



DESCRIÇÃO

Bases da Mecânica. As bioalavancas e o torque. Mecanismo da contração muscular esquelética.

PROPÓSITO

Compreender as bases da Mecânica e sua aplicação nas alavancas do corpo humano, para o entendimento do mecanismo da contração muscular esquelética.

OBJETIVOS

MÓDULO 1

Identificar os fundamentos da Mecânica

MÓDULO 2

Relacionar o movimento em alavancas com a produção do torque

MÓDULO 3

Identificar os eventos envolvidos no mecanismo da contração muscular esquelética

INTRODUÇÃO

O movimento humano é objeto de interesse há séculos. No entanto, apenas no último século a ciência tem aprendido detalhes minuciosos sobre a locomoção humana, graças ao avanço da tecnologia, principalmente da computação.

Para que possamos nos mover, uma força deve ser aplicada aos ossos, que realizam o movimento por meio de alavancas com seus eixos nas articulações. Essa força é gerada por um tipo especializado de tecido contrátil, o músculo.

O tecido muscular é formado basicamente de filamentos proteicos que interagem entre si, para que se produza força. Esse processo é bastante complexo, envolvendo fenômenos físicos e químicos importantes.

Para que possamos compreender a ação muscular no esqueleto humano, devemos revisar alguns conceitos importantes de Mecânica, área da Física que estuda os movimentos. Depois, estudaremos as alavancas, um sistema físico responsável por movimentos angulares, o que ocorre com a maioria de nossas articulações sinoviais. Finalmente, poderemos compreender os eventos que ocorrem no nível tecidual para que a contração muscular seja possível.

MÓDULO 1

🕒 Identificar os fundamentos da Mecânica

CONCEITOS BÁSICOS

A Mecânica pode ser dividida em diversas subáreas: Cinemática, Dinâmica, Estática, Gravitação e Hidrostática. O movimento estudado por ela é o fenômeno no qual um móvel muda de posição com o passar do tempo. Como **movimento depende de um referencial, trata-se de um conceito relativo**.

★ EXEMPLO

Quando você viaja em um carro com outras pessoas, todos os ocupantes do veículo, para você, estão em repouso; no entanto, para alguém que está à beira da estrada e vê o carro passar, todos vocês estão em movimento.

Vamos revisar o conceito de grandeza física escalar e vetorial?

Grandeza física escalar

É aquela que necessita apenas de um valor numérico e de sua unidade de medida para ficar bem caracterizada. É o caso, por exemplo, de temperatura, massa, tempo.



Grandezas vetoriais

São aquelas que necessitam de três informações para serem bem caracterizadas: **valor numérico, direção e sentido**. Usamos os vetores para representar essas grandezas.

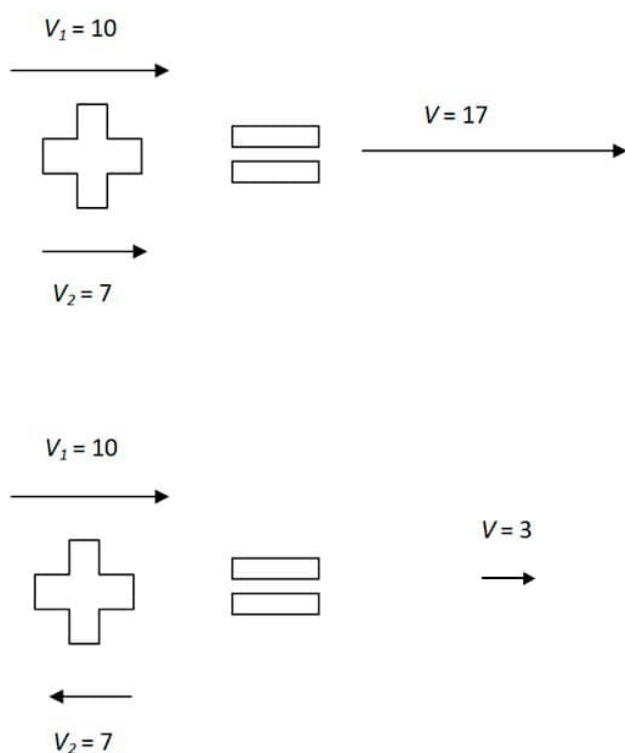
Quando estudamos a mecânica corporal (ou biomecânica), representamos as forças usando os vetores, os quais podem ser graficamente indicados por setas em que o tamanho representa o

valor numérico, com determinado sentido e direção.

ATENÇÃO

Os vetores podem ser somados. Isso é de extrema importância quando estamos analisando vetores de força muscular. Quando os vetores se encontram na mesma direção, é bastante simples: **caso eles estejam no mesmo sentido, os valores são somados, mantendo o sentido. Caso eles tenham sentidos opostos, os valores são subtraídos, e o vetor resultante terá sentido voltado para o maior vetor inicial.**

Veja a figura 1 a seguir: no primeiro caso, os dois vetores V_1 e V_2 se encontram na mesma direção e sentido. Considerando $V_1 = 10$ e $V_2 = 7$, a soma será um vetor valendo 17. Já na outra situação, a coisa é diferente: temos V_2 com mesma direção e sentido contrário a V_1 . Portanto, o resultado será 3 ($10 - 7$).



Fonte: EnsineMe

 Figura 1.

No entanto, as coisas complicam um pouquinho quando não temos os vetores na mesma direção. Nessa situação, o valor da soma dos vetores V_1 e V_2 obedecerá à seguinte equação, onde θ é o ângulo entre os dois vetores:

$$\overrightarrow{V}^2 = \overrightarrow{V_1}^2 + \overrightarrow{V_2}^2 + 2 \cdot \overrightarrow{V_1} \cdot \overrightarrow{V_2} \cdot \cos \theta$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Mas fique tranquilo, o mais importante disso tudo é entender a direção e o sentido do vetor resultante após uma soma de vetores. E a melhor forma de saber isso é aprender a “**regra do paralelogramo**”.

Observe a figura 2 a seguir, com as etapas para se utilizar a regra do paralelogramo:

Primeiro, traça-se uma reta paralela a V_2 , de mesmo comprimento, partindo da seta do vetor V_1 .

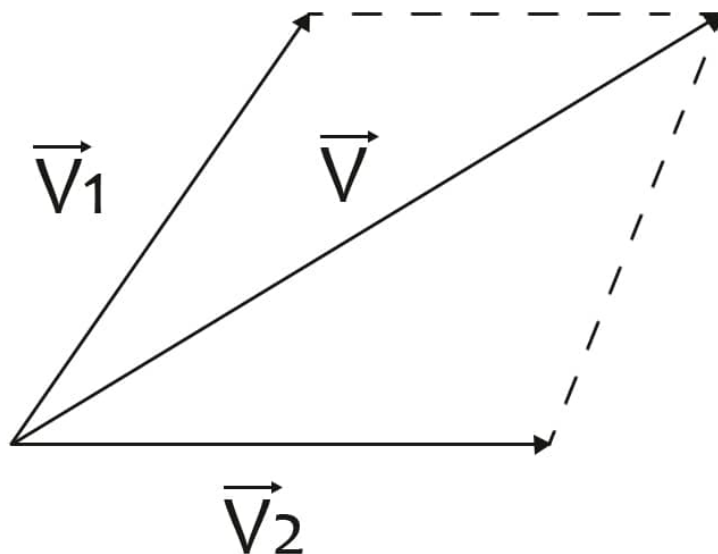


A seguir, traça-se uma reta paralela a V_1 , de mesmo comprimento, partindo da seta do vetor V_2 .



Por último, desenha-se um novo vetor da origem dos vetores até o outro vértice do paralelogramo formado.

Pronto: encontramos a direção e o sentido do vetor resultante!



Fonte: EnsineMe

📷 Figura 2.

Velocidade do movimento é a distância percorrida por um móvel em determinada unidade de tempo. Podemos usar a relação simples:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Nessa relação, ΔS é o deslocamento escalar, ou seja, a distância percorrida, e Δt o tempo decorrido. Com respeito ao movimento humano, a unidade de medida é o metro por segundo (m/s). Quando um corpo mantém sua velocidade constante ao longo do tempo, dizemos que ele está em movimento uniforme. Porém, se a velocidade varia, dizemos que ele acelerou.

Aceleração é a variação da velocidade (ΔV) em função do tempo e pode ser dada pela equação:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Quando a **aceleração é positiva**, dizemos que a **velocidade aumentou**, ou seja, o corpo acelerou positivamente. Quando a **aceleração é negativa**, dizemos que a **velocidade diminuiu**, ou seja, o corpo desacelerou (ou freou). Agora, se a **aceleração for zero**, dizemos que **não houve variação de velocidade**, ou seja, o corpo está em movimento uniforme.

DINÂMICA E EQUILÍBRIO DE FORÇAS

A Dinâmica é a subárea da Mecânica que estuda as forças. Força é um agente físico que pode produzir deformações (efeito estático da força) ou acelerações (efeito dinâmico da força), e deve ser representada por vetores. Geralmente, usamos o Newton (N) como unidade de medida.

Um conceito importante é o equilíbrio de forças. **Dizemos que um corpo está em equilíbrio quando a soma das forças que agem sobre ele é zero**. Quando isso acontece, a aceleração do corpo é igual a zero, ou seja, ele mantém a velocidade constante. No entanto, se a soma das forças que agem em um corpo for diferente de zero, o corpo irá se acelerar.

Veja a figura 3, representando o famoso “cabo de guerra”. Se as duas pessoas na imagem puxarem a corda com a mesma força, a soma das forças valerá zero (uma força para um lado, uma força igual para o outro lado, o resultado será nulo), e a corda não se moverá. Porém, digamos que a pessoa da direita puxe a corda com uma força maior. Agora, se somarmos as duas forças, teremos um resultado de força para o lado direito e, portanto, a corda irá se mover para a direita.



Fonte: Ollyy/Shutterstock.com

📷 Figura 3. Cabo de guerra.

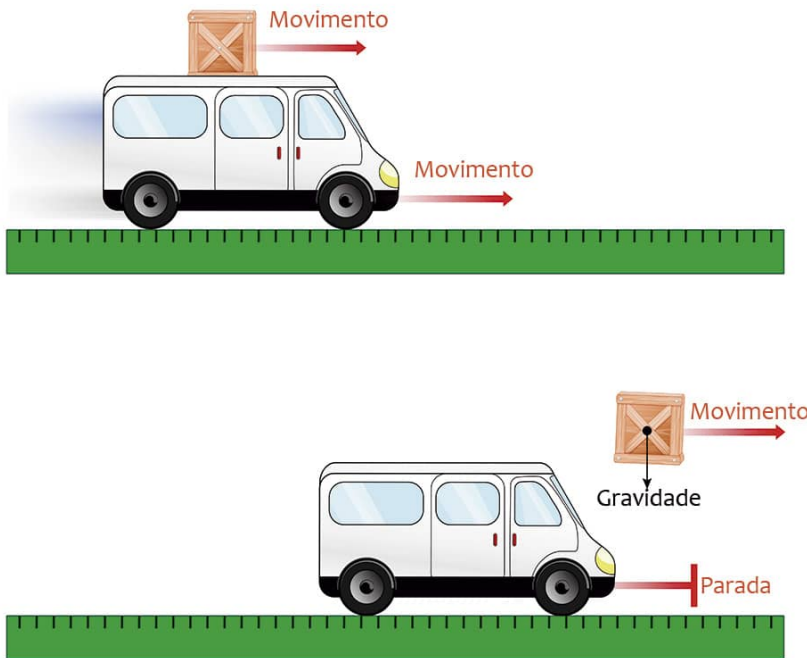
AS LEIS DE NEWTON

Isaac Newton (1643-1727, Londres, Inglaterra) foi um grande nome da Mecânica. São dele as leis que formam a base da mecânica clássica, tratando dos princípios básicos para analisar o movimento dos corpos.

PRIMEIRA LEI (LEI DA INÉRCIA)

Em linhas gerais, ela diz que um corpo que esteja em equilíbrio de forças (ou seja, aceleração igual a zero) tenderá a manter sua velocidade constante.

Veja a figura 4 a seguir. Um carro se move com uma caixa no teto, a uma velocidade constante. Se o carro parar, a caixa manterá sua velocidade anterior; consequentemente ela se moverá para a frente. Podemos também definir **inércia** como a **tendência de as coisas resistirem a mudanças no movimento**.



Fonte: Designua/Shutterstock.com

📷 Figura 4. Lei da Inércia: A tendência das coisas de resistirem a mudanças no movimento.

SEGUNDA LEI (LEI FUNDAMENTAL DA DINÂMICA)

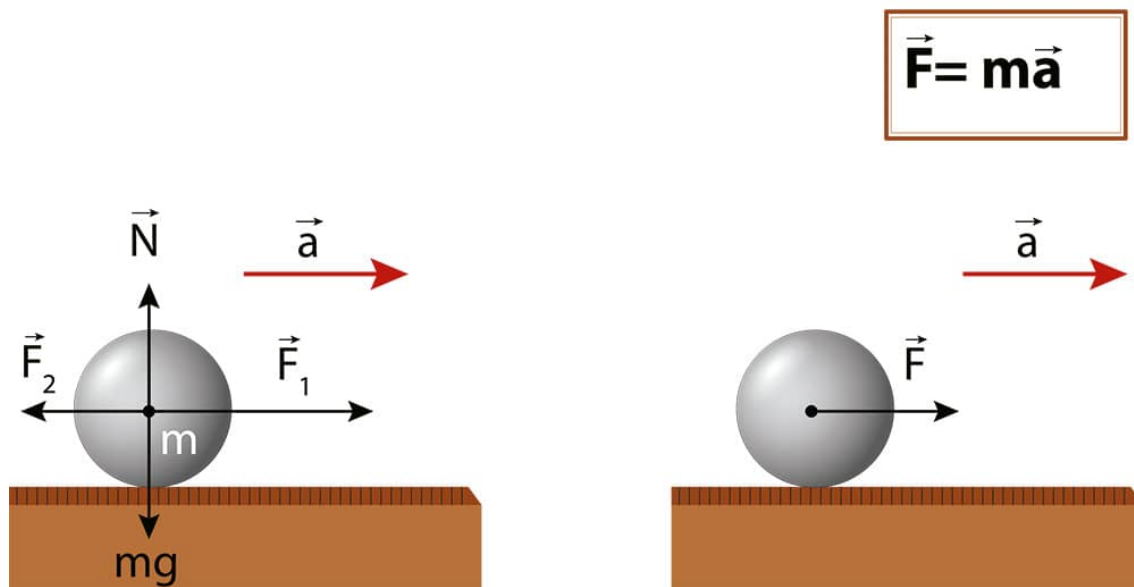
Essa lei pode ser explicada usando a relação $F = m \cdot a$, onde F é a força (ou somatório de forças em um corpo), m é a massa do corpo e a é a aceleração. Observando a equação podemos ver que, se a aceleração for zero, o somatório das forças que agem no corpo também será zero. Vendo por outro prisma, quando temos uma aceleração em um corpo (de massa m), isso quer dizer que uma força tirou esse corpo do equilíbrio.

Observe a figura 5 a seguir. À esquerda, temos uma esfera que sofre influência de quatro forças: a **força-peso P** (que é calculada pela relação $P = m \cdot g$, onde g é a aceleração da gravidade), a **força-normal N** (que é a reação da força-peso P), uma força F_1 para a direita e uma força F_2 para a esquerda. Note que $F_1 > F_2$.

Vamos somar todas as forças que agem sobre essa esfera?

Se somarmos P com N , como têm o mesmo valor numérico (N é a reação de P), o resultado será zero. Agora, se somarmos F_1 com F_2 , o resultado será a força F , como mostra a figura.

Isso nos leva à conclusão de que o somatório das forças na esfera foi diferente de zero. Consequentemente, o corpo ganhará uma aceleração.



Fonte: Designua/Shutterstock.com

📷 Figura 5. Segunda Lei de Newton: Lei Fundamental da Dinâmica.

TERCEIRA LEI (LEI DA AÇÃO E REAÇÃO)

Quando um corpo A aplica uma força em um corpo B, este último aplicará uma força de reação em A, de mesma direção, mesmo valor numérico, sentido oposto e mesma natureza.

Por exemplo, quando uma caixa é colocada sobre a mesa, ela exerce sobre a mesa uma força (força-peso) e a mesa, por sua vez, exerce uma reação à caixa de mesmo valor, porém em sentido oposto.



Fonte: Nasky/Shutterstock.com

📷 Figura 6. Terceira Lei de Newton.

FORÇA ELÁSTICA E A LEI DE HOOKE

Diversos materiais elásticos desenvolvem uma energia potencial quando uma força é aplicada a eles para deformá-los. Essa energia gera o que chamamos de força elástica (F_e), que pode ser calculada usando a Lei de Hooke:

$$F_e = k \cdot x$$

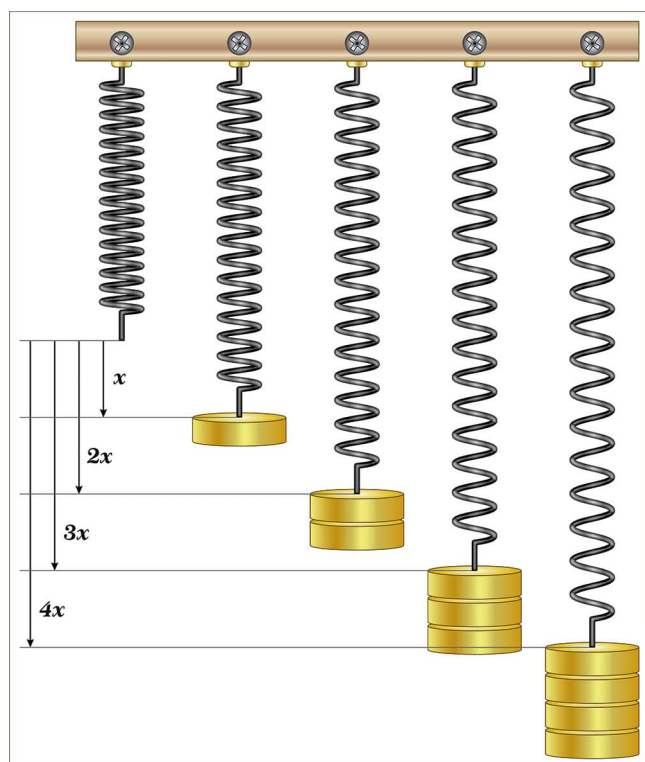
Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Nessa fórmula, k é a constante elástica do material (cada um apresenta um valor de k) e x é a deformação realizada no material. Veja a figura 7 a seguir. Temos uma mola que é deformada em quatro situações.

ATENÇÃO

Quanto maior a deformação da mola, maior será a força elástica gerada quando a força-peso que os anéis amarelos estão aplicando na extremidade da mola for retirada.

Esse conceito é importante na biomecânica, uma vez que **os tecidos do nosso corpo apresentam um comportamento viscoelástico** (iremos estudar esse assunto em breve).



Fonte: Fouad A. Saad/Shutterstock.com

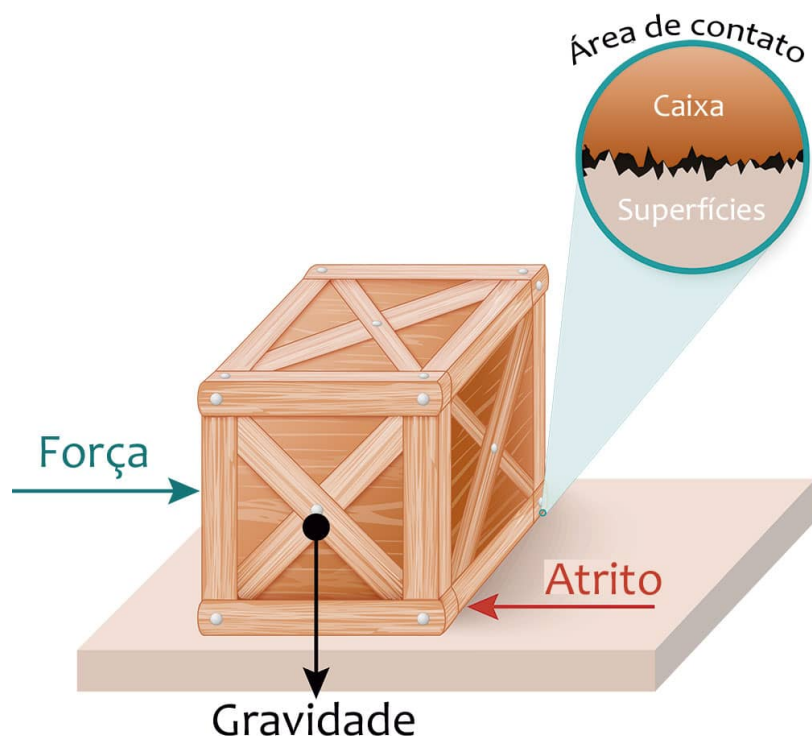
 Figura 7. A mola é um material elástico que obedece à lei de Hooke.

FORÇA DE ATRITO

Quando dois corpos se movimentam um em relação ao outro e estão em contato, uma força surge: a chamada força de atrito, que sempre terá sentido contrário ao sentido da força que “deseja” realizar o movimento.

Na natureza, uma superfície nunca será 100% polida, ou seja, sem rugosidades. Mesmo aquela superfície na qual você sinta um alto grau de polimento ao passar sua mão, ao microscópio você verá que ela apresenta irregularidades. Dessa forma, **o atrito é produzido**

quando as superfícies se movimentam uma contra a outra. No nosso corpo durante o movimento, o atrito é produzido, por exemplo, nas articulações.



Fonte: Designua/Shutterstock.com

📷 Figura 8. Atrito: o atrito causado por uma caixa que tenta se mover contra uma superfície.

Existe a força de atrito dinâmico e a força de atrito estático. O atrito dinâmico é produzido conforme a superfície se move contra a outra, e pode ser calculado pela relação:

$$F_{at} = \mu \cdot N$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Nessa fórmula μ é o coeficiente de atrito (característico de cada material) e N é a força-normal, ou seja, a reação da força-peso. Com isso concluímos que **quanto maior a força-peso do corpo, maior será a força-normal e, conseqüentemente, maior será a força de atrito.**

Agora, considere a seguinte situação: você está tentando empurrar uma caixa pesada no chão de sua casa, aplica uma força cada vez maior, mas a caixa não se move. Por quê? Porque existe uma força de atrito contrária à força que você está aplicando, que surge no contato das superfícies da caixa e do chão. **Essa força de atrito é chamada de estática, pois não há movimento do corpo.** Para movê-lo, você precisará aplicar uma força que ultrapasse a força

de atrito estática máxima. Nesse instante, a caixa começará a se mover e existirá ali uma **força de atrito dinâmica**.

TRABALHO E ENERGIA

Se uma força mecânica que atua sobre um corpo provoca o seu deslocamento, dizemos que a força realizou trabalho.

Considerando que a força (F) é paralela ao deslocamento do corpo (d), podemos calcular o trabalho realizado (τ) pela equação:

$$\tau = F \cdot d$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

O trabalho é dado em joules (J). Potência (Pt), outro conceito importante, é a rapidez com que um determinado trabalho é realizado, e pode ser calculada pela relação:

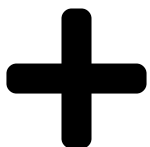
$$Pt = \frac{\tau}{\Delta t}$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Nesse caso, Δt é o tempo transcorrido para o trabalho ser realizado pela força. A unidade de medida para potência é o watts (W), em que $1W = 1 \text{ J/s}$.

Para se ter força, é preciso energia. E se estamos estudando mecânica, nos interessamos pela **energia mecânica**, aquela responsável pela produção do movimento.

Energia cinética (derivada da velocidade v do corpo com massa m).



Energia potencial (armazenada no corpo, ainda não produziu velocidade).

Energia mecânica.

Veja a figura 9. A **energia cinética** (E_c) é dada pela relação:

$$E_c = \frac{m.v^2}{2}$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

A **energia potencial** pode existir de duas maneiras: a **energia potencial gravitacional** ou E_{pg} (aquela gerada pela ação da gravidade) e a **energia potencial elástica** ou E_{pe} (aquela gerada pela deformação de um material elástico). Podemos calcular essas energias usando as relações:

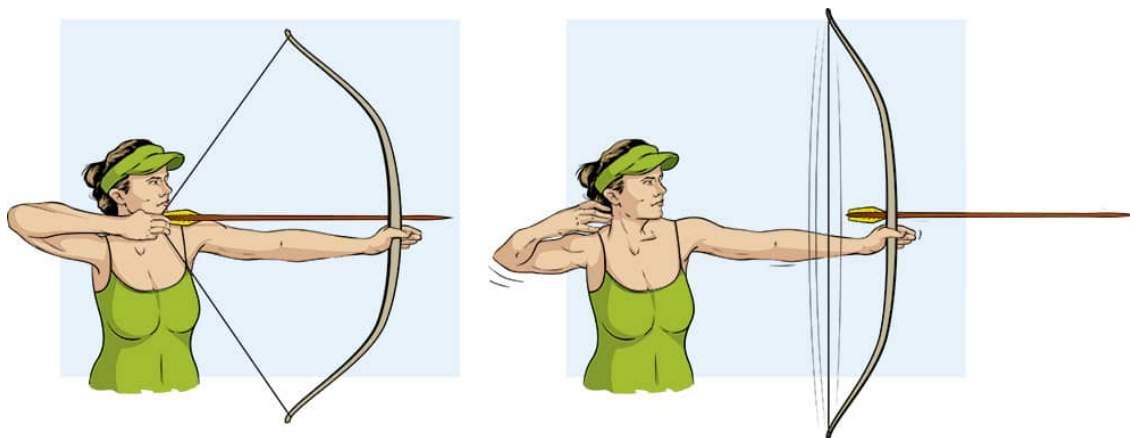
$$E_{pg} = m.g.h$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

$$E_{pe} = \frac{k.x^2}{2}$$

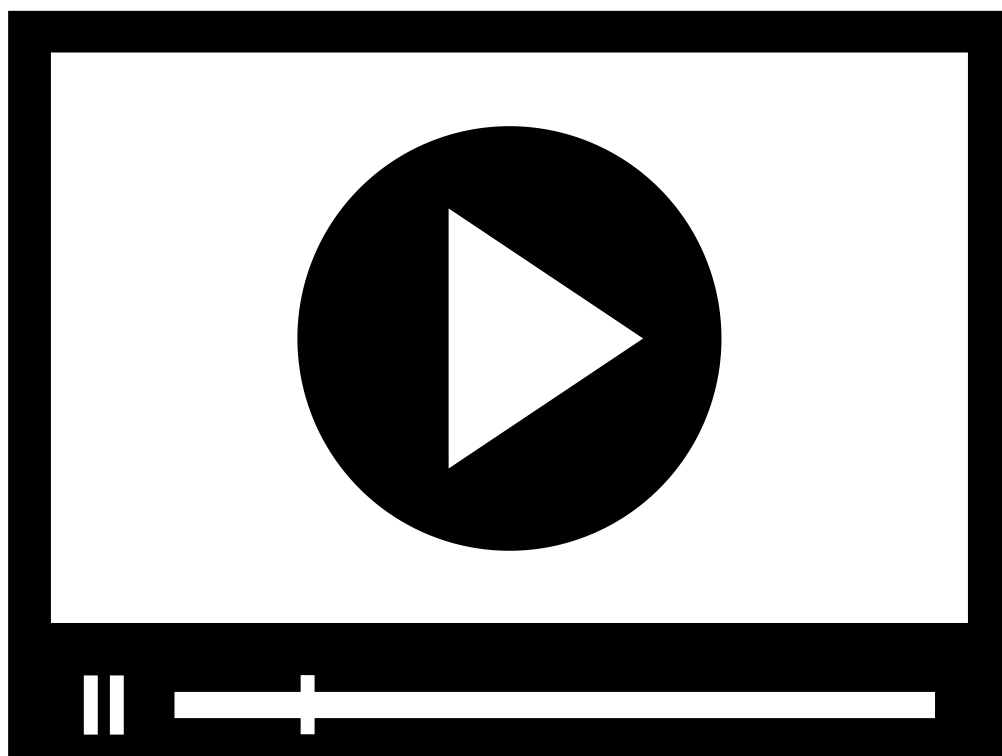
Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Nessas equações, h é a altura do corpo em relação ao solo.



Fonte: NoPainNoGain/Shutterstock.com

📷 Figura 9. Energia potencial e cinética.



A RELAÇÃO DO GASTO DE ENERGIA COM O TRABALHO MECÂNICO

Assista ao vídeo a seguir para saber mais sobre **a relação do gasto de energia com o trabalho mecânico**.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



VERIFICANDO O APRENDIZADO

1. UM INDIVÍDUO COM UM DÉFICIT NEUROLÓGICO IMPORTANTE ESTÁ SENDO SUBMETIDO A UMA ANÁLISE DA MARCHA. O AVALIADOR MARCA NO CHÃO UM TRAJETO DE 5 METROS E PEDE PARA O INDIVÍDUO CAMINHAR DO INÍCIO AO FIM DA MARCAÇÃO. AO MESMO TEMPO, ELE MEDE O TEMPO DECORRIDO DA MARCHA USANDO UM CRONÔMETRO. SABENDO QUE O TEMPO QUE O PACIENTE LEVOU PARA REALIZAR A MARCHA EM TODO O TRAJETO FOI DE 4,7 SEGUNDOS, PODEMOS DIZER QUE A VELOCIDADE MÉDIA DA MARCHA DO PACIENTE FOI DE, APROXIMADAMENTE:

- A) 1,06m/s.**
- B) 0,94m/s.**
- C) 23,5m/s.**
- D) 9,7m/s.**
- E) 1,35m/s.**

2. SE UM CORPO NÃO POSSUI ACELERAÇÃO, PODEMOS CONCLUIR QUE A SOMA DAS FORÇAS QUE AGEM SOBRE ELE É IGUAL A ZERO, OU

SEJA, A FORÇA RESULTANTE É NULA. DAS LEIS DE NEWTON, A QUE EXPLICA ESSE FENÔMENO É A:

- A) Primeira lei de Newton.
- B) Lei da Inércia.
- C) Segunda lei de Newton.
- D) Terceira lei de Newton.
- E) Lei de Hooke.

GABARITO

1. Um indivíduo com um déficit neurológico importante está sendo submetido a uma análise da marcha. O avaliador marca no chão um trajeto de 5 metros e pede para o indivíduo caminhar do início ao fim da marcação. Ao mesmo tempo, ele mede o tempo decorrido da marcha usando um cronômetro. Sabendo que o tempo que o paciente levou para realizar a marcha em todo o trajeto foi de 4,7 segundos, podemos dizer que a velocidade média da marcha do paciente foi de, aproximadamente:

A alternativa **"A "** está correta.

A velocidade é calculada dividindo-se a distância percorrida pelo tempo decorrido no percurso. Portanto, $v = 5/4,7 = 1,06\text{m/s}$.

2. Se um corpo não possui aceleração, podemos concluir que a soma das forças que agem sobre ele é igual a zero, ou seja, a força resultante é nula. Das leis de Newton, a que explica esse fenômeno é a:

A alternativa **"C "** está correta.

A segunda lei de Newton (Lei Fundamental da Dinâmica) diz que a força resultante em um corpo é a massa do corpo vezes a aceleração. Ou seja, se não há aceleração ($a = 0$), então não há força resultante diferente de zero atuando no corpo.

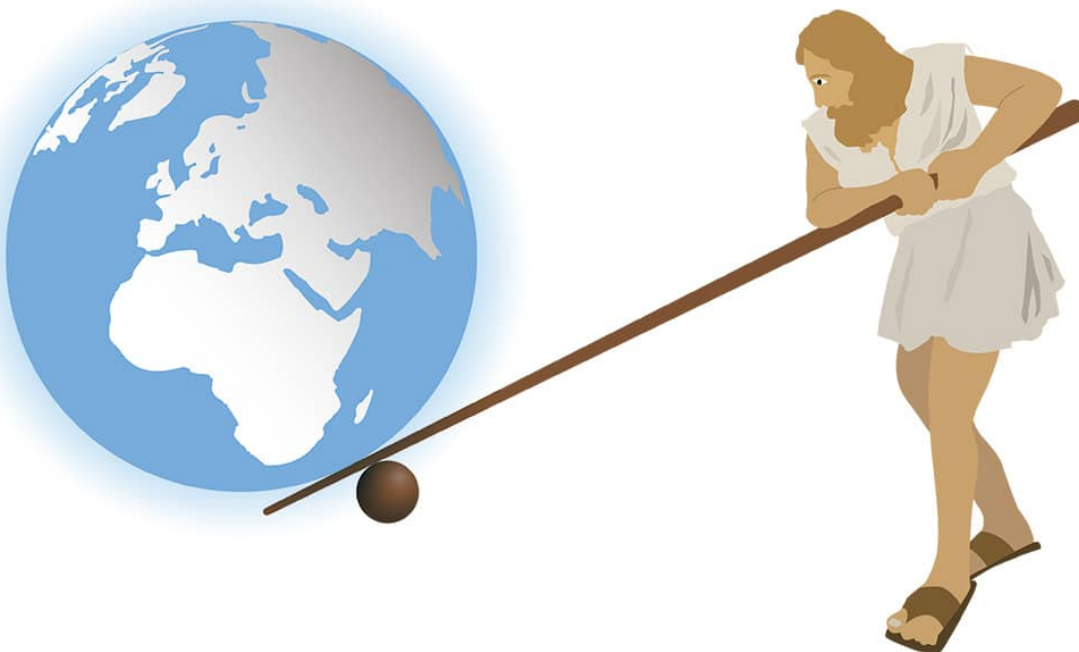
MÓDULO 2

- ⦿ Relacionar o movimento em alavancas com a produção do torque

BIOALAVANCAS E TORQUE

Quando estudamos o movimento humano, principalmente em disciplinas como cinesiologia e biomecânica, nos deparamos com um termo importantíssimo na Mecânica: as alavancas e o torque.

Uma alavanca nada mais é do que uma barra rígida se movimentando ao longo de um ponto fixo (eixo ou fulcro), ao qual denominaremos, a partir de agora, de “ E ”. Para que essa barra se mova, é necessário que uma força de potência (F_p) aja sobre ela, para vencer uma força de resistência (F_r), esta última resistindo à realização do movimento.



Fonte: Nasky/Shutterstock.com

📷 Figura 10. “Dê-me uma alavanca que moverei o mundo”.

No entanto, uma força atuando em uma alavanca (e, por esse motivo, tentando realizar um movimento angular ou rotacional) pode ter efeito diferente, dependendo do local onde ela é aplicada na barra rígida. **A capacidade que a força tem de realizar movimento de alavanca**

é denominada torque. Uma força pode ter torques diferentes, dependendo de onde é aplicada. Geralmente, as alavancas são usadas pelo homem para facilitar o movimento. É de Arquimedes (século III a.C.) a célebre frase: “Dê-me uma alavanca que moverei o mundo”.

E o que têm a ver as alavancas com o movimento humano?

Simples! A maioria das nossas **articulações sinoviais**, aquelas que permitem amplitude de movimento suficiente para que possamos nos mover, funciona como eixos de alavancas. Ao redor desses eixos (as articulações) os segmentos corporais se movem (as barras rígidas), a partir da aplicação de forças (músculos, ação da gravidade etc.). Dessa forma, para entendermos o movimento humano, precisamos entender o funcionamento dessas “máquinas simples”.

Vamos estudar as alavancas de acordo com suas classificações. Segundo Neumann (2011), existem três tipos de alavancas, conforme o posicionamento de seu eixo em relação às forças:

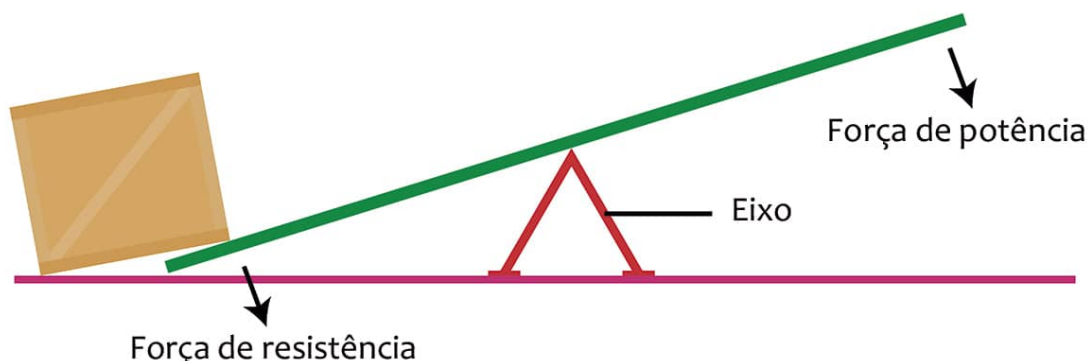
Alavanca de primeira classe ou interfixa

Alavanca de segunda classe ou inter-resistente

Alavanca de terceira classe ou interpotente

ALAVANCAS DE PRIMEIRA CLASSE (INTERFIXAS)

Nessas alavancas o eixo se encontra entre a força de potência (F_p) e a força de resistência (F_r). Observe a figura 11 a seguir:



📷 Figura 11. Gangorra. Alavanca de primeira classe (interfixa).

Qual é a primeira imagem que vem à cabeça? Lembrou da sua infância?

Pois é, a gangorra, tão amada pelas crianças, é um exemplo de alavanca de primeira classe. Para que aconteça o movimento, temos sempre uma força F_p agindo para vencer uma F_r contrária.

Outro exemplo de alavanca interfixa do nosso cotidiano é a tesoura. Nela, temos um eixo que permite o movimento das duas lâminas. A força de potência está em nossas mãos e a resistência é o objeto que queremos cortar.



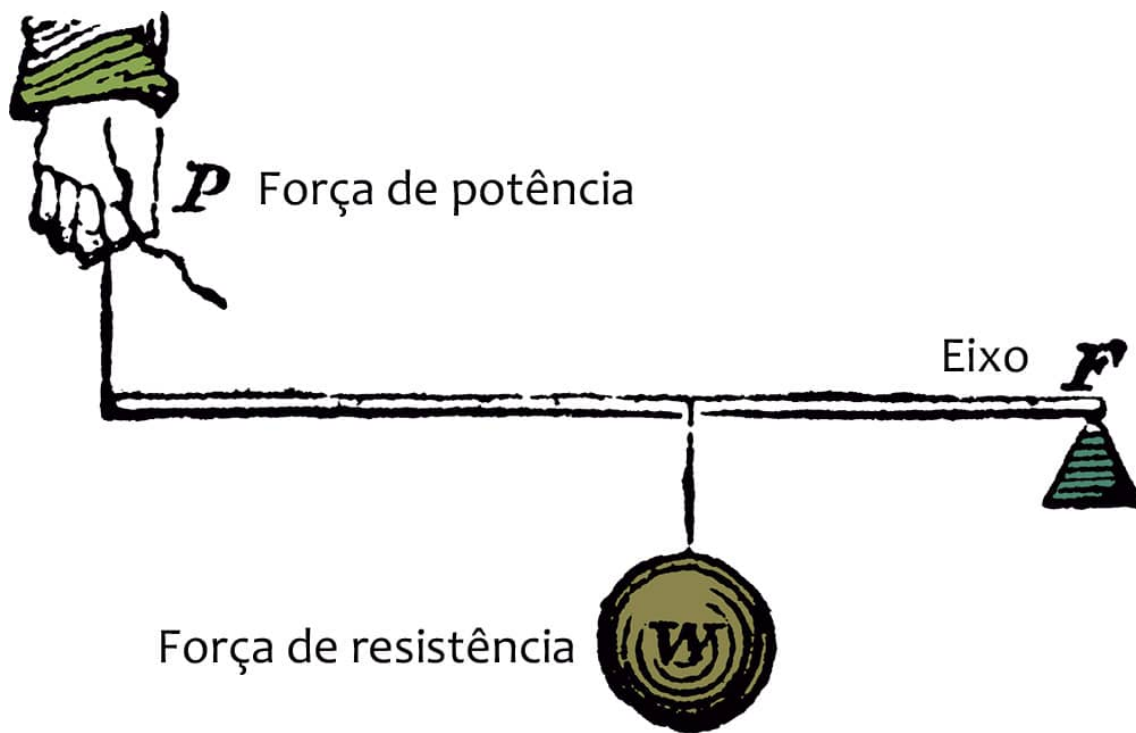
Fonte: PandaStudio/Shutterstock.com

📷 Figura 12. Tesoura. Alavanca de primeira classe.

ALAVANCAS DE SEGUNDA CLASSE (INTER-RESISTENTES)

Nelas, a **força de resistência (F_r) se encontra entre o eixo e a força de potência (F_p)**. Note na figura 13 que uma pessoa tenta levantar, ao redor do eixo, uma barra, abaixo da qual uma esfera está amarrada, com determinado peso. O peso da esfera (que na verdade é uma força,

chamada força-peso) representa a F_r da alavanca e está localizada entre o eixo (à direita) e a F_p (à esquerda).



Fonte: Morphart Creation/Shutterstock.com

📷 Figura 13. Alavanca de segunda classe (inter-resistente).



Fonte: Volkova Olena-358/Shutterstock.com

📷 Figura 14. Carrinho de obras. Alavanca de segunda classe.

Enxergamos uma alavanca inter-resistente no carrinho de obra. Na figura 14, é possível observar que o ponto de contato da roda do carrinho com o solo funciona como um eixo. A carga transportada no carrinho exerce uma força-peso para baixo (F_r) e a pessoa aplica uma força com os membros superiores para cima, para elevar o carrinho (F_p). Note que a resistência se encontra entre o eixo e a potência do movimento.

Outro objeto que podemos citar aqui é o amassador de alhos: colocamos o alho para ser amassado no local apropriado (resistência), que fica entre o eixo (na extremidade do objeto) e a potência (aplicada por nossas mãos, na outra extremidade).



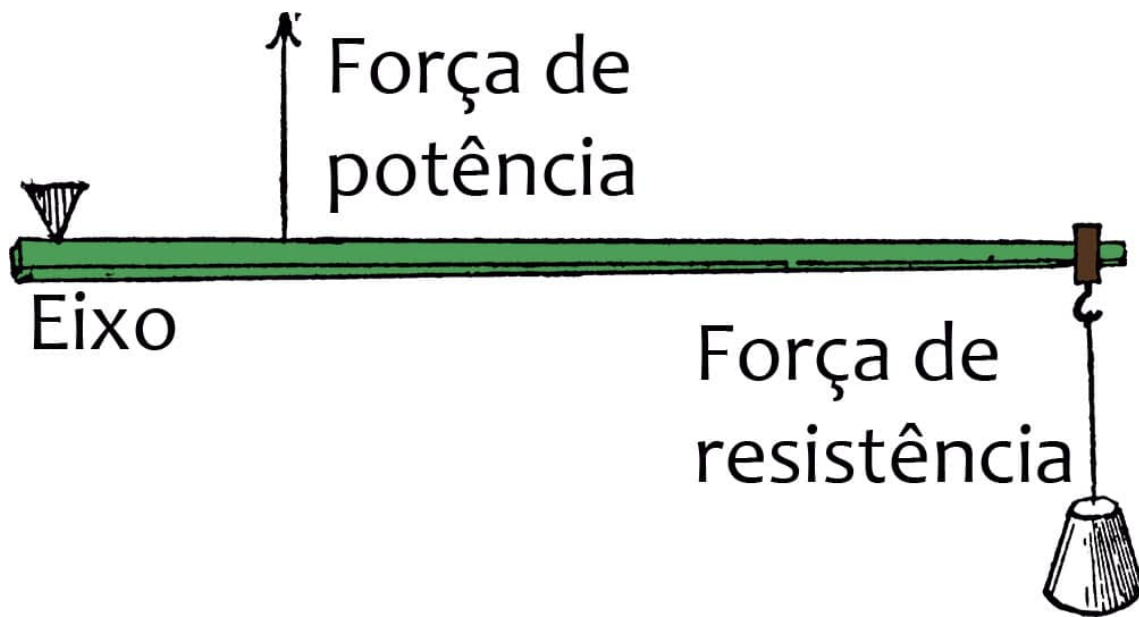
Fonte: Garder Elena/Shutterstock.com

📷 Figura 15. Amassador de alhos. Alavanca de segunda classe.

ALAVANCAS DE TERCEIRA CLASSE (INTERPOTENTES)

Nessas alavancas, a força de potência (F_p) está entre o eixo e a força de resistência (F_r).

Dessa vez, a potência aplicada para cima tenta realizar o movimento na barra ao redor do eixo; no entanto, ela está mais próxima do eixo do que a força-peso (resistência) aplicada pelo objeto cônico à extremidade direita.



Fonte: Morphart Creation / Shutterstock.com

📷 Figura 16. A alavanca de terceira classe (interpotente).



Fonte: Yellow Cat/Shutterstock

📷 Figura 17. A alavanca interpotente na pinça.

A pinça é um exemplo de alavanca interpotente. Trata-se de um objeto formado por duas barras fixas que se movem em relação a um eixo na extremidade. Aplicamos a força de potência com nossas mãos no meio, para que possamos pinçar um objeto na outra extremidade (resistência).

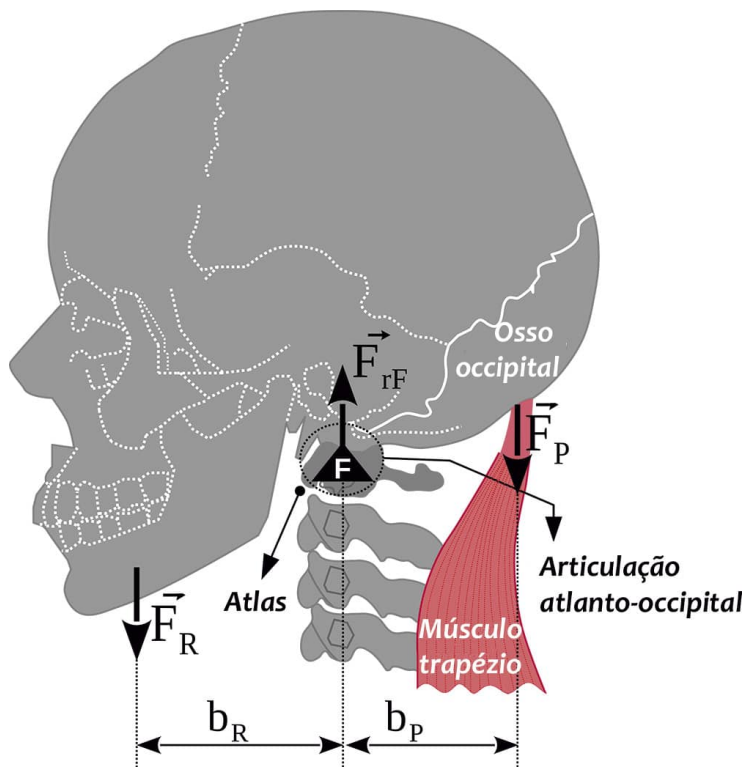
IDENTIFICANDO AS ALAVANCAS NO CORPO HUMANO

Como falamos anteriormente, nosso corpo consegue se locomover essencialmente por movimentos rotacionais de nossos segmentos, ao redor de nossas articulações, que funcionam como eixos de alavancas.

Vamos juntos tentar visualizar essas bioalavancas?

ALAVANCA DE PRIMEIRA CLASSE (INTERFIXA)

Primeiramente, a alavanca de primeira classe. É possível observarmos esse tipo de alavanca, por exemplo, na articulação atlanto-occipital (representada na figura 18). A força-peso da cabeça incide anteriormente em relação à coluna vertebral (F_r). A articulação atlanto-occipital é o eixo (ou fulcro) da articulação. Para que o peso da cabeça não a desloque anteriormente em flexão, os músculos extensores da cabeça (na figura, o trapézio) aplicam uma força para baixo, que é a F_p da alavanca. Ao observarmos no plano sagital a cabeça realizando flexão e extensão, podemos pensar em uma gangorra com eixo na articulação entre a coluna e o crânio.

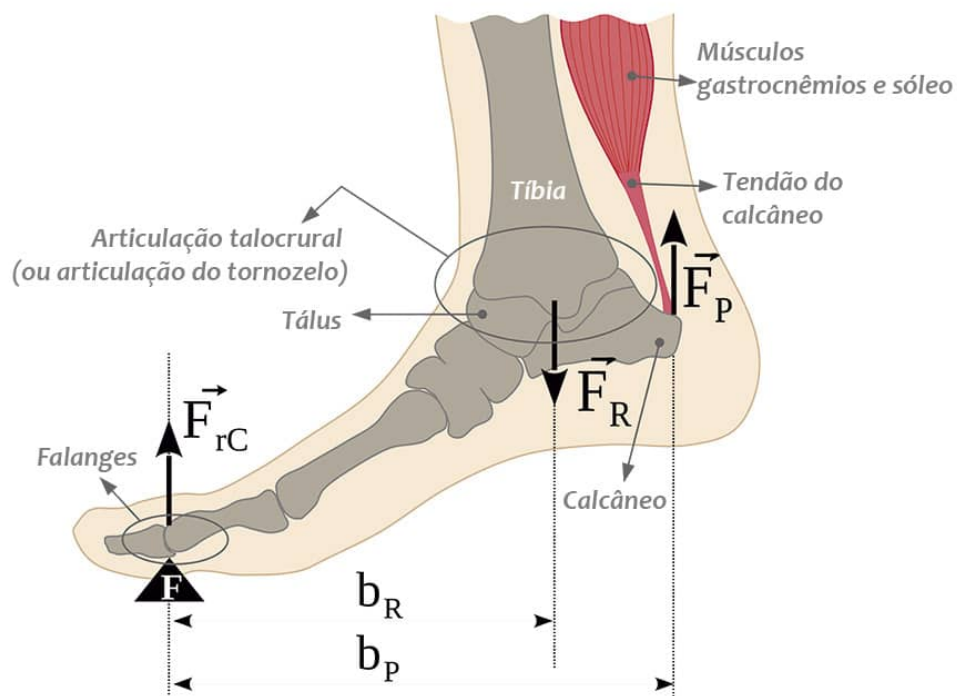


Fonte: FisBioFacil/Shutterstock.com

📷 Figura 18. A articulação atlanto-occipital.

ALAVANCA DE SEGUNDA CLASSE (INTER-RESISTENTES)

Como exemplo de alavanca de segunda classe, ou inter-resistente, temos o movimento de flexão plantar para erguer o corpo do chão, apoiando apenas a ponta dos pés (a famosa “posição de bailarina”). A figura 19 mostra essa alavanca: a ponta do pé funciona como eixo ou fulcro. A força-peso do corpo (F_r da alavanca) incide próxima à articulação do tornozelo. Para erguer o corpo, uma força (F_p da alavanca) é aplicada posteriormente, pelos músculos gastrocnêmios e sóleo (tríceps sural), através do tendão do calcâneo, inserido na tuberosidade desse osso.

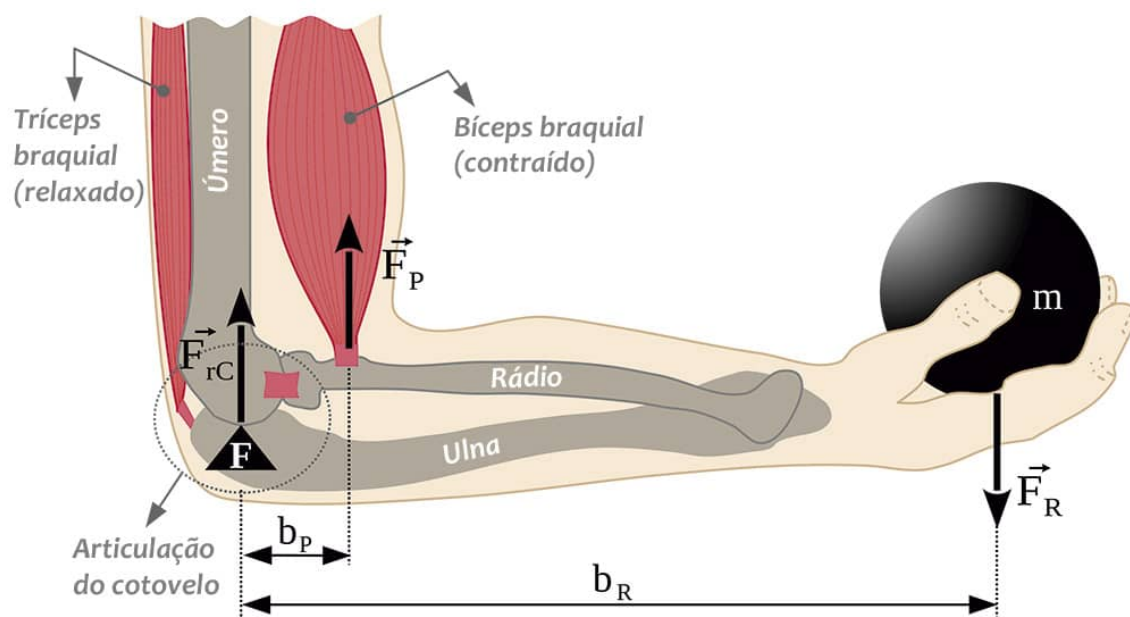


Fonte: FisBioFacil/Shutterstock.com

📷 Figura 19. A “posição de bailarina”, exemplo de alavanca de segunda classe no corpo humano.

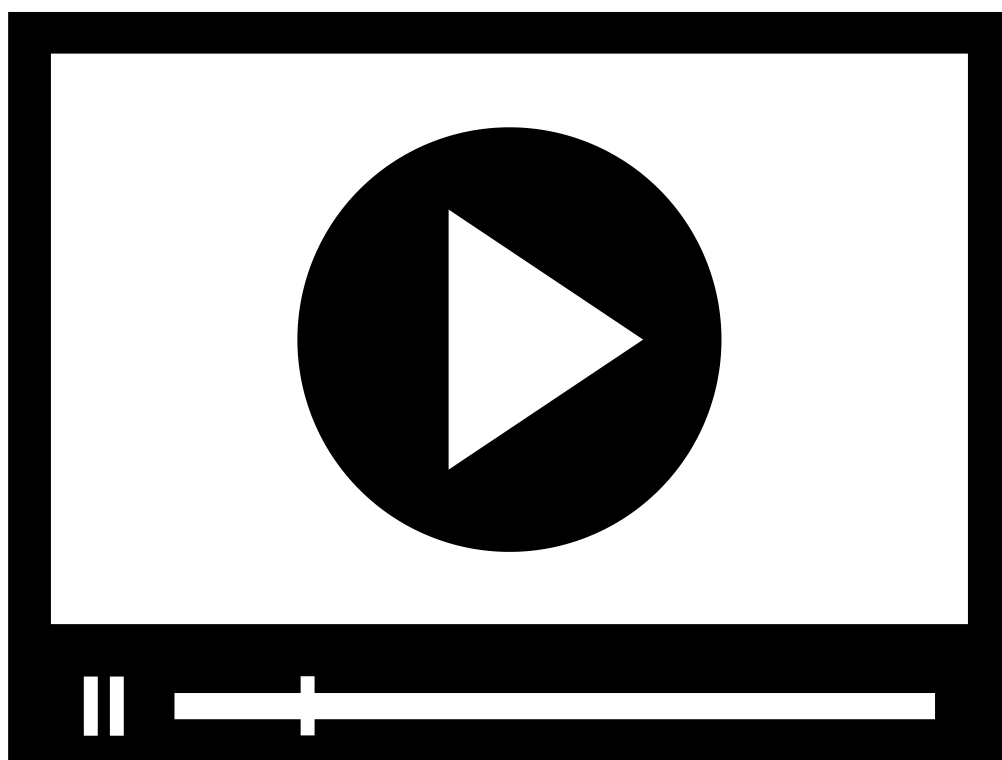
ALAVANCA DE TERCEIRA CLASSE (INTERPOTENTES)

Finalmente, podemos ter como exemplo de alavanca de terceira classe, ou interpotente, a ação dos flexores de cotovelo, como podemos ver na figura 20. Notem que o eixo ou fulcro da alavanca se encontra na articulação do cotovelo. A força exercida pelo músculo bíceps braquial, para realizar a flexão, representa a F_p da alavanca. A força-peso da esfera (cuja massa é m) encontra-se na mão no indivíduo, na extremidade da alavanca (F_p). Ou seja, a F_p está entre o eixo e a F_r . Geralmente, quando realizamos movimentos contra o efeito da gravidade, nos deparamos com esse tipo de alavanca.



Fonte: FisBioFacil/Shutterstock.com

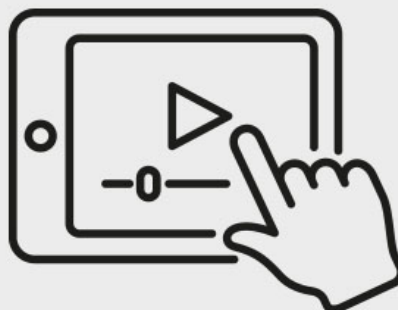
📷 Figura 20. Exemplo de alavanca de terceira classe no corpo humano.



AS PRINCIPAIS ALAVANCAS NOS MOVIMENTOS DA MARCHA

Assista ao vídeo a seguir para saber mais sobre **as principais alavancas nos movimentos da marcha**.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



TORQUE

Já mencionamos que uma força atuando em uma alavanca, pode ter efeito diferente, dependendo do local onde ela é aplicada.

Chamamos de torque a capacidade que a força tem de realizar movimento de alavanca. Uma força pode ter torques diferentes, conforme o local onde ela é aplicada.

Vamos juntos entender isso?

Primeiramente, torque pode ser calculado pela expressão:

$$T = F \cdot B_a$$

Nessa equação, F é a força aplicada (de potência ou de resistência) e B_a é o braço de alavanca, que vem a ser a distância entre o eixo da alavanca e o ponto de aplicação da força. Considerando a força dada em N (Newtons) e o braço de alavanca em cm (centímetros), podemos considerar o torque com unidade de medida N.cm (Newton centímetros). Em uma rápida análise dessa equação podemos concluir que, quanto maior a força, e quanto maior a distância da força ao eixo da alavanca (que é o braço de alavanca), maior será o torque da força (NEUMANN, 2011).

★ EXEMPLO

Consideremos uma alavanca na qual uma força de 10 N está sendo aplicada em uma barra fixa, a uma distância de 10 cm do eixo da alavanca. Quanto será o torque dessa força?

Simples:

$$T = 10N \cdot 10cm = 100 N \cdot cm$$

Se colocarmos essa força a uma distância de 20 cm, o que acontecerá com o torque?

$$T = 10N \cdot 20cm = 200 N \cdot cm$$

Ou seja, dobrei a distância, dobrei o torque da força.

As alavancas irão gerar movimento se tivermos uma diferença entre os torques da força de potência (T_p) e de resistência (T_r).

Observe a gangorra na figura 21, a seguir. Vamos supor que os dois rapazes tenham a mesma força-peso ($w_1 = w_2$, e elas valem, digamos, 800 N) e estão igualmente distantes do eixo (ou seja, as distâncias r_1 e r_2 são iguais e valem 100 cm). Vamos calcular o torque de cada um deles:

$$T_1 = w_1 \cdot r_1 = 800N \cdot 100cm = 80.000N \cdot cm$$

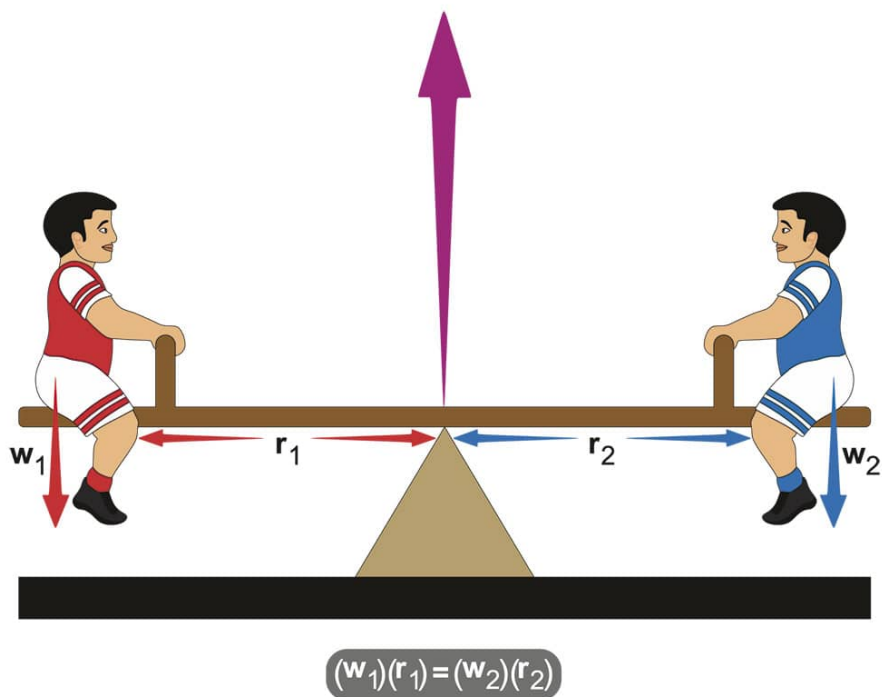
$$T_2 = w_2 \cdot r_2 = 800N \cdot 100cm = 80.000N \cdot cm$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Vejam que os torques que os dois rapazes exercem sobre a gangorra são iguais. Qual será a consequência? A gangorra não se moverá! Dizemos que a alavanca está em equilíbrio.

Alavancas estão em equilíbrio sempre que o torque da potência é igual ao da resistência.

Para que um dos rapazes consiga descer na gangorra, ele terá que gerar um torque maior, usando um dos dois artifícios: ou aumentando a força que ele exerce para baixo, ou se afastando mais do eixo da gangorra. Assim, seu torque aumentará e a gangorra se moverá.



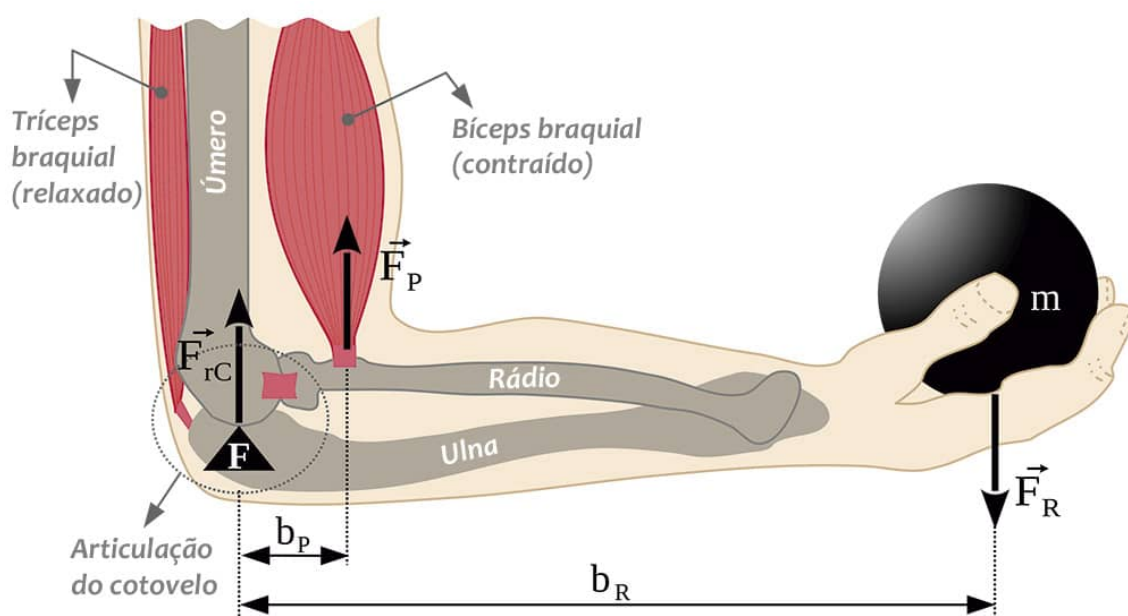
Fonte: udaix/Shutterstock.com

📷 Figura 21. Uma gangorra representando uma alavanca de primeira classe.

O raciocínio desenvolvido ao analisar o exemplo da gangorra pode ser usado para qualquer alavanca.

Vamos ver outros exemplos?

Considere a alavanca da figura 20, que mostra a ação do bíceps braquial. Vamos repeti-la a seguir.



Fonte: FisBioFacil/Shutterstock.com

📷 Figura 20. Exemplo de alavanca de terceira classe no corpo humano.

Considere que o músculo está inserido a 4,5cm (b_p) da articulação do cotovelo, a esfera preta (com massa 2kg) está posicionada a uma distância de 30cm (b_r) do cotovelo, e a força exercida pelo bíceps é de 400N. Dessa forma, calcule o torque da potência (exercida pelo músculo) e da resistência (exercida pela esfera preta). A alavanca se moverá?

Vamos por partes. Primeiramente, calcularemos o torque da potência, usando a relação $T = F.B_a$:

$$T_{\text{bíceps}} = F \cdot B_a = 400N \cdot 4,5cm = 1.800N \cdot cm$$

Agora, vamos calcular o torque da resistência exercida pela esfera. Note que não sabemos ainda o valor da força de resistência, mas sabemos que essa força é a própria força-peso da esfera. Considerando que a aceleração da gravidade é aproximadamente $10m/s^2$, a força-peso (P) pode ser calculada usando a relação:

$$P = m \cdot g$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Portanto:

$$P = 2kg \cdot 10m/s^2 = 20N$$

Ou seja, agora sabemos que a esfera exerce uma força de resistência de 20N na alavanca. Dessa forma, podemos calcular o torque da resistência:

$$T_{\text{resistência}} = F \cdot B_a = 20N \cdot 30cm = 600N \cdot cm$$

Observe que o torque do bíceps é três vezes maior do que o torque da esfera. Portanto, essa alavanca se moverá (a pessoa conseguirá levar a esfera para cima, com uma flexão de cotovelo). Como a potência é realizada pelo bíceps, a alavanca é caracterizada como de terceira classe (interpotente).

Se a pessoa estivesse apenas mantendo a posição da esfera no espaço, poderíamos concluir que os torques da potência e da resistência estariam iguais. Podemos supor que, nesse caso, o bíceps estaria exercendo uma força bem menor do que os 400N do exemplo, para que o torque fosse reduzido e se igualasse aos 600 N.cm do torque da esfera.

Outro conceito importante em alavancas é a **vantagem mecânica (VM)**, representada pela razão entre o braço de alavanca da potência (ou seja, braço de potência B_p) e o braço de

alavanca da resistência (ou seja, braço de resistência B_r). Podemos expressá-la da seguinte maneira:

$$VM = \frac{B_p}{B_r}$$

Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Analisando essa relação concluímos que quando o braço de potência é igual ao de resistência (isto é, as forças de potência e resistência estão à mesma distância do eixo da alavanca), VM vale 1, significando que nenhuma das forças está “em vantagem”. No entanto, se $B_p > B_r$ (nos casos de alavancas de segunda classe), VM terá valor acima de 1. Caso $B_p < B_r$, teremos VM com valor entre 0 e 1 (nos casos de alavancas de terceira classe).

VERIFICANDO O APRENDIZADO

1. NÓS CONSEGUIMOS NOS LOCOMOVER A PARTIR DE MOVIMENTOS ROTACIONAIS, REALIZADOS EM ALAVANCAS. PARA QUE CONSIGAMOS MOVER AS ALAVANCAS DO NOSSO CORPO, PRECISAMOS GARANTIR QUE:

- A) Haja uma diferença entre os torques da potência e da resistência da alavanca.
- B) Haja uma igualdade entre os torques da potência e da resistência da alavanca.
- C) O eixo esteja entre as forças de potência e resistência.
- D) O eixo esteja sempre em uma das extremidades da alavanca.
- E) As alavancas girem em torno do eixo, produzindo o torque.

2. EM UMA ALAVANCA, UMA FORÇA DE POTÊNCIA É APLICADA A 2CM DO EIXO, MAS NÃO CONSEGUE GERAR MOVIMENTO. SABE-SE QUE O

TORQUE DA RESISTÊNCIA É DE 10N.CM. CONSIDERANDO ESSA SITUAÇÃO, PODEMOS CONCLUIR QUE A FORÇA DE POTÊNCIA REALIZADA VALE, EM NEWTONS:

- A) 12
- B) 5
- C) 20
- D) 8
- E) 6

GABARITO

1. Nós conseguimos nos locomover a partir de movimentos rotacionais, realizados em alavancas. Para que consigamos mover as alavancas do nosso corpo, precisamos garantir que:

A alternativa **"A "** está correta.

Para uma alavanca se mover, é preciso haver uma diferença de torques entre a potência e a resistência. A alavanca estará em equilíbrio caso os torques sejam iguais.

2. Em uma alavanca, uma força de potência é aplicada a 2cm do eixo, mas não consegue gerar movimento. Sabe-se que o torque da resistência é de 10N.cm. Considerando essa situação, podemos concluir que a força de potência realizada vale, em newtons:

A alternativa **"B "** está correta.

Se o torque da resistência vale 10N.cm e a alavanca não se move, isso quer dizer que o torque da potência também vale 10N.cm. Se sabemos que a força de potência está localizada a 2 cm do eixo, podemos substituir os valores na equação do torque e encontrar a força: $T = F.d$, logo $10 = F.2$, portanto $F = 5N$.

MÓDULO 3

- ⦿ Identificar os eventos envolvidos no mecanismo da contração muscular esquelética

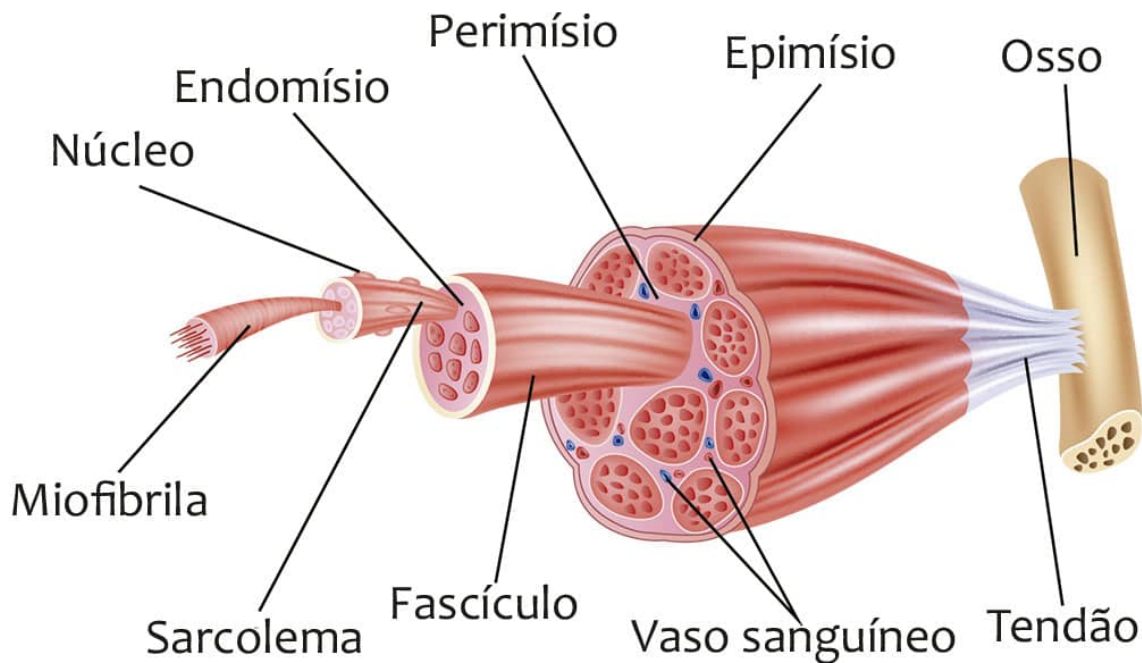
MECANISMO DA CONTRAÇÃO MUSCULAR ESQUELÉTICA

Aproximadamente 40% de nosso corpo são compostos por músculos estriados esqueléticos (HALL, 2017). São tecidos altamente especializados, que, a partir de uma cascata de fenômenos químicos e físicos, produzem força suficiente para a locomoção do corpo humano.

Antes de mais nada, precisamos entender toda a anatomia fisiológica da fibra muscular, para depois analisarmos como se dá o processo de contração.

A FIBRA MUSCULAR ESQUELÉTICA

O músculo esquelético (figura 22) não é apenas composto por tecido muscular contrátil. Ele também é **envolvido por camadas de tecido conjuntivo que organizam o músculo em grupos de feixes**. Todo o ventre muscular é coberto por uma camada chamada **epimísio** e separado em fascículos, estes envolvidos por uma camada chamada **perimísio**. Finalmente, os fascículos são organizados em fibras musculares e cada uma delas é coberta pelo **endomísio** (JUNQUEIRA e CARNEIRO, 2013).



Fonte: Teguh Mujiono/Shutterstock.com

📷 Figura 22. Estrutura do músculo esquelético.

Cada fibra muscular é envolvida pelo sarcolema, a membrana plasmática da célula. Na figura 23, é possível observar uma rede de cisternas (cor verde) chamada retículo sarcoplasmático, que armazena íons cálcio (Ca^{2+}). Esses íons são essenciais para o processo de contração (sobre o qual vamos falar em breve).

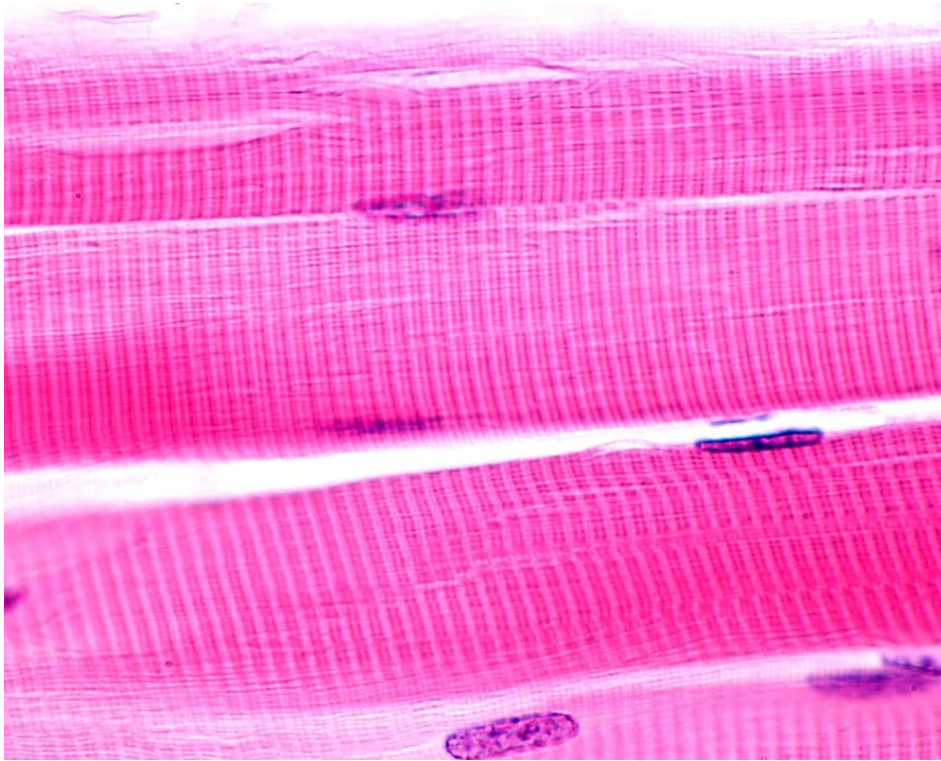


Fonte: Anton Nalivayko/Shutterstock.com

📷 Figura 23. A fibra muscular. A rede representada em cor verde é o retículo sarcoplasmático.

Ao microscópio óptico, é possível detectar a presença de estrias transversais, daí o nome músculo estriado (figura 24). **Essas estrias se devem à alternância de faixas mais claras e**

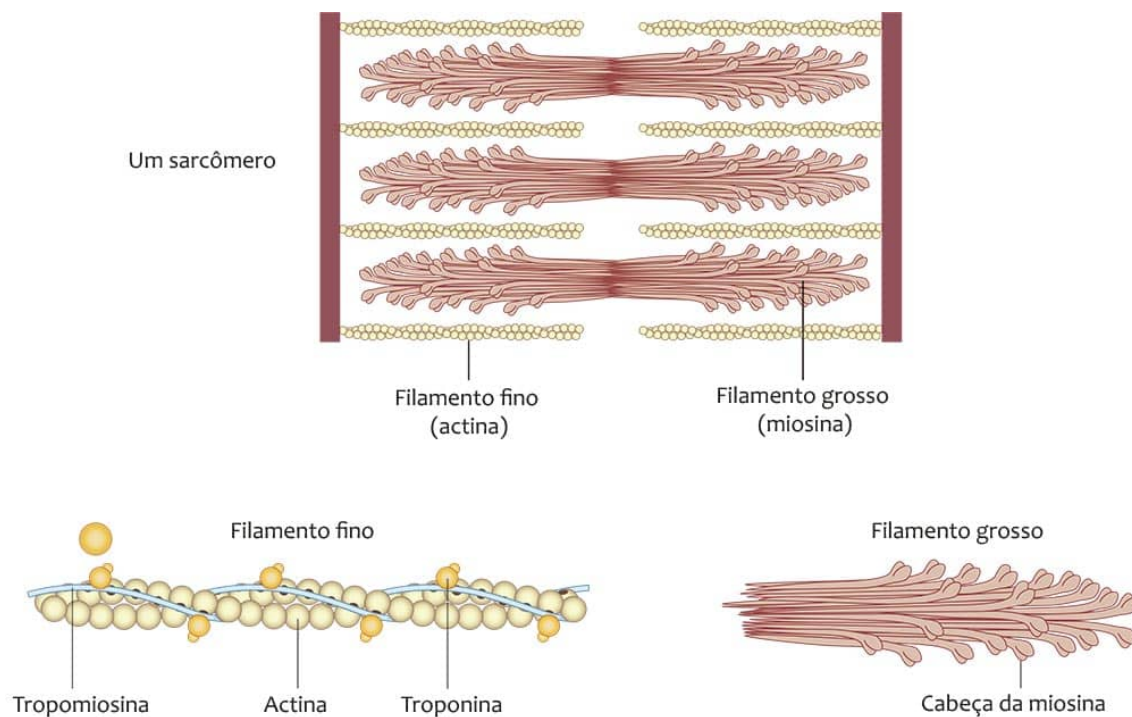
mais escuras, respectivamente, as bandas I (isotrópica) e A (anisotrópica). No centro de cada banda I encontra-se uma linha transversal, chamada linha Z, que separa a fibra em sarcômeros.



Fonte: Jose Luis Calvo/Shutterstock.com

📷 Figura 24. Músculo estriado esquelético visto ao microscópio.

Cada sarcômero (figura 25) é composto por miofibrilas que se organizam em filamentos finos e grossos. Os filamentos finos – também chamados de filamentos de actina – partem das linhas Z em direção ao centro do sarcômero, e os filamentos grossos – filamentos de miosina – se encontram no centro.



Fonte: Emre Terim/Shutterstock.com

📷 Figura 25. O sarcômero e as miofibrilas.

Quatro são as principais proteínas que compõem os sarcômeros: a actina, a troponina, a tropomiosina e a miosina. Vejamos:

FILAMENTOS FINOS

São formados por duas cadeias de proteínas globulares dispostas em dupla hélice. A **tropomiosina** forma um filamento longo e fino, envolvendo o filamento de **actina**. A **troponina**, por sua vez, é uma proteína composta por três subunidades: a TnC (que tem a propriedade de se ligar ao Ca^{2+}); a TnT (que se liga à tropomiosina) e a TnI (que cobre o sítio ativo da molécula de actina).

FILAMENTOS GROSSOS

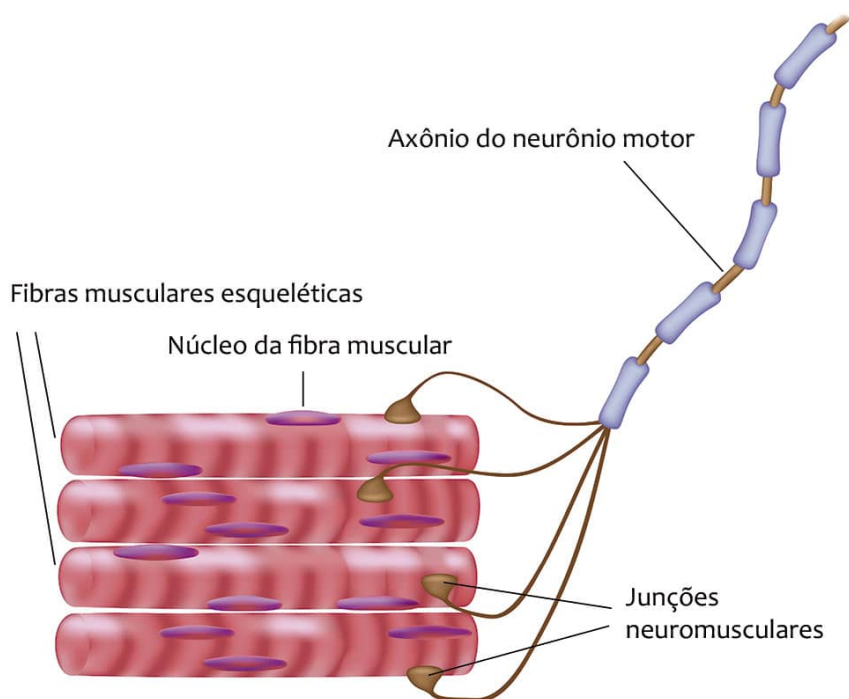
São compostos pela proteína **miosina**, em forma de bastão. Em uma de suas extremidades encontramos uma saliência globular a qual chamamos de cabeça da miosina. Essa cabeça possui função ATPásica, ou seja, é capaz de hidrolisar uma molécula de ATP em ADP, liberando energia. É essa energia que será usada no processo de contração muscular.

Preenchendo o espaço entre as miofibrilas, há o líquido intracelular da fibra muscular, ou sarcoplasma. Podemos encontrar altas concentrações de potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}) e fosfato (PO_4), enzimas e várias mitocôndrias.

A JUNÇÃO NEUROMUSCULAR OU PLACA MOTORA

Para que o músculo realize contração (processo que estudaremos em breve), é necessário, primeiramente, um impulso nervoso. Esse impulso chegará à membrana da fibra (o sarcolema) pela propagação de um potencial de ação de uma fibra nervosa. **O local de encontro dos terminais nervosos ramificados com a superfície extracelular da fibra muscular é chamado de junção neuromuscular, ou placa motora** (HALL, 2017).

Esses terminais nervosos são derivados de um **motoneurônio (ou neurônio motor)** e cada um, innervando um grupo de fibras musculares, é denominado **unidade motora** (figura 26). Motoneurônios que innervam muitas fibras formam a unidade motora grande (especializada em geração de força, com pouco controle). Quando innervam um pequeno número de fibras, chamamos de unidade motora pequena (geram menos força, porém garantem maior controle).



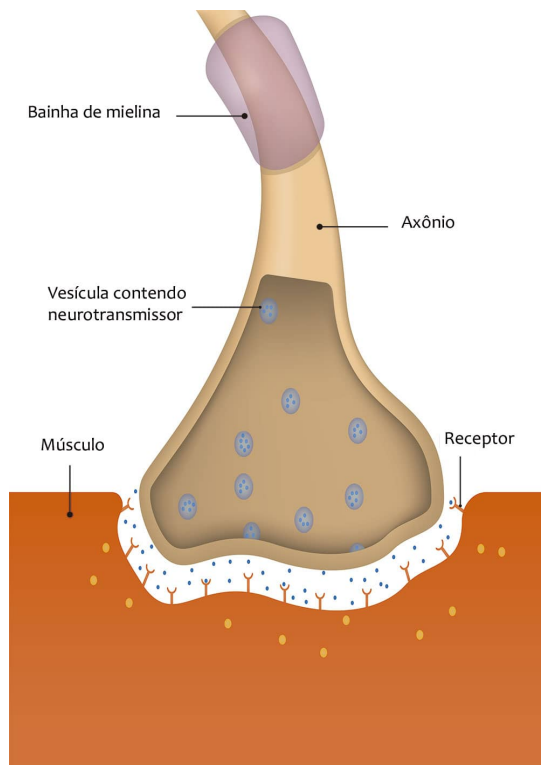
Fonte: Alila Medical Media/Shutterstock.com

📷 Figura 26. A unidade motora.

Nesse local, a membrana sarcoplasmática apresenta **invaginações** – chamadas de goteiras sinápticas – que aumentam a área de superfície para a atuação dos neurotransmissores.

Quando um impulso nervoso atinge a placa motora, o neurotransmissor acetilcolina é liberado no espaço sináptico. Uma vez nesse espaço, ela se ligará a receptores de canais

iônicos na fibra muscular (canais colinérgicos). Esses canais permanecem fechados até que duas moléculas de acetilcolina se liguem neles. Ao se abrirem, permitem a passagem de Na^+ (em maior quantidade) e K^+ . E como já sabemos, ao aumentar o influxo de Na^+ para o meio intracelular, provocamos um potencial de ação na célula pós-sináptica. Em repouso, o potencial no sarcolema é de -80 a -90mV, e sobe rapidamente até atingir o limiar de disparo, que é de aproximadamente -50mV a -40mV. A figura 27 mostra um esquema da junção neuromuscular.



Fonte: joshya/Shutterstock.com

📷 Figura 27. Junção neuromuscular.

A acetilcolina, após sua liberação no espaço sináptico, é destruída por enzimas chamadas de acetilcolinesterases. Isso é importante para que o músculo não permaneça excitado de forma continuada.

MECANISMO GERAL DA CONTRAÇÃO MUSCULAR

Para que ocorra a contração muscular, o impulso nervoso que alcança a fibra muscular deve provocar uma cascata de eventos para que, finalmente, os sarcômeros se contraiam, levando

toda a estrutura muscular a se contrair. Chamamos esse processo de **acoplamento excitação-contração**.

Ao alcançar o sarcolema, o potencial de ação trafega por toda a membrana sarcoplasmática, incluindo suas invaginações chamadas túbulos T (túbulos transversais), que cursam transversalmente às fibras. Ao lado de cada túbulo T se encontram cisternas do retículo sarcoplasmático, que armazenam Ca^{2+} .

Ao se propagar pelos túbulos T, o potencial de ação age em receptores de di-idropiridina, que estão ligados a canais de Ca^{2+} . Esses canais se abrem e liberam Ca^{2+} por todo o sarcoplasma. Ao findar a propagação do potencial de ação, uma bomba de Ca^{2+} atua para recuperar novamente todos os íons para dentro do retículo sarcoplasmático.

Você já deve estar se perguntando: então o Ca^{2+} é importante para a contração, certo?

Exato! Sem esses íons, não é possível gerar contração muscular, e vamos entender agora o porquê.

As cabeças de miosina (filamento grosso) apresentam alta afinidade com a actina (filamento fino), ou seja, elas têm facilidade para se ligar. No entanto, o sítio ativo da actina (local de ligação) permanece coberto pela troponina (especificamente, a TnI). É aqui que entram os íons de cálcio. A troponina tem um local de ligação para Ca^{2+} , a TnC. Ao se ligar a ele, a troponina passa por uma alteração conformacional de sua molécula, fazendo com que ela se desloque e exponha o sítio ativo da actina; dessa forma, ela fica livre para se ligar à cabeça da miosina.

A miosina é formada por uma estrutura de duas cadeias pesadas que se espiralam, formando uma dupla hélice e uma estrutura globular (a cabeça). Entre a cabeça e a haste, observamos uma junção que atua como uma dobradiça (pontes cruzadas), permitindo o movimento das cabeças. Após sua ligação com a actina, a cabeça da miosina hidrolisa (“quebra”) uma molécula de ATP (adenosina trifosfato), seguindo a reação:



Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Nessa reação, ADP é a adenosina difosfato, P_i é o fosfato inorgânico (liberado devido à quebra da ligação do ATP), e ε significa energia. Essa energia causa uma alteração conformacional na cabeça de miosina, gerando movimento em suas pontes cruzadas e puxando o filamento fino

em direção ao centro do sarcômero. Com isso, as linhas Z são puxadas em direção ao centro. Se pensarmos que esse processo está ocorrendo ao mesmo tempo em vários sítios de ligação, **o resultado será o encurtamento do sarcômero** (aproximação das linhas Z).

ATENÇÃO

Para que a cabeça de miosina se solte da actina, ela deve se ligar a outra molécula de ATP. Na sequência, rapidamente ela poderá se conectar a outro sítio ativo de actina, quebrar uma molécula de ATP e realizar movimento. Enquanto existir Ca^{2+} no sarcoplasma (que por sua vez é liberado se houver potenciais de ação chegando à fibra muscular), as cabeças de miosina realizarão esse trabalho de puxar os filamentos finos para o centro do sarcômero (teoria de “ir adiante” ou “*walk-along*”).

Uma condição interessante é o *rigor mortis*, uma contração mantida dos músculos logo após a morte. Aparece em torno da 12ª hora após a morte, e só termina em torno da 36ª, quando naturalmente ocorre a degeneração do tecido muscular. Níveis baixos de ATP fazem com que não seja possível o transporte de Ca^{2+} para o retículo sarcoplasmático e as pontes cruzadas não conseguem se desligar.

Vamos resumir didaticamente o mecanismo de contração muscular em etapas (HALL, 2017):

1

O motoneurônio envia potenciais de ação até as junções neuromusculares.

As terminações nervosas liberam acetilcolina nos espaços sinápticos.

2

3

A acetilcolina abre canais iônicos no sarcolema.

O influxo de Na^+ causa despolarização e um potencial de ação é deflagrado no sarcolema.

4

5

O potencial de ação trafega por toda a membrana, incluindo os túbulos T.

O potencial de ação causa abertura de canais de Ca^{2+} no retículo sarcoplasmático, aumentando rapidamente a concentração do íon no sarcoplasma.

6

7

O Ca^{2+} se liga à troponina, que sofre uma alteração conformacional molecular, descobrindo o sítio ativo da actina.

A cabeça da miosina se liga à actina.

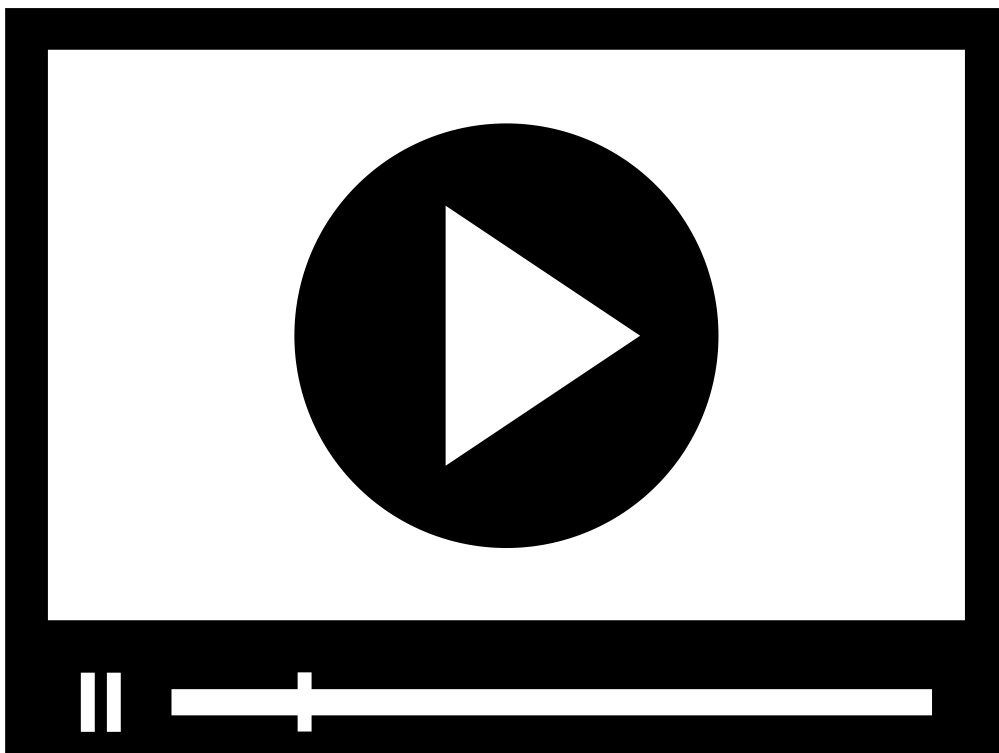
8

9

Com a quebra de uