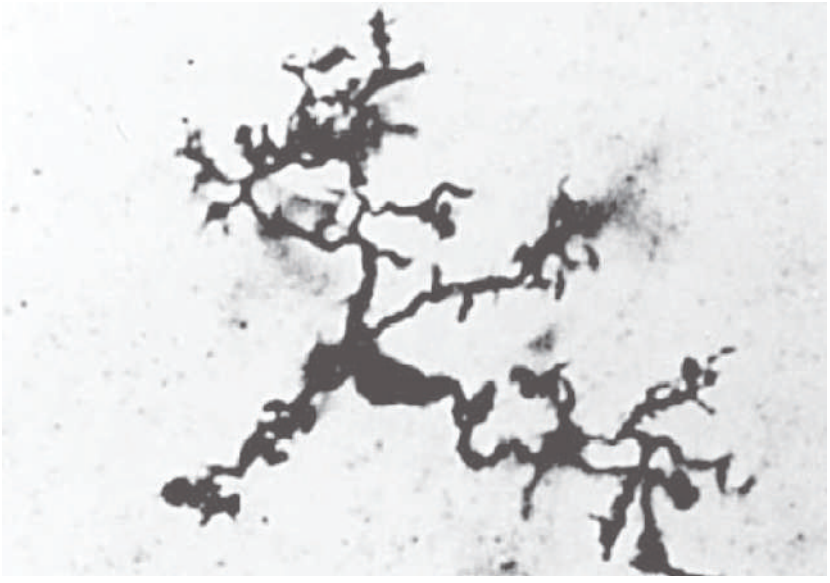


Figura 6 - Micróglia vista à microscopia de luz, por coloração pela prata

Glia Periférica

São representadas por dois grupos de células, os anfícitos e as células de Schwann.

Os anfícitos ou células satélites estão presentes nos gânglios nervosos periféricos, onde atuam funcionalmente na sustentação dos corpos de neurônios dessa região.

As células de Schwann envolvem os axônios, sendo, portanto, responsáveis pela formação da bainha de mielina no SNP, constituindo, portanto, as fibras nervosas mielínicas. Trataremos deste assunto nas próximas aulas.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Qual é a divisão macroscópica do Sistema Nervoso?
2. E a divisão microscópica do tecido nervoso?
3. Quais são as partes do neurônio?
4. Quais são as funções de cada região do neurônio?
5. Cite os componentes da glia central e da glia periférica.
6. Sobre a glia central, cite as diferenças estrutural e funcional entre suas células representantes.
7. Quais são os componentes e suas funções das células da glia periférica?

AULA 13

Tecido nervoso

fibras nervosas e nervos

Na aula anterior, comentamos sobre as duas células da neuróglia, o oligodendrócito e as células de Schwann, que ao envolverem os axônios formam as fibras nervosas do Sistema Nervos CentraL (SNC) e Sistema Nerviso Periférico (SNP), respectivamente. Os axônios se estendem por longas distâncias e apresentam poucos ramos até perto de suas terminações. Se um axônio tem mais de 1 micrômetro de diâmetro, ele é revestido por um envoltório lipídico esbranquiçado, a **bainha mielínica** ou **medular**, constituinte de camadas das membranas das células citadas. A bainha é interrompida por intervalos regulares onde se formam os **nódulos de Ranvier**, os quais são de importância fundamental na condução nervosa.

Os axônios do sistema nervoso periférico, quer tenham uma bainha de mielina, quer não, são revestidos por um fino envoltório protoplasmático, o **neurilema**. Este é um tubo celular de importância fundamental não somente na formação da mielina, mas também na regeneração nervosa. A bainha neurilemal é contínua com uma camada de células uni e bipolares. Não há células neurilemais no sistema nervoso central, onde a regeneração não ocorre. As fibras não mielínicas não são, individualmente, incluídas numa bainha neurilemal. Tais fibras aparecem em grupos com uma bainha comum.

A substância cinzenta do sistema nervoso central é composta, principalmente, de corpos celulares e fibras, as quais, na sua maior parte, não são mielinizadas. Já a substância branca contém grande número de fibras mielínicas e poucas, se as tiver, de células nervosas.

Tendo esta capacidade de transmitir os impulsos nervosos, os neurônios respondem a alterações do meio em que se encontram, com

modificações da diferença de potencial elétrico que existe entre as superfícies externa e interna da membrana celular. As células que exibem essa propriedade são ditas excitáveis. Os neurônios reagem prontamente aos estímulos e a modificação do potencial pode restringir-se ao local do estímulo ou propagar-se ao restante da célula, através da membrana do axônio. Esta propagação constitui o que se denomina **impulso nervoso**, cuja função é transmitir informações a outros neurônios, a músculos ou a glândulas.

FORMAÇÃO DA BAINHA ENVOLTÓRIA

Sistema Nervoso Periférico (SNP)

A Figura 1 mostra a formação da bainha de mielina no SNP. As células de Schwann se apõem ao axônio, e a zona de junção da sua membrana mais interna (mais próxima do axônio) é denominada mesaxônio interno (Figura 1a). A membrana da célula de Schwann em contato com o axônio é denominada plasmalema. A aposição das porções da membrana das células de Schwann, entre si, forma as chamadas linhas interperiódicas, e a bainha de mielina resulta da junção das porções dessa membrana que contêm mielina. Porções das células de Schwann desprovidas de mielina constituem as incisuras de Schmidt-Lantermann. A aposição das porções mais externas da membrana plasmática da célula de Schwann, desprovidas de bainha de mielina (cinta externa), constitui o chamado mesaxônio externo (Figura 1a). Uma célula de Schwann, das fibras mielínicas, constitui um espaço internodal. A junção de uma célula de Schwann com a seguinte constitui o nó ou nódulo de Ranvier (Figura 1c). A Figura 1d mostra o corte longitudinal de um conjunto de fibras mielínicas do sistema nervoso periférico.

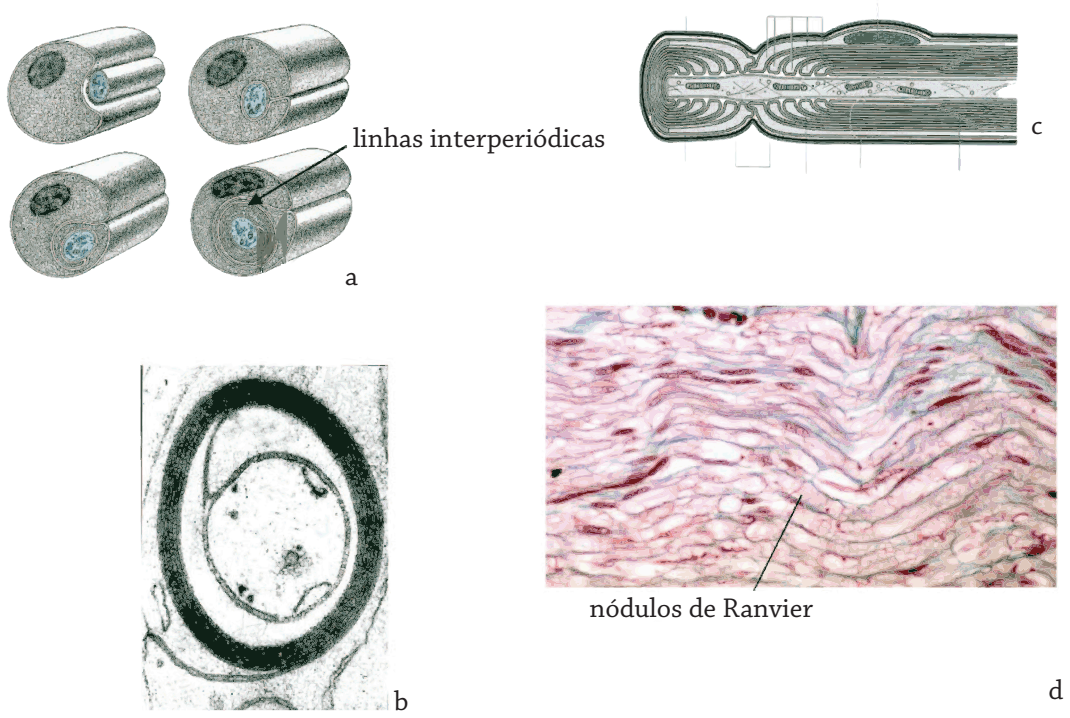


Figura 1 - a) desenho esquemático da formação da bainha de mielina; b) corte transversal de uma fibra mielínica do sistema nervoso periférico, visto à microscopia eletrônica de transmissão; c) desenho esquemático do nódulo de Ranvier; d) cortes longitudinais de um nervo exibindo várias unidades de nódulos de Ranvier

Sistema Nervoso Central (SNC)

A bainha de mielina no SNC é formada pelos prolongamentos dos oligodendrócitos. Neste caso, portanto, o corpo da célula fica "afastado", assim como mostrado na Figura 2a, o que indica a capacidade de uma única célula envolver vários axônios de calibres delgados. As Figuras 2b e 2c, mostram cortes de fibras mielínicas vistas à microscopia eletrônica de transmissão e de luz, respectivamente. As setas indicam especificamente as regiões das fibras mielínicas.

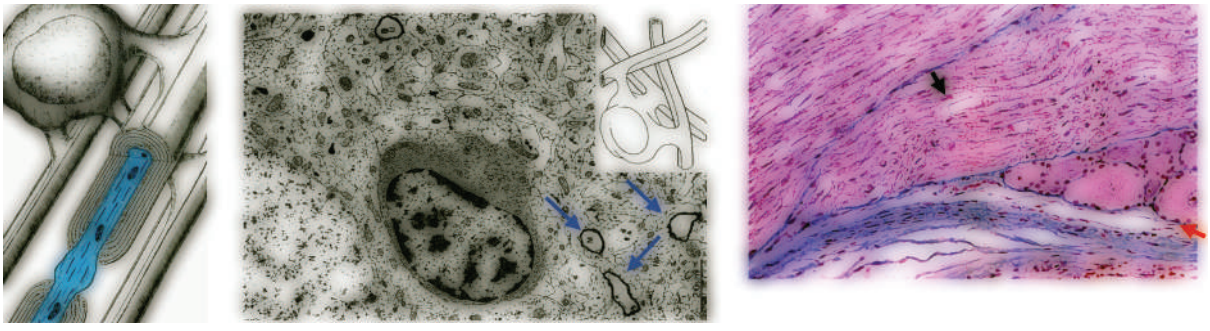
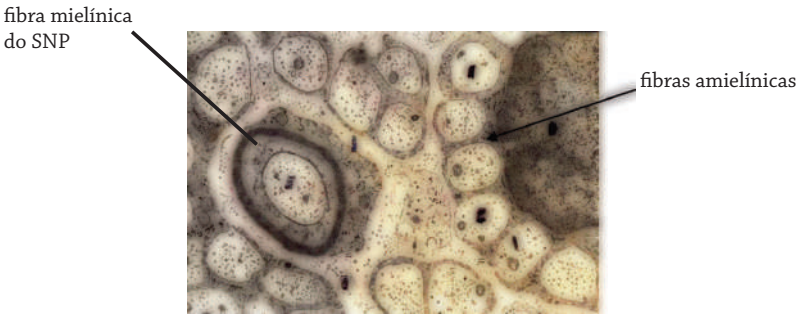


Figura 2 - a) desenho esquemático do oligodendrócito formando a bainha de mielina no sistema nervoso central; b) microscopia eletrônica de transmissão de bainha de mielina; c) corte histológico de fibras mielínicas

Mas não existem somente as fibras mielínicas!

