

SISTEMA MUSCULAR ESQUELÉTICO

1

Hamilton Haddad Junior
Maria Aparecida Vinconti

- 1.1** Introdução: tipos musculares
 - 1.2** Caracterização macroanatômica e funcional do músculo estriado esquelético
 - 1.3** Alavancas
 - 1.4** Contrações isotônicas e isométricas
 - 1.5** Análise da marcha humana
 - 1.6** Principais músculos do homem
 - 1.7** Conclusão
- Referências

O material desta disciplina foi produzido pelo Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada (CEPA) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP) para o projeto Licenciatura em Ciências (USP/Univesp).

Créditos

Coordenação de Produção: Beatriz Borges Casaro.

Revisão de Texto: Marina Keiko Tokumaru.

Design Instrucional: Gezilda Balbino Pereira, Juliana Moraes Marques Giordano, Maria Angélica S. Barrios (estagiária), Melissa Gabarrone, Michelle Carvalho e Vani Kenski.

Projeto Gráfico: Daniella de Romero Pecora, Leandro de Oliveira, Priscila Pesce Lopes de Oliveira e Rafael de Queiroz Oliveira.

Diagramação: Daniella de Romero Pecora, Leandro de Oliveira e Priscila Pesce Lopes de Oliveira.

Ilustração: Alexandre Rocha, Aline Antunes, Benson Chin, Camila Torrano, Celso Roberto Lourenço, João Costa, Maurício Rheinlander Klein e Thiago A. M. S.



1.1 Introdução: tipos musculares

Os músculos representam quase metade do peso corporal. As células que constituem o tecido muscular – denominadas **fibras musculares**, devido ao seu formato alongado – são capazes de transformar energia química em energia mecânica, produzindo força, movimento e calor indispensáveis para o corpo humano. Os músculos têm algumas propriedades peculiares, responsáveis por sua capacidade funcional: **excitabilidade**, **contratilidade** e **elasticidade**. Graças à excitabilidade, as fibras musculares são capazes de, assim como os neurônios, produzir potenciais de ação. Essas alterações no potencial elétrico da membrana das fibras musculares desencadeiam o mecanismo de contração muscular, como estudaremos futuramente. A contratilidade confere a capacidade de gerar tensão (força) em resposta aos potenciais de ação, podendo produzir encurtamento do músculo (contração). A elasticidade é a capacidade do músculo de retornar ao seu comprimento original depois de uma contração. Nosso organismo possui três tipos de músculo: o músculo esquelético, o músculo cardíaco e o músculo liso (Figura 1.1).

A **musculatura esquelética** está, como o nome indica, conectada aos ossos do esqueleto humano. Além de sustentar e estabilizar o corpo, ela é capaz de produzir os movimentos corporais por meio de alavancas. As fibras musculares que constituem esse tipo de músculo possuem estrias – por essa razão, ele é também chamado de músculo estriado esquelético. A **musculatura cardíaca** encontra-se somente no coração, formando a camada muscular conhecida como miocárdio. Ela também tem estrias, e é responsável pelos movimentos da

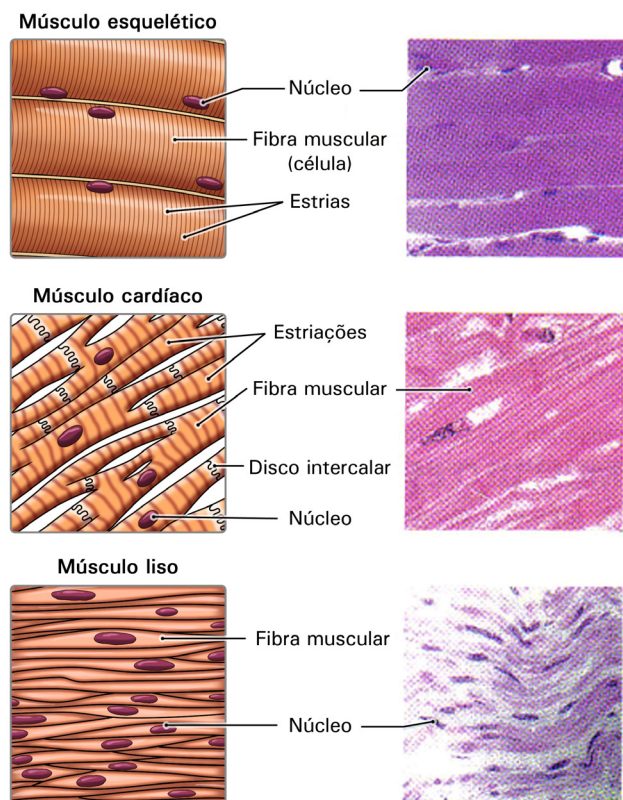


Figura 1.1: Três tipos de tecido muscular presentes no corpo humano. Podemos notar a presença de estrias nos músculos esquelético e cardíaco. Essas estrias são formadas pela alternância de bandas claras e escuras nas fibras que constituem esses músculos. / Fonte: modificado de SILVERTHORN, 2010.

bomba cardíaca que impulsionam o sangue, gerando fluxo no aparelho circulatório. A **musculatura lisa** está presente em diversos órgãos e vasos do organismo. A contração da camada muscular lisa é responsável pelo correto funcionamento dessas vísceras. Podemos observar esse fato nos movimentos peristálticos do trato gastrointestinal, que contribuem para a digestão mecânica dos alimentos. Outro exemplo é a contração ou relaxamento da camada de músculo liso que compõe os vasos sanguíneos, alterando o seu calibre.

Como já estudamos, o músculo esquelético só se contrai em resposta a um comando neural proveniente de um neurônio motor localizado no sistema nervoso central. Já o músculo cardíaco e o liso, embora sejam também controlados pelo sistema nervoso (autônomo), são capazes de responder – contraindo ou relaxando – a outras substâncias químicas presentes no organismo, como hormônios por exemplo. Normalmente, o músculo esquelético é o único que pode ser controlado conscientemente pelo indivíduo. Isso acontece, por exemplo, quando nos levantamos da cadeira ou estendemos o braço para alcançar um objeto. Não obstante, boa parte do controle da musculatura esquelética é realizada de maneira automática e involuntária, como no caso dos contínuos ajustes posturais que realizamos ao longo do dia. Sendo controladas pelo sistema nervoso autônomo, temos pouco controle voluntário sobre a musculatura lisa e cardíaca, embora isso possa ser obtido em algum grau após treinamento.

Nesta aula, vamos investigar o papel da musculatura estriada esquelética na sustentação do corpo humano e na produção do movimento.

1.2 Caracterização macroanatômica e funcional do músculo estriado esquelético

O tecido muscular esquelético é envolvido por um conjunto de três camadas de tecido conjuntivo, que revestem e protegem as fibras musculares (**Figura 1.2**). A mais externa é denominada **epimísio**; ela envolve o músculo inteiro. No interior do músculo, as fibras musculares são divididas em **fascículos** – contendo algumas dezenas até centenas de fibras – pelo **perimísio**. Finalmente, cada fibra individual é revestida por uma fina camada de tecido conjuntivo, denominada **endomísio**. Grupamentos de músculos são ainda envolvidos por duas membranas constituídas de tecido conjuntivo fibroso, denominadas **fâscias**.

A porção média do músculo, que apresenta capacidade contrátil, é denominada **ventre**.

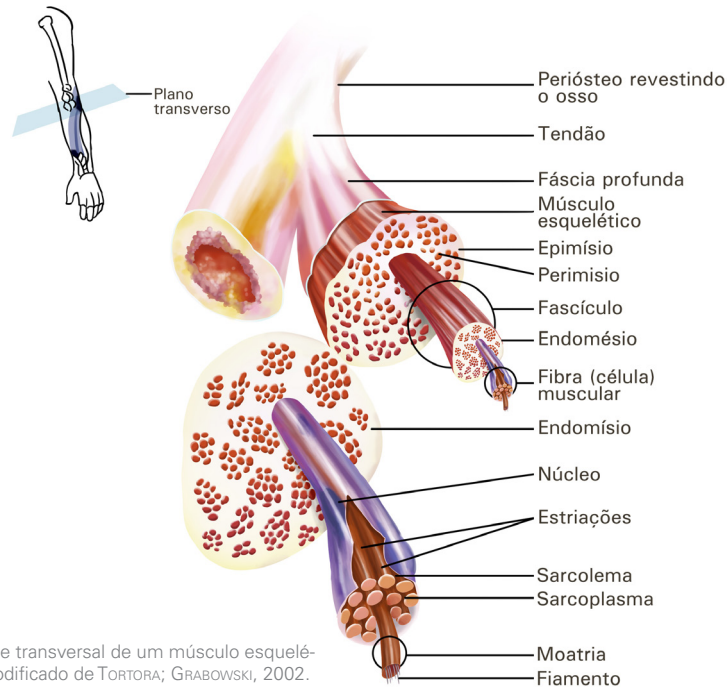


Figura 1.2: Corte transversal de um músculo esquelético. / Fonte: modificado de TORTORA; GRABOWSKI, 2002.

As **extremidades** do músculo se conectam aos ossos do esqueleto, ou a outras estruturas, por meio de tecido conjuntivo rico em fibras de colágeno. Essas extremidades – de cor esbranquiçada e sem capacidade contrátil – são denominadas **tendões**, quando possuem formato cilíndrico (ou em fita), ou **aponeuroses**, quando formam lâminas achatadas. Os locais de fixação das extremidades do músculo no osso são denominados **origem** e **inserção**. A origem corresponde ao ponto de fixação mais próximo ao tronco, ou, dependendo da parte em questão, ao osso que permanece fixo durante a execução do movimento. A inserção é a fixação à parte que se move durante a contração do ventre muscular, geralmente mais distante do tronco (Figura 1.3).

