

cisalhamento	força dirigida paralelamente a uma superfície
composição vetorial	processo de determinação de um único vetor a partir de dois ou mais vetores, pela soma vetorial
compressão	força compressiva ou de esmagamento dirigida no sentido axial através do corpo
deformação	mudança no formato
densidade	massa por unidade de volume
diagrama de corpo livre	esboço que mostra um sistema definido isoladamente com todos os vetores de força que atuam sobre ele
escalar	quantidade física que é descrita completamente por sua magnitude
estresse	distribuição da força dentro de um corpo, quantificada como força dividida pela área sobre a qual atua
falência (falha)	perda de continuidade mecânica
força	compressão ou tração; o produto da massa pela aceleração
força global (eletiva)	força resultante que deriva da composição de duas ou mais forças
impulso	produto da força pelo tempo durante o qual a força atua
inclinação	carga assimétrica que produz tensão em um dos lados do eixo longitudinal de um corpo e compressão no outro lado
inércia	tendência de um corpo a resistir contra qualquer mudança em seu estado de movimento
massa	quantidade de matéria contida em um objeto
peso	força de atração que a Terra exerce sobre um corpo
peso específico	peso por unidade de volume
ponto de cessão (limite elástico)	ponto sobre a curva de carga-deformação além do qual a deformação é permanentemente
pressão	força por unidade de área sobre a qual a força atua
resolução vetorial	operação que substitui um único vetor por dois vetores perpendiculares, de forma que a composição vetorial dos dois vetores perpendiculares venha a produzir o vetor original
resultante	o vetor único que resulta da composição vetorial
tensão	força de tração ou de alongamento dirigida no sentido axial através de um corpo
torção	carga que produz rotação de um corpo ao redor de seu eixo longitudinal
torque	efeito rotativo de uma força
transdutores	dispositivos que identificam sinais
vetor	quantidade física que possui tanto magnitude quanto direção
volume	espaço ocupado por um corpo

## SUSAN HALL, 2010 4

# BIOMECÂNICA DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DOS OSSOS

Após finalizar este capítulo, o leitor deverá estar apto a:

- Explicar como os componentes materiais e a organização estrutural do osso afetam sua capacidade de suportar as cargas mecânicas.
- Descrever os processos envolvidos no crescimento e na maturação normais do osso.
- Descrever os efeitos do exercício e da imponderabilidade sobre a mineralização óssea.
- Explicar o significado da osteoporose e abordar as teorias atuais acerca de sua prevenção.
- Explicar a relação entre as diferentes formas de cargas mecânicas e as lesões ósseas comuns.

**O** que determina quando um osso pára de crescer? Como são causadas as fraturas de estresse? Por que as viagens espaciais são responsáveis por uma redução na densidade dos minerais ósseos em astronautas? O que é osteoporose e como pode ser prevenida?

A palavra osso traz geralmente a imagem mental de um osso morto — um pedaço de mineral seco e quebradiço que um cão gostaria de mastigar. Diante desse quadro, é difícil reconhecer que o osso vivo é um tecido bastante dinâmico que está sendo remodelado continuamente pelas forças que sobre ele atuam. O osso desempenha duas funções mecânicas importantes para o ser humano. Primeiro, proporciona um arcabouço esquelético rígido que sustenta e protege outros tecidos corporais. Segundo, forma um sistema de alavancas rígidas que podem ser movimentadas pelas forças dos músculos inseridos (ver Capítulo 12). Este capítulo aborda os aspectos biomecânicos da composição e estrutura ósseas, o crescimento e o desenvolvimento dos ossos, a resposta do osso ao estresse, a osteoporose e as lesões ósseas comuns.

## COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DO TECIDO ÓSSEO

Os componentes materiais e a organização estrutural do osso influenciam as maneiras pelas quais o osso responde às cargas mecânicas. A composição e a estrutura do osso dão origem a um material que é resistente para seu peso relativamente leve.