Tanto no SNC quanto no SNP, as células responsáveis pela formação da bainha de mielina podem apenas envolver os axônios sem, contudo, formar esta camada lipídica. Quando isso ocorre, as fibras são chamadas **amielínicas**.



Qual o significado fisiológico deste padrão diferenciado de fibras nervosas?

Quando um impulso nervoso passa pelo axônio, nós sabemos que ocorre uma despolarização da membrana. Outra informação importante é que a mielina funciona como um isolante. Ao reunirmos estas duas informações podemos concluir que, nas fibras mielínicas, a despolarização ocorre somente no nível dos nódulos de Ranvier, pois estes correspondem a porções da membrana do axônio desprovidas de cobertura de mielina. Esta é a característica do padrão de impulsos saltatórios, de velocidade rápida (Figura 3a). Por outro lado, nas fibras amielínicas, a despolarização da membrana ocorre lentamente ao longo de todo o axônio, em um padrão contínuo (Figura 3b).

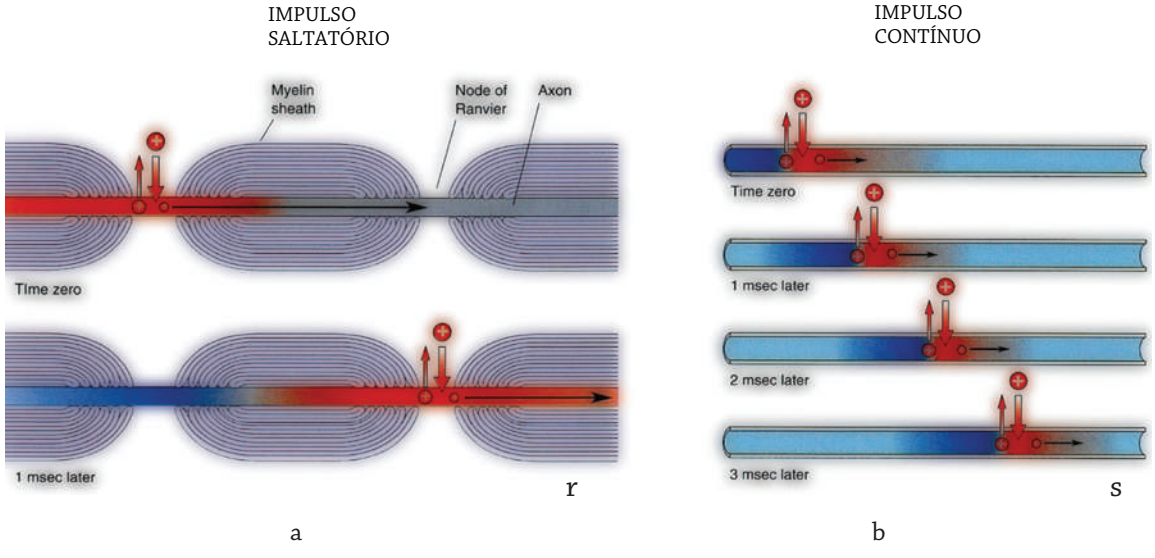


Figura 3 - a) desenho esquemático dos locais de impulso saltatório, nas fibras mielínicas; b) impulso contínuo de uma fibra amielínica

NERVOS PERIFÉRICOS

Conhecida a formação das fibras nervosas, podemos seguir em frente no entendimento da formação dos nervos periféricos. Conceitualmente, são constituídos pelos feixes de fibras nervosas envolvidos por revestimentos de bainhas de tecido conjuntivo.

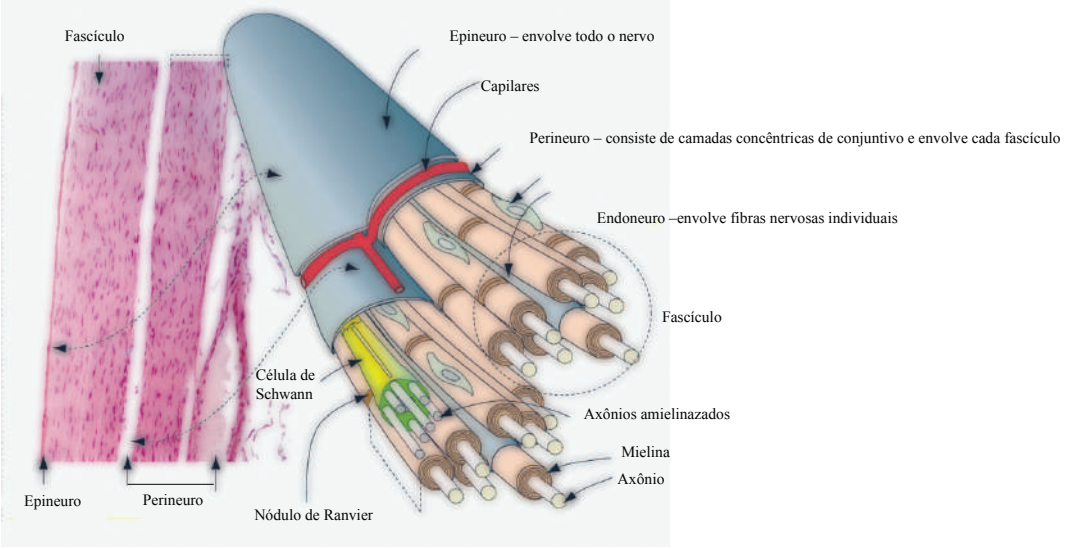


Figura 4 - Desenho esquemático da organização dos nervos

O esquema apresentado na Figura 4 mostra os envoltórios de tecido conjuntivo que constituem os feixes nervosos. Mais externamente observa-se o **epineuro**, uma camada de conjuntivo denso que emite septos e divide os nervos em fascículos. Estes fascículos são envolvidos por conjuntivo frouxo, o **perineuro**, que contém as fibras nervosas, sendo estas envolvidas intimamente pelo **endoneuro**.

E os nervos são capazes de se regenerar?

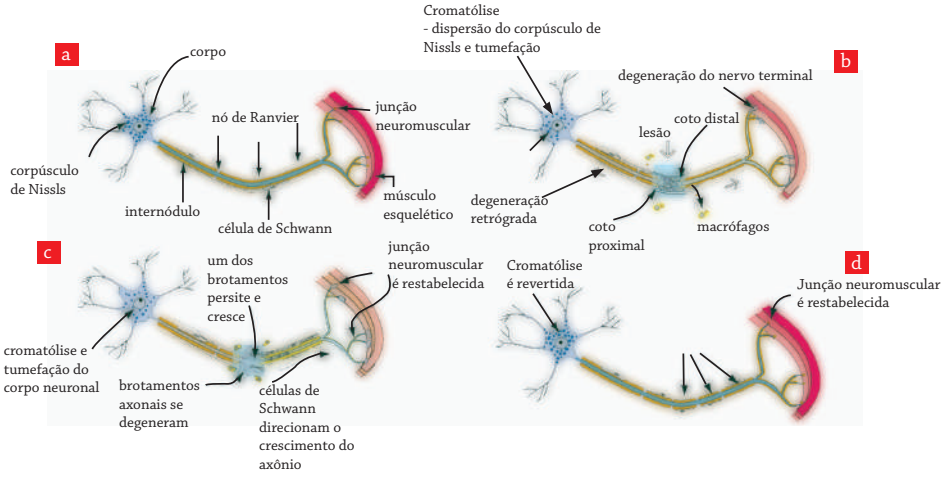


Figura 5 - Etapas da regeneração da fibra nervosa. Ao ser lesada, a fibra nervosa perde seu envoltório (a); o corpo do neurônio sofre autólise (b); as células de Schwann entram em mitose (c); se organizam ao redor do novo axônio que se forma (d). Se houver falha na regeneração, o axônio não é envolvido pelas células de Schwann, e o neurônio é conhecido como neurônio de amputação

Sim, os nervos são capazes de regeneração por uma razão muito simples... eles fazem parte do sistema nervoso periférico e, portanto, não há lesão do corpo neuronal, este localizado no sistema nervoso central. No entanto, a regeneração do nervo exige a participação das **células de Schwann**, que, como já sabemos, é uma das representantes das células da glia ou neuróglia do SNC. Estas células exercem papéis particulares junto dos neurônios, como nutrição, proteção, sustentação e, neste caso, a formação da bainha de mielina no sistema nervoso periférico. Caso o nervo sofra dano, estas células entram em mitose, preenchem o espaço lesado e orientam o crescimento dos axônios, até que os mesmos estejam completamente reconstituídos e devidamente envolvidos pelas células de Schwann (Figura 5).

E a histofisiologia do tecido nervoso? Ou seja, como um neurônio transmite de um para outro a informação recebida?

Quando um neurônio recebe um ESTÍMULO, este é transmitido aos outros neurônios por meio de IMPULSOS NERVOSOS.

ESTÍMULO: pode ser químico, mecânico, físico, elétrico ou térmico, e, quando aplicado à membrana plasmática do neurônio, leva à sua despolarização, resultando no impulso nervoso.

Vamos comentar um pouco sobre a transmissão dos impulsos nervosos, que são mediados por potenciais de ação.

POTENCIAL DE AÇÃO: ciclo de despolarização, hiperpolarização e retorno ao potencial de repouso da membrana.

As células são polarizadas eletricamente com um potencial de repouso de cerca de - 70mv (o interior é menos positivo que o exterior) através da membrana plasmática. Este potencial se estabelece em função da diferença da concentração iônica dentro e fora da célula. Nos mamíferos, a concentração de K^+ é maior no interior da célula, enquanto a concentração de Na^+ e Cl^- é maior fora da célula. Os canais vazantes de K^+ na membrana do neurônio permitem o fluxo relativamente livre de K^+ para fora da célula, ao contrário do que ocorre com os íons Na^+ e Cl^-, com poucos canais abertos, resultando em um fluxo menor destes íons para dentro da célula. Assim, há um pequeno saldo positivo no exterior da membrana plasmática.

Quando um neurônio recebe um estímulo, observa-se a abertura de canais de Na^+ dependentes de voltagem, levando a um influxo de Na^+ para a célula. O aumento de Na^+ dentro da célula provoca uma inversão

do potencial de repouso, e a membrana é chamada **despolarizada**. Isso resulta no fechamento dos canais de Na^+, que é conhecido como período refratário, pois os canais estão fechados e não podem abrir. Durante este período, os canais de K^+ controlados por voltagem se abrem, permitindo a saída de K^+, o que resulta na recuperação do potencial de repouso.

AUTOAVALIAÇÃO

1. O que são fibras nervosas?
2. Que células formam a bainha de mielina no SNC e SNP, respectivamente?
3. Qual a importância da bainha de mielina?
4. Como é formada a bainha de mielina?
5. Qual é a diferença funcional entre o nódulo de Ranvier e o internódulo?
6. Caracterize a fibra nervosa amielínica.
7. Descreva a organização de um nervo.
8. O que é impulso nervoso?
9. Como acontece a transmissão de um impulso nervoso?

AULA 14

Tecido nervoso
sinapses e terminações nervosas

SINAPSE

A unidade que permite a passagem do impulso entre neurônios é chamada *Sinapse* e pode ser classificada em **elétrica** ou **química**.

As **sinapses elétricas** ocorrem a partir do trânsito livre de íons entre uma célula e outra por meio das **junções comunicantes** ou **gap** e resultam em resposta rápida. Em mamíferos, ocorre em regiões específicas (retina, córtex cerebral e tronco cerebral) (Figura 1).

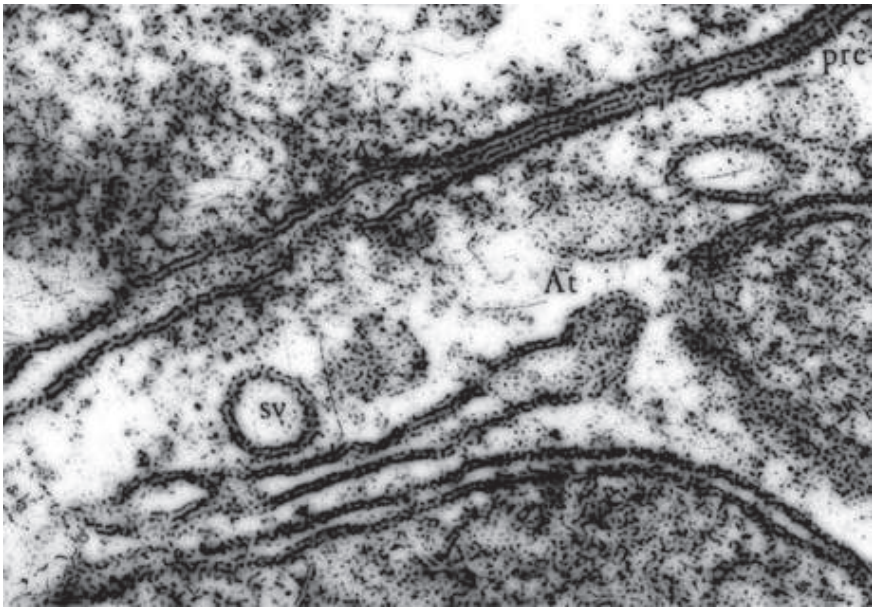


Figura 1 - Observação de uma sinapse elétrica entre dois neurônios

As **sinapses químicas** são regiões de características físico-química constituídas por três áreas distintas (Figura 2):

- **Terminação pré-sináptica**, contém as vesículas sinápticas que por sua vez carregam os mediadores químicos em seu interior;
- **Terminação pós-sináptica**, receptiva aos impulsos, por possuir receptores de membrana;
- **Fenda sináptica**, espaço existente entre as membranas das terminações pré e pós-sinápticas, onde são lançados os mediadores químicos.

Funcionalmente, as vesículas da membrana pré-sináptica, liberam o neurotromina na fenda sináptica, pela qual se difunde até se ligar ao receptor na membrana pós-sináptica. Esta interação resulta na abertura de canais iônicos, que disparam então o potencial de ação, essencial para a propagação do impulso nervoso.

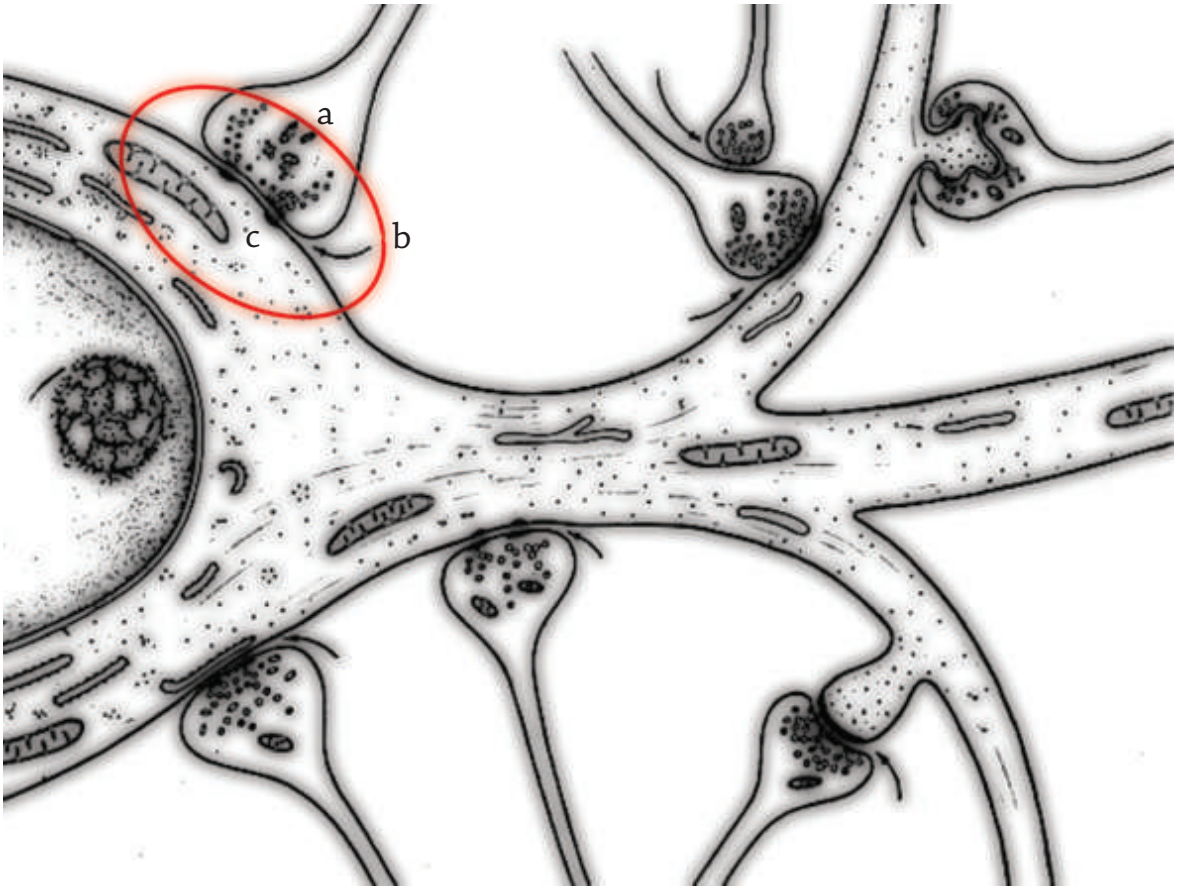


Figura 2 - Desenho esquemático mostrando as variedades de pontos sinápticos entre os neurônios. A terminação pré-sináptica contém as vesículas com neurotransmissores (a); o espaço entre a terminação pré e pós-sináptica é chamado de fenda sináptica (b); a terminação receptora é chamada de membrana pós-sináptica (c)

A Figura 3 mostra o corte longitudinal de dois pontos sinápticos.

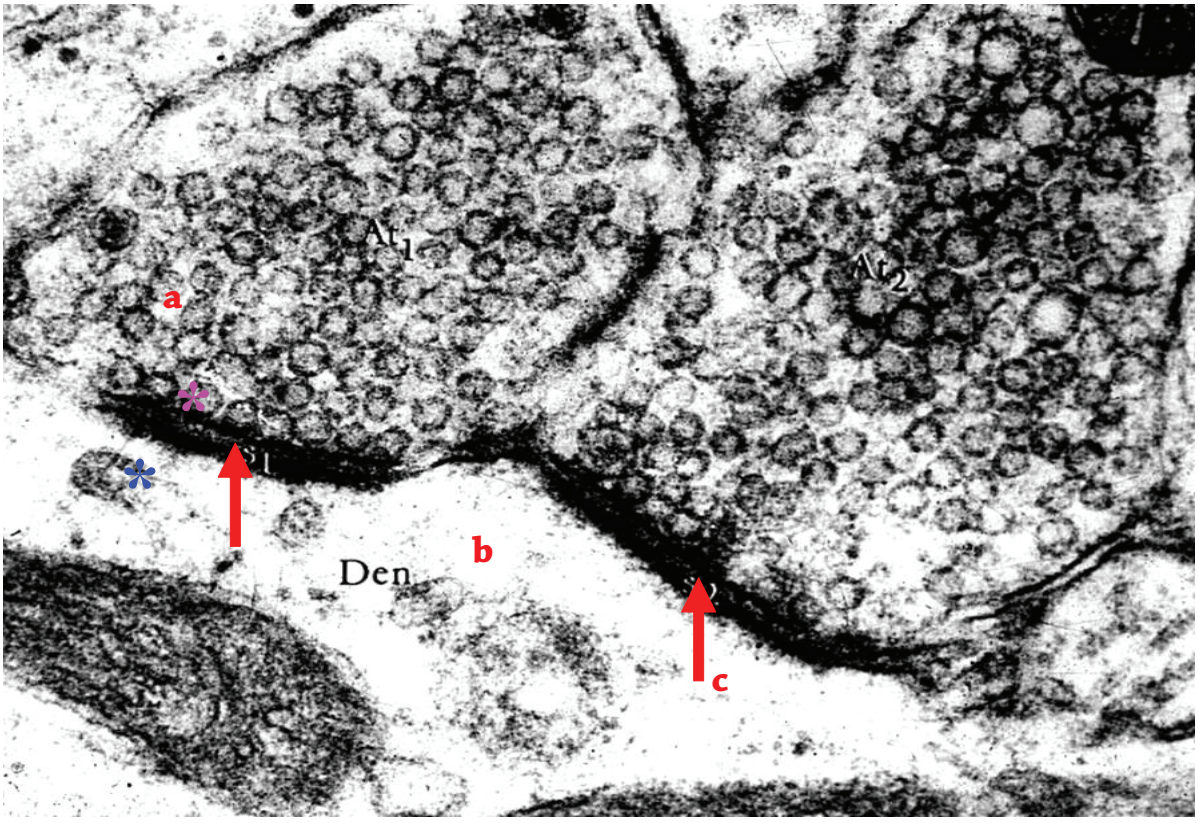


Figura 3 - Detalhe de um ponto sináptico revelado pela microscopia eletrônica de transmissão: a) terminação pré-sináptica contendo as vesículas sinápticas; b) terminação pós-sináptica; c) fenda sináptica indicada pela seta vermelhas

A porção terminal do axônio forma uma expansão bulbar, chamada de **botão terminal**. Este segmento se relaciona com o neurônio vizinho, em qualquer porção de sua membrana celular.

