

7. Sistema locomotor

O tecido ósseo

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

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

Composição

O tecido ósseo é composto por *células* e por *matriz extracelular*. As células são: os *osteoblastos*, responsáveis pela síntese da matriz orgânica do osso; os *osteócitos*, que se situam em pequenas cavidades no interior do osso e que são responsáveis pela manutenção do tecido; os *osteoclastos*, células responsáveis pela reabsorção óssea. A matriz apresenta dupla constituição: a) *orgânica* (ou *osteóide*) e a *inorgânica*.

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

Os ossos são recobertos externa e internamente por membranas conjuntivas que formam, respectivamente, o *periósteo* e o *endósteo* (Figuras 7.1 e 7.2).

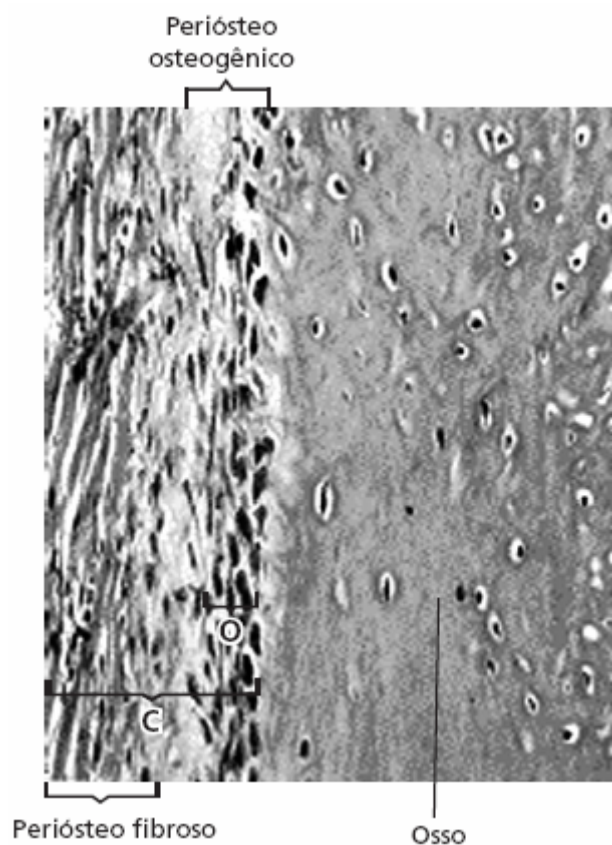


Figura 7.1: Fotomicrografia mostrando a superfície de um osso longo em desenvolvimento. O perióstio (C) corresponde à cobertura externa do osso. Na região mais afastada do osso, você observa o perióstio fibroso, rico em fibras colágenas, e na mais próxima a ele, o perióstio apresenta-se rico em osteoblastos (O), e é chamado o perióstio osteogênico. H&E. (x480).

Na Figura 7.1, você pode observar que o perióstio é formado por tecido conjuntivo rico em fibras, na camada mais externa, e rico em células, na camada mais interna, constituindo, respectivamente, o perióstio fibroso e osteogênico. As células mais numerosas do perióstio osteogênico são os osteoblastos.

Já na Figura 7.2 podemos notar que as superfícies internas do osso são também revestidas por uma membrana conjuntiva denominada *endóstio*. Essa membrana é muito delgada e é constituída por osteoblastos e osteoclastos.

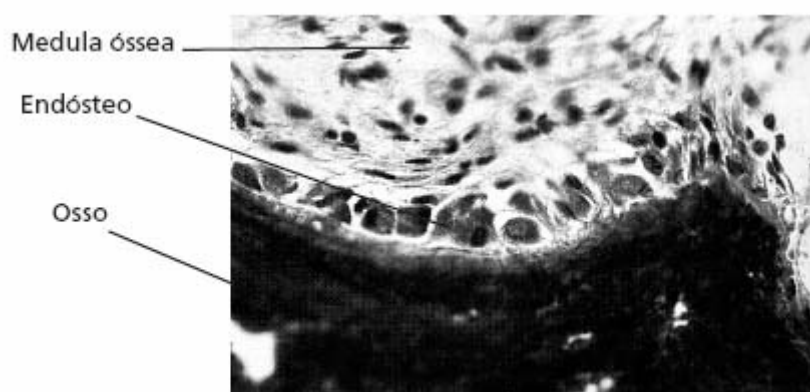


Figura 7.2: Fotomicrografia de osso esponjoso mostrando uma trabécula óssea revestida pelo endóstio. Observe que os osteoblastos se dispõem na superfície da trabécula óssea, formando uma camada contínua de células, semelhante a um epitélio de revestimento. A medula óssea em formação também é mostrada. Coloração Tricrômico de Goldner. (x320).

Tipos de Ossos

Agora vamos falar sobre tipos de ossos.

Se você examinar macroscopicamente um osso serrado (Figura 7.3), verá que ele é formado por uma parte periférica sem cavidades visíveis, o osso *compacto*, e por partes internas com muitas cavidades intercomunicantes, o osso *esponjoso*. Essas cavidades são ocupadas por um tipo especial de tecido conjuntivo, conhecido como medula óssea, que constitui o local de produção das células sanguíneas. Não esqueça que esta classificação é puramente anatômica, pois, histologicamente, ambos os ossos apresentam a mesma estrutura.

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

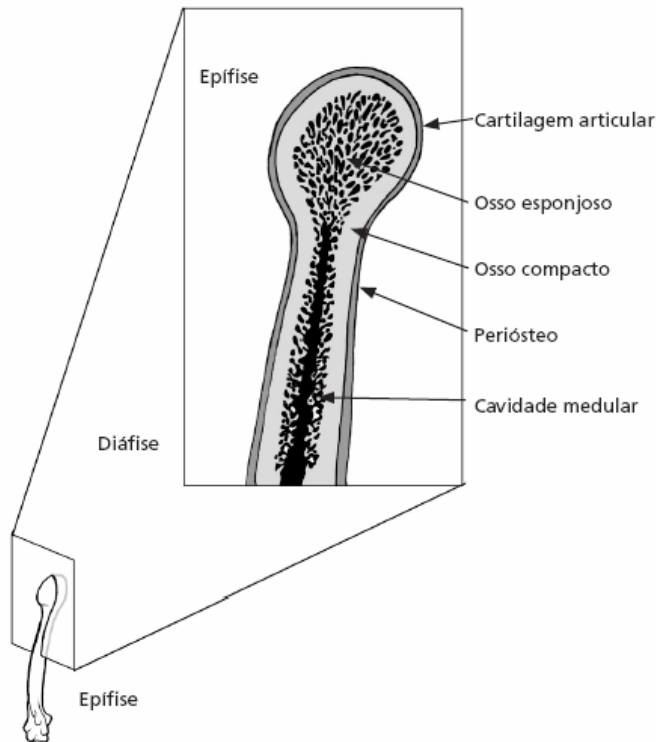


Figura 7.3: Desenho de um osso longo mostrando sua estrutura macroscópica. As extremidades são as epífises, e a porção mediana, a diáfise. No osso serrado na altura da diáfise, você pode ver: a camada mais externa de osso compacto e o osso esponjoso, na porção mais central. As cavidades entre as trabéculas de osso esponjoso formam a medula óssea. O periosteio recobre o osso externamente.

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

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

Na Figura 7.4, você estará vendo o esquema de um corte de osso compacto. Nele, você pode observar, em corte transversal, que as lamelas ósseas se dispõem concentricamente a um canal contendo tecido conjuntivo, vasos e nervos. É o que chamamos de *sistema de Havers* ou *ósteon*. Cada lamela tem cerca de 3 a 7µm de espessura e cada sistema de Havers é formado por quatro a vinte lamelas concêntricas. Observe que as fibras colágenas de cada lamela têm orientações diferentes entre si. Não esqueça: todas as superfícies internas do osso são revestidas por endóstio. Então, no canal de Havers o endóstio também está presente.

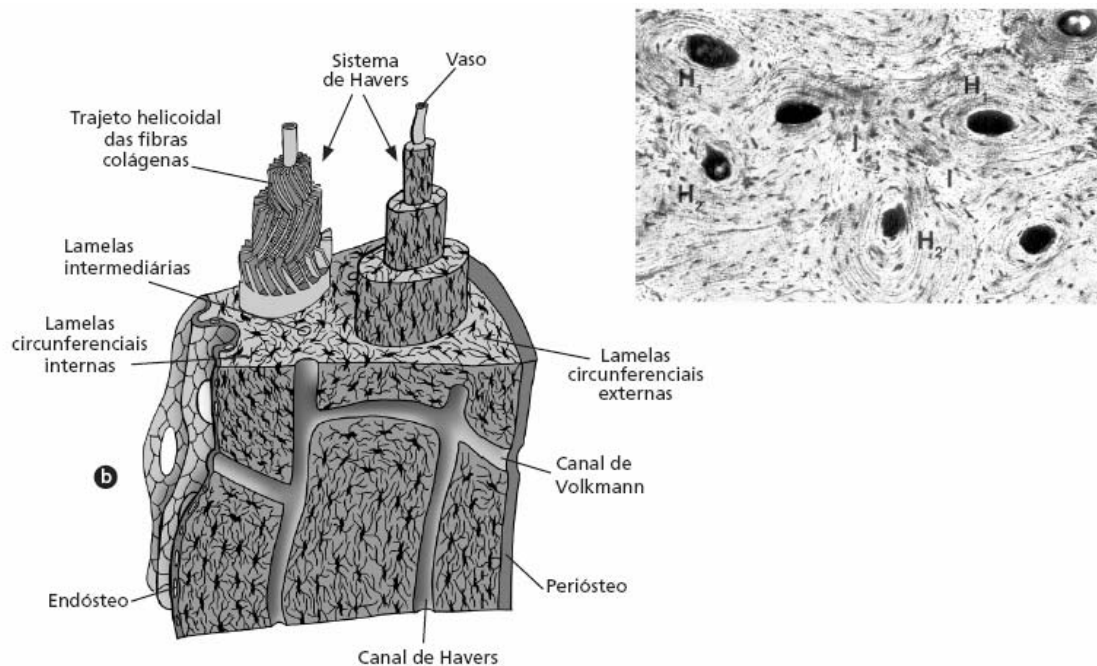


Figura 7.4: A – Fotomicrografia de um corte de osso compacto cortado transversalmente, mostrando os sistemas de Havers. B – desenho esquemático de osso compacto semelhante ao encontrado na diáfise dos ossos longos. Observe, no corte transversal, as lamelas ósseas concêntricas em torno do vaso sanguíneo, os sistemas de Havers, as lamelas circunferenciais externa, interna e as intermediárias. O perióstio e o endóstio estão também representados. No corte longitudinal, você pode ver os canais de Volkmann.

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

Reparação de Fraturas

Você sabe como ocorre o processo de reparação óssea após uma fratura simples? Na Figura 7.5, você poderá observar que, logo após uma fratura, ocorre hemorragia local e coagulação do sangue. Para o processo de regeneração da fratura, é necessário que o coágulo, os restos de matriz óssea e as células mortas sejam removidos da área, o que é realizado através dos macrófagos do tecido conjuntivo. O tecido conjuntivo altamente vascularizado prolifera no local e é gradativamente substituído por tecido fibroso, menos vascularizado. Nessas condições, sob baixas tensões de oxigênio, as células mesenquimais indiferenciadas formam condroblastos, permitindo que o tecido conjuntivo fibroso seja substituído por cartilagem hialina. Forma-se, então, um *calo cartilaginoso* ou *provisório* na região externa das superfícies ósseas fraturadas, que vai sofrendo ossificação endocondral. Simultaneamente, osteoblastos do endósteo e do periósteo são ativados e começam a produzir matriz óssea por ossificação intramembranosa, tanto dentro quanto em torno do calo cartilaginoso, formando o *calo ósseo*. A fratura estará reparada quando o local da lesão estiver completamente unido ao novo osso. Não esqueça que o osso recém-sintetizado é do tipo imaturo. Sob a influência das forças funcionais, o calo ósseo é lentamente remodelado para formar o osso maduro.

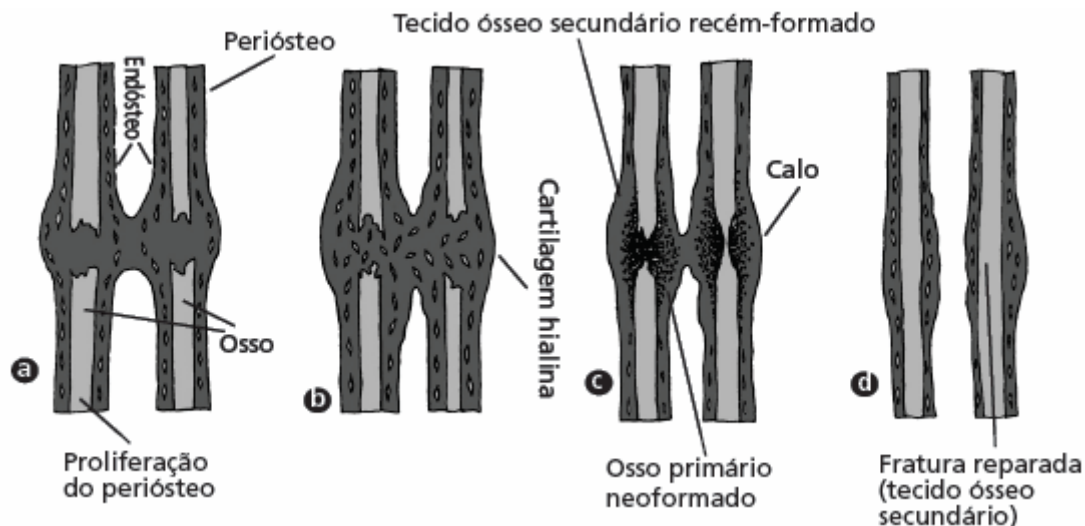


Figura 7.5: Desenho esquemático mostrando o processo de regeneração de uma fratura. A – mostrando a proliferação do tecido conjuntivo do perióstio. B – mostrando o calo cartilaginoso. C – o tecido ósseo começa a ser observado. D – fratura já reparada.

Articulações

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

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

- Sinostose – o tecido que articula os dois ossos é do tipo ósseo. Esse tipo de articulação não permite movimentos entre os ossos envolvidos. Você poderá encontrá-la unindo os ossos chatos do crânio em pessoas idosas.
- Sindesmose – nesse caso existe um tecido conjuntivo denso na área de articulação. As sindesmose permitem movimentos limitados entre as

superfícies ósseas envolvidas. Você poderá encontrá-las, por exemplo, nos ossos chatos do crânio de pessoas jovens e na sínfise pubiana.

- Sincondrose – o tecido que você encontrará mediando essa articulação é do tipo cartilaginoso (cartilagem hialina). A articulação entre a primeira costela e o esterno é desse tipo. Semelhante à sindesmose, os movimentos numa sincondrose são limitados.

As diartroses são articulações dotadas de grande mobilidade e podem ser observadas unindo a maioria dos ossos longos. A estrutura de uma diartrose mostra uma *cápsula articular* unindo as superfícies ósseas e delimitando uma *cavidade articular*. Você pode observar na Figura 7.6. que essa cavidade contém um líquido articular incolor, transparente e viscoso, rico em ácido hialurônico, denominado *líquido sinovial*. Este líquido permite o deslizamento das superfícies articulares, as quais são revestidas por cartilagem hialina. Cabe ressaltar que a cartilagem hialina desses locais é desprovida da membrana conjuntiva que reveste a maioria das cartilagens hialinas, o que confere às extremidades ósseas uma superfície polida que certamente se somará ao efeito lubrificante do líquido sinovial. A cartilagem articular funcionará como um amortecedor das pressões mecânicas exercidas sobre ela. Com essa estrutura, torna-se fácil realizar movimentos.

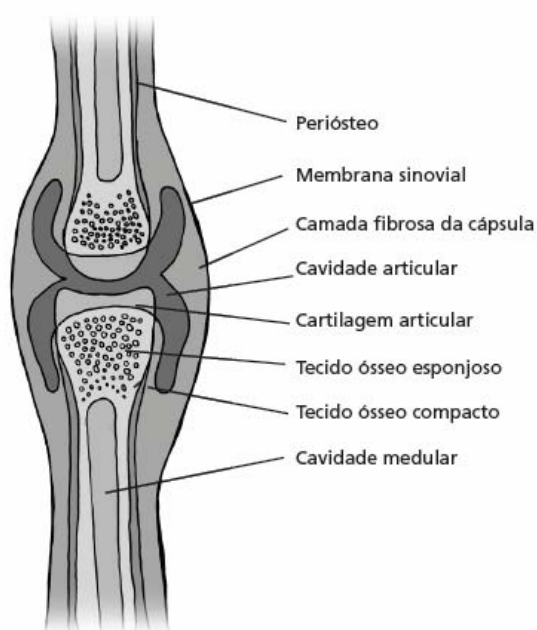


Figura 7.6: Desenho esquemático de uma diartrose mostrando sua estrutura.

O sistema locomotor faz parte do nosso dia-a-dia?

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

O sistema locomotor não está só!

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

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

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

Além do mais, o simples fato de adotarmos a postura ereta, contrária à gravidade, já coloca em ação este complexo sistema. Como seria a adaptação do sistema locomotor a um ambiente sem gravidade? Seria mais ou menos fácil nos mantermos de pé? Como seriam os nossos movimentos? De que quantidade de minerais precisaríamos em nossos ossos, nesta condição? Como seria a nossa massa muscular? Teríamos a mesma frequência de fraturas em nossos esqueletos, comparando com a vida na Terra? Desta forma, entenderemos que a manutenção de um esqueleto saudável é essencial em várias atividades do corpo humano, especialmente ligadas à locomoção.

O nosso esqueleto está vivo?

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

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

Examinando um esquema de um esqueleto humano completo, na Figura 7.7, podemos ver como os ossos se dispõem. Temos cerca de 206 ossos, pois o número real varia entre os indivíduos. Por exemplo, de 0,5 a 1% das pessoas tem um par adicional de costelas. Em valores médios, o peso dos nossos ossos corresponde a 20% do peso total do nosso corpo, ou seja, os ossos de um indivíduo adulto com 70kg pesam, em média, 14kg!

A massa óssea varia ao longo de nossas vidas? Ganhamos ou perdemos osso do nascimento até a morte? Durante o período de uma vida,

nossos ossos são reabsorvidos (seus constituintes vão para o sangue) e ossos novos são produzidos em seu lugar, de tal forma que nos renovamos a cada dia. Renovar é sempre uma boa notícia! Na Figura 16.3, você poderá observar uma representação do que ocorre com a massa óssea do nosso esqueleto, de acordo com os ritmos de formação e de reabsorção ósseas.

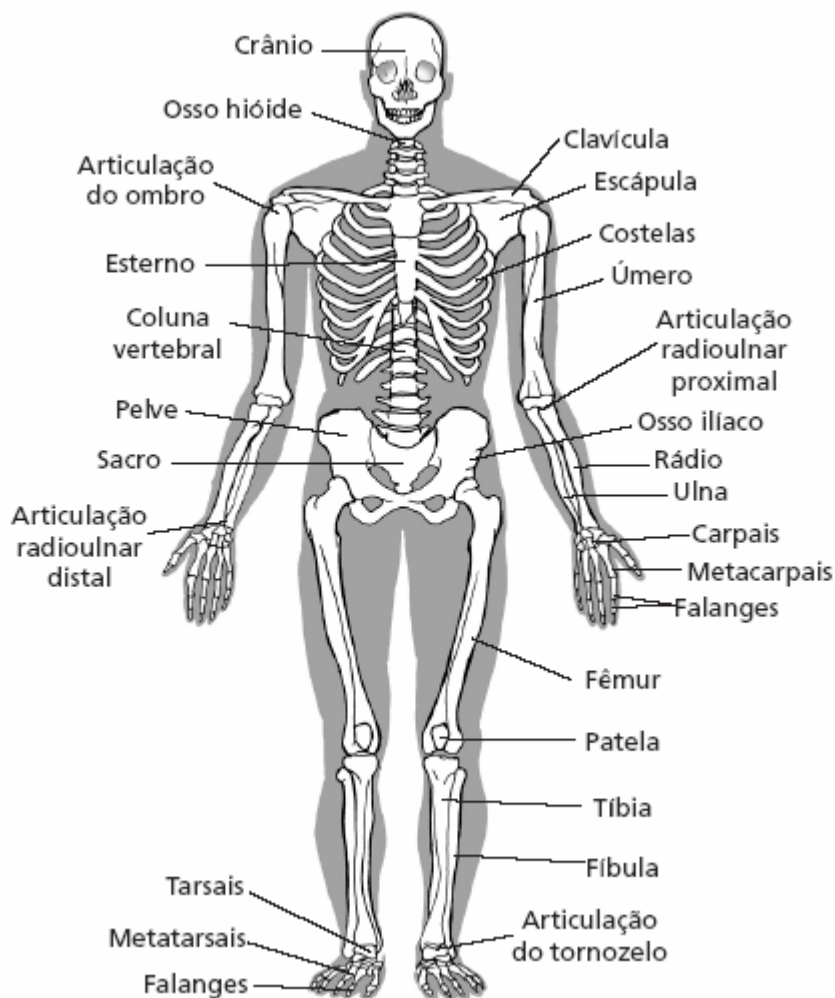


Figura 7.7: Esquema de um esqueleto humano.

Neste contexto, desde o nascimento até a terceira década de vida, em um organismo sadio, ocorre um aumento da massa óssea, porque a produção de osso novo (**osteogênese**) supera a perda diária (**osteólise**). A partir desta idade, a **taxa de renovação** vai sendo modificada, uma vez que a formação

óssea vai sendo suplantada pela perda e, assim, começa a ocorrer uma redução progressiva da massa óssea, especialmente no sexo feminino. As mulheres, a partir da terceira década de vida, perdem, em média, 1% da massa óssea por ano. Esta perda se deve à redução da produção de estrogênio pelos ovários. O estrogênio estimula a osteogênese. Assim, a reposição de massa óssea sofre uma progressiva diminuição com a idade. Quando esta perda óssea começa a trazer riscos para a saúde, como, por exemplo, o aumento na frequência de fraturas, ela é denominada **osteoporose**.

Os nossos ossos são egoístas ou generosos?

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

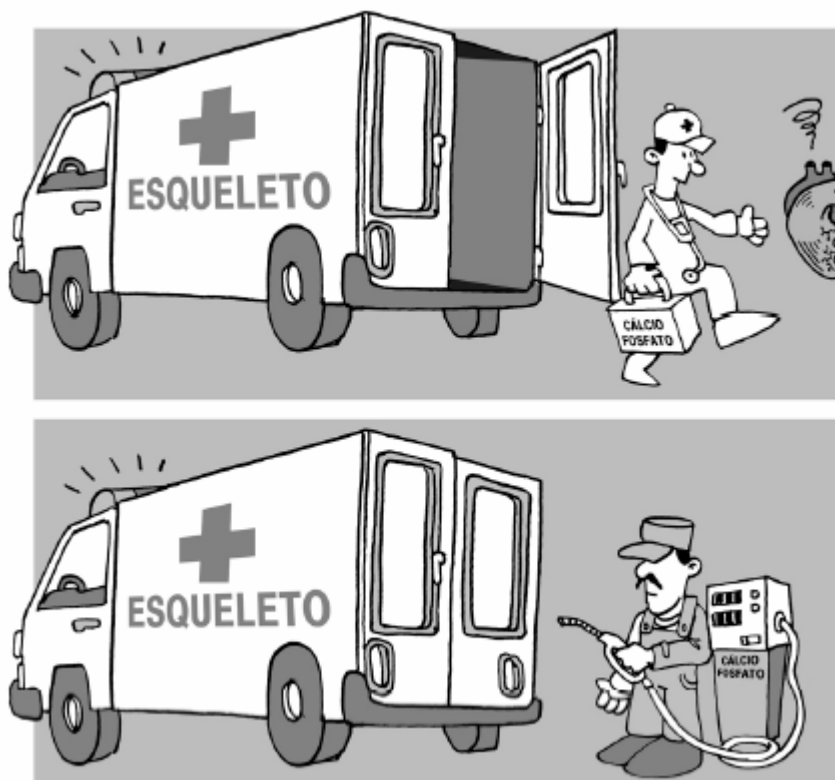


Figura 7.8

Na Figura 7.8, podemos ver o intercâmbio de substâncias entre o osso e o sangue. O material existente nos ossos pode ser oferecido a outros tecidos, em situações de emergência. Da mesma forma, o tecido ósseo pode se recompor por meio do aporte de substâncias trazidas pelo sangue. Na Figura 7.8, podemos observar uma representação das trocas entre o osso e o sangue, necessárias tanto à atividade do esqueleto quanto às demandas do metabolismo do resto do organismo.

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

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

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

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

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

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

Nossa herança genética e nossos ossos

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

As diferenças entre as características esqueléticas das populações podem depender da influência genética e expressar, assim, um elevado grau de herança. Os dincas, um povo que habita o Sudão (Nordeste da África) são extremamente altos os pigmeus, da República do Congo, são muito baixos.

Tais características são preservadas pelo elevado grau de endogamia presente em tais grupos, devido ao seu isolamento cultural, uma vez que não existe mais um absoluto isolamento geográfico, nestes casos. No entanto, devemos ter muito cuidado nestas observações, já, freqüentemente, as diferenças populacionais devem-se muito mais a fatores ambientais, como dieta e diferenças culturais, do que à genética. Além disto, diante da grande mistura genética em populações atuais, podemos observar um aumento progressivo da variabilidade na morfologia dos ossos.

Como os nossos hormônios influenciam os ossos?

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

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

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

Um exemplo desse efeito hormonal pode ser observado nas pessoas que fazem uso prolongado de cortisona, um medicamento com ação análoga

aos hormônios da glândula adrenal (cortisol). Embora tenha excelentes ações sobre um grande número de doenças, o emprego da cortisona em tratamentos prolongados deve ser acompanhado pelos médicos por causa do seu efeito sobre a osteoporose.

Fique ligado!

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

Texto de:

Neide Lemos de Azevedo

Adaptado por:

Roberta F. Ribeiro Rolando