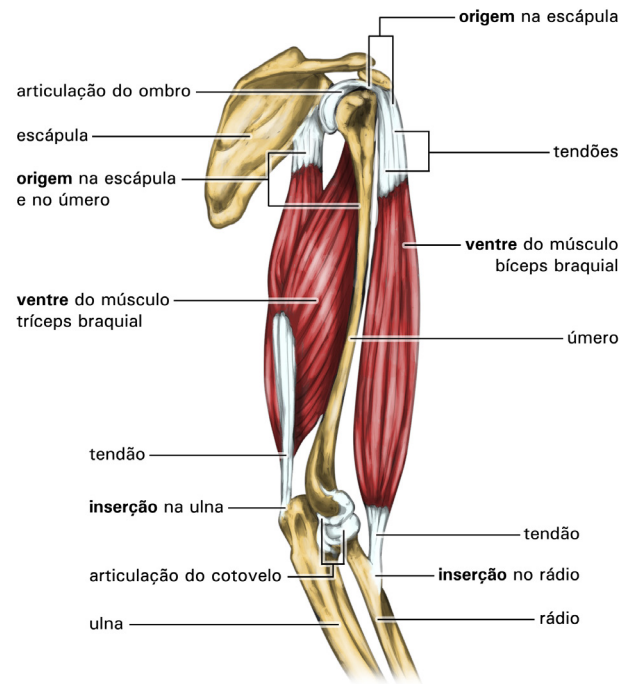


Figura 1.3: Origens e inserções do bíceps e tríceps. / Fonte: modificado de TORTORA; GRABOWSKI, 2002.

Uma importante classe de movimentos realizada pelos músculos esqueléticos são os movimentos de **flexão** e **extensão** dos membros. A flexão caracteriza-se pela aproximação das porções centrais de dois ossos, causada pela contração do músculo que os conecta. Nesse caso, esse músculo seria um **flexor**. Já a extensão é o afastamento dos ossos causado pela contração muscular – nesse caso, por um músculo **extensor** (**Figura 1.4**). Ambos os casos dependem da participação de uma articulação, uma “dobradiça” que une os dois ossos. Geralmente, as articulações possuem músculos flexores e extensores, tornando possível a realização dos dois tipos de movimento.

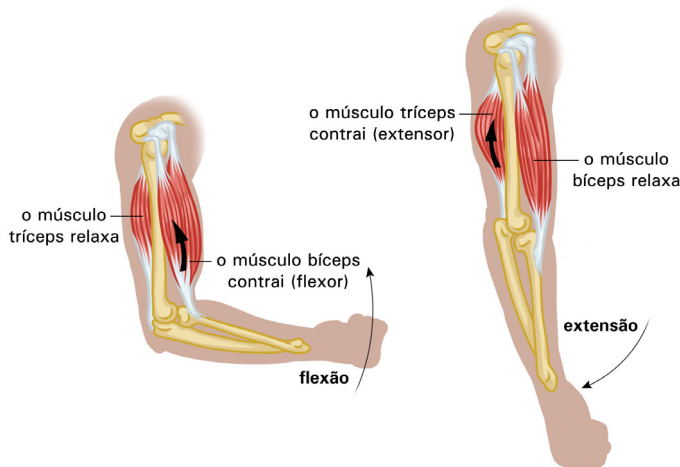


Figura 1.4: Relação de oposição entre músculos agonistas e antagonistas durante a realização de movimentos de flexão e extensão. / Fonte: modificado de SILVERTHORN, 2010.

Podemos ainda classificar grupos de músculos em **agonistas** e **antagonistas**. Quando se contraem, os músculos agonistas trabalham a favor da realização de um determinado movimento, seja de flexão ou de extensão. Já os músculos antagonistas se opõem ao movimento dos agonistas. No caso dos movimentos de flexão e extensão do antebraço, representados na **Figura 1.4**, podemos observar a relação de antagonismo entre os músculos bíceps e tríceps braquiais. Nesse caso, para que ocorra a flexão, o bíceps precisa se contrair concomitantemente ao relaxamento de seu antagonista: o tríceps. Já o movimento de extensão depende da contração do tríceps ao mesmo tempo que seu antagonista – o bíceps – relaxa. Podemos notar que um músculo será agonista ou antagonista, dependendo do movimento que está sendo analisado. O mecanismo neural que permite que ocorra simultaneamente a contração do agonista e o relaxamento do antagonista é denominado **inervação recíproca**. Na substância cinzenta medular, motoneurônios enviam potenciais de ação para a musculatura agonista (provocando sua contração) ao mesmo tempo que há inibição de motoneurônios que inervam músculos antagonistas. Desse modo, a inervação recíproca contribui para aumentar a

velocidade e eficiência da contração, já que a ativação de um dado grupo de músculos ocorre sem a oposição de uma contração antagonista ao movimento desejado.

Ainda que seja um mecanismo eficiente para a realização de flexões e extensões, a inibição recíproca não representa uma boa estratégia quando a finalidade é o posicionamento fixo, sustentado e estável de uma articulação. Imaginemos uma situação em que desejamos tirar uma fotografia de alguém. Nesse caso, em vez de movimentos de flexão e extensão, o objetivo é manter a imobilidade dos membros superiores no momento de segurar a câmera fotográfica. Isso só é possível graças à contração simultânea de músculos agonistas e antagonistas. Esse processo é denominado **co-contração**. Embora mais custosa em relação ao gasto energético, a co-contração é essencial para a adoção de posturas estáveis.

1.3 Alavancas

Para produzir os movimentos, os músculos utilizam alavancas formadas pelos ossos e articulações do organismo. Uma alavanca é um instrumento físico constituído de um braço rígido e um ponto de apoio – também chamado de ponto fixo, ou fulcro. Ao longo do braço rígido, duas forças são aplicadas: a força potente e a força resistente. A força potente é aquela capaz de gerar **torque** – força capaz de produzir movimento rotacional em uma alavanca. Quanto mais distante do ponto de apoio for aplicada a força potente, maior será o torque. A força resistente, como o nome indica, é a força que cria resistência à força potente. É, portanto, a força que precisa ser vencida para que o movimento ocorra (**Figura 1.5**). As distâncias entre o ponto de apoio e as forças potente e resistente são fundamentais para as características funcionais de uma alavanca. No corpo humano, os braços rígidos são os ossos, e os pontos de apoio são as articulações. Por meio da força gerada pela contração, o papel dos músculos é gerar torque para movimentar os braços rígidos (ossos) da alavanca ou resistir às cargas aplicadas a ela. Existem três tipos básicos de alavanca: as interfixas, as inter-resistentes e as interpotentes.

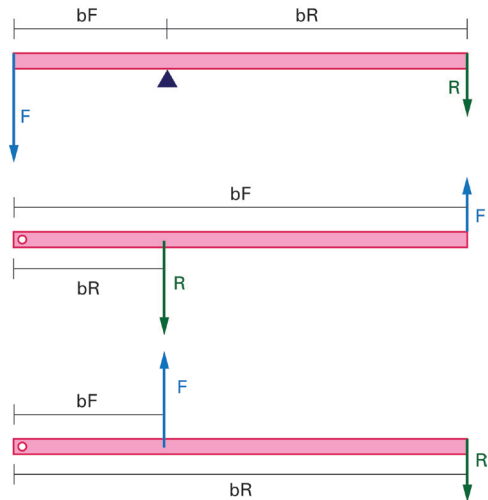


Figura 1.5: De cima para baixo: alavancas interfixa, inter-resistente e interpotente. Quanto maior a distância entre o local de aplicação da força potente e o ponto de apoio, maior será o torque gerado na alavanca. / Fonte: modificado de MOURÃO; ABRAMOV, 2012.

As alavancas em que a força potente (F) é aplicada em locais mais distantes do ponto de apoio do que a força resistente (R) possuem vantagem mecânica, como é o caso da alavanca inter-resistente. Nesse caso, uma força potente **menor** é capaz de vencer uma força resistente **maior**, como no caso de uma carruola. Já as alavancas em que a força potente é aplicada mais próximo ao ponto de apoio do que a força resistente apresentam desvantagem mecânica, como é o caso das interpotentes. Essas alavancas, entretanto, são capazes de gerar movimentos de grande velocidade e amplitude. $bF =$ braço de força, $bR =$ braço de resistência.

Nas alavancas interfixas ou de 1ª ordem, o ponto de apoio situa-se entre a força potente e a força resistente (**Figura 1.5**), como é o caso de uma gangorra. No corpo humano, esse tipo de alavanca é algumas vezes utilizado para manutenção de postura e equilíbrio. Um exemplo é a alavanca formada pela cabeça apoiada sobre a coluna vertebral (**Figura 1.6**).

Nas alavancas inter-resistentes ou de 2ª ordem, a força resistente localiza-se entre o ponto de apoio e a força potente, como em uma carruola (**Figura 1.5**). Uma vez que, nesse tipo de alavanca, a força potente é aplicada sempre mais distante do ponto de apoio do que a força resistente, dizemos que há uma vantagem mecânica, ou seja, uma força potente **menor** é capaz de vencer uma força resistente **maior**. Existem poucas alavancas de 2ª classe no organismo, entretanto elas podem mover grandes cargas. Um exemplo é a alavanca formada pela articulação temporomandibular. A comida seria a força resistente, e é posicionada mais próximo ao ponto de apoio (a articulação) do que a força potente (os músculos da mastigação), gerando uma enorme vantagem mecânica. Na **Figura 1.6**, podemos observar outro exemplo desse tipo de alavanca, em que a ponta dos pés são o ponto de apoio.

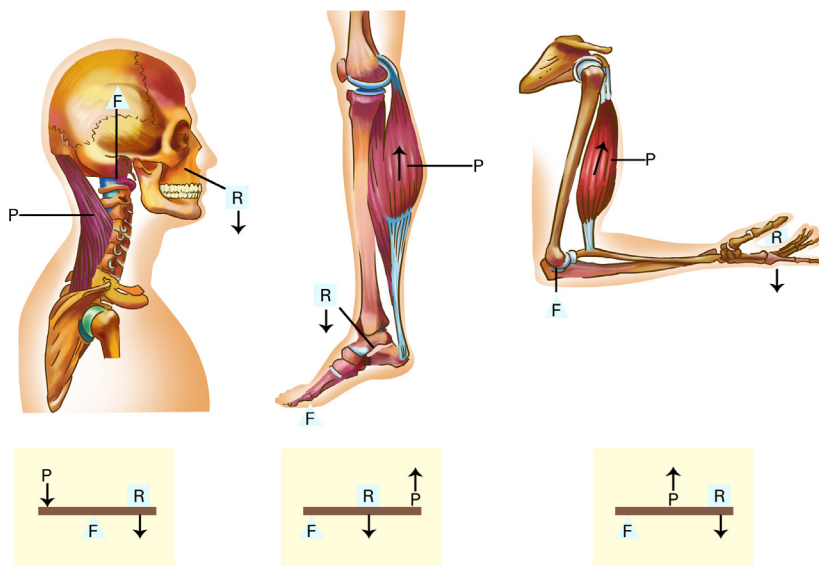


Figura 1.6: Da esquerda para a direita: exemplo de alavancas interfixa, inter-resistente e interpotente no corpo humano. O ponto de apoio, ou ponto fixo (F), é sempre uma articulação. A força potente (P) é desenvolvida pela musculatura, e deve contrapor a força resistente (R), representada nesses exemplos pela ação da força da gravidade sobre partes do corpo. / Fonte: modificado de TORTORA; GRABOWSKI, 2002.

O último tipo de alavanca é a interpotente, ou de 3ª ordem, em que a força potente se encontra entre o ponto de apoio e a força resistente (**Figura 1.5**). Devido ao fato de a força potente ser aplicada aqui sempre mais próximo ao ponto de apoio do que a força resistente, nesse tipo de alavanca, observamos uma desvantagem mecânica. Por essa razão, elas não são capazes de vencer forças resistentes muito intensas. Entretanto, isso é compensado pela alta amplitude e velocidade nos movimentos gerados. As alavancas de 3ª classe são as mais comuns no organismo, como podemos observar nas articulações do cotovelo, do ombro e do joelho, por exemplo (**Figura 1.6**).

1.4 Contrações isotônicas e isométricas

Existem basicamente dois tipos de contração do músculo esquelético: a isotônica e a isométrica.

A contração **isotônica** ocorre quando há encurtamento muscular e, consequentemente, movimento (**Figura 1.7**). Ela pode ser concêntrica, quando o movimento reduz a angulação da articulação relacionada, ou excêntrica quando o movimento aumenta essa angulação (**Figura 1.8**). Estudos mostram que as contrações excêntricas acarretam mais sofrimento muscular – podendo causar dor e lesão quando repetidas – do que as contrações isotônicas concêntricas. Os movimentos de flexão e extensão dos membros são produzidos por contrações isotônicas e estão associadas ao mecanismo de inibição recíproca, discutido anteriormente.

Quando o músculo se contrai, mas não muda seu comprimento, dizemos que ele produziu uma contração **isométrica**. Nesse caso, embora não exista movimento, o músculo gera tensão, ocorrendo também gasto energético. Imagine uma mãe parada em pé, segurando seu bebê no colo. A musculatura de

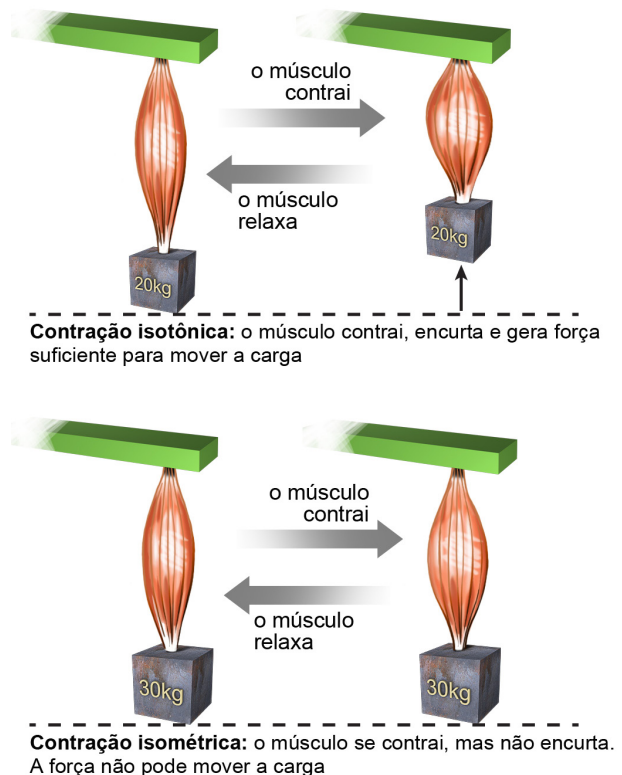


Figura 1.7: Comparação entre contrações isotônicas e isométricas em um músculo hipotético. / Fonte: modificado de SILVERTHORN, 2010.

seus membros e tronco estão se contraindo de forma isométrica. Portanto, além de manterem os membros em posições estáticas, as contrações isométricas são importantes para a manutenção postural, e normalmente envolvem o mecanismo de co-contratação discutido anteriormente. A maior parte das atividades que executamos diariamente envolve uma combinação de contrações isométricas e isotônicas.

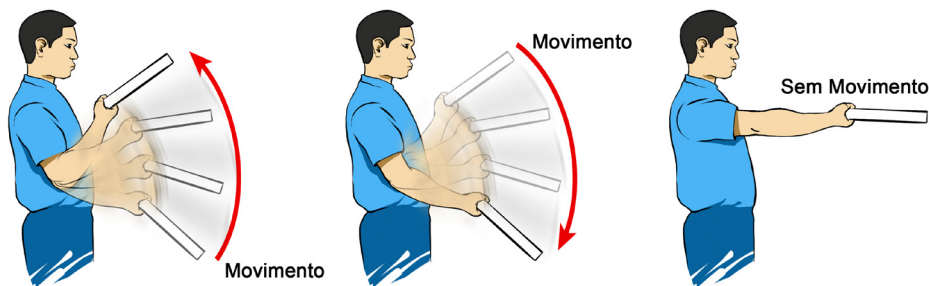


Figura 1.8: Da esquerda para a direita: exemplo de contração isotônica concêntrica, isotônica excêntrica e isométrica. / Fonte: modificado de TORTORA; GRABOWSKI, 2002.

1.5 Análise da marcha humana

Uma das principais funções do sistema muscular esquelético está relacionada à locomoção. Nos humanos, o tipo característico de locomoção é dado pelo padrão bípede da marcha, adquirido em torno de um ano de idade. Para isso, é necessária a maturação do sistema nervoso ao longo dos primeiros anos de vida, responsável pelo controle da musculatura envolvida nos movimentos da marcha.

Durante a marcha realizamos um conjunto de movimentos sequenciais coordenados, ativados por circuitos reflexos medulares que dão origem a atividades motoras rítmicas e são denominados geradores centrais de padrão. Entretanto, esses programas motores medulares estão sujeitos ao controle de estruturas do sistema nervoso central, envolvidas com os ajustes posturais, controle da velocidade, orientação espacial e correções do movimento, presentes na marcha. Para compreendermos melhor esse complexo comportamento motor de locomoção, vamos analisar as diferentes etapas presentes na marcha.

Os membros inferiores realizam os principais movimentos da marcha, que podem ser divididos em duas fases que compõem o seu ciclo. A fase de apoio compreende o período em que o membro de referência se encontra em contato com o solo, enquanto, na fase de

balanço, ocorre o movimento do membro. Na **Figura 1.9**, podemos observar um ciclo normal completo da marcha, que se inicia com o apoio do calcanhar no solo e termina com o próximo contato do calcanhar, formando o que chamamos de passada (**Figura 1.10**). Cada fase é composta por seqüências de movimentos característicos, que identificam a situação do membro de referência na marcha.

Na fase de **acomodação**, que compreende 60% do ciclo normal, podemos observar:

- apoio de calcanhar;
- aplanamento do pé;
- acomodação intermediária;
- impulso.

Na fase de **oscilação** observamos:

- aceleração;
- oscilação intermediária;
- desaceleração.

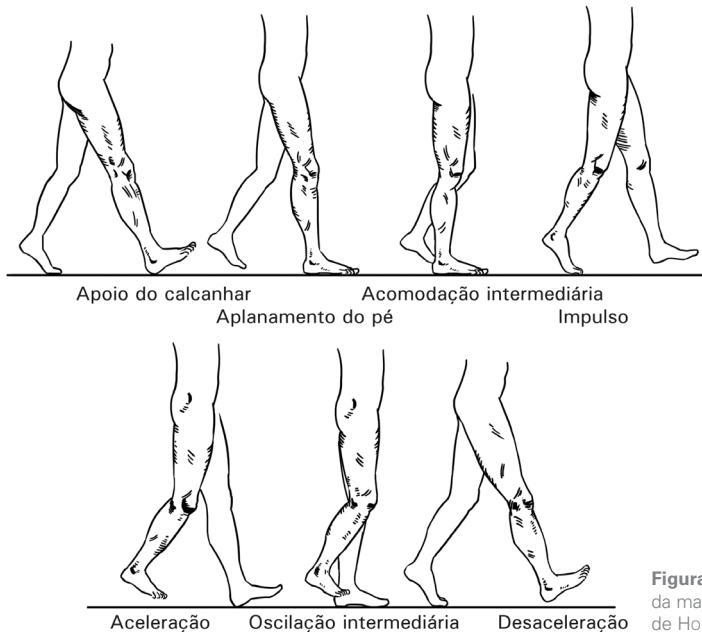


Figura 1.9: Ilustração das fases da marcha. / Fonte: modificado de HOPPENFELD, 1996.

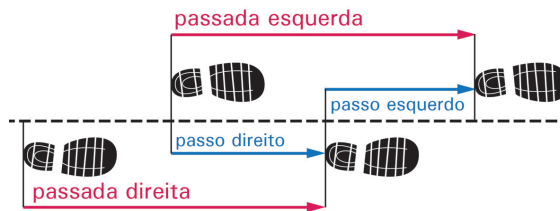


Figura 1.10: Ilustração das passadas direita e esquerda e seus respectivos passos. / Fonte: modificado de O'SULLIVAN, 2010.

1.6 Principais músculos do homem

A seguir, as **Figuras 1.11 e 1.12** representam alguns dos principais músculos e tendões do corpo humano.

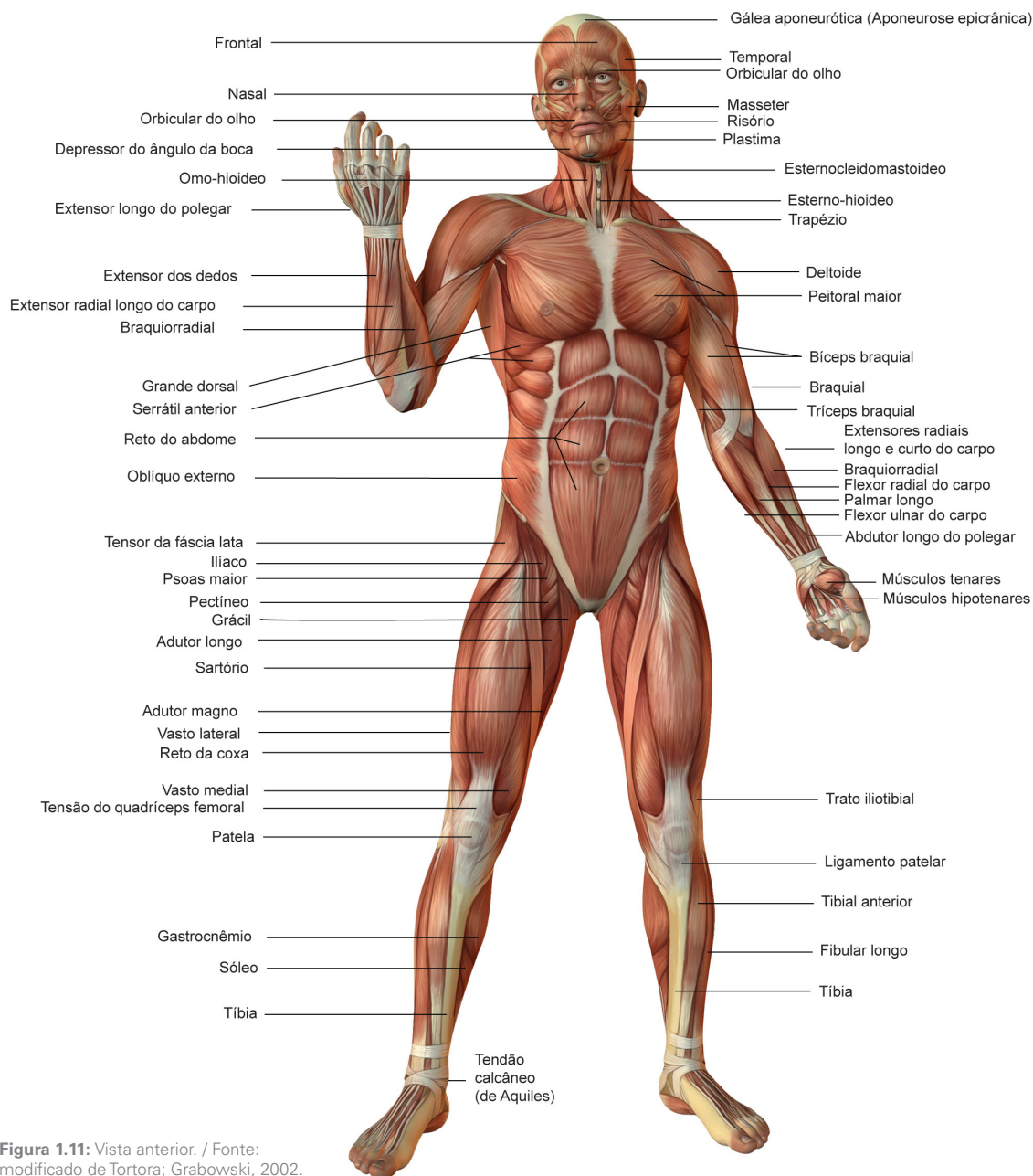


Figura 1.11: Vista anterior. / Fonte: modificado de Tortora; Grabowski, 2002.

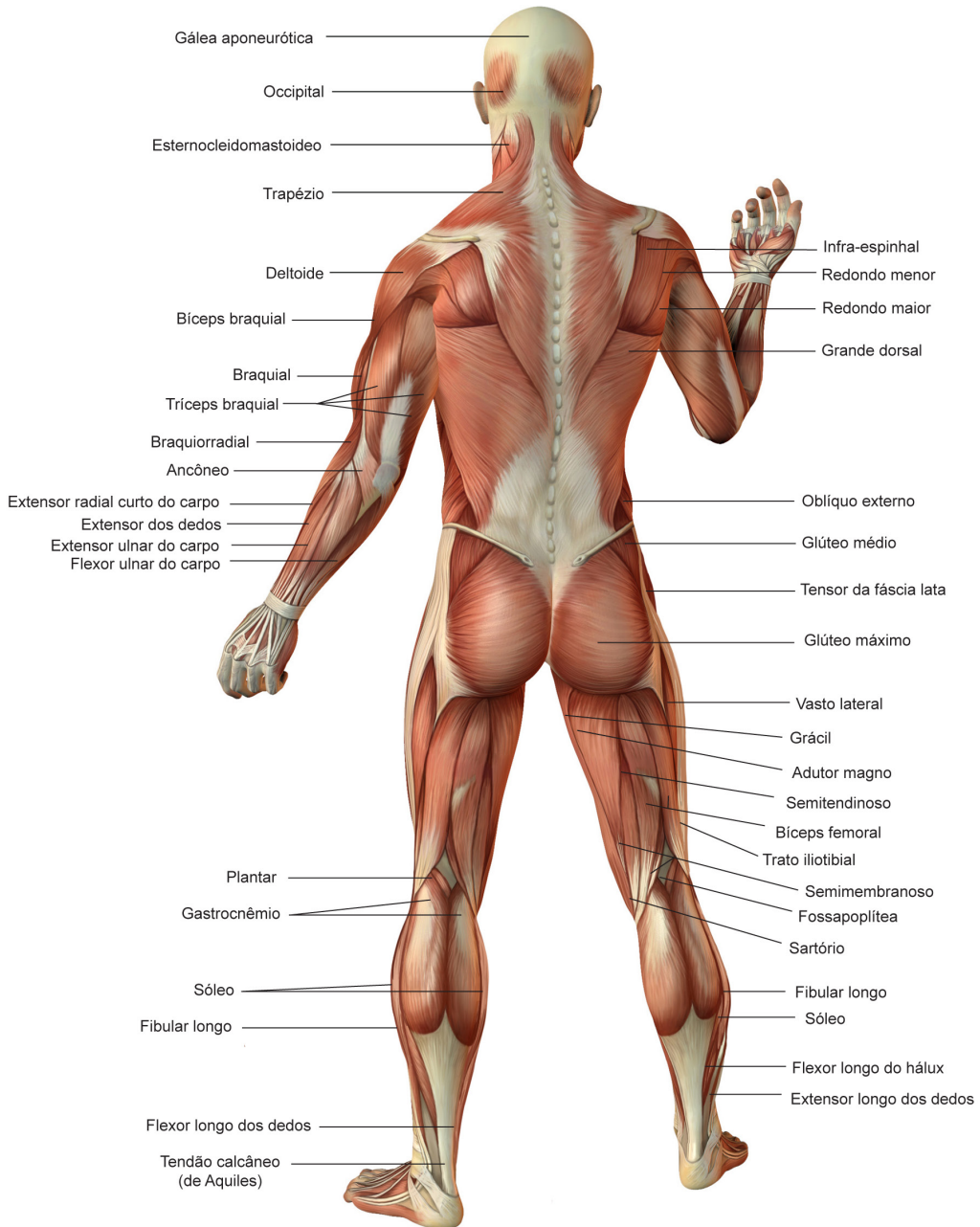


Figura 1.12: Vista posterior. / Fonte: modificado de Tortora; Grabowski, 2002.

1.7 Conclusão

Nesta aula, apresentamos de maneira introdutória os princípios básicos de funcionamento do sistema muscular humano. Inicialmente, diferenciamos o tecido muscular esquelético dos tecidos musculares liso e cardíaco. Em seguida, fizemos uma caracterização anatômica e funcional do músculo estriado esquelético, ressaltando o papel dos vários tipos de alavanca no movimento humano. Foi brevemente discutido o papel das contrações isotônicas e isométricas. Analisamos então a marcha humana – um dos movimentos mais importantes do nosso repertório motor. Finalmente, apresentamos os principais músculos do corpo humano.



Agora é a sua vez...

Agora que você finalizou a leitura do texto, continue explorando os recursos, que preparamos para você, disponibilizados no Ambiente Virtual de Aprendizagem, e não deixe de realizar as atividades on-line **Atividade 1.1: torque e alavancas** e **Atividade 1.2: contrações isotônicas e isométricas**.

Referências

- AIRES, M. M. **Fisiologia**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- MOURÃO, C. A.; ARAMOV, D. M. **Biofísica Essencial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.
- SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia Humana: Uma Abordagem Integrada**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. **Princípios de Anatomia e Fisiologia**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.