Na sinapse química, a chegada da onda de despolarização ao botão terminal resulta na abertura de canais de Ca^{2+}, íon exigido para o processo de exocitose das vesículas sinápticas e, consequentemente, para a liberação dos neurotransmissores (Figura 4).

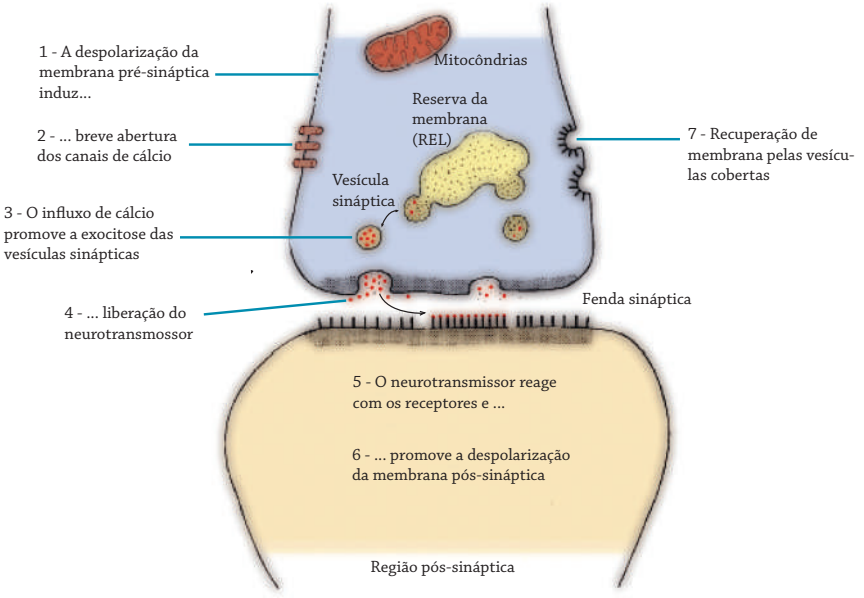


Figura 4 - Desenho esquemático do processo de liberação das vesículas sinápticas

Exemplos de neurotransmissores: adrenalina, acetilcolina, dopamina, glutamato, etc. Esses neurotransmissores têm ação de ativação ou inibição.

TERMINAÇÕES NERVOSAS SENSITIVAS

As terminações nervosas sensitivas são os pontos mais extremos das fibras nervosas. Na figura 5, observa-se parte da pele que exibe os tipos de terminações que podem ser classificados de acordo com a seguinte orientação:

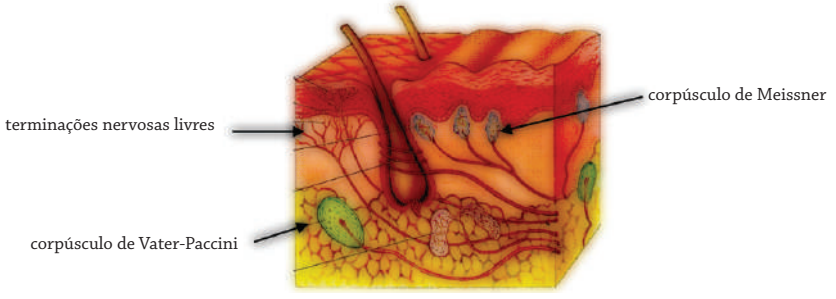
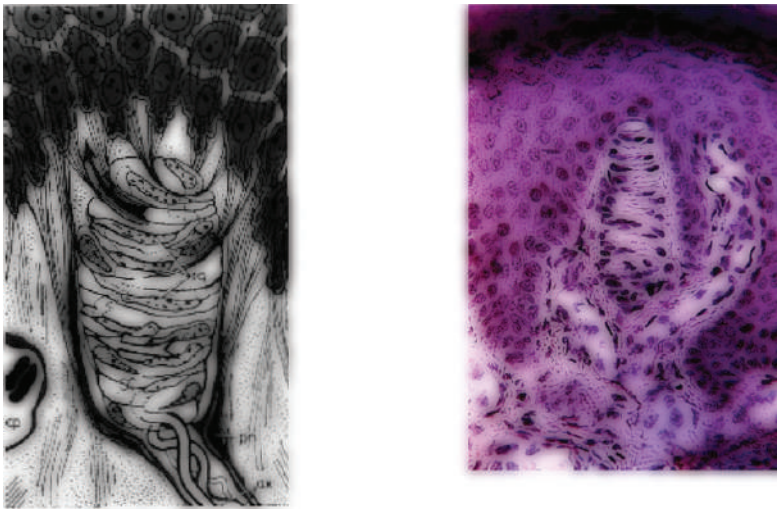


Figura 5 - Desenho esquemático de tipos diferentes de terminações nervosas

- **Livres** – Estão distribuídas no tecido conjuntivo logo abaixo do epitélio.
- **Encapsulada**s – São revestidas por células do tecido conjuntivo ou epitelial. Nesta categoria, são conhecidos os seguintes tipos:

- **Corpúsculos de Meissner** – Corpúsculo tátil, descrito pelo anatomista George Meissner (1829-1903), (*corpusculum tactus)*. Encontram-se distribuídos pela pele, mas estão concentrados em áreas particularmente sensíveis ao toque leve, como as pontas dos dedos, palmas das mãos, solas dos pés, lábios, língua, face, mamilos e a pele externa dos genitais masculinos e femininos. Localizam-se logo abaixo do eptélio (Figura 6a e 6b).



a b

Figura 6 - a) desenho esquemático do corpúsculo de Meissner em que as células do conjuntivo envolvem a terminação; b) corte longitudinal do corpúsculo visto à microscopia de luz

- **Corpúsculos de Vater-Paccini** – São terminações nervosas funcionalmente especializadas em pressão. Estão localizadas no interior do tecido conjuntivo da derme e do pâncreas. Por exemplo (Figura 7).

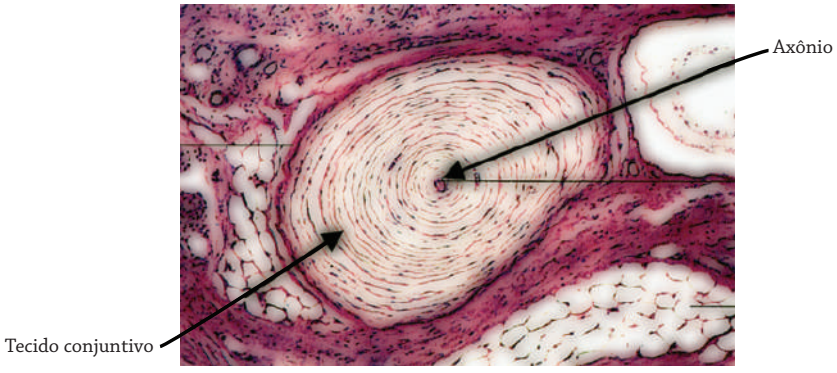
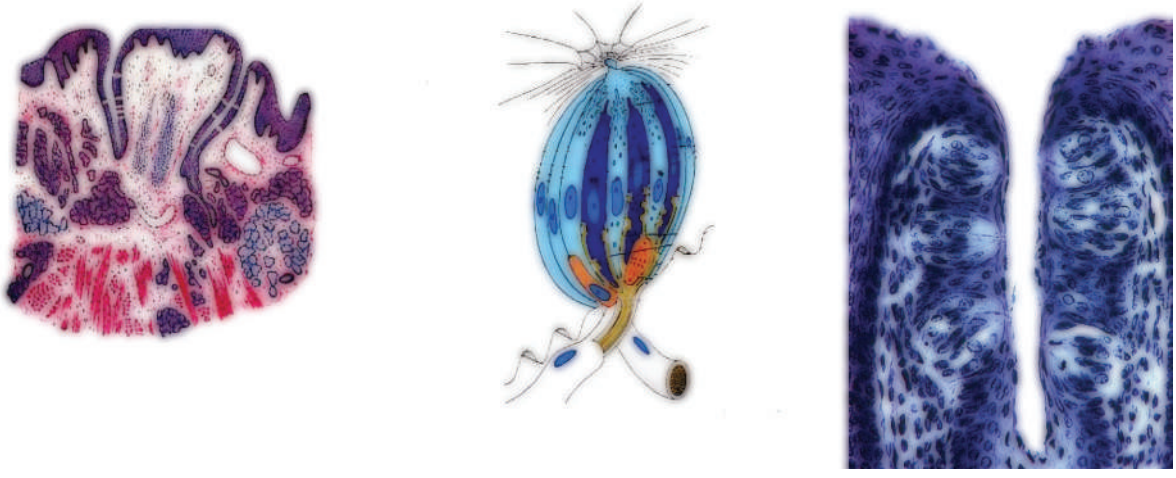


Figura 7 - Corte histológico do corpúsculo de Vater-Paccini, onde se observa o axônio central envolvido pelo tecido conjuntivo

- **Botões gustativos** – São terminações nervosas localizadas nas células do epitélio das papilas circunvaladas da língua; se organizam em forma de botões, e são responsáveis pelas sensações dos sabores doce, amargo e azedo (Figura 8).



a b c

Figura 8 - a) desenho esquemático de parte da superfície lingual onde se vê a papila circunvalada com os botões gustativos; b) desenho esquemático do botão gustativo; c) corte histológico mostrando detalhe dos botões gustativos no epitélio da papila circunvalada da língua

TERMINAÇÕES NERVOSAS MOTORAS

As terminações nervosas motoras são formadas entre as fibras nervosas e as fibras musculares. Nessa terminação, ocorrem as vesículas sinápticas em cujo interior estão neurotransmissores, como a acetilcolina, que são lançados no espaço entre as fibras. Esses estimulam receptores presentes na membrana da fibra muscular, que transferem o impulso nervoso para promover a contração da fibra muscular. Trataremos dessa terminação na aula de Tecido Muscular.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Conceitue sinapses e cite seus componentes.
2. Identifique as terminações nervosas e suas funções.

AULA 15

Tecido muscular estriado esquelético

INTRODUÇÃO

O tecido muscular caracteriza-se por estar distribuído em quase todo o organismo. É responsável por movimentos corporais, como caminhar, articular os membros e coordenar os batimentos cardíacos, até a integração dos órgãos dos diversos sistemas corporais, como, por exemplo, bexiga, estômago, intestinos etc.

O tecido muscular tem origem mesodérmica e é constituído por células alongadas, conhecidas como **fibras musculares**. Essas apresentam variedade no número de núcleos, dependendo do tipo de músculo.