**alavanca (polia)**  
objeto relativamente rígido que pode rodar ao redor de um eixo pela aplicação de força

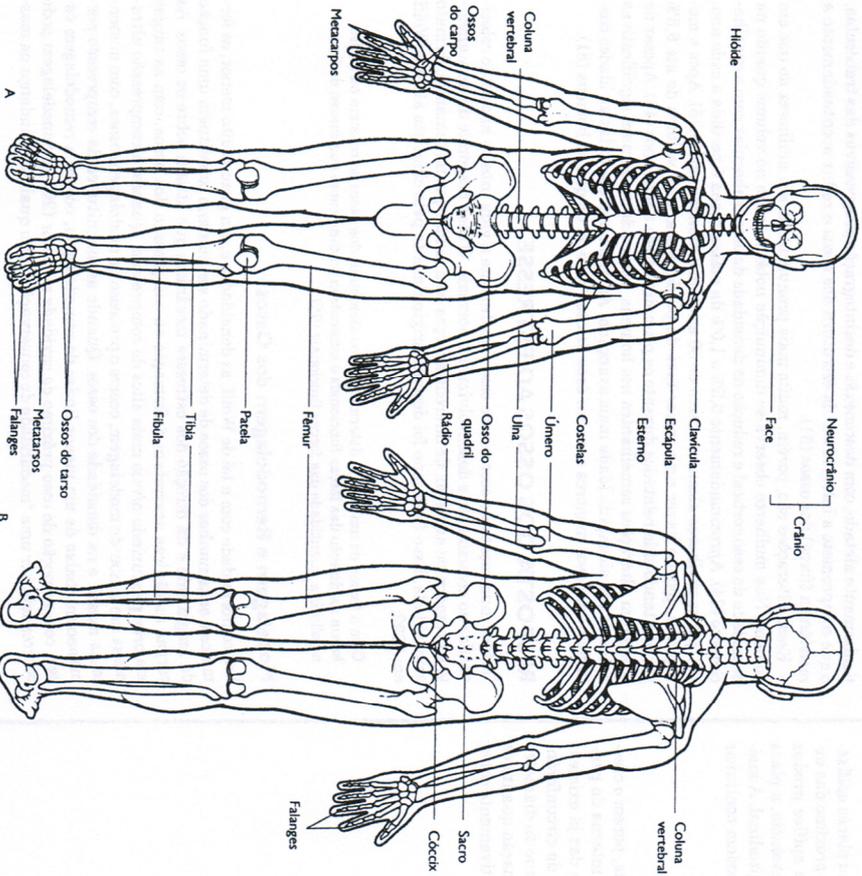
**Tipos de Ossos**

As estruturas e os formatos dos 206 ossos do corpo humano lhes permitem desempenhar funções específicas. O sistema esquelético é subdividido nominalmente em esqueleto axial ou central e esqueleto apendicular ou periférico (Figura 4.3). O esqueleto axial inclui os ossos que formam o eixo do corpo, que são o crânio, as vértebras, o esterno e as costelas. Os outros ossos formam os apêndices corporais ou o esqueleto apendicular. Os ossos são classificados também de conformidade com seus formatos e funções gerais.

**Ossos curtos**, cujo formato é aproximadamente cúbico, incluem apenas os ossos do carpo e os ossos do tarso (Figura 4.4). Esses ossos tornam possível a realização de movimentos limitados de deslizamento e funcionam como absorventes dos choques.

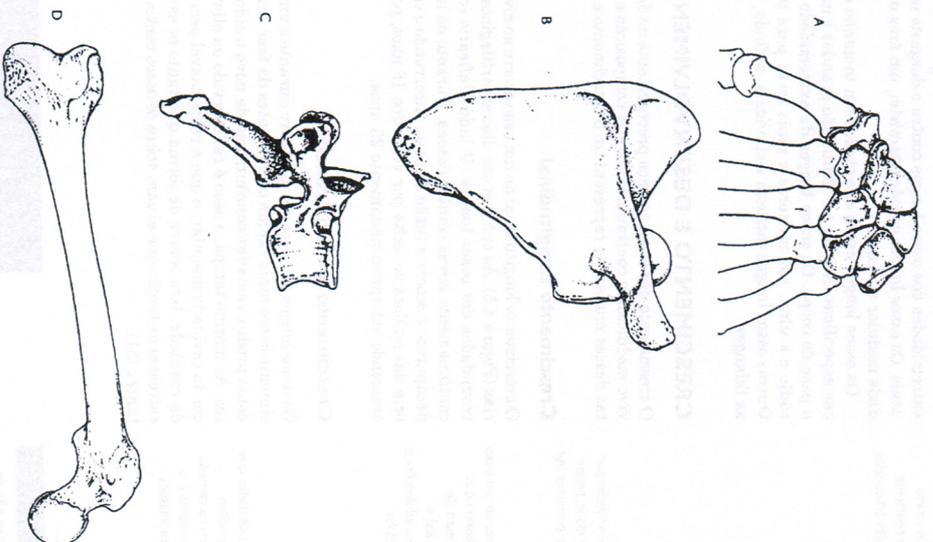
**Fig. 4.3**

O esqueleto humano.



**Fig. 4.4**

A, Os ossos do carpo são classificados como ossos curtos. B, A escápula é classificada como osso plano. C, As vértebras são exemplos de ossos irregulares. D, O fêmur representa os ossos longos.



Os ossos planos são descritos também por seu nome (Figura 4.4). Protegem os órgãos subjacentes e os tecidos moles e proporcionam também grandes áreas para as inserções dos músculos e ligamentos. Os ossos planos incluem as escápulas, o esterno, as costelas, as patélas e alguns dos ossos do crânio.

Os ossos irregulares possuem formatos diferentes para poderem desempenhar funções especiais no corpo humano (Figura 4.4). Por exemplo, as vértebras proporcionam um túnel ósseo protetor para a medula espinhal, oferecem vários processos para as inserções de músculos e ligamentos e sustentam o peso das partes superiores do corpo, ao mesmo tempo que permitem o movimento do tronco em todos os três planos cardinais. O sacro, o cóccix e a maxila são outros exemplos de ossos irregulares.

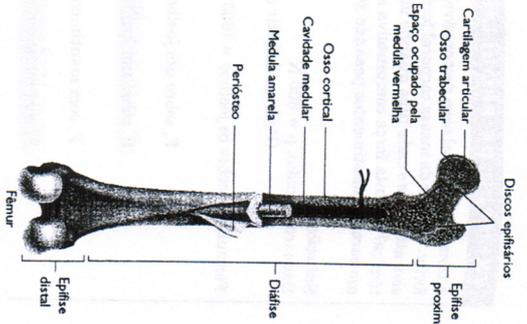
Os ossos longos formam o arcabouço do esqueleto apendicular (Figura 4.4). Consistem em um longo tubo aproximadamente cilíndrico (também denominado corpo ou diáfise) de osso cortical, com extremidades bulbosas conhecidas como condílios,

**ossos planos**  
 estruturas esqueléticas cujo formato é essencialmente plano, como por exemplo a escápula

**ossos irregulares**  
 estruturas esqueléticas de formato irregular, como por exemplo o sacro

**ossos longos**  
 estruturas esqueléticas que consistem em uma longa haste com extremidades dilatadas, como por exemplo o fêmur

Estrutura de um osso longo.  
De Silver, Butler e Lewis. *Holt's Human Anatomy and Physiology*, © 1996. Reimpressa com autorização de The McGraw-Hill Companies, Inc.



sa óssea, seja por uma "modalidade de desuso", com perda efetiva de massa óssea caracterizada por cavidade medular aumentada e cortical adelgaçada (26). O osso é um tecido bastante dinâmico, com os processos de modelagem e de remodelagem agindo continuamente no sentido de aumentar, diminuir ou modificar o formato do osso.

Os processos de modelagem e remodelagem são controlados pelos osteócitos, células embutidas no osso que são sensíveis às mudanças no fluxo de líquido intersticial através dos poros que resultam da compressão exercida sobre o osso (12,14). Em resposta aos níveis detectados de compressão, os osteócitos desencadeiam as ações de osteoblastos e osteoclastos, células que formam e reabsorvem respectivamente o osso (77). Um predomínio da atividade osteoblástica produz modelagem óssea, com aumento efetivo na massa óssea. A remodelagem óssea envolve equilíbrio da ação dos osteoblastos e osteoclastos ou predomínio da atividade osteoclastica, com manutenção ou perda associada da massa óssea. Aproximadamente 25% do osso trabecular do corpo são remodelados a cada ano através desse processo (37). As compressões que resultam de uma atividade como caminhada são suficientes para provocar renovação (*turnover*) do osso e formação de osso novo (14).

Assim sendo, a mineralização e a resistência dos ossos tanto em crianças quanto em adultos constituem uma função dos estresses que produzem compressões sobre o esqueleto. Uma vez que o peso corporal proporciona o estresse mecânico mais consistente para os ossos, a densidade dos minerais ósseos em geral mantém paralelismo com o peso corporal, com os indivíduos mais pesados possuindo ossos mais maciços. Os adultos que ganham ou perdem peso costumam ganhar ou perder também densidade mineral óssea (24,74). Entretanto, o perfil de atividade física de determinado indivíduo, a dieta, o estilo de vida e a genética também podem influenciar sensivelmente a densidade óssea. Fatores como massa corporal magra, força muscular e participação regular nos exercícios com sustentação do peso corporal se revelaram capazes de exercer influências mais significativas sobre a densidade óssea que o peso, a altura e a raça (83,88).

A maleabilidade do osso é exemplificada magistralmente pelo caso de um lactente que nasceu com uma condição física normal, porém com ausência de uma tíbia,

que é o principal osso responsável pela sustentação do peso da extremidade inferior. Depois que a criança já vinha deambulando por certo período, as radiografias revelaram que a remodelagem da tíbia na perna anormal havia ocorrido até o ponto de não poder ser diferenciada da tíbia da outra perna (2).

Outro caso interessante é o de um operário da construção que havia perdido todos os dedos de uma mão, com exceção do quinto dedo, em uma lesão de guerra. Após 32 anos, o metacarpo e a falange do dedo restante haviam sido modelados para se assemelharem ao terceiro dedo da outra mão (72).

### Hipertrofia Óssea

Apesar de os casos de modificações completas no formato e tamanho dos ossos serem incommuns, existem muitos exemplos de modelagem óssea, ou hipertrofia óssea, em resposta à atividade física regular. Os ossos dos indivíduos fisicamente ativos costumam ser mais densos e, portanto, mais mineralizados que os de indivíduos sedentários da mesma idade e sexo. Além disso, os resultados de vários estudos indicam que as ocupações e os desportos que representam estresse particularmente intenso para determinado membro ou região do corpo produzem acentuada hipertrofia óssea na área estressada. Por exemplo, jogadores profissionais de tênis exibem não apenas hipertrofia muscular no braço utilizado para jogar, mas também hipertrofia do rádio nesse braço (65). Hipertrofia óssea semelhante foi observada nos braços de jogadores no beisebol e de jogadores de raquetebol (45,92).

Parce também que, quanto maiores forem as forças ou as cargas encontradas habitualmente, mais dramático será o aumento na mineralização do osso. Em um estudo interessante, os pesquisadores mediram a densidade do fêmur entre 64 atletas de renome nos EUA e que representavam diferentes desportos (61). Os fêmures que exibiam maior densidade eram de levantadores de peso, segurados por arremessadores, corredores, jogadores de futebol e nadadores. Em um estudo semelhante envolvendo universitárias atletas no basquete, voleibol, futebol, atletismo e natação, constatou-se que aquelas que participavam nos desportos de alto impacto (basquete e voleibol) possuíam valores mais altos para as densidades minerais ósseas e dos minerais ósseos de corredores e ciclistas treinados foram comparadas às de indivíduos sedentários da mesma idade (82). Em comparação com pessoas que não se exercitavam, constatou-se que os corredores possuíam maior densidade óssea, porém isso não era verdadeiro para ciclistas. Em essência, a evidência da pesquisa sugere que a atividade física que envolve forças de impacto é necessária para manter ou aumentar a massa óssea (64). Os nadadores competitivos, que passam muitíssimo tempo na água, onde a força da flutuação contrabalança a gravidade, podem possuir densidades minerais ósseas mais baixas do que os indivíduos sedentários (71).

### Atrofia Óssea

Enquanto o osso se hipertrofia em resposta a um estresse mecânico aumentado, exibe uma resposta oposta a um estresse reduzido. Quando os estresses normais exercidos sobre o osso pelas contrações musculares, pela sustentação do peso corporal ou pelas forças de impacto são reduzidos, o tecido ósseo se atrofia através da remodelação. Quando ocorre atrofia óssea, a quantidade de cálcio contida no osso diminui, e tanto o peso quanto a resistência do osso diminuem. A perda de massa óssea devida ao estresse mecânico reduzido foi observada em pacientes acamados, pessoas idosas sedentárias e astronautas. Quatro a seis semanas de repouso no leito podem resultar em reduções significativas na densidade dos minerais ósseos que não serão eliminadas plenamente após seis meses de atividade normal com sustentação do peso corporal (9).

A desmineralização óssea é um problema potencialmente sério. Do ponto de vista biomecânico, à medida que a massa óssea diminui, a força e, consequentemente, a resistência à fratura também diminuem, principalmente no osso trabecular.

**hipertrofia óssea**  
aumento na massa óssea que resulta de certa predominância da atividade osteoblástica

**atrofia óssea**  
redução na massa óssea que resulta do predomínio da atividade osteoclastica

Os processos que causam remodelagem dos ossos não estão bem elucidados e continuam sendo objeto de pesquisa de cientistas.

**osteopenia**  
condição com menor densidade óssea para a maioria dos indivíduos idosos, com os indivíduos com os menores ossos que predisposição dos menores ossos que predisposição dos indivíduos às fraturas

A osteoporose é um sério problema de saúde para a maioria dos indivíduos idosos, com os indivíduos com os menores ossos que predisposição dos menores ossos que predisposição dos indivíduos às fraturas

início mais precoce nas mulheres, e está se tornando cada vez mais prevalente com o aumento da idade média da população. A condição começa com osteopenia, mas a óssea reduzida sem a presença de fratura, mas progride frequentemente para osteoporose, condição na qual a massa dos minerais ósseos e a resistência são tão profundamente comprometidas que as atividades diárias poderão causar dor óssea e fraturas (27).

### Osteoporose Pós-menopáusia e Associada ao Envelhecimento

A maioria das pessoas afetadas pela osteoporose é representada por mulheres pós-menopáusicas e idosas, apesar de os homens idosos também podem ser suscetíveis, com mais de metade de todas as mulheres e cerca de um terço dos homens apresentando fraturas relacionadas à osteoporose (73). Apesar de antigamente ser considerada principalmente um problema de saúde para as mulheres, com o aumento da idade da população, a osteoporose está emergindo agora como um sério problema relacionado à saúde para homens (23, 39, 42).

A osteoporose do tipo I, também conhecida como osteoporose pós-menopáusia, afeta cerca de 40% das mulheres após os 50 anos de idade (49). As primeiras fraturas osteopóricas começam a ocorrer habitualmente cerca de 15 anos após a menopausa, com as mulheres sofrendo aproximadamente três vezes mais fraturas do colo do fêmur, três vezes mais fraturas vertebrais e seis vezes mais fraturas do punho do que os homens da mesma idade (49).

Essa discrepância ocorre em parte porque os homens alcançam massa óssea e força máximas mais altas que as mulheres no início da vida adulta e, em parte, por causa da maior prevalência de desconexões na rede trabecular entre as mulheres pós-menopáusicas do que entre os homens (58).

A osteoporose do tipo II, também denominada osteoporose associada à idade, afeta mais mulheres e também os homens após os 70 anos de idade (43). Após os 60 anos, cerca de 90% de todas as fraturas tanto em homens quanto em mulheres estão relacionadas à osteoporose e essas fraturas são uma das principais causas de morte na população idosa (69).

O rádio e a ulna, o colo do fêmur e a coluna vertebral são todos locais comuns de fraturas osteopóricas, porém o sintoma mais comum da osteoporose é a dor nas costas derivada de fraturas do osso trabecular enfraquecido dos corpos vertebrais. As fraturas por esmagamento das vértebras lombares, que resultam das cargas compressivas criadas pela sustentação do peso durante as atividades da vida diária, causam com frequência redução da altura corporal. Como a maior parte do peso corporal age adiante da coluna vertebral, as fraturas resultantes deixam com frequência os corpos vertebrais com o formato de cunha, acentuando a cifose torácica (ver Capítulo 9). Essa deformidade incapacitante é conhecida como *corcunda da vida*. As fraturas por compressão vertebral são extremamente dolorosas e debilitantes e afetam os aspectos físico, funcional e psicossocial da vida das pessoas (73). À medida que a altura vertebral é perdida, constatase maior desconforto em virtude da pressão exercida sobre a pelve pela caixa torácica. Cerca de 26% das mulheres com 50 anos e mais velhas sofrem fraturas por compressão vertebral (71). E, por demais alarmante o fato de a incidência dessas fraturas vertebrais ter aumentado três a quatro vezes em mulheres e mais de quatro vezes em homens nos últimos 30 anos, até mesmo quando esses números são ajustados para a idade (58). Isso evidencia a prevalência cada vez maior de fatores relacionados ao estilo de vida que afetam negativamente a saúde dos ossos.

A medida que o esqueleto envelhece nos homens, observa-se aumento no diâmetro vertebral que serve para reduzir o estresse compressivo durante a sustentação do peso (58). Assim sendo, embora possam estar ocorrendo alterações osteopóricas, a resistência estrutural das vértebras não é reduzida. Não sabemos por que não ocorrem as mesmas alterações de compressão nas mulheres.

### Tríade da Mulher Atleta

O desejo de sobressair-se nos desportos competitivos induz algumas atletas jovens a se esforçarem para conseguir peso corporal excessivamente baixo. Essa prática perigosa envolve comumente a combinação de alimentação descontrolada, amenorréia e osteoporose, combinação esta que veio a ser conhecida como a "tríade da mulher atleta" (76). Com bastante frequência, essa condição deixa de ser reconhecida; no entanto, levando-se em conta que a tríade pode resultar em consequências negativas que vão desde a perda óssea irreversível até a morte, amigos, pais, técnicos e médicos deverão estar alertas para os sinais e sintomas (35).

Até 62% das atletas em certos desportos exibem comportamentos alimentares descontrolados, com maior probabilidade de serem acometidas as que participam em desportos de *endurance* ou relacionados à aparência física (76). A alimentação descontrolada por períodos prolongados pode evoluir para anorexia nervosa ou bulimia nervosa, enfermidades que afetam de 1 a 10% de todas as mulheres adolescentes e universitárias (32). Sintomas de anorexia nervosa em moças e mulheres incluem um peso corporal 15% ou mais abaixo do peso normal mínimo para idade e altura, o enorme temor de aumentar de peso, a imagem corporal perturbada e amenorréia. Sintomas de bulimia nervosa são um mínimo de duas orgias alimentares por semana por pelo menos três meses, sensação de falta de controle durante as orgias alimentares, uso regular de vômitos auto-induzidos, laxativos, diuréticos, dieta rígida ou exercício para prevenir aumento de peso e a preocupação excessiva com a imagem corporal e o peso (32).

A relação entre alimentação descontrolada e amenorréia parece estar vinculada à redução na secreção hipotalâmica do hormônio liberador de gonadotropina, que por sua vez reduz a secreção de hormônio luteinizante e de hormônio folículo-estimulante, com subsequente diminuição na estimulação do ovário (90). Cerca de 2 a 5% das mulheres pré-menopáusicas dos EUA apresentam amenorréia, porém a prevalência nas mulheres atletas é mais alta. Estudos de atletas competidoras em diferentes esportes indicam que de 3,4 a 66% apresentam amenorréia primária, com a menarca retardada para além dos 16 anos de idade, ou amenorréia secundária, que constitui a ausência de três a seis ciclos menstruais consecutivos (76).

O eixo entre interrupção das menstruações e osteoporose é o baixo nível de estrogênio endógeno (6). A incidência de osteoporose entre as mulheres atletas é desconhecida, porém as consequências desse distúrbio em mulheres jovens são potencialmente trágicas. Entre um grupo de mais de 200 corredoras pré-menopáusicas, as amenorricas tinham 10% menos densidade óssea lombar do que aquelas com menstruações normais (34). Em outra pesquisa, constatou-se que mulheres jovens com anorexia nervosa evidenciavam acentuada perda óssea trabecular e cortical, na ordem de 4-10% ao ano (56). Esse padrão é principalmente preocupante para atletas adolescentes, pois cerca de 50% da mineralização óssea e 15% da altura adulta são estabelecidos normalmente durante a segunda década da vida (3, 91). Não é de surpreender que atletas pré-menopáusicas amenorricas tenham alta taxa de fraturas de estresse, com mais fraturas relacionadas ao início tardio da menarca (91). Além disso, a perda de osso que ocorre pode ser irreversível, e as fraturas osteopóricas em cunha podem deteriorar a postura pelo resto da vida (76).

### Prevenção e Tratamento da Osteoporose

A osteoporose não é uma doença de início agudo nem um efeito secundário inevitável do envelhecimento, mas representa o resultado de uma vida inteira de hábitos destrutivos para o sistema esquelético (11). A identificação precoce de baixa densidade de minerais ósseos é conveniente, pois após a ocorrência de fraturas osteopóricas observa-se perda irreversível da estrutura trabecular (73). Apesar de a dieta apropriada, controle hormonal e exercício podem funcionar no sentido de aumentar a massa óssea em qualquer estágio da vida, a evidência sugere que é mais fácil prevenir a osteoporose do que tratá-la. O fator isolado mais importante para

#### amenorréia

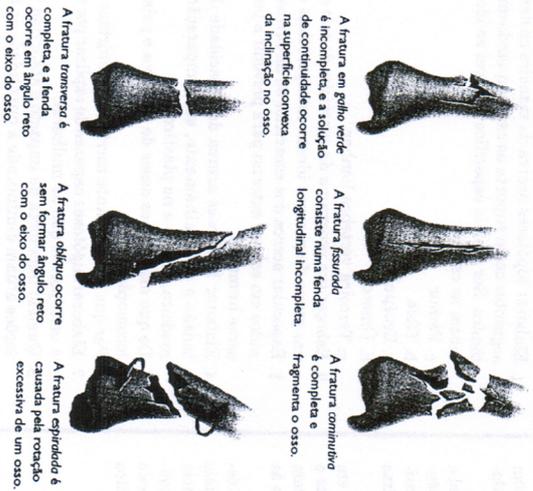
Interrupção das menstruações  
Alimentação descontrolada  
amenorréia e osteoporose constituem uma tríade perigosa e potencialmente letal para mulheres atletas.

Anorexia e bulimia nervosa são distúrbios alimentares que ameaçam a vida



Competidoras de esportes de resistência e relacionadas à aparência física são particularmente propensas a desenvolver a perigosa tríade da mulher atleta.

**Fig. 4.6**  
Tipos de fraturas: De Shier, Butler, e Lewis. *Hole's Human Anatomy and Physiology*, © 1996. Reimpressa com autorização de The McGraw-Hill Companies, Inc.



A fratura em galho verde é incompleta, e a solução de continuidade ocorre na superfície convexa da inclinação no osso.

A fratura fissurada consiste numa fenda longitudinal incompleta.

A fratura cominuída é completa e fragmenta o osso.

A fratura torçora é completa, e a fenda ocorre em ângulo reto com o eixo do osso.

A fratura oblíqua ocorre sem formar ângulo reto com o eixo do osso.

A fratura espiralada é causada pela rotação excessiva de um osso.

po de um esquiador roda com relação a uma bota e a um esqui durante uma queda, as cargas de torção podem causar fratura espiralada da tíbia. Nesses casos, um padrão combinado de sobrecarga de cisalhamento e de tensão produz falha com orientação oblíqua em relação ao eixo longitudinal do osso (62).

**Impactada**  
Fragmentos mantidos juntos por uma carga compressiva

Por ser o osso mais forte para resistir à compressão do que resistir à tensão e ao cisalhamento, as fraturas traumáticas por compressão do osso (não havendo osteoporose) são raras. Entretanto, na vigência de cargas combinadas, uma fratura que resulta de carga de torção pode ser também impactada pela presença de uma carga compressiva. Na fratura impactada os lados opostos são comprimidos juntos. As fraturas que resultam em depressão dos fragmentos ósseos para dentro dos tecidos subjacentes são denominadas fraturas com atandamento.

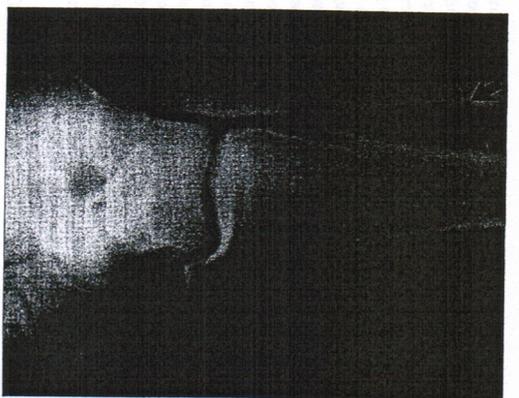
Como os ossos de crianças contêm quantidades relativamente maiores de colágeno do que os ossos de adultos, eles são mais flexíveis e mais resistentes à fratura do que os ossos de adultos na vigência de cargas habituais. Conseqüentemente, as fraturas em galho verde, ou fraturas incompletas, são mais comuns em crianças do que em adultos (Figura 4.6). Uma fratura em galho verde é uma fratura incompleta causada por cargas de inclinação ou de torção.

**Fratura de estresse**  
Fratura que resulta de cargas repetidas com magnitude relativamente baixa

**Reação de estresse**  
Patologia óssea progressiva associada a cargas repetidas

As fraturas de estresse, também conhecidas como fraturas de fadiga, resultam de forças de baixa magnitude suportadas em bases repetidas. Qualquer aumento na magnitude ou na frequência da sobrecarga óssea produz reação de estresse, que pode consistir em dano microscópico (31). O osso responde ao dano microscópico pela remodelagem: primeiro os osteoclastos reabsorvem o tecido lesado; a seguir, os osteoblastos depositam osso novo no local. Quando não há tempo para completar o processo de reparo antes de ocorrer dano microscópico adicional, a conditão pode progredir para fratura de estresse. As fraturas de estresse comecem como uma pequena interrupção na continuidade das camadas externas do osso cortical, mas podem piorar com o passar do tempo, resultando eventualmente em fratura cortical completa.

Em corredores, grupo particularmente propenso às fraturas de estresse, cerca de 50% das fraturas ocorrem na tíbia e aproximadamente 20% acometem os metatarsais.



A radiografia mostra uma fratura de estresse na extremidade distal da fíbula. Cortesia: Lester Cain, MD.

tos, tendo sido relatadas, também, fraturas do colo do fêmur e do púbis (38,55). Aumentos na duração ou na intensidade do treinamento, que não proporcionam tempo suficiente para que possa ocorrer remodelagem óssea, são as principais causas. Outros fatores que predis põem os corredores para fraturas de estresse incluem fadiga muscular e alterações bruscas tanto na superfície onde é realizada a corrida quanto na direção da corrida (55).

**Lesões Epifisárias**

Cerca de 10% das lesões esqueléticas agudas (traumáticas) em crianças e adolescentes acometem a epífise (52). Lesões epifisárias incluem as da placa epifisária cartilaginosa, da cartilagem articular e da apófise. As apófises são locais de inserções tendinosas no osso, onde o formato dos ossos é influenciado pelas cargas tensivas a que esses locais estão sujeitos. As epífises dos ossos longos são denominadas epífises de pressão e as apófises são denominadas epífises de tração, em conformidade com os tipos de cargas fisiológicas presentes. Tanto as cargas agudas quanto as repetitivas podem lesar a placa de crescimento, resultando potencialmente em fechamento prematuro da junção epifisária e em encerramento do crescimento ósseo.

Outra forma de lesão epifisária, a osteocondrose, envolve a interrupção do suprimento sanguíneo para uma epífise, com necrose tecidual associada e potencial de formação da epífise. A causa dessa conditão não está elucidada. A osteocondrose ocorre mais comumente entre três e dez anos de idade, sendo mais prevalente em meninos que em meninas (75).

A osteocondrose de uma apófise, conhecida como apofisite, está associada frequentemente com avulsões traumáticas. Os locais comuns de apofisite são o calcâneo e o tubérculo tibial na área de inserção do tendão patelar, onde o distúrbio recebe as designações, respectivamente, de doença de Sever e de doença de Osgood-Schlatter.

As lesões de uma placa epifisária podem encerrar precocemente o crescimento ósseo.

## REFERÊNCIAS

1. Abbott TA 3d, Lawrence BJ, and Wallach S: Osteoporosis: the need for comprehensive treatment guidelines, *Clin Ther* 18:127, 1996.
2. Adrian MJ and Cooper JM: *Biomechanics of human movement*, Indianapolis, 1989, Benchmark Press, Inc.
3. Allen SH: Primary osteoporosis. Methods to combat bone loss that accompanies aging, *Postgrad Med* 93:43, 1993.
4. Anonymous: ACGSM position stand on osteoporosis and exercise, *Med Sci Sports Exerc* 27:1, 1995.
5. Bachrach LK: Bone mineralization in childhood and adolescence, *Curr Opin Pediatr* 5:467, 1993.
6. Bartel JP, Coxam V, and Davisco MJ: Physical exercise and the skeleton, *Arch Physiol Biochem* 103:681, 1995.
7. Bass SL: The prepubertal years: a uniquely opportune stage of growth when the skeleton is most responsive to exercise? *Sports Med* 30:73, 2000.
8. Birkenhager-Frenkel DH et al: Age-related changes in cancellous bone structure, *Bone Mineral* 4:197, 1988.
9. Bloomfield SA: Changes in musculoskeletal structure and function with prolonged bed rest, *Med Sci Sports Exerc* 29:197, 1997.
10. Blum M, Harris SS, Must A, Phillips SM, Rand WM, and Dawson-Hughes B: Weight and body mass index at menarche are associated with premenopausal bone mass, *Osteoporos Int* 12:588, 2001.
11. Bookman RS: Osteoporosis and its management in older women, *J Am Med Womens Assoc* 52:121, 1997.
12. Burger EH and Klein-Nuljen J: Responses of bone cells to biomechanical forces in vitro, *Adv Dent Res* 13:93, 1999.
13. Carrié-Fassler AL and Bonjour JP: Osteoporosis as a pediatric problem, *Pediatr Clin North Am* 42:811, 1995.
14. Chow JMW: Role of nitric oxide and prostaglandins in the bone formation response to mechanical loading, *Exerc Sport Sci Rev* 28:185, 2000.
15. Collieran PN, Wilkerson MK, Bloomfield SA, Suva LJ, Turner RT, and Delip MD: Alterations in skeletal perfusion with simulated microgravity: a possible mechanism for bone remodeling, *J Appl Physiol* 89:4046, 2000.
16. Conlisk AJ and Galuska DA: Is caffeine associated with bone mineral density in young adult women? *Prev Med* 31:562, 2000.
17. Cowin SC: Bone poroelasticity, *J Biomech* 32:217, 1999.
18. Creighton DL, Morgan AL, Boardley D, and Brothman PG: Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes, *J Appl Physiol* 90:565, 2001.
19. Cromer B and Harel Z: Adolescents: at increased risk for osteoporosis?, *Clin Pediatr* 39:565, 2000.
20. Deal CL: Osteoporosis: prevention, diagnosis, and management, *Am J Med* 102:355, 1997.
21. Ding M: Age variations in the properties of human tibial trabecular bone and cartilage, *Acta Orthop Scand Suppl* 292:1, 2000.
22. Drinkwater BL: Exercise and aging: the female masters athlete. In Puhl J, Brown CH, and Voy RL: *Sport science perspectives for women*, Champaign, Ill, 1987, Human Kinetics Publishers, Inc.
23. Ebeling PR, Ward JJ, Young S, Poon C, Salehi N, Nicholson GC, and Kotowicz MA: Effects of calcitriol or calcium on bone mineral density, bone turnover, and fractures in men with primary osteoporosis: a two-year randomized, double blind, double placebo study, *J Clin Endocrinol Metab* 86:4098, 2001.
24. Fogelholm GM, Stevanen HT, Kukkonen-Harjula TK, and Pasanen ME: Bone mineral density during reduction, maintenance and regain of body weight in premenopausal, obese women, *Osteoporos* 12:199, 2001.
25. Francois S, Benmalek A, Guaydier-Souquieres G, Sabatier JP, and Marcelli C: Heritability of bone mineral density, *Rev Rhum Engl Ed* 66:146, 1999.
26. Frankel VH and Nordin M: Biomechanics of bone. In Nordin M and Frankel VH: *Basic biomechanics of the musculoskeletal system* (3rd ed.), Philadelphia, 2001, Lippincott Williams & Wilkins.
27. Frost HM: Defining osteopenias and osteoporoses: another view (with insights from a new paradigm), *Bone* 20:385, 1997.
28. Frost HM: From Wolff's law to the Utah paradigm: insights about bone physiology and its clinical applications, *Anat Rec* 262:398, 2001.
29. Fuchs RK, Bauer JJ, and Snow CM: Jumping improves hip and lumbar spine bone mass in prepubescent children: a randomized controlled trial, *J Bone Miner Res* 16:148, 2001.
30. Galuska DA and Sowers MR: Menstrual history and bone density in young women, *J Womens Health Genet Based Med* 8:647, 1999.
31. Gibson LJ: The mechanical behaviour of cancellous bone, *Biomater* 18:317, 1985.
32. Gronstrom SK and Zernicke RF: Exercise-related stress responses in bone, *J Appl Biomech* 9:2, 1993.
33. Haller E: Eating disorders. A review and update, *West J Med* 157:668, 1992.
34. Heinonen A, Stevanen H, Kannus P, Oja P, Pasanen M, Vuori I: High-impact exercise and bones of growing girls: a 9-month controlled trial, *Osteoporos Int* 11:1010, 2000.
35. Helander ML, Haarbo J, and Christiansen C: Running induces menstrual disturbances but bone mass is unaffected, except in amenorrheic women, *Am J Med* 95:53, 1993.
36. Hebert JA and Smucker DR: The female athlete triad, *Am Fam Physician* 61:3357, 2000.
37. Hopper JL and Seeman E: The bone density of female twins discordant for tobacco use, *New Eng J Med* 330:387, 1994.
38. Huiskes R, Ruimerman R, van Lenthe GH, and Janssen JD: Effects of mechanical forces on maintenance and adaptation of form in trabecular bone, *Nature* 405:704, 2000.
39. Hultko A and Orava S: Stress fractures in athletes. *Int J Sports Med* 8:221, 1987.
40. Huusonen J, Vaissanen SB, Kroger H, Jurvelin C, Bouchard C, Alhava E, and Rautama R: Determinants of bone mineral density in middle aged men: a population-based study, *Osteoporos Int* 11:702, 2000.
41. Karlsson MK, Magnusson H, Karlsson C, and Seeman E: The duration of exercise as a regulator of bone mass, *Bone* 28:128, 2001.
42. Keaveny TM, Morgan EF, Niebur GL, and Yeh OC: Biomechanics of trabecular bone, *Ann Rev Biomed Eng* 3:307, 2001.
43. Kelley GA, Kelley KS, and Ryan ZV: Exercise and bone mineral density in men: a meta analysis, *J Appl Physiol* 88:1730, 2000.
44. Kenny AM and Prewood KM: Osteoporosis: Pathogenesis, diagnosis, and treatment in older adults, *Rheum Dis Clin North Am* 26:569, 2000.
45. Khan K, McKay HA, Haapasalo H, Bennell KL, Rowood MR, Kannus P, Wark JD: Does childhood and adolescence provide a unique opportunity for exercise to strengthen the skeleton? *J Sci Med Sport* 3:150, 2000.
46. Kontulainen S, Kannus P, Haapasalo H, Stevanen H, Pasanen M, Heinonen A, Oja P, and Vuori I: Good maintenance of exercise-induced bone gain with decreased training of female tennis and squash players: a prospective 5-year follow-up study of young and old starters and controls, *J Bone Miner Res* 16:202, 2001.
47. Kolner B and Fors Nielsen S: Bone mineral content of the lumbar spine in normal and osteoporotic women: cross-sectional and longitudinal studies, *Clin Sci* 62:329, 1982.
48. LeBlanc AD, Evans HJ, Schneider VS, Wendt RE 3rd, Hedrick TD: Changes in intervertebral disc cross-sectional area with bed rest and space flight, *Spine* 19:812, 1994.
49. LeBlanc AD et al: Bone mineral loss and recovery after 17 weeks of bed rest, *J Bone Miner Res* 8:843, 1990.
50. Lips P: Epidemiology and predictors of fractures associated with osteoporosis, *Am J Med* 103:35, 1997.
51. Loomer PM: The impact of microgravity on bone metabolism in vitro and in vivo, *Crit Rev Oral Biol Med* 12:252, 2001.

Smith AD: The female athlete triad: causes, diagnosis, and treatment, *Phys Sportsmed* 24:7, 1996.  
*Presents current information related to causes, diagnosis, and treatment of the female athlete triad in a readable, easy-to-understand format.*  
 Turner RT: Physiology of a microgravity environment invited review: what do we know about the effects of spaceflight on bone? *J Appl Physiol* 89:840, 2000.  
*Reviews the scientific literature on the effects of spaceflight on bone.*

## PÁGINAS DA INTERNET CORRELATAS

- Alfred I DuPont Institute, Department of Pediatric Orthopaedics  
[http://gaia.atai.nadel.edu/resp695/homepage/pd\\_ortho/orthhome.htm](http://gaia.atai.nadel.edu/resp695/homepage/pd_ortho/orthhome.htm)  
*Contains numerous case presentations with images, divided into clinical, gait lab, and pediatric sections.*
- American Academy of Orthopaedic Surgeons  
<http://www.aaos.org>  
*Includes information for the public, as well as for orthopods, with links for current news, a library, and research.*
- Clinical Orthopaedics and Related Research  
<http://www.corronline.com>  
*The online version of Clinical Orthopaedics and Related Research contains peer-reviewed, original articles on general orthopaedics, specialty topics, the basic sciences and pathology report on the latest advances in current research and practice.*
- Medscape Orthopaedics  
<http://orthopedics.medscape.com/Home/Topics/orthopedics/orthopedics.html>  
*Orthopedic site that includes descriptions of courses, protocols, medical conferences, news, a bookstore, an on-line chat, an image gallery, an interactive exam room with orthopedic cases, and excellent links to other bone-related sites.*
- Orthopaedic Research Laboratories  
<http://ort-inc.com/>  
*Provides links to orthopedic biomechanics courses and research.*
- Orthopaedic Research Society  
<http://www.ors.org>  
*Provides information about the organization and access to the table of contents for past and current issues of the Journal of Orthopaedic Research.*
- The American Orthopaedic Society for Sports Medicine  
<http://www.sportsmed.org>  
*Contains resources related to orthopaedic sports medicine education and research, including patient and professional education materials and selected abstracts from The American Journal of Sports Medicine.*
- Wheelees' Textbook of Orthopaedics  
<http://www.medmedia.com/Welcome.html>  
*A comprehensive review of orthopaedics, with a search engine to locate topics related to fracture, joints, muscles, nerves, etc.*
- World Ortho  
<http://www.worldortho.com>  
*Includes links to online textbooks, case studies, core orthopaedic topics, lecture notes, and quizzes.*

## TERMOS CHAVES

- atavância  
 amenorreia  
 anisotrópico  
 atrofia óssea
- objeto relativamente rígido que pode rodar ao redor de um eixo pela aplicação de uma força  
 interrupção das menstruações  
 que exibe propriedades mecânicas diferentes em resposta a cargas provenientes de direções diferentes  
 redução na massa óssea como resultado da predominância da atividade osteoclástica

cartilagem articular  
 deformação  
 epífise  
 esqueleto apendicular  
 esqueleto axial  
 força compressiva  
 fratura  
 fratura de estresse  
 hipertrofia óssea  
 impactados  
 osso cortical  
 osso trabecular  
 ossos curtos  
 ossos irregulares  
 ossos longos  
 ossos planos  
 osteoblastos  
 osteoclastos  
 osteopenia  
 osteoporose  
 periosteo  
 poroso  
 reação de estresse  
 resistência à tração  
 (tensiva)  
 rigidez

camada protetora de tecido conjuntivo resistente e flexível sobre as extremidades articulares dos ossos longos  
 quantidade de distorção dividida pelo comprimento original da estrutura ou pela orientação angular original da estrutura  
 centro de crescimento de um osso que produz tecido ósseo novo como parte do processo normal de crescimento até fechar-se durante a adolescência ou no início da vida adulta  
 ossos que compõem os apêndices corporais  
 crânio, vértebras, esterno e costelas  
 capacidade de resistir a uma força de compressão ou de esmagamento  
 ruptura na continuidade de um osso  
 fratura que resulta de sobrecargas repetidas com magnitude relativamente baixa aumento na massa óssea como resultado da predominância da atividade osteoblástica  
 mantidos juntos por uma carga compressiva  
 tecido conjuntivo mineralizado e compacto com baixa porosidade, encontrado nas diáfises dos ossos longos  
 tecido conjuntivo mineralizado menos compacto com alta porosidade que é encontrado nas extremidades dos ossos longos e nas vértebras  
 pequenas estruturas esqueléticas cubiformes, incluindo os ossos do carpo e do tarso  
 estruturas esqueléticas que formam irregulares, como por exemplo o sacro  
 estruturas esqueléticas que consistem em uma longa diáfise com extremidades bulbosas, como por exemplo o fêmur  
 estruturas esqueléticas cujo formato é essencialmente plano, como por exemplo a escápula  
 células ósseas especializadas que produzem tecido ósseo novo  
 células ósseas especializadas que reabsorvem o tecido ósseo  
 condição com densidade reduzida dos minerais ósseos que predispõe os indivíduos às fraturas  
 distúrbio que consiste em uma redução na massa e na resistência dos ossos, resultando em uma ou mais fraturas  
 membrana com duas camadas que recobre o osso: os tendões dos músculos se inserem na camada externa, com a camada interna sendo um local de atividade osteoblástica  
 que contém poros ou cavidades  
 patologia óssea progressiva associada a cargas repetidas  
 capacidade de resistir a uma força de tração ou de alongamento  
 relação entre estresse e tensão em um material submetido a uma determinada carga; isto é, o estresse dividido pela quantidade relativa de mudança no formato da estrutura