

# ESTUDO do MOVIMENTO

Pedro Pezarat Correia



# ÍNDICE

<b>Prefácio</b>	<b>5</b>
<b>Osteologia e Artrologia</b> Pedro Pezarat Correia, Margarida Espanha e Augusto Gil Pascoal	<b>7</b>
<b>Miologia</b> Pedro Pezarat Correia e Augusto Gil Pascoal	<b>29</b>
<b>Controlo e coordenação do movimento</b> Pedro Pezarat Correia	<b>41</b>
<b>Fundamentos de mecânica para análise do movimento</b> Orlando Fernandes	<b>65</b>
<b>Análise da participação muscular no movimento</b> Pedro Pezarat Correia, Sandro Freitas e Raúl Oliveira	<b>73</b>
<b>Sistemas da vida orgânica interna</b> Pedro Pezarat Correia e Margarida Espanha	<b>93</b>
<b>Imagens</b>	<b>111</b>

## PREFÁCIO

A atividade física e o movimento nas suas diferentes formas de expressão (desporto, exercício para a saúde, dança, artes circenses) são fenómenos que interessam atualmente a grande parte da população que nelas intervém no papel de praticante, treinador, educador ou simples espetador. O domínio dos fundamentos biológicos subjacentes à atividade física e à produção de movimento é uma competência essencial para quem neles quer intervir ou para quem pretende, apenas, compreendê-los um pouco melhor.

Este livro foi concebido para dar apoio aos estudantes da disciplina de Estudo do Movimento do ensino secundário. Procura abordar temas com alguma complexidade, como são os do campo da biologia humana no contexto do exercício físico, com uma linguagem simples mas rigorosa. No entanto, é nosso entendimento que esta obra não se esgota necessariamente nos estudantes atrás referidos, podendo constituir um elemento de consulta e estudo a outros interessados nestes fenómenos.

Os dois primeiros capítulos do livro abordam os aspetos fundamentais da estrutura e do funcionamento dos sistemas que constituem o aparelho locomotor, o sistema osteoarticular e o sistema muscular esquelético. Em seguida, é estudado o principal sistema regulador do movimento, o sistema nervoso, e são descritos os processos de coordenação neuromuscular que estão na base de qualidades físicas essenciais como a força, a velocidade ou a flexibilidade. Para um mais cabal domínio dos fatores implicados na produção de movimento, é posteriormente apresentado um capítulo com os fundamentos mecânicos aplicados ao movimento humano. Após o estudo desses pré-requisitos, o leitor está em condições de se iniciar na análise de movimentos. Assim, no penúltimo capítulo são caracterizados os padrões neuromusculares presentes nas ações motoras mais frequentes, como a postura, os exercícios abdominais, os saltos, os lançamentos e outras ações do membro superior. Por último, são estudados os sistemas orgânicos internos e é descrita a forma como se relacionam com o aparelho locomotor e como se adaptam à prática de exercício físico.

Para consolidar os conhecimentos desenvolvidos, este livro pode ser acompanhado pelo livro de exercícios práticos, *Estudo do Movimento: Exercícios e Estudos Práticos*. A realização de fichas direcionadas para os diferentes aspetos aqui estudados, para além de permitir a consolidação dos conhecimentos envolvidos, será uma forma de desenvolver a capacidade de interpretar os fenómenos biológicos subjacentes ao movimento humano, transformando esses conhecimentos em ferramentas úteis e operacionais.

Pedro Pezarat Correia

## NOÇÕES ANATÓMICAS FUNDAMENTAIS

No estudo da anatomia humana, a descrição de estruturas corporais obriga a que consideremos uma posição de referência em relação à qual se assuma que a descrição é feita. Esta designa-se por Posição Descritiva Anatômica e, nesta, o indivíduo encontra-se em pé, com os pés paralelos e orientados para a frente, os membros superiores ao longo do tronco e as palmas das mãos viradas para a frente, ou seja, com os antebraços em supinação (Figura 1).

Em relação à posição descritiva anatômica, definem-se planos imaginários de orientação do corpo humano no espaço que nos permitem identificar um conjunto de conceitos descritivos muito úteis no estudo anatômico e morfológico, destacando-se os seguintes planos principais: sagital médio, frontal médio e horizontal médio. O plano sagital médio é um plano vertical que passa pelo meio da coluna vertebral, dividindo o corpo em duas metades: direita e esquerda. Quando comparamos dois pontos do corpo, o que está mais próximo desse plano diz-se interno e o que está mais afastado descreve-se como externo. O plano frontal médio ou coronal é também um plano vertical que divide o corpo nas partes anterior (à frente) e posterior (atrás). O plano horizontal médio é um plano paralelo ao solo que passa pela base do sacro, dividindo o corpo numa porção superior e outra inferior.

Para além dos termos atrás referidos – interno e externo, anterior e posterior, superior e inferior – também se utilizam na descrição anatômica os conceitos de proximal (algo mais próximo da cabeça) e distal (mais distante da cabeça).

## NOÇÃO DE TECIDO

Comparativamente aos organismos unicelulares, as células dos organismos multicelulares, como o organismo humano, não apresentam capacidade de comunicação direta com o meio que as rodeia. Por isso, ao contrário dos seres unicelulares, não dependem diretamente do meio envolvente para as trocas associadas com os processos que visam a manutenção do equilíbrio do organismo. Essa incapacidade foi substituída, no processo evolutivo, por uma especialização e diferenciação celular que levou células de características semelhantes a agruparem-se. Surge, desta forma, a noção de tecido: conjunto de células, com características morfológicas e fisiológicas semelhantes, e da substância que as envolve, a substância intercelular.

Consideram-se quatro tipos de tecidos fundamentais, cada um com características adaptadas para dar resposta a determinado tipo de funções: (1) o tecido epitelial, que tem como função principal o revestimento de superfícies corporais, exteriores ou interiores, mas que desempenha também funções de receção de estímulos sensoriais e de secreção glandular; (2) o tecido conjuntivo, que serve de suporte e ligação de estruturas; (3) o tecido nervoso, responsável pelas funções de regulação e controlo; (4) e o tecido muscular, que responde a estímulos através da contração, ou seja, que tem capacidade de desenvolver força. Cumprindo funções distintas, estes diferentes tipos de tecido complementam-se na constituição dos diferentes órgãos e agem em

## Tipos de articulações móveis

Já referimos que a forma das superfícies articulares condiciona a mecânica articular, definindo o tipo de movimentos que a articulação permite.

As articulações de maior mobilidade são as articulações entre superfícies de forma esférica, que permitem movimentos nos três planos do espaço. Localizam-se estrategicamente na zona de ligação de cada um dos membros ao tronco, na escapuloumeral no membro superior e na coxofemoral no membro inferior. Esta adaptação mecânica é essencial para podermos executar com o braço e a coxa qualquer movimento (flexão/extensão, adução/abdução, rotação interna/rotação externa) e, assim, libertar a extremidade respetiva (mão e pé), aumentando o mais possível o seu raio de ação.

As articulações entre superfícies arredondadas, designadas por côneos, bem como as articulações em sela, apresentam mobilidade considerável, mas menor do que as anteriores. Permitem movimento apenas em duas direções, resultando em quatro movimentos possíveis.

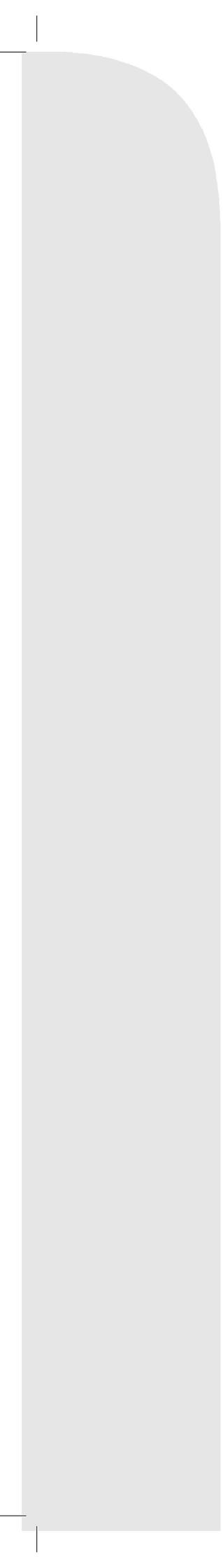
As articulações em forma de roldana, estabelecidas por superfícies ósseas designadas por trócleas, permitem apenas uma direção de movimento, sendo especializadas em movimentos de flexão e de extensão. Encontramos articulações deste tipo, por exemplo, no joelho e também entre as falanges.

Outro tipo de articulação que permite movimentos apenas numa direção é a que se efetua entre superfícies cilíndricas especializadas em movimentos de rotação de um osso em torno de outro, que funciona como eixo fixo. Existem apenas dois exemplos no nosso corpo, mas ambos de grande importância funcional, que espelham a especificidade deste tipo de mecânica articular: as articulações entre o rádio e o cúbito, determinantes na orientação fácil e versátil da palma da mão, tão importante na preensão; a articulação entre as duas primeiras vértebras da coluna, o atlas e o eixo, responsável pela rotação rápida da cabeça ao serviço da orientação do campo visual.

Por último, importa considerar as articulações entre superfícies planas, que funcionam por movimentos de deslize que podem ser realizados em todos os sentidos. Embora só permitam amplitudes reduzidas de movimento, como em determinadas zonas (carpo e tarso, por exemplo) encontramos várias articulações deste tipo a funcionar em conjunto, o movimento resultante tem uma amplitude considerável, dado ser o somatório dos pequenos deslizes das diferentes articulações envolvidas.

## Relação entre mobilidade e estabilidade articular

Estabilidade e mobilidade articular são características indissociáveis mas de sinal contrário. Dependendo da sua localização e do seu papel funcional, a estrutura de uma determinada articulação favorece mais um destes aspetos em detrimento do outro. Articulações como a coxofemoral e o joelho, porque são articulações de carga, privilegiam a estabilidade em comparação com as



# **MIOLOGIA**

Pedro Pezarat Correia e Augusto Gil Pascoal



## **ORGANIZAÇÃO MACROSCÓPICA E FUNÇÃO GERAL DO MÚSCULO ESQUELÉTICO**

A maior parte do músculo esquelético consiste em tecido muscular estriado, que se encontra no ventre muscular, a parte vermelha e central do músculo (Figura 16). O tecido muscular estriado é responsável pela capacidade de contração do músculo e é constituído por células musculares – as fibras musculares – que estão organizadas em feixes. Assumem, também, importância na composição do músculo as estruturas do tecido conjuntivo que têm cor esbranquiçada: os mísios, os tendões e as aponevroses. Os mísios são membranas que envolvem e separam quer fibras musculares, quer feixes de fibras musculares. Os tendões encontram-se nas extremidades dos músculos que têm forma alongada e asseguram a transmissão da força gerada pelo ventre muscular aos ossos. São formados por tecido conjuntivo denso modelado, sendo, portanto, muito resistentes ao alongamento. Nos músculos de forma larga, a união aos ossos é feita por estruturas de forma plana, as aponevroses, que também servem para separar músculos ou regiões musculares.

A principal propriedade do tecido muscular é a capacidade de contrair, i.e., gerar tensão no sentido do encurtamento do músculo. Um músculo atravessa sempre pelo menos uma articulação móvel, inserindo-se em segmentos ósseos aos quais transmite a força desenvolvida através das aponevroses e tendões. Assim, a força de contração tende a encurtar o músculo e, em consequência, deslocar um dos segmentos ósseos onde o músculo se insere, gerando movimento na articulação. O movimento específico que produz na articulação depende da posição que apresenta em relação a ela e da orientação da sua linha de tração, ou seja, a linha imaginária que une as extremidades do músculo. Apesar de o músculo poder produzir movimento em qualquer dos segmentos ósseos onde se insere, normalmente quando se contrai utiliza um dos segmentos ósseos onde se insere como ponto fixo – Origem do músculo – para poder movimentar o outro segmento em que se insere, designando-se essa extremidade por Inserção do músculo. Em situações excepcionais, quando a extremidade corporal está fixa, a contração de um músculo pode deslocar o segmento corporal onde tem origem. Nesses casos, diz-se que o músculo trabalha “com origem e inserção invertidas”.

## **CONSTITUIÇÃO DA FIBRA MUSCULAR E PROCESSO DE CONTRAÇÃO MUSCULAR**

Todo o processo de contração do músculo depende de estimulação prévia pelo sistema nervoso. A ligação entre o sistema nervoso e o músculo é feita por neurónios com origem na medula, os motoneurónios, que terminam nas fibras musculares (Figura 17). A ligação entre um motoneurónio e cada fibra muscular designa-se por placa motora, e é nessa entidade, com muitas semelhanças estruturais e funcionais às sinapses do sistema nervoso central, que tem origem o processo de ativação que vai pôr em ação o material contráctil da fibra muscular.

O material contráctil existe em estruturas cilíndricas que se encontram no interior das fibras musculares – as miofibrilhas – que se dispõem longitudinalmente ao longo da fibra muscular.

## Músculos do antebraço

À medida que se caminha do tronco para as extremidades, os músculos vão-se tornando mais delgados e mais numerosos, permitindo maior discriminação e precisão de movimentos. Por isso, em comparação com o braço, o antebraço apresenta um número bastante superior de músculos, mas de menor espessura. Os músculos do antebraço repartem-se por dois compartimentos – ântero-interno e póstero-externo.

Funcionalmente, os músculos do antebraço podem ser divididos em três grupos: (1) músculos que se inserem no rádio e produzem movimentos de pronação e supinação no antebraço; (2) músculos que se inserem nos ossos do carpo e metacarpo e intervêm nos movimentos da mão; e (3) músculos que terminam nas falanges atuando principalmente nos movimentos dos dedos, principalmente na flexão e na extensão. No compartimento ântero-interno, localizam-se os músculos que participam na pronação, na flexão da mão e na flexão dos dedos, enquanto no compartimento póstero-externo estão os músculos que fazem a supinação, a extensão da mão e a extensão dos dedos.

## ORGANIZAÇÃO GERAL E CARACTERIZAÇÃO DOS MÚSCULOS DO MEMBRO INFERIOR

### Músculos da bacia

Na bacia localiza-se uma volumosa massa muscular constituída pelos três glúteos, o Grande, o Médio e o Pequeno Glúteo. Estes três músculos têm origem na parte exterior da bacia e inserem-se na região externa da extremidade superior do fémur, promovendo a abdução da coxa. O Grande Glúteo é o mais volumoso e superficial dos três e ocupa a região mais posterior da bacia (Figura 38). Ao passar por trás da articulação coxofemoral, a sua ação principal é a extensão da coxa. É também um importante rotador externo da coxa.

### Músculos da coxa

Os músculos da coxa distribuem-se por três regiões: anterior, interna e posterior.

A maior parte da massa muscular que encontramos na região anterior da coxa pertence a um volumoso músculo, o Quadricípite Crural, que é constituído por quatro porções: Reto Femoral, Vasto Interno, Vasto Externo e Crural (Figura 39). Estas porções, com origens diferentes, têm uma inserção comum, através de um tendão que envolve a rótula – tendão rotuliano – antes de se inserir na tuberosidade anterior da tibia. A principal ação do Quadricípite Crural, com envolvimento das suas quatro porções, é a extensão da perna (ou do joelho). O Reto Femoral, única porção que tem origem na bacia, é biarticular, participando também na flexão da coxa. As outras três porções têm origem no fémur.

A região posterior da coxa é totalmente ocupada pelos Isquiotibiais, três músculos com origem no isquion que se inserem nas extremidades superiores dos ossos da perna (Figura 40).

3

# CONTROLO E COORDENAÇÃO DO MOVIMENTO

Pedro Pezarat Correia



Logo abaixo do córtex encontra-se o andar médio ou encéfalo baixo. Neste andar localizam-se os centros reguladores de uma série de atividades automáticas fundamentais para a sobrevivência do indivíduo, como a respiração, pressão arterial, fome e sede, equilíbrio ou regulação tónica dos músculos.

O andar inferior, a medula, é responsável pela resolução das situações mais simples e urgentes através de respostas estereotipadas muito rápidas.

Em qualquer dos três andares do SNC, podemos distinguir dois tipos de tecido nervoso: substância cinzenta e substância branca. A substância cinzenta é constituída por grande concentração de corpos celulares e sinapses, contendo, também, axónios não mielinizados que conduzem informação a velocidade reduzida. É nesta substância que se verifica o processamento de informação. A substância branca é apenas constituída por fibras mielinizadas, com ausência quer de corpos celulares quer de sinapses. Dessa forma, a informação na substância branca é conduzida a grande velocidade, sendo o canal de comunicação utilizado quando o sinal tem de percorrer longas distâncias no interior do SNC. Em determinados locais do SNC, encontram-se, no meio da substância branca, zonas de substância cinzenta constituídas por aglomerados de corpos celulares responsáveis por determinadas funções – os núcleos.

### **Medula**

A medula corresponde ao andar inferior do SNC. Encontra-se alojada e protegida num canal ósseo, o canal vertebral, formado pelo conjunto dos buracos das vértebras que constituem a coluna. Na face anterior da medula emergem raízes constituídas por fibras nervosas eferentes que transportam informação do SNC para os efetores – raízes motoras. Posteriormente podem observar-se as raízes posteriores, constituídas por fibras aferentes que trazem informação sensitiva dos recetores para o SNC – raízes sensitivas. As raízes anteriores e posteriores de cada lado vão unir-se, formando o nervo espinal ou raquidiano.

Ao longo do comprimento da medula formam-se 31 pares de nervos espinais que a dividem em 31 segmentos. Cada um desses segmentos tem correspondência quer sensitiva quer motora na periferia do corpo. Os 31 segmentos medulares e respetivos nervos espinais estão divididos em regiões correspondentes às regiões da coluna vertebral: região cervical (oito pares de nervos), região dorsal (12 pares de nervos), região lombar (cinco pares de nervos), região sagrada (cinco pares de nervos) e região coccígea (um par de nervos).

Pela análise de um corte segmentar da medula, observamos perifericamente a substância branca e, ao centro, a substância cinzenta, que apresenta a forma de um H (Figura 43). As porções anteriores da substância cinzenta têm funções motoras, localizando-se aí os corpos celulares dos motoneurónios, cujos axónios se dirigem ao músculo esquelético, inervando as fibras musculares. As porções posteriores recebem as fibras aferentes que entram na medula pela raiz posterior e que transportam informação sensorial da periferia, que depois é conduzida através de axónios ascendentes aos andares superiores do SNC.

## Visão

O aparelho visual é constituído pelo globo ocular e por órgãos anexos, como as pálpebras, que o protegem, o aparelho lacrimal que o limpa e lubrifica, e os músculos oculomotores que garantem o movimento conjugado dos dois olhos, de forma a fixarmos e perseguirmos um objeto mesmo quando este se desloca a grande velocidade.

A parede do globo ocular é constituída por três camadas (Figura 45). A camada externa – esclerótica – é uma camada de tecido conjuntivo fibroso que constitui a parte branca do olho, cobrindo os três quartos posteriores do globo ocular e continuando-se, na região anterior, por uma estrutura transparente e convexa, a córnea. Na camada média encontra-se a coroideia, que é prolongada anteriormente pela íris, que se situa atrás da córnea e apresenta uma abertura ao centro, a pupila. A íris é constituída por músculo liso, e regula o diâmetro da pupila, condicionando a quantidade de luz que entra no olho, de acordo com a luminosidade exterior. A camada interna do globo ocular, a retina, é a camada nervosa onde se localizam as células recetoras que transformam a luz em influxo nervoso. Nela encontra-se a fóvea, um ponto da retina que tem características que lhe permitem um elevado grau de discriminação e nitidez da informação visual que ali se projeta.

Imediatamente atrás da íris encontra-se o cristalino, uma lente biconvexa que desempenha um papel importante na focagem, ao fazer convergir os raios luminosos do objeto central da imagem para a fóvea. O processo de focagem consiste, portanto, na alteração de forma do cristalino, tornando-o mais convexo ou mais plano, de maneira a promover a convergência dos raios luminosos para a fóvea. Se a convergência não é feita exatamente aí, não se consegue uma imagem nítida. A capacidade de acomodação da potência do cristalino através da alteração da sua forma possibilita uma visão precisa, independentemente do tamanho do objeto e da distância a que se encontra. Se a convergência não é feita exatamente na fóvea, a imagem obtida é desfocada, o que pode ser provocado por uma deficiência do sistema de focagem, como acontece nos casos de hipermetropia, miopia e astigmatismo.

## Audição

O ouvido divide-se em três porções: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno (Figura 46). O ouvido externo corresponde ao pavilhão auricular, vulgarmente designado por orelha, que apresenta uma configuração apropriada à receção de ondas sonoras que depois orienta para o canal auditivo externo. O canal auditivo externo termina na membrana do tímpano que separa o ouvido externo do ouvido médio. O ouvido médio é uma cavidade que estabelece a ligação entre o tímpano e o ouvido interno. Para além da função que desempenha na condução das ondas sonoras, o ouvido médio é essencial para a manutenção da igualdade de pressões dos dois lados do tímpano. Tal é feito pela trompa de Eustáquio, canal que estabelece a comunicação entre o ouvido médio e a rinofaringe. Esta regulação de pressão no interior do ouvido médio é determinante para evitar a lesão da frágil membrana do tímpano. Tal como o ouvido médio,

### **Iniciação do movimento voluntário**

A produção de um movimento implica a entrada em ação, por uma determinada ordem, de diferentes estruturas do sistema motor organizadas de forma hierárquica. O movimento é globalmente representado sob a forma de um objetivo (lançar uma bola, por exemplo) no andar superior do SNC, o córtex cerebral. Essa ideia abstrata sobre o movimento pretendido tem que ser convertida em rotinas neurais associadas com o padrão de atividade muscular adequado, o que requer a escolha dos programas motores que melhor servem o objetivo. Em seguida, as ordens iniciadoras do movimento respeitantes às instruções motoras programadas são transmitidas aos motoneurónios medulares, através das fibras que têm origem na área cortical da motricidade voluntária e que conduzem informação a grande velocidade para os motoneurónios da medula. A estimulação destas fibras determina o início e fim dos movimentos e a sua força e velocidade gerais, assumindo um papel fundamental no recrutamento e frequência de descarga das unidades motoras. O controlo que o cérebro exerce sobre os músculos é totalmente contralateral. Por exemplo, as fibras que saem do hemisfério direito do córtex terminam no lado contrário da medula, sendo responsáveis pela ativação da musculatura do lado esquerdo do corpo.

Quando executamos determinado movimento voluntário, só nos preocupamos conscientemente com uma parte muito restrita das ações musculares que desenvolvemos. Para que o movimento seja possível, tem que ser assegurado todo um conjunto de aspetos como o equilíbrio, a regulação do tónus muscular e a estabilidade das articulações corporais. Paralelamente ao controlo dos aspetos voluntários do movimento, o córtex cerebral delega nos centros subcorticais a regulação desses aspetos involuntários. O conjunto de respostas automáticas controladas pela medula e pelo encéfalo baixo liberta o córtex cerebral, que só tem que se preocupar com o controlo mais preciso das extremidades.

### **Controlo do movimento por retroação sensorial ou por pré-programação**

Os movimentos estão sujeitos a correções durante a execução através de informação sensorial entretanto fornecida ao SNC. A utilização de informação sensorial nos processos corretivos do movimento está dependente de aspetos diversos, como a duração da ação, a sua complexidade ou o nível de aprendizagem do executante em relação à tarefa motora. Em função desses fatores, os movimentos podem ser controlados por retroação sensorial ou por pré-programação.

Os movimentos lentos apresentam uma duração que permite um controlo contínuo pelo *input* sensorial e um ajustamento permanente dos comandos motores, por comparação entre a posição pretendida e a posição real. Estes movimentos podem, portanto, ser voluntariamente alterados durante a execução. Dos diferentes tipos de informação sensorial, a visão assume frequentemente a maior importância na deteção consciente dos erros em relação ao objetivo perseguido, originando ajustamentos que contribuem para uma maior precisão das ações.



# FUNDAMENTOS DE MECÂNICA PARA ANÁLISE DO MOVIMENTO

Orlando Fernandes



O principal objetivo deste módulo consiste em melhorar a capacidade de análise do movimento através da adequada aplicação dos conceitos básicos da Física e da Matemática.

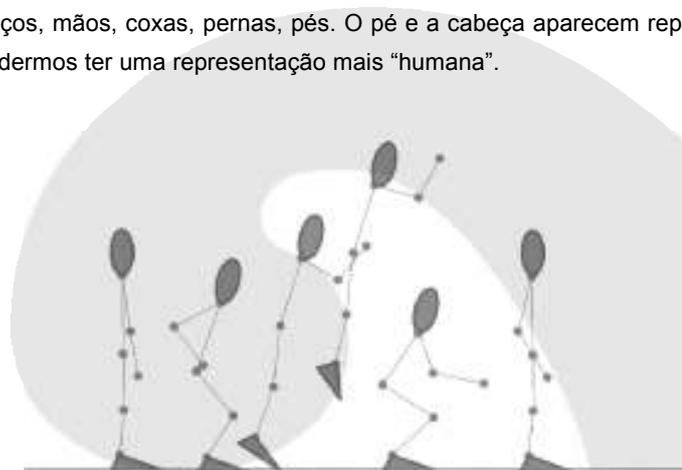
O movimento é o ato ou o processo de alterar a Posição, em relação a um determinado referencial, de um corpo ou de um objeto. A Mecânica é uma secção da Física que tem como objetivo estudar a relação entre forças produzidas num corpo sem realizar movimento (Estática), descrever o movimento (Cinemática) e perceber as causas desse movimento (Cinética). É óbvia a importância dos conhecimentos fundamentais de mecânica para quem tem de compreender a produção de movimento humano nas suas diferentes vertentes.

A Biomecânica é uma área de estudo que se ocupa das forças que atuam fora e dentro do sistema biológico e do efeito que tais forças produzem no sistema. Para análise do movimento, a Biomecânica desempenha um papel importante porque, a partir da aplicação dos seus conhecimentos e instrumentos de análise, permite detetar erros e fazer alterações à forma como se realiza o movimento, melhorando a execução.

### CORPO ARTICULADO E CENTRO DE MASSA

Para os diferentes tipos de análise, é preciso um modelo adequado para ser possível aplicar os conhecimentos da Biomecânica, que ajudam a compreender a forma como os movimentos são produzidos. Assim, a primeira tarefa a realizar é transformar o corpo num conjunto de elementos mais simples para se poder aplicar com rigor os conhecimentos da Física e da Matemática. Para a análise mecânica do movimento, o corpo pode ser considerado como um conjunto de segmentos rígidos articulados entre si (corpo articulado) ou como um único ponto que possa representar o corpo na totalidade (centro de massa/gravidade – CoM).

O corpo articulado é um conjunto de corpos rígidos que representam os segmentos do corpo articulados entre si. A representação do corpo como corpo articulado permite simplificar a observação dos movimentos realizados e perceber separadamente a atividade mecânica (Posição, Velocidade e Aceleração) de cada um dos segmentos. Os corpos rígidos são articulados entre si de uma forma simples em locais que representam, de uma maneira geral, as articulações do corpo. Na ilustração abaixo o corpo foi representado nos seguintes corpos rígidos: cabeça, tronco, braços, antebraços, mãos, coxas, pernas, pés. O pé e a cabeça aparecem representados com volume para podermos ter uma representação mais “humana”.



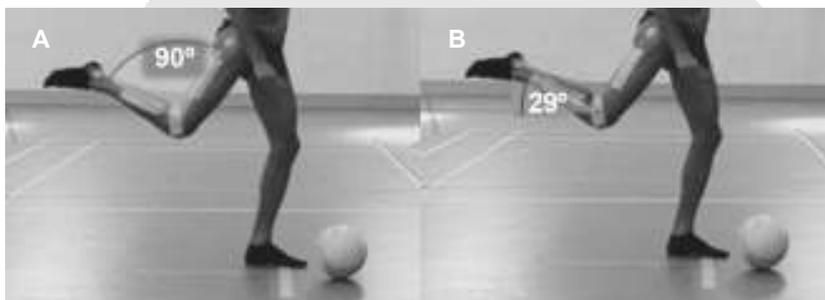
utilizada é metros por segundo (m/s), porque é a unidade do sistema internacional de unidades (SI) para Velocidade. Um conceito diferente é o de Velocidade Instantânea, ou seja, a Velocidade num determinado instante.

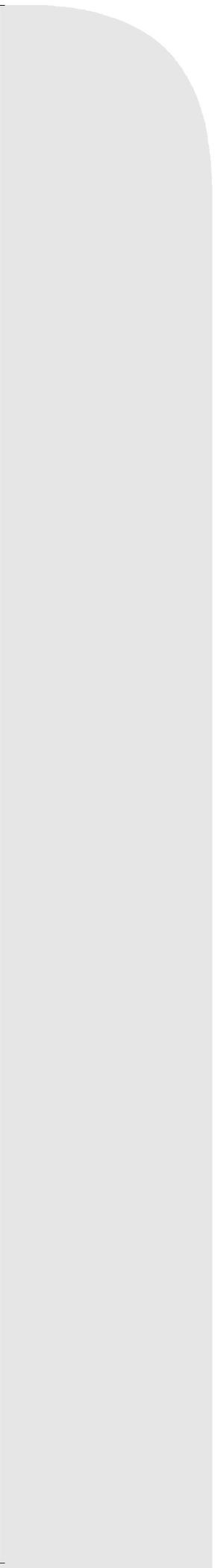
Numa corrida de 100 m, quando o atleta está nos blocos na posição de partida à espera do tiro de partida, a sua Velocidade é zero. Logo após o tiro de partida, o atleta parte à máxima Velocidade para a meta. Sabemos que nos primeiros cinco metros o atleta não atingiu a sua Velocidade Máxima, e que, para o conseguir, ele precisa de acelerar o máximo que puder. Os atletas mais rápidos conseguem acelerar durante mais tempo de corrida. A Aceleração Média é a variação de Velocidade ao longo do tempo total de corrida. Depois, quando o atleta não conseguir acelerar, tentará manter a Velocidade conseguida até ao final da corrida. A capacidade de manter a Aceleração depende da força muscular e da técnica do atleta.

Outra observação interessante é a forma como o atleta executa a técnica para deslocar o seu CoM, que apresenta um movimento em linha reta, com algumas oscilações. O atleta (CoM) sobe e desce. Desce ligeiramente quando contacta o solo, e sobe quando empurra o chão. Quanto mais sobe e desce, mais Velocidade perde. Podem, então, separar-se os movimentos para cima e para baixo (movimentos verticais), os movimentos para a frente (movimentos horizontais) e os movimentos para o lado (movimentos laterais).

### Movimento Angular

Um movimento angular é a variação de movimento de um corpo rígido rodando em torno de um eixo. No caso dos segmentos corporais o eixo corresponde à articulação onde o segmento se desloca. Durante a corrida, o movimento realizado pelos segmentos, resultado das ações produzidas pelos músculos, faz variar a Posição dos segmentos corporais entre si, tendo como ponto fixo as articulações (eixos de rotação). Estes movimentos designam-se por movimentos angulares porque os segmentos usam como apoio as articulações e fazem variar ângulos entre segmentos (ângulos relativos) e com a vertical ou com a horizontal (ângulos absolutos). Podemos dizer que o movimento linear da totalidade do corpo é o resultado final dos movimentos angulares realizados pelos diferentes segmentos. Nas imagens abaixo estão representados o ângulo relativo do joelho (A) e o ângulo absoluto do joelho em relação à horizontal (B).



A large, light grey number '5' is positioned in the upper right corner of the page. It is a simple, bold, sans-serif font.A large, light grey number '1' is positioned on the left side of the page, extending from the top to the bottom. It is a simple, bold, sans-serif font.

# **ANÁLISE DA PARTICIPAÇÃO MUSCULAR NO MOVIMENTO**

Pedro Pezarat Correia, Sandro Freitas e Raúl Oliveira

A large, light grey number '2' is positioned in the lower right area of the page. It is a simple, bold, sans-serif font.

## ANÁLISE FUNCIONAL DA MUSCULATURA HUMANA

A ação anatômica de um músculo corresponde ao movimento articular que a sua ação concêntrica produz quando o corpo se encontra em posição descritiva anatômica e sem considerar o efeito da força da gravidade. O conhecimento das ações anatômicas dos diferentes grupos musculares permite uma base de trabalho para a análise cinesiológica e para o domínio das técnicas elementares de solitação de um determinado músculo. Com base nesse conhecimento, neste capítulo serão identificados os grupos musculares agonistas dos principais movimentos corporais.

### Músculos responsáveis pelos movimentos do tronco

No tronco devem ser considerados os movimentos de extensão, flexão, flexão lateral e rotação.

Os músculos extensores do tronco localizam-se posteriormente à coluna vertebral. Os agonistas principais são os músculos da massa comum (Figura 21). Dois grandes músculos que se localizam à superfície da região posterior do tronco, o trapézio (Figura 22) e o grande dorsal (Figura 23), são músculos agonistas auxiliares. Apresentando a sua ação principal no membro superior, em cujos ossos se inserem, têm uma intervenção importante na extensão da coluna quando esta é realizada a uma velocidade elevada ou contra uma resistência considerável.

Na flexão do tronco participam dois grupos de músculos, os músculos da parede ântero-lateral do abdômen e os músculos flexores da coxa. Estes últimos atuam com origem e inserção invertida. A participação muscular na flexão do tronco pode ser dividida em três fases. Numa primeira fase do movimento, o agonista principal é o reto do abdômen (Figura 30) e os oblíquos externo (Figura 31) e interno (Figura 32) são agonistas auxiliares. A ação concêntrica destes músculos aproxima a caixa torácica da bacia, promovendo a flexão da coluna dorsal. Segue-se a flexão da coluna lombar, que é produzida por uma das porções do psoas-ilíaco, o grande psoas (Figura 27). Numa fase final, a flexão do tronco deve-se à inclinação anterior da bacia, envolvendo a articulação coxofemoral, promovida pelos músculos que têm origem na parte anterior da bacia, como o reto femoral (Figura 39).

Na rotação do tronco têm um papel muito importante dois músculos da parede ântero-lateral do abdômen, o oblíquo externo em contração heterolateral<sup>1</sup> e o oblíquo interno em contração homolateral<sup>2</sup>. Os músculos da massa comum também participam nesta ação.

A flexão lateral do tronco é produzida pela contração homolateral dos músculos psoas-ilíaco, oblíquo externo, oblíquo interno e músculos da massa comum.

<sup>1</sup> Contração heterolateral – contração do músculo do lado contrário ao sentido do movimento.

<sup>2</sup> Contração homolateral – contração do músculo do lado para o qual se realiza o movimento.

### **Músculos responsáveis pelos movimentos da coxa**

A articulação coxofemoral é uma articulação triaxial que confere à coxa capacidade para realizar movimentos nos três planos anatómicos.

Os músculos agonistas principais da flexão da coxa passam à frente da articulação coxofemoral, destacando-se o psoas-íliaco (Figura 27) e o reto femoral (Figura 39). Na extensão da coxa, os agonistas principais localizam-se posteriormente e são o grande glúteo (Figura 38) e os três músculos posteriores da coxa (Figura 40), o bicípite femoral, o semimembranoso e o semitendinoso.

A abdução da coxa é realizada por músculos que se localizam externamente à articulação coxofemoral, como o grande glúteo. Os agonistas da adução da coxa são os adutores, que se situam na região interna da coxa e têm origem na púbis.

Na rotação externa da coxa existe um elevado número de músculos agonistas, sendo o grande glúteo e o psoas-íliaco os mais poderosos.

### **Músculos responsáveis pelos movimentos da perna**

Os principais movimentos da perna são os movimentos realizados no plano sagital – movimentos de extensão e de flexão. A extensão da perna é produzida por um único músculo, o quadrícipite crural (Figura 39), que tem um grande volume de massa muscular e uma capacidade de força que normalmente supera a dos seus antagonistas, os flexores da perna, que são os músculos posteriores da coxa: o semitendinoso, o semimembranoso e o bicípite femoral.

### **Músculos responsáveis pelos movimentos do pé**

Os movimentos mais importantes do pé são a flexão plantar e a flexão dorsal. O momento de força produzido na flexão plantar é consideravelmente superior ao desenvolvido na flexão dorsal, devido ao maior número e volume de músculos preparados para a função de propulsão de todo o corpo contra a força gravítica. O principal agonista da flexão plantar é o tricípite sural, através das suas três porções, os gêmeos interno e externo e o solear (Figura 41). Os gêmeos, mais ricos em fibras do tipo 2, são mais importantes quando a flexão plantar é realizada a velocidades mais elevadas e em situações dinâmicas. O solear, mais bem apetrechado de fibras resistentes do tipo 1, está mais adaptado a produzir contrações prolongadas, sendo mais importante para a manutenção da posição de flexão plantar. São agonistas da flexão dorsal os músculos do compartimento anterior da perna.

## Ações de saltar

O salto é um tipo de ação motora que consiste na impulsão do corpo a partir do apoio pedal e que pode assumir formas distintas de execução: unipedal ou bipedal, mais centrado na deslocação horizontal ou na deslocação vertical, realizado de forma isolada ou em combinação com outras ações motoras. Independentemente desta variabilidade de execução, existem aspetos comuns a qualquer salto e que integram a estrutura coordenativa subjacente à sua execução.

Ao procurar empurrar o corpo do solo contra a força da gravidade, o salto implica, na fase de impulsão, a extensão das três principais articulações do membro inferior: coxofemoral, joelho e tornozelo. Aliás, esse comportamento é comum a todas as ações de impulsão em que os membros inferiores deslocam o corpo contra a força da gravidade, como a marcha, corrida ou subida de escadas. Por essa razão, os músculos extensores dessas três articulações constituem as mais volumosas massas musculares corporais.

A extensão da coxofemoral é produzida por um curto mas poderoso músculo monoarticular, o grande glúteo, e pelos músculos posteriores da coxa: bicipite crural, semitendinoso e semimembranoso (Figura 62). A extensão do joelho é realizada por um único músculo, o quadricipite crural. Ao nível da extensão do tornozelo, vulgarmente designada por flexão plantar, o principal músculo envolvido é o tricípite sural. Em cada um destes grupos musculares encontramos músculos monoarticulares e músculos biarticulares.

A fase de impulsão do salto implica a extensão de todas as articulações do membro inferior, mas com uma sequência próximo-distal: a extensão da coxofemoral começa antes da extensão do joelho, que por sua vez antecede a flexão plantar. Esta dessincronização está relacionada com o papel dos músculos biarticulares. Além dessa função, a intervenção dos músculos biarticulares potencia a ação dos poderosos músculos monoarticulares, promovendo processos de transferência de força desses músculos para as articulações distais.

Um dos aspetos fundamentais que caracteriza as ações de saltar é que a extensão das articulações do membro inferior que ocorre na fase de impulsão é normalmente precedida de um contramovimento, i.e. um movimento de flexão das mesmas articulações. Essa estrutura de movimento determina a solicitação dos músculos envolvidos num comportamento do tipo ciclo muscular alongamento-encurtamento (CMAE), padrão de comportamento que foi descrito no Capítulo 2. Nesse padrão, os músculos extensores são primeiro sujeitos a uma ação excêntrica durante a flexão das articulações onde atuam, que rapidamente transformam em ação concêntrica potente na fase de impulsão. Entre as duas fases existe uma curtíssima fase de ação isométrica, a fase de amortização, que corresponde ao intervalo de tempo entre o fim do alongamento e o início do encurtamento do músculo. Mais do que uma sequência de ações, o CMAE caracteriza-se pelo facto de o alongamento excêntrico prévio a que os músculos são sujeitos potenciar a força desenvolvida na ação concêntrica que se segue. Essa potenciação deve-se a vários fatores: a pré-tensão gerada durante a fase excêntrica, que permite um mais rápido desenvolvimento inicial de força na fase concêntrica; a utilização de energia potencial elástica armazenada, principalmente nos tendões; o despoletar do reflexo miotático por estimulação dos fusos neuromusculares, cujos impulsos para a medula vão reforçar a ativação dos motoneurónios medulares. O tipo de força

## **Pedalada**

Um outro exemplo de exercício com grande solicitação de musculatura extensora do membro inferior é a pedalada. Se analisarmos a fase descendente do pedal, os músculos solicitados são claramente os músculos extensores, principalmente da coxofemoral e do joelho, em ação concêntrica. No entanto, a pedalada é realizada em cadeia aberta, com os músculos extensores a deslocarem os segmentos corporais onde têm inserção, enquanto o salto é uma ação em cadeia fechada, em que os mesmos músculos extensores são solicitados com origem e inserção invertidas. Outra diferença fundamental entre o salto e a pedalada está relacionada com a ausência, na pedalada, de uma fase de ação excêntrica para os músculos extensores. Repare-se que a flexão da coxofemoral e do joelho, que se verifica na fase ascendente, não requer travagem. Os músculos extensores não trabalham nessa fase. Em contrapartida, se o pedal apresentar uma cinta que cubra o pé superiormente, conforme representado na Figura 65, e se o ritmo da pedalada assim o exigir, os músculos flexores dessas duas articulações podem ser utilizados, em ação concêntrica, para retornar o pedal na fase ascendente.

## **Remate de futebol**

Embora existam várias formas de execução do remate de futebol, o remate com a região dorsal do pé é um dos mais utilizados e um dos que imprime maior velocidade à bola. Este tipo de remate caracteriza-se por uma sequência próximo-distal, o que significa que cada segmento corporal atinge o seu pico de velocidade angular antes do segmento distal seguinte, gerando um processo de transmissão de energia mecânica que culmina na aceleração máxima da extremidade. Assim, a energia cinética desenvolvida nos movimentos dos segmentos localizados mais próximo do tronco é transferida sucessivamente ao pé, que transmite toda a inércia adquirida à bola.

O movimento da coxa é produzido pelos músculos flexores como o psoas-íliaco e o reto femoral, enquanto o quadricípite crural é o principal agonista da extensão do joelho (Figura 66). A ação muscular ao nível do tornozelo serve fundamentalmente para estabilizar essa articulação em flexão dorsal durante o impacto com a bola, através da contração dos músculos da região anterior da perna. O reto femoral, porção biarticular do quadricípite, atua na fase principal do remate de futebol como agonista das duas articulações que atravessa. Em consequência, a sua velocidade de encurtamento durante a contração é muito elevada, dado que o movimento de ambas as articulações que o músculo atravessa concorre para o encurtamento do músculo, tendo um papel importante na velocidade de execução.

A descrição anterior identifica a potente ação desenvolvida durante o remate de futebol por músculos com origem na coluna lombar (psoas-íliaco) e parte anterior da bacia (reto femoral, entre outros). Por essa razão, estas massas musculares são particularmente desenvolvidas nos futebolistas, o que promove tendência para um maior pronunciamento da anteversão da bacia e para hiperlordose lombar. Essa tendência, não desejável, deve ser contrabalançada por um desenvolvimento proporcional dos músculos da parede ântero-lateral do abdómen, principalmente dos localizados mais profundamente, o transverso e o oblíquo interno. O reforço da musculatura



# **SISTEMAS DA VIDA ORGÂNICA INTERNA**

Pedro Pezarat Correia e Margarida Espanha

## SISTEMAS DE REGULAÇÃO DA VIDA ORGÂNICA INTERNA

### Homeostasia

No organismo humano, o meio que envolve as células tem que ser mantido dentro de certos limites fisiológicos para além dos quais a vida não é possível. Esta capacidade de adaptação do organismo em condições variáveis está associada à noção de homeostasia, que pode ser definida como a capacidade de, perante alterações do mundo exterior, manter relativamente estáveis as condições internas do organismo.

Os processos homeostáticos e os sistemas que lhes estão associados assumem uma importância particular no indivíduo cujo organismo é forçado a trabalhar próximo dos limites, como acontece frequentemente nas situações de treino e de competição desportiva. A produção de taxas elevadas de catabolitos, o grande consumo de oxigénio ( $O_2$ ), o gasto de nutrientes e de água, o aumento de acidez do meio interno e o considerável incremento da temperatura são exemplos de alterações profundas que muitas vezes acompanham o exercício físico intenso. A continuidade do trabalho muscular nestas condições adversas, sem perda de rendimento, exige desenvolvimento da capacidade de adaptação de todos os sistemas orgânicos envolvidos nos processos homeostáticos. Entre outros objetivos, esse é o papel do treino desportivo.

### Regulação nervosa e regulação endócrina

O sistema nervoso e o sistema endócrino constituem os dois sistemas reguladores da vida orgânica interna e é da sua ação conjugada e complementar que dependem os processos homeostáticos que permitem que o organismo interno adeque a sua atividade às necessidades ditadas pelo comportamento do indivíduo e pelas alterações do meio envolvente. A multiplicidade e grande diversidade de funções que o organismo humano tem a capacidade de executar simultaneamente, assim como a capacidade de adaptação que revelamos nas situações mais variáveis, dependem da grande eficácia e versatilidade destes sistemas reguladores.

Com formas de atuação distintas, as características de intervenção dos dois sistemas reguladores são diferentes. O sistema nervoso, atuando através de impulsos que percorrem os neurónios e se transmitem através de sinapses, apresenta capacidade de intervir de forma muito rápida e precisa, visto que os seus impulsos podem ser direcionados para pontos precisos do nosso corpo. As glândulas endócrinas atuam por secreção de substâncias químicas – hormonas – que libertam na corrente sanguínea. A sua ação só se faz sentir quando a respetiva hormona atinge o órgão alvo; este sistema é, portanto, mais lento que o sistema nervoso. Em contrapartida, a sua ação é bastante mais duradoura, dado que permanece enquanto a hormona se encontrar ativa na corrente sanguínea. Por outro lado, não tendo capacidade de atuar com a precisão espacial do sistema nervoso, o campo de ação do sistema endócrino é muito mais vasto, porque as hormonas podem atingir todos os pontos onde o sangue as conduz.

Porque pode controlar a intensidade de secreção de algumas glândulas endócrinas, o sistema nervoso situa-se hierarquicamente acima do sistema endócrino na organização dos sistemas

Na regulação da atividade endócrina a hipófise desempenha um papel fundamental. Localizada logo abaixo do encéfalo, e sujeita ao controle do hipotálamo, centro nervoso que funciona como autêntico cérebro visceral, a hipófise lança secreções que regulam a atividade de outras glândulas endócrinas. Dessa forma, aspetos como o estado emocional ou as informações sensoriais recebidas podem influenciar a atividade das glândulas endócrinas através da ligação entre o sistema nervoso e a hipófise, com repercussão imediata na nossa vida orgânica interna.

## APARELHO CIRCULATÓRIO

### Organização geral e funções

O aparelho circulatório assegura, através do sangue, o transporte a todo o corpo de elementos necessários às funções celulares. É através da corrente sanguínea que as células são abastecidas de  $O_2$  e nutrientes, e que expulsam dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e metabolitos formados nas reações celulares. É também pela corrente sanguínea que as hormonas atingem os órgãos alvo. Quando pensamos mais especificamente no músculo esquelético, a importância do aparelho circulatório e do sangue assume ainda maior preponderância devido ao seu exigente metabolismo, nomeadamente em situação de exercício físico.

Para cumprir essas funções, o aparelho circulatório é constituído por uma componente periférica, que consiste num sistema contínuo de vasos onde o sangue circula, e por uma componente central, o coração, que funciona como uma bomba que impulsiona o sangue, assegurando a circulação e regulando a sua velocidade.

Do ponto de vista funcional, devemos distinguir no aparelho circulatório duas divisões: grande circulação e pequena circulação. A grande circulação, ou circulação sistémica, tem como objetivo a distribuição de sangue rico em  $O_2$  a todas as partes do corpo e a recolha dos produtos resultantes das reações celulares. A pequena circulação, ou circulação pulmonar, visa levar o sangue aos pulmões de forma a restabelecer o seu teor em  $O_2$  e expulsar o  $CO_2$  através do processo respiratório. O sangue encontra-se, então, em condição de poder ser devolvido a todo o corpo pela grande circulação.

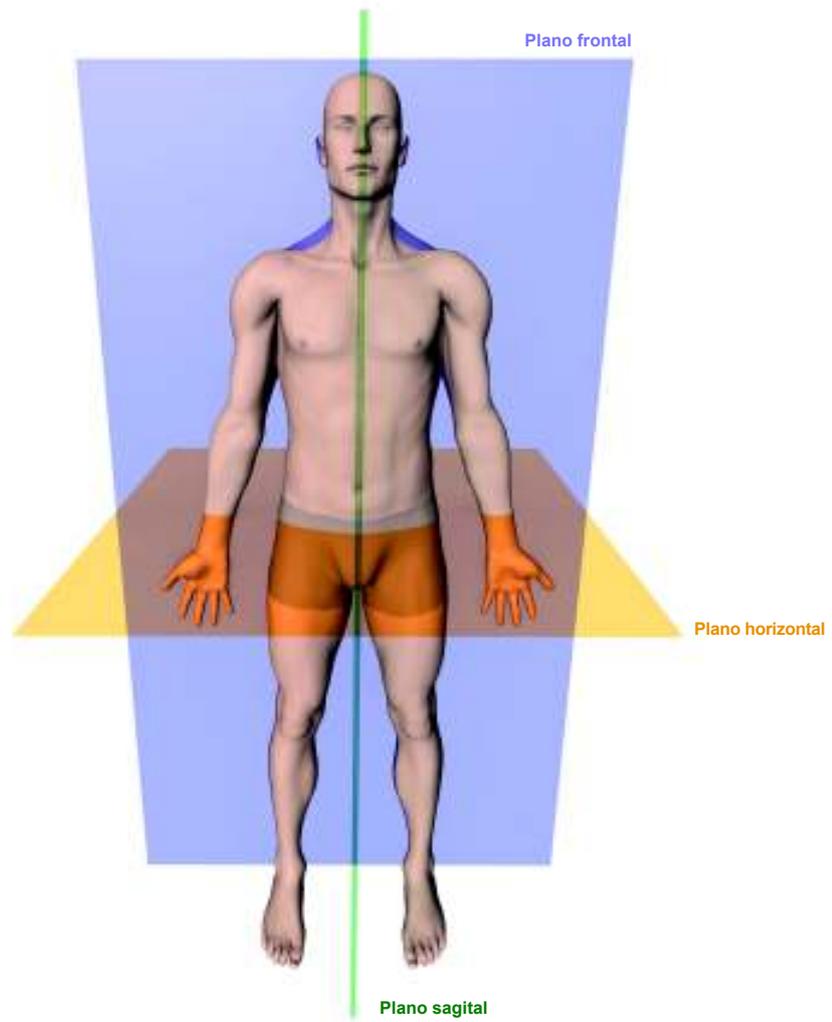
### Sangue

O sangue é um líquido viscoso em cuja composição podemos distinguir uma parte líquida, o plasma, que ocupa cerca de 55% do volume sanguíneo, e partículas sólidas, os elementos figurados, que correspondem a cerca de 45% do volume total do sangue. Os elementos figurados, ou células do sangue, são os glóbulos vermelhos, também conhecidos por hemácias ou eritrócitos, os glóbulos brancos ou leucócitos, e as plaquetas.

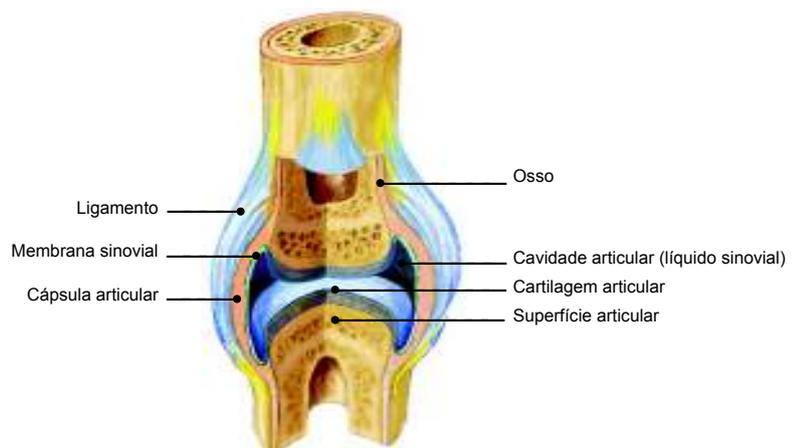
O sangue assegura funções fundamentais para o processo homeostático. Tem um papel preponderante no transporte de elementos essenciais para o metabolismo celular, como o  $O_2$  e os nutrientes, e de remoção de produtos finais que têm que ser excretados, como o  $CO_2$ . No transporte de  $O_2$ , os glóbulos vermelhos desempenham um papel essencial através de uma proteína

# IMAGENS

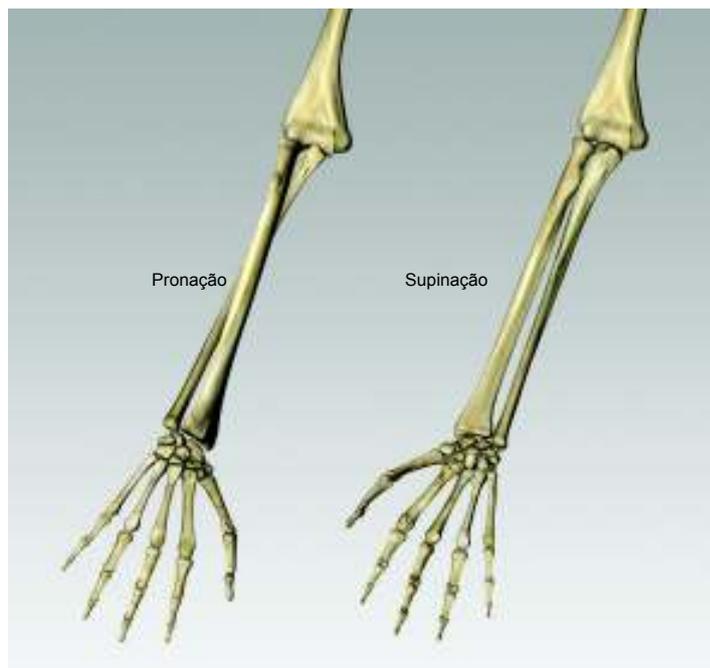




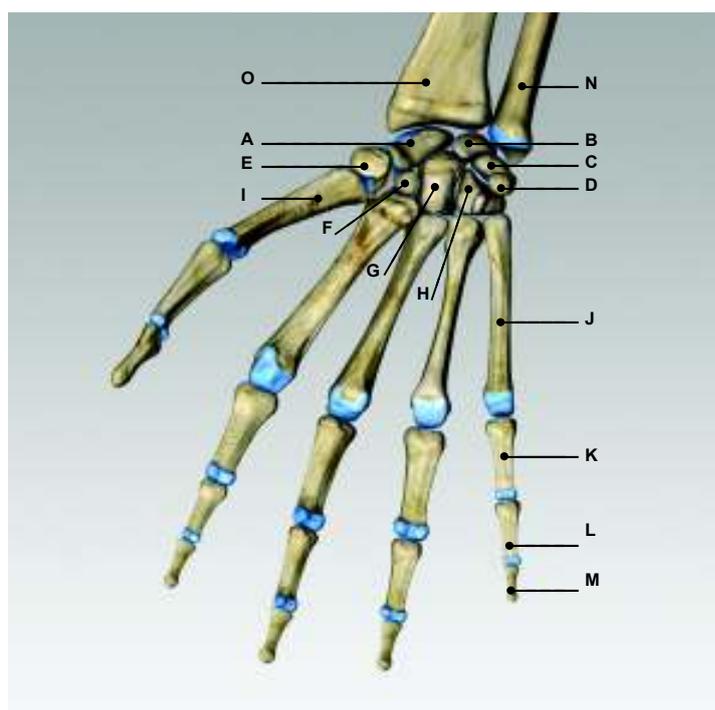
**Figura 1.** Posição descritiva anatômica e planos anatômicos.



**Figura 2.** Constituição-tipo da articulação móvel.



**Figura 8.** Posição relativa do rádio e do cúbito quando o antebraço se encontra em pronação e em supinação.



**Figura 9.** Vista anterior da mão e do punho: (A) escafoide; (B) semilunar; (C) piramidal; (D) pisiforme; (E) trapézio; (F) trapezoide; (G) osso grande; (H) unciforme; (I) primeiro metacarpo; (J) quinto metacarpo; (K) falange; (L) falanginha; (M) falangeta do quinto dedo; (N) cúbito; (O) rádio.

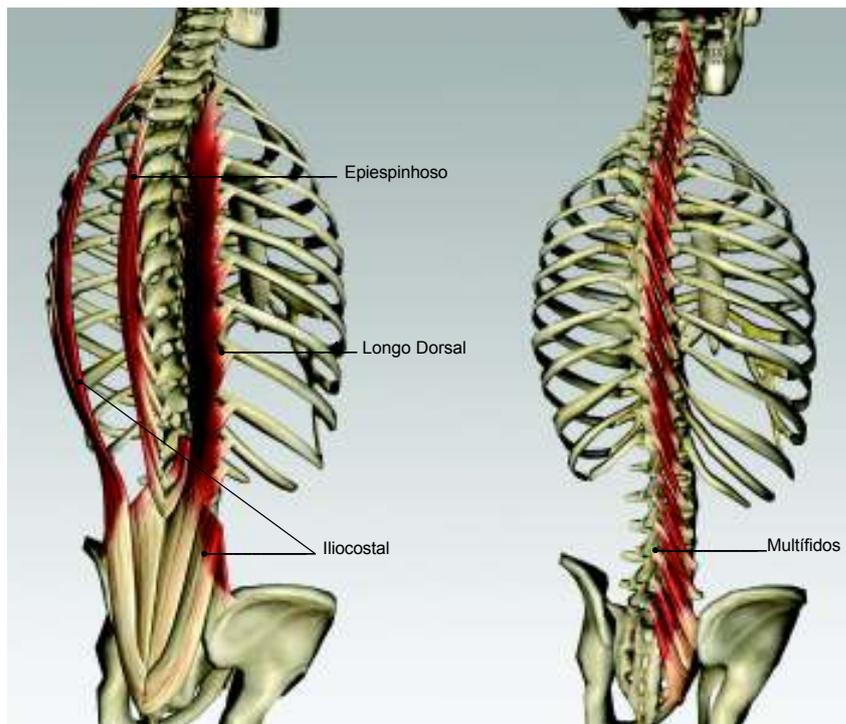


Figura 21. Músculos da Massa Comum.

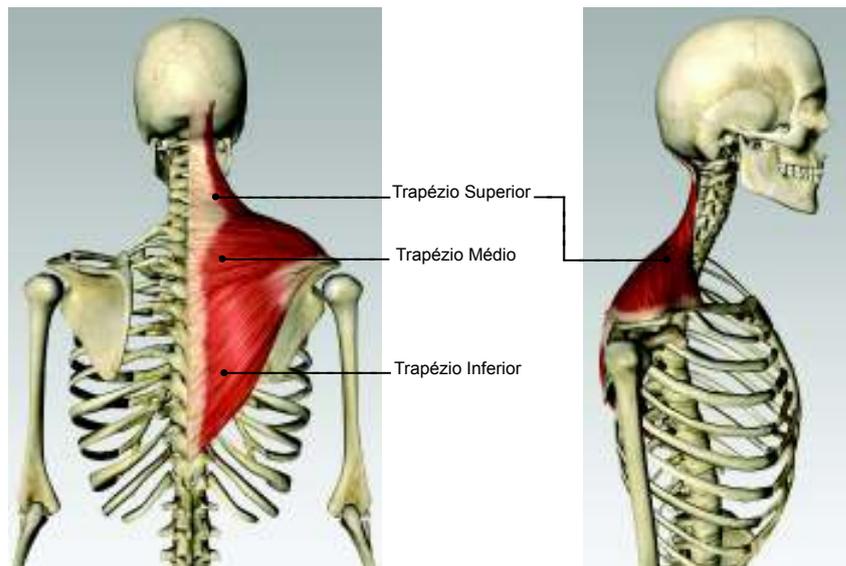
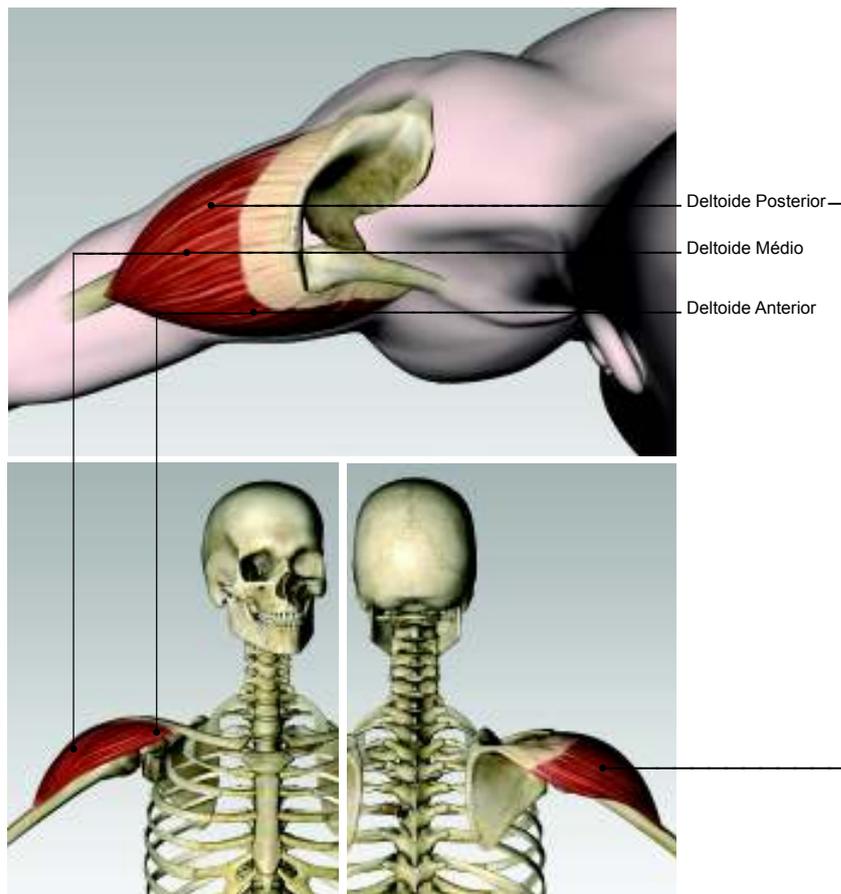
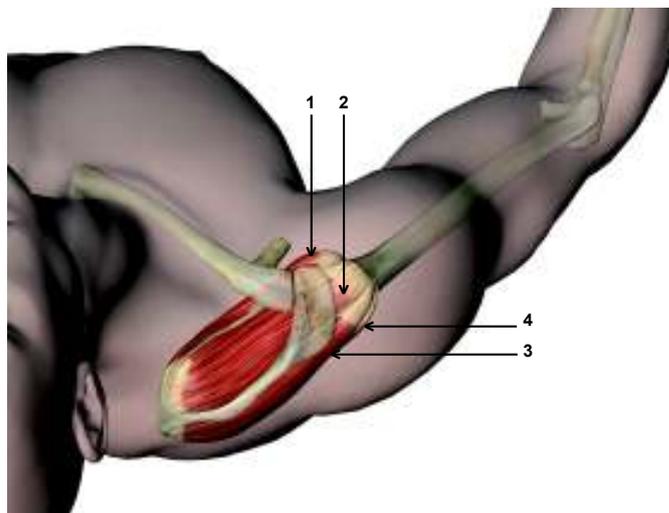


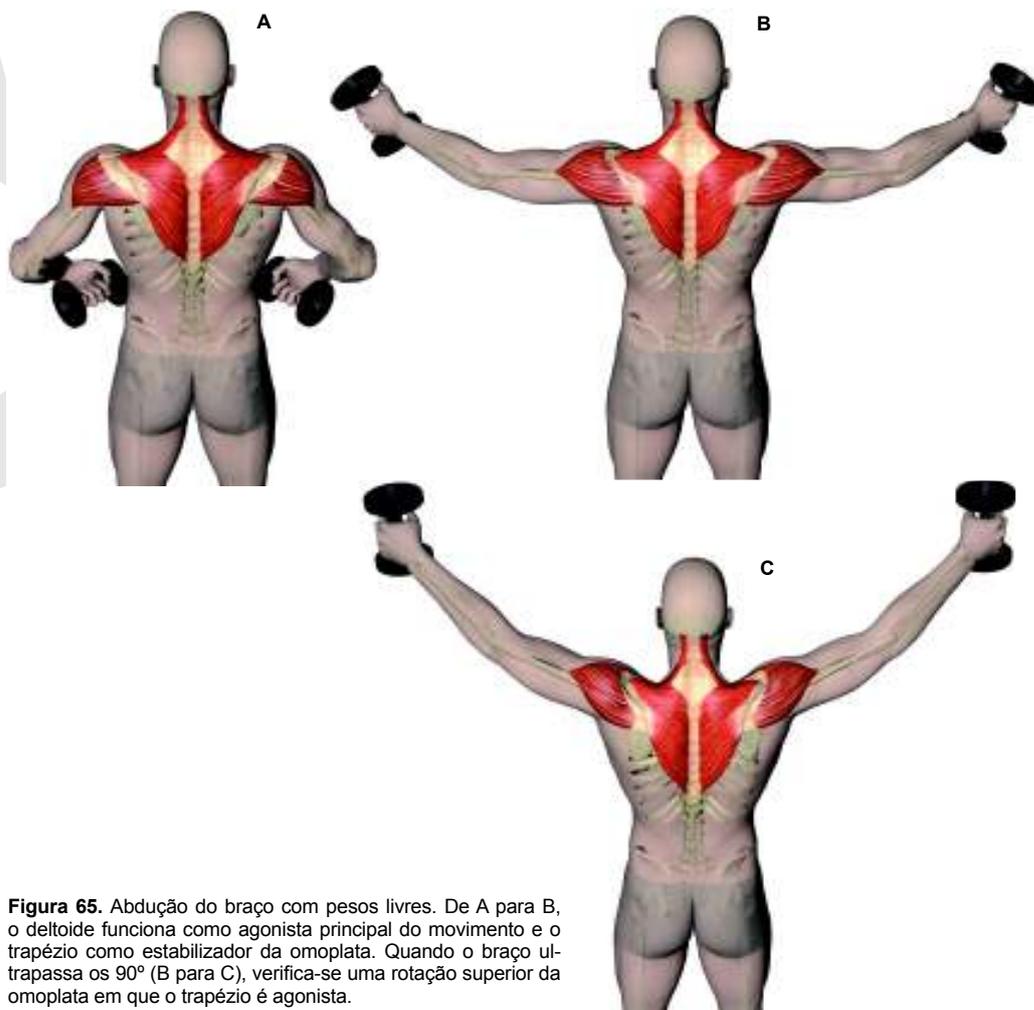
Figura 22. Trapézio.



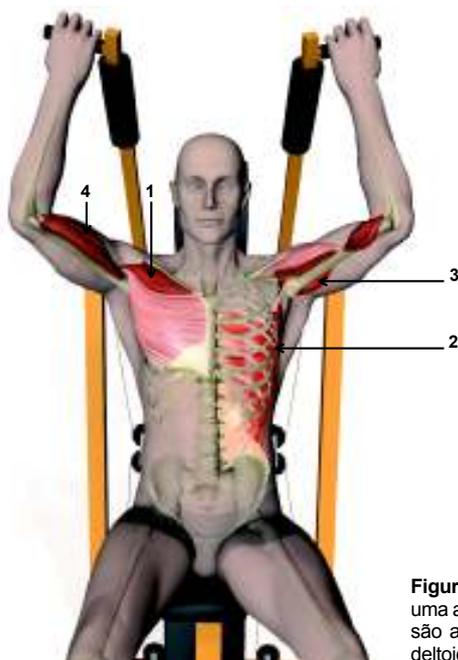
**Figura 34.** Deltoide: Vista superior (em cima),  
vista anterior (em baixo à esquerda) e vista posterior (em baixo à direita).



**Figura 35.** Músculos da coifa dos rotadores:  
Subescapular (1), Supraespinhoso (2), Infraespinhoso (3) e Pequeno Redondo (4).



**Figura 65.** Abdução do braço com pesos livres. De A para B, o deltoide funciona como agonista principal do movimento e o trapézio como estabilizador da omoplata. Quando o braço ultrapassa os 90° (B para C), verifica-se uma rotação superior da omoplata em que o trapézio é agonista.



**Figura 66.** O exercício representado na imagem mostra o exemplo de uma ação de puxar executada em cadeia aberta. Os músculos indicados são a porção clavicular do grande peitoral (1), o grande dorsal (2), o deltoide posterior (3) e o bicipite braquial (4).