Esse tecido também recebe nomenclatura diferenciada para algumas de suas organelas, que são bastante peculiares. Vamos a elas! A membrana plasmática oferece uma plasticidade maior do que as demais células e são conhecidas como **sarcolema**. O citoplasma, chamado sarcoplasma aloja todas as organelas já conhecidas, além das **miofibrilas**, que são as responsáveis pela contração. Outra organela importante é o retículo endoplasmático liso cuja função é armazenar íons Ca^{++}, é uma morfologia característica e recebe o nome de **retículo sarcoplasmático**.

Quando observamos nossos tecidos musculares à microscopia, notamos que sua arquitetura difere de acordo com a região que analisamos. Em outras palavras, variam a natureza do subtipo celular, mas, em especial, o tipo de movimento produzido por suas fibras. As variedades de tecidos musculares são:

- Músculo estriado esquelético (MEE): músculo de contração rápida, forte, descontínua e voluntária;
- Músculo estriado cardíaco (MEC): contração rápida, forte, porém contínua e involuntária;
- Músculo liso (ML): contração fraca, lenta e involuntária.

Faremos a seguir uma descrição mais detalhada dos diferentes tecidos musculares. No entanto, vamos descrever os detalhes das células do músculo estriado esquelético no início desta aula e, ao final, vamos lançar os aspectos diferenciais dos músculos cardíaco e liso.

MÚSCULO ESTRIADO ESQUELÉTICO

É formado por células bastante alongadas, cilíndricas, multinucleadas, com muitos núcleos posicionados na periferia celular e contendo todas as organelas características de qualquer célula, além de apresentar organelas contráteis, chamadas de **miofibrilas**. Essas organelas são constituídas de proteínas, cujo arranjo peculiar caracteriza o **sarcômero**, a unidade funcional da fibra muscular. A repetição de sequências de sarcômeros caracteriza as **estriações transversais**, que serão melhor conhecidas logo à frente.

Organização do músculo esquelético

Há de se salientar que a harmonia dos movimentos de contração dos músculos esqueléticos também se deve aos envoltórios de tecido conjuntivo, que individualizam e também agrupam as fibras musculares, a saber:

- **Epimísio** - tecido conjuntivo denso que envolve o músculo externamente e envia septos para o interior do mesmo, estabelecendo compartimentos bem definidos;
- **Perimísio** - tecido conjuntivo frouxo responsável pelo agrupamento de várias fibras, ou seja, compõe os feixes de fibras musculares;
- **Endomísio** - tecido conjuntivo reticular intimamente associado à fibra muscular.

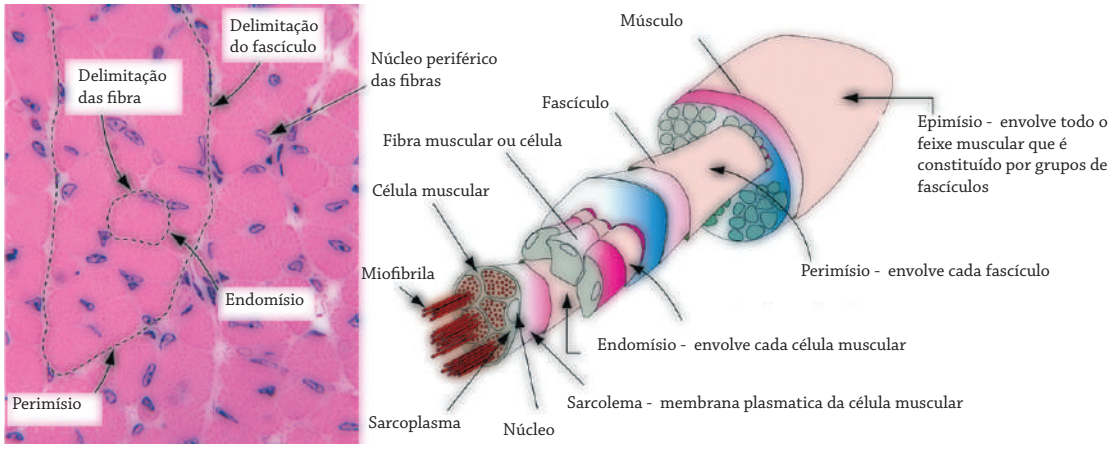


Figura 1 - Desenho esquemático do tecido muscular, onde se observam desde a organização dos envoltórios de tecido conjuntivo até a distinção da fibra muscular

Organização das fibras musculares esqueléticas

Deste tópico em diante, vamos "destrinchar" uma fibra (ou célula) muscular esquelética, conhecendo um pouco mais sobre suas organelas e sua distribuição dentro da mesma.

Miofibrilas

São organelas cilíndricas posicionadas longitudinalmente, ou seja, de um extremo ao outra da fibra, ocupando quase que todo o diâmetro da mesma (Figura 2). Cada miofibrila tem um diâmetro de 1 a 2 μm e é formada por proteínas que se associam em filamentos finos e espessos, a saber:

- Finos - actina, tropomiosina e troponina;
- Espessos - miosina.

Atenção para duas informações importantes:

1 O arranjo destes filamentos finos e espessos constitui os **sarcômeros**, que são as unidades morfofuncionais das fibrilas musculares, cujo arranjo será visto mais à frente;

2 Nosso objetivo ao final desta seção é entender o **mecanismo de contração muscular**, que seria impossível sem o conhecimento de cada uma das proteínas que constituem as miofibrilas, que é a organela contrátil, e também da relação das mesmas com o restante de organelas da fibra muscular.

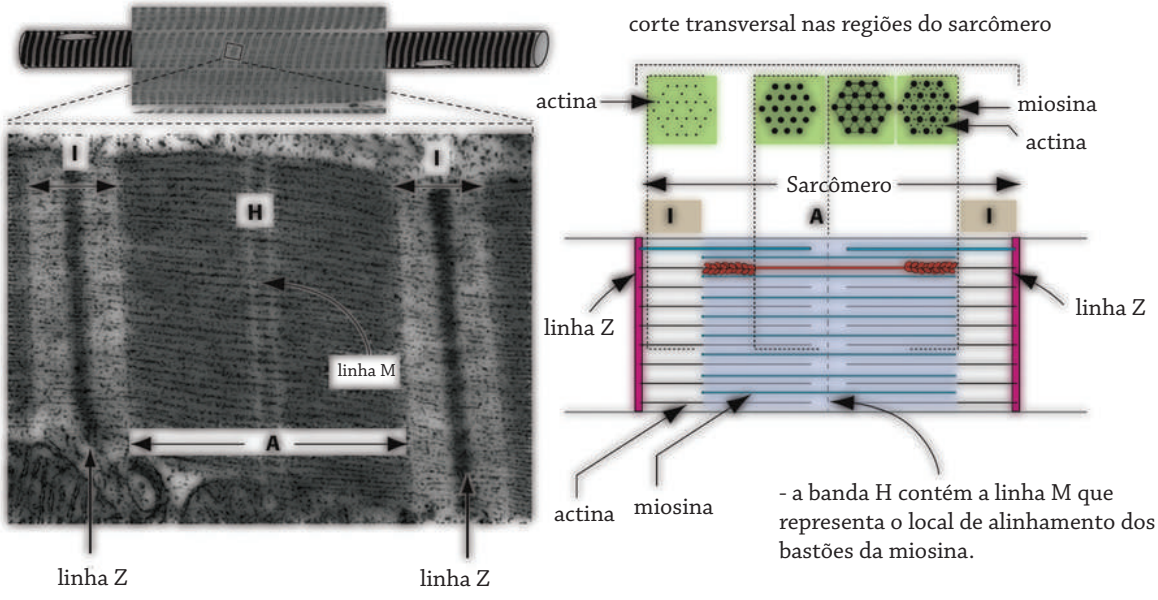


Figura 2 - Desenho esquemático de parte da fibra muscular, mostrando as estriações transversais caracterizadas por sequências de sarcômeros

Filamentos Finos

Actina

É uma das proteínas mais relevantes, pois "carrega" o **sítio ativo**, que graças ao contato com a miosina é responsável pelo deslizamento das miofibrilas. Na sua forma despolimerizada, é formada por monômeros de actina globular ou actina G (Figura 3a). Já na forma polimerizada e, portanto, na forma funcionalmente ativa, apresenta-se como duas cadeias polipeptídicas organizadas em α-hélice (Figura 3b).

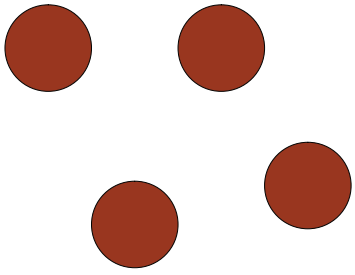


Figura 3a) monômeros de actina globular, actina G



Figura 3b) seguimento de actina F, composto por seus dois filamentos

Troponina

Constituída por três seguimentos globosos associados, sendo eles a Tn-Tropomiosina (TnT), a Tn-Cálcio (TnC) e a Tn-Inibidora (TnI) (Figura 3), classificação esta relacionada às funções específicas de cada uma delas, a saber:

- TnT: parte da troponina que se apoia na tropomiosina, que, por sua vez, "bloqueia" o sítio ativo da actina porque está posicionada sobre o sítio ativo da actina;
- TnC: parte da troponina que se liga ao Ca^{++}, no momento da contração;
- TnI: parte da troponina que inibe a contração muscular.

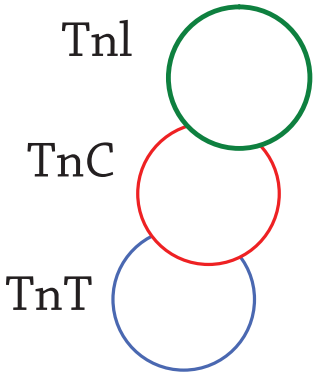


Figura 4 - Desenho esquemático da troponina

Tropomiosina

É uma molécula longa e fina, constituída por duas cadeias polipeptídicas, que se enovelam no sulco deixado pelos dois filamentos de actina.

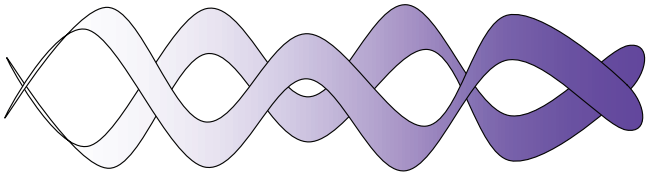
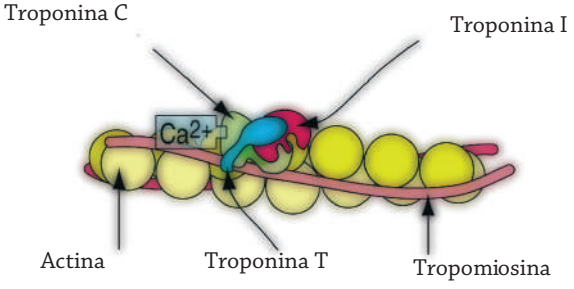


Figura 5 – Desenho esquemático da tropomiosina

Filamento Fino - É o nome dado à associação das proteínas actina, tropomiosina e tropanina, como visto na Figura 6.



Filamento fino – complexo actina-troponina-tropomiosina

Figura 6 - Desenho esquemático do filamento fino

Filamento Espesso

Miosina

Esta proteína é formada por duas partes funcionalmente diferentes: (a porção globular) a meromiosina leve, e uma porção linear (a meromiosina pesada). A meromiosina leve é a porção ATPásica, ou seja, é a porção que hidrolisa o ATP, gerando ADP e fósforo, liberando energia para que a contração aconteça. A meromiosina pesada é responsável pela condução orientada do filamento espesso (Figura 7).

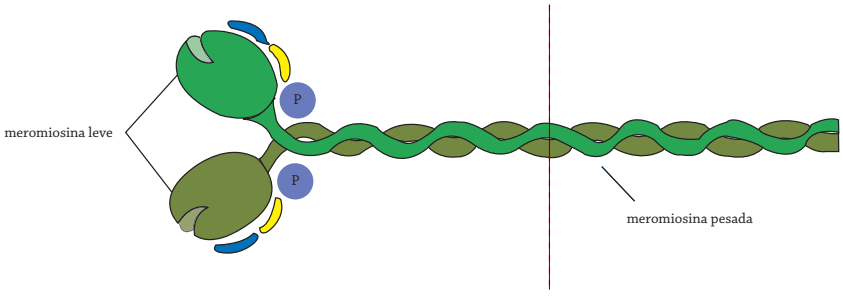


Figura 7 - Desenho esquemático do filamento espesso de miosina

Antes de seguirmos em frente, é importante salientar que outras proteínas estão também associadas aos filamentos finos e espessos. Essas proteínas exercem funções como a manutenção dos filamentos finos e espessos em suas respectivas localizações.

Sarcômero: a unidade funcional

Agora sim, conhecidos os componentes principais das miofibrilas, poderemos entender que essas são compostas por uma sucessão linear de unidades contráteis denominadas sarcômeros, que como dissemos anteriormente, é a unidade morfofuncional das miofibrilas.

Ao microscópio eletrônico observa-se que entre os sarcômeros existe uma estrutura eletrodensa, o **disco Z** (linha Z), localizada em meio a uma região pouco densa, a **banda I** (de isotrópica) (Figura 8). Ao longo das miofibrilas, as bandas I se alternam com outras mais densas, as **bandas A** (de anisotrópica), e, na parte média destas, se distingue uma zona de menor densidade, a **banda H** (faixa H), esta dividida pela **linha M**, mais densa que a faixa H. As diferentes bandas resultam da variação periódica na superposição das proteínas descritas anteriormente, ao longo das miofibrilas. Como em todas as miofibrilas, cada banda encontra-se na mesma altura. Elas geram, em conjunto, uma alternância de zonas de diferentes densidades, que é o que confere a designação de **estriado** a este tipo de músculo.

O sarcômero é constituído pelas associações indicadas abaixo, conforme o desenho apresentado.

- Banda A - composta por filamentos finos e espessos; outra característica desta faixa é que cada filamento espesso de miosina é rodeado por seis filamentos finos e cada um destes por três fibras de miosina;
- Banda I - composta unicamente por filamentos finos;
- Banda H - composta apenas por filamentos espessos, cujas moléculas estão orientadas opostamente nas duas regiões das porções globulares, o que dá ao filamento espesso uma condição bipolar;
- Linha Z - limite do sarcômero de onde se originam os filamentos finos.

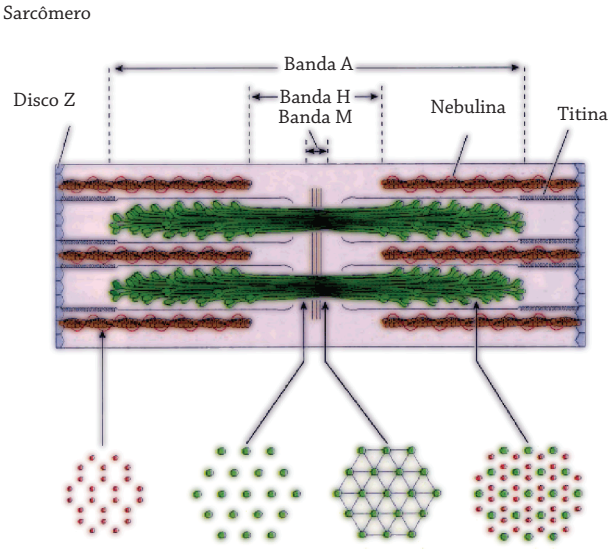


Figura 8 - Sarcômero: 2 semibandas I, 1 banda A, 1 banda H e 2 linhas Z

O mecanismo de contração se deve ao deslizamento dos filamentos finos sobre os espessos, o que aumenta ou diminui a zona de sobreposição entre ambos. Esse mecanismo será descrito à frente, logo após discutirmos sobre a necessidade do fornecimento de energia para que a contração ocorra, e a participação de outra organela, o retículo endoplasmático liso, aqui chamado de **retículo sarcoplasmático**.

As organelas nos surpreendem pela enorme capacidade de se adaptarem a funções completamente diversas, nos vários tipos celulares. Na fibra muscular isto não é diferente.

O retículo endoplasmático liso, responsável por funções como o metabolismo de gordura e de geração da glicose, dentre outras funções, é responsável pelo armazenamento de íons Ca^{++}, de suma importância para desencadear o início da contração muscular, cuja fibra recebe o nome de **retículo sarcoplasmático (RS)**.

Morfologicamente, o retículo sarcoplasmático se arranja como redes **longitudinais** margeadas por cisternas transversais, chamadas de

terminais (Figura 9), cuja função é armazenar íons Ca^{++}, estes sustentados por uma proteína conhecida como **calsequestrina**.

Além do retículo sarcoplasmático, a membrana plasmática ou **sarcolema** emite projeções para o interior da fibra, o **túbulo T**, que projeta-se junto à cisterna terminal do retículo sarcoplasmático (Figura 9), a (esquema) e b (micrografia eletrônica). Uma vez estimulado, o túbulo T transmite esse impulso para a calsequestrina, que libera os íons Ca^{++} de dentro da cisterna terminal do retículo sarcoplasmático para o sarcoplasma da célula muscular. Esse conjunto de duas cisternas terminais do retículo sarcoplasmático + o túbulo T é conhecido como **tríade**.

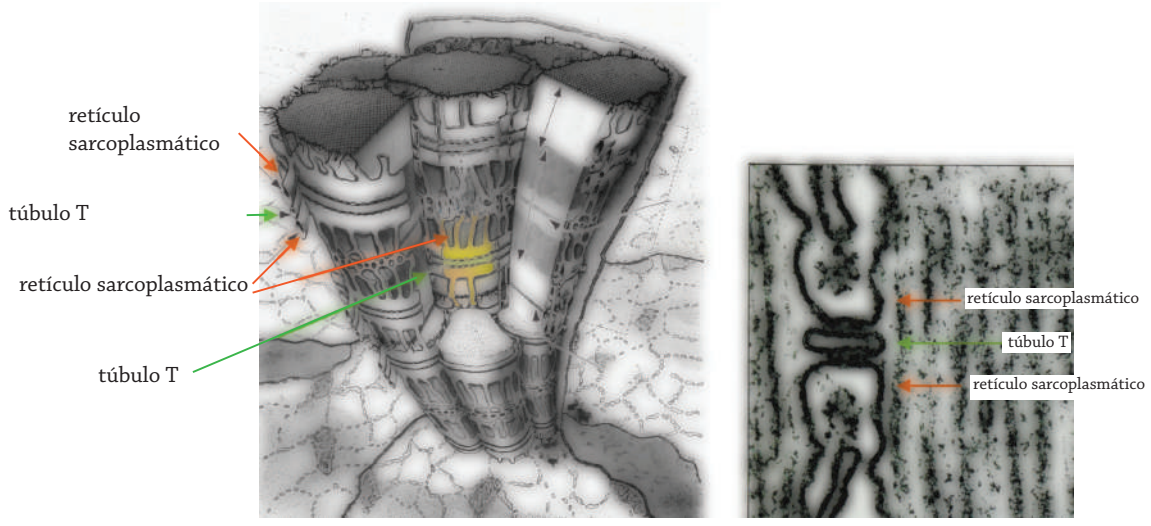


Figura 9 - a) desenho esquemático onde se observam, além das miofibrilas, o retículo sarcoplasmático e o túbulo T, constituindo as tríades; b) tríade, vista à microscopia eletrônica de transmissão

INERVAÇÃO

Falta-nos ainda entender como é que o estímulo nervoso é transmitido para a fibra muscular, e que a faz contrair! Para tal, a fibra muscular conta com a **unidade motora**, um complexo composto por uma fibra nervosa e pelas fibras musculares por ela inervadas. Em pontos locais, tem-se a **placa motora**, onde o nervo perde sua bainha de mielina e forma dilatações que se colocam dentro de depressões da fibra muscular (Figura 10). Há de se lembrar da presença das vesículas sinápticas contendo o neurotransmissor acetilcolina nas dilatações da terminação nervosa. Como discutido na aula sobre **sinapses** do tecido nervoso, essas vesículas são liberadas no momento em que se desencadeia qualquer atividade de transmissão de impulsos, sendo um exemplo de sinapse química que ocorre entre um neurônio e o músculo.

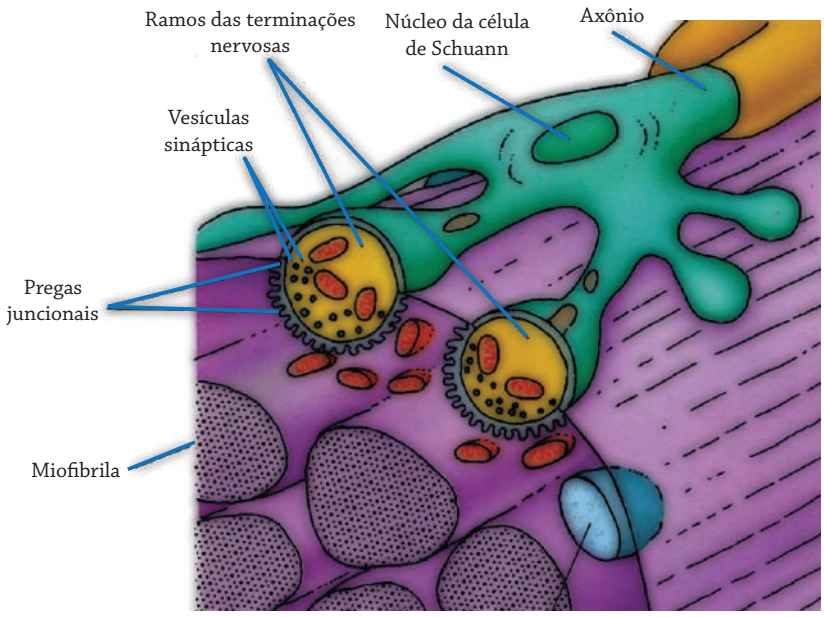


Figura 10 - Desenho esquemático da placa motora

CONTRAÇÃO MUSCULAR

Uma vez conhecidos os "participantes", vamos associá-los no movimento completo de contração? Atenção! Recorra ao tema "Tecido Nervoso", caso necessário!

Em linhas gerais, a contração muscular somente acontece quando os filamentos de miosina se encontram com os filamentos de actina, formando o complexo **actomiosina** (Figura 11b). No entanto, no estado de repouso, esse complexo está inativado pela presença das proteínas **tropomiosina** e **troponina**, que bloqueiam o sítio ativo da actina. Lembra-se da descrição que fizemos logo no início deste tópico? Assim, para tornarmos a contração possível temos que desbloquear a actina e permitir a aproximação da miosina. Funcionalmente, esse mecanismo depende da disponibilidade de íons Ca^{++}, que, no estado de repouso, fica armazenado dentro das cisternas terminais do retículo sarcoplasmático e são liberados para o sarcoplasma.

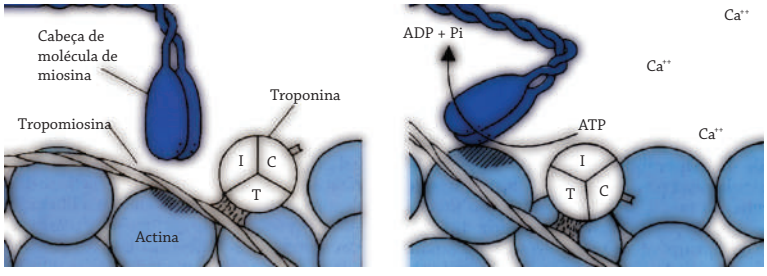


Figura 11 - Desenho esquemático do processo de contração: a) relaxado; b) complexo actomiosina – contraído

Mas como é que a fibra muscular sabe que deve contrair? Vamos voltar um pouco na transmissão do impulso nervoso?

O comando parte do neurônio, cujo estímulo nervoso é transferido através da despolarização da membrana do axônio. Esse estímulo chega às suas extremidades onde estão as vesículas sinápticas, que liberam seu conteúdo (acetilcolina) no espaço entre a fibra nervosa e a fibra muscular e despolariza o sarcolema, especificamente no túbulo T. Daí, o estímulo é transmitido para a membrana da cisterna terminal do RS, em cujo interior está a proteína calsequestrina, que libera o íon Ca^{++} lançado no interior do sarcoplasma (citoplasma). Nesse meio, o Ca^{++} se combina com a porção TnC da troponina, que em consequência altera sua configuração. Essa alteração da troponina resulta na movimentação da tropomiosina, porque ambas estão associadas, lembra-se? Muito bem, a "saída" da associação tropomiosina-troponina expõe a actina, cujo sítio ativo está então liberado para se ligar à cabeça da miosina. Está formado o complexo actomiosina, que leva ao deslizamento dos filamentos finos sobre os espessos, e em consequência à contração muscular. Devemos lembrar que esse processo gasta energia em forma de ATP, que, aliás, é a cadência mantida pela porção globular da miosina.

Uma vez contraída, a fibra muscular deve retornar ao estado de relaxamento, não é verdade? Para isso, o primeiro passo é a saída do íon Ca^{++} do meio sarcoplasmático, senão a fibra permanece contraída, concorda? Nesse momento, mediante o gasto de ATP, as cisternas longitudinais do retículo sarcoplasmático resgatam os íons Ca^{++} para o seu interior, onde serão novamente associados à calsequestrina na cisterna terminal. Sem a presença do Ca^{++}, o complexo actomiosina se desfaz, e, em sequência, a porção TnI, ou seja, a troponina inibidora retorna com a associação tropomiosina-troponina para cima do sítio ativo da actina. Sem a formação do complexo actomiosina, o processo contrátil cessa e a fibra muscular relaxa.

É importante, no entanto, que o leitor fique atento para o fato de que o processo de contração descrito, é extremamente dinâmico e voluntário! Em outras palavras, esta sequência de eventos descrita anteriormente inicia-se com o comando que sai do neurônio e é transmitido para a fibra muscular, promovendo a contração.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Qual é a denominação de célula muscular do tecido muscular?
2. Quais são as diferenças entre os tipos de contração muscular?
3. Quais são as organelas contráteis da fibra muscular?
4. O que é retículo sarcoplasmático? Qual é a importância deste retículo para a fibra muscular?
5. O que é túbulo T?
6. Qual é a associação entre o retículo sarcoplasmático e o túbulo T? Qual é a importância dessa associação?
7. Quais são as proteínas contráteis?
8. Qual é a função de cada uma dessas proteínas?
9. O que é placa motora?
10. Descreva o processo de contração muscular.

AULA 16

Tecido muscular estriado cardíaco e tecido muscular liso

Nesta aula, os tecidos musculares cardíaco e liso serão apresentados de forma comparativa, ou seja, nos detivemos no entendimento mais detalhado da estrutura muscular estriada esquelética e agora podemos ser mais objetivos. Vamos em frente!

TECIDO MUSCULAR ESTRIADO CARDÍACO

Antes de detalharmos as fibras cardíacas vamos lembrar a subdivisão anatômica do tecido cardíaco:

- Epicárdio – camada de tecido conjuntivo denso que reveste externamente o músculo cardíaco. É comum a presença de células adiposas associadas ao tecido conjuntivo;
- Miocárdio – é o músculo cardíaco. Trata-se de uma camada média bastante espessa, formada de cardiomiócitos organizados em camadas ou lâminas. Estas estão separadas umas das outras por tecido conjuntivo frouxo que sustenta vasos sanguíneos, nervos e o sistema condutor do coração. Ambas são responsáveis pela transmissão do impulso cardíaco para todo o coração;
- Subendocárdio – camada formada principalmente pelas fibras de Purkinje;
- Endocárdio – camada de tecido conjuntivo frouxo associada internamente ao miocárdio.

O músculo cardíaco difere do esquelético e do músculo liso porque possui um ritmo inerente e a capacidade de contração espontânea. Igualmente ao músculo esquelético, contém miofibrilas formadas por proteínas contráteis, entretanto com algumas particularidades que vamos apresentar logo a seguir.

A Figura 1 mostra o desenho esquemático da organização do músculo cardíaco.

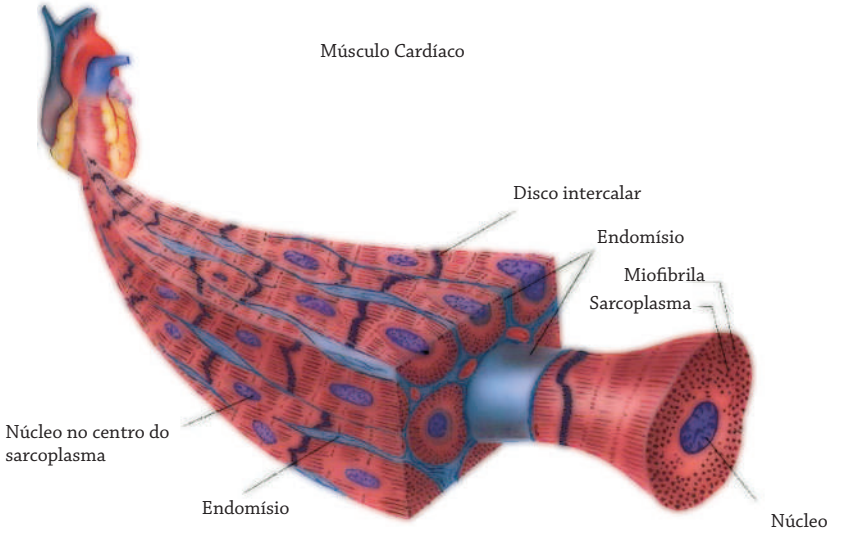


Figura 1- Desenho esquemático da fibra muscular estriada esquelética. Observe a presença das estriações e do núcleo central, além dos discos intercalares

Características específicas do tecido muscular cardíaco

- Suas células alongadas possuem um ou dois núcleos centrais, se organizam como uma rede tridimensional e recebem o nome de **cardimiócitos**;
- O retículo sarcoplasmático (RS) não é tão extenso quanto no músculo esquelético;
- Entre o RS e as invaginações do túbulo T, formam-se **díades**, e não **tríades**. Isto porque apenas uma cisterna de RS interage com o túbulo T;
- As mitocôndrias são mais abundantes;
- Apresenta um grupo de células com citoplasma amplo e rico em glicogênio, localizadas perifericamente, no subendo cárdiaco, ou seja abaixo do endocárdio, chamadas fibras de Purkinge. Estas células estão funcionalmente relacionadas com o sistema de condução do estímulo de contração para o músculo cardíaco;
- Apresenta um complexo juncional de extrema importância – são os discos intercalares (Figura 2) ou **estrias escalariformes** – estes complexos são formados por três tipos de junções intercelulares que estabelecem a união física entre os cardiomiócitos e garantem a sincronia do batimento cardíaco, sem a necessidade do controle direto do sistema nervoso central. Os componentes dos discos são:

- Desmossomos – cruzam as fibras transversalmente e unem mecanicamente as células cardíacas, mantendo a unidade intercelular;
- Junções aderentes (zônula de adesão) – também localizadas transversalmente, contêm proteínas como a α-**actinina** e **vinculina**, cujas funções estão relacionadas com o ponto de

inserção para os filamentos finos (actina) do último sarcômero de cada cardiomiócito; são, portanto, análogos aos discos Z da fibra muscular esquelética;

- Junções comunicantes (**gap**) – restritas à porção longitudinal do disco intercalar, mantêm a sincronia e garantem a continuidade do batimento cardíaco por permitir a transferência de íons entre os cardiomiócitos.

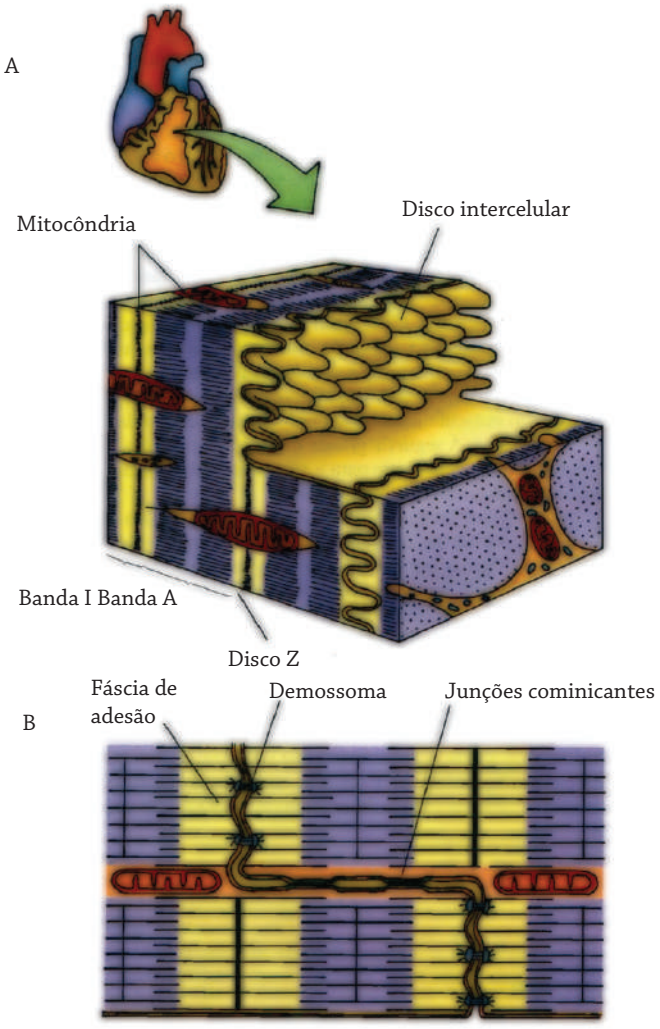


Figura 2 - Desenho esquemático da fibra muscular estriada cardíaca, com detalhes para os discos intercalares e suas regiões = desmossomos, juncos aderentes e gap

TECIDO MUSCULAR LISO

O músculo liso é encontrado como camadas ou feixes nas paredes do tubo intestinal, no ducto biliar, nos ureteres, na bexiga urinária, na via respiratória, no útero e nos vasos sanguíneos. Assim como os demais músculos, o músculo liso também apresenta as proteínas contráteis, no entanto estas não estão associadas em miofibrilas,

daí o termo "liso". Seguem as características diferenciais das fibras musculares lisas. A Figura 3 representa a disposição das fibras musculares lisas na parede do estômago. Observe o detalhe do movimento de contração da célula muscular lisa.

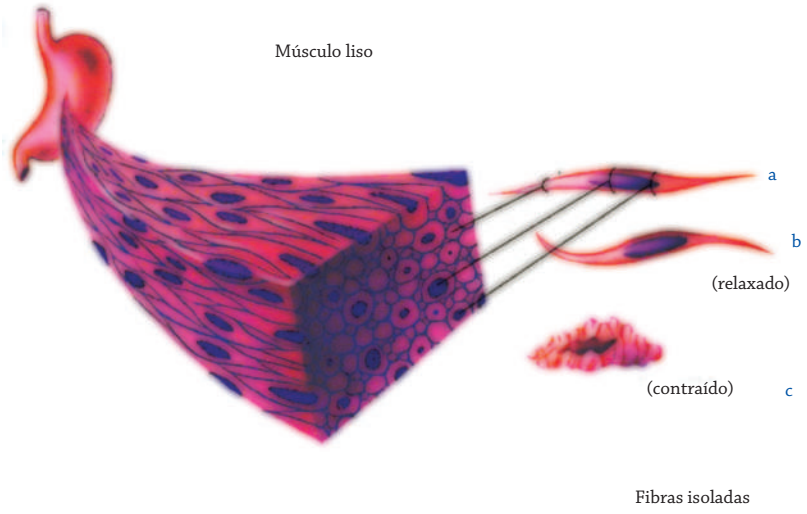


Figura 3 - a) desenho esquemático da fibra muscular lisa; b) detalhe da fibra relaxada; c) detalhe da fibra descontraída

Características gerais do tecido muscular liso:

- Células fusiformes, chamadas leiomiócitos, são delgadas, dispostas em camadas;
- Apresentam núcleo único, central e alongado;
- Presença de vesículas de pinocitose, de junções comunicantes, mitocôndrias próximas ao núcleo, grânulos de glicogênio;
- Ausência de sistema túbulo T e de estriações, além de retículo sarcoplasmático bastante reduzido;
- Não possui placa motora;
- Regenera-se com facilidade (o músculo estriado cardíaco não regenera, e o músculo estriado esquelético regenera-se parcialmente);
- Miofilamentos no músculo liso – as proteínas contráteis têm uma organização particularmente diferenciada, pois se formam feixes de miofilamentos arranjados numa trama tridimensional:

  - filamentos finos – actina e tropomiosina (não têm troponina);

  - corpos densos – trata-se de um grupo de proteínas, ao qual se inserem os filamentos finos e os filamentos intermediários, de modo que, a célula inteira reduz seu tamanho durante a contração; citamos como exemplos de protínas a α – actinina e a desmina.

- filamentos espessos de miosina – interagem com os filamentos finos;

- contam com a participação de uma outra proteína, a calmodulina, que faz o papel da troponina, pois se ligam ao íon Ca^{++}, para que a contração ocorra.

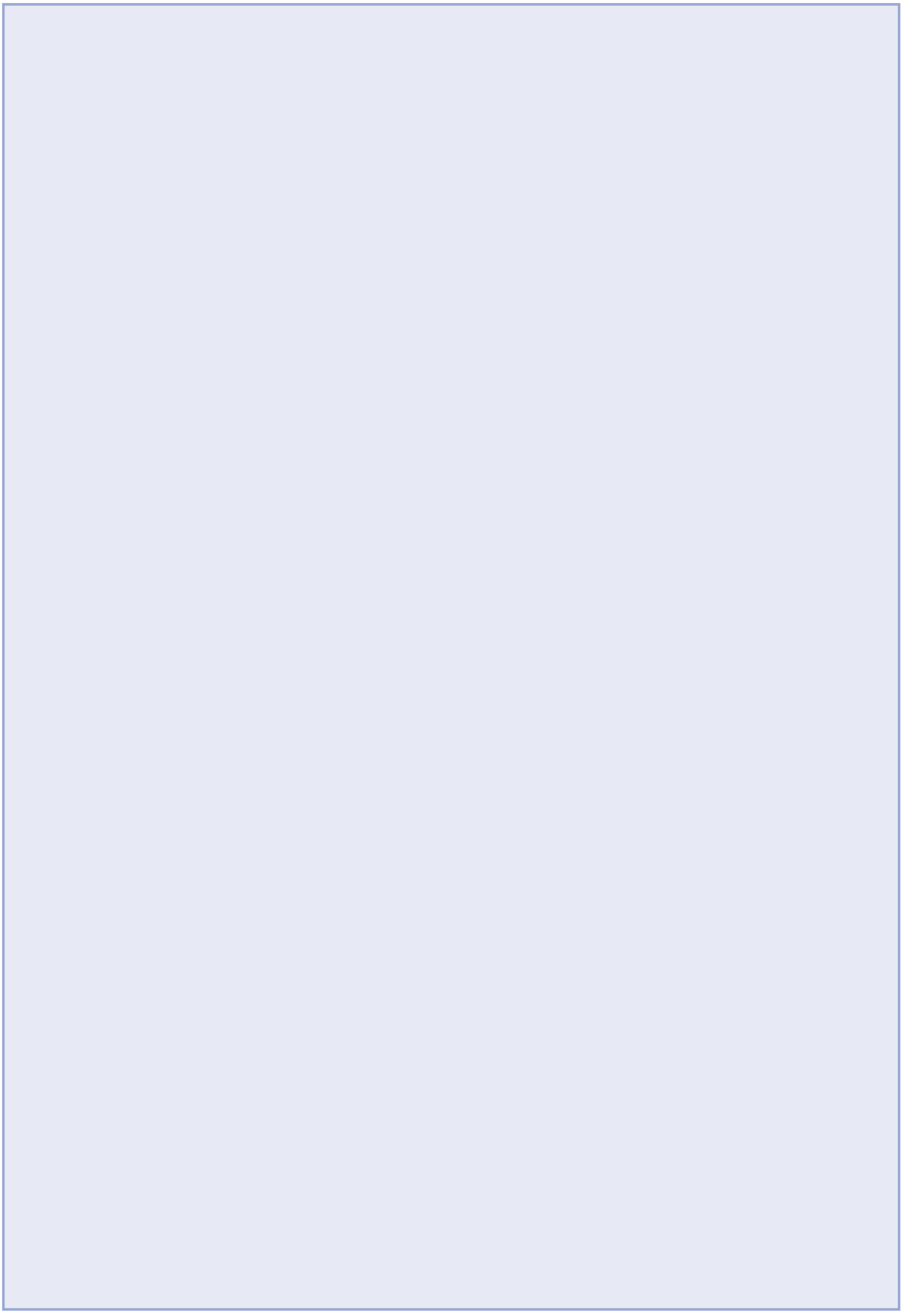
CONTRAÇÃO DO MÚSCULO LISO

A partir do estímulo do sistema nervoso autônomo, as vesículas de retículo sarcoplasmático liberam o Ca^{++} que cai no citoplasma. Este se liga à proteína **calmodulina**, formando o complexo Ca^{++} + **calmodulina** (no citosol), cuja ligação não é ativa, enquanto não está em contato com a miosina. No entanto, este complexo leva à fosforilação da miosina, e desse processo resulta a formação da **quinase miosínica**. Agora sim, a associação do complexo com a quinase resulta na **contração da musculatura lisa**.

Lembre-se de que o filamento fino da fibra muscular lisa não tem a proteína troponina. No entanto, a calmodulina exerce o papel da troponina. E, para finalizar, o relaxamento da fibra lisa ocorre após a ação de uma fosfatase que desfosforila a quinase miosínia, em consequencia o Ca^{++} é resgatado e a fibra muscular lisa relaxa.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Quais são as camadas do músculo estriado cardíaco?
2. Descreva as partes do disco intercalar e a função de cada uma delas.
3. Qual é a localização e a função das fibras de Purkinge?
4. Como são chamadas as fibras musculares cardíacas?
5. Como são chamadas as fibras musculares lisas?
6. Qual é a organização das proteínas contráteis da fibra muscular lisa?
7. Como acontece a contração do músculo liso?





Para obter mais
informações sobre
outros títulos da
EDITORA UFMG,
visite o site

www.editora.ufmg.br

A presente edição foi composta pela Editora UFMG, em caracteres Chaparral Pro e Optma Std, e impressa pela Rettec Reproduções Gráficas, em sistema offset, papel offset 90g (miolo) e cartão supremo 250g (capa), em dezembro de 2009.

ISBN 978-85-7041-660-5



CENTRO DE APOIO
À EDUCAÇÃO A
DISTÂNCIA UFMG

Secretaria de Educação a Distância
Ministério da Educação

BRASIL
UM PAÍS DE TODOS
GOVERNO FEDERAL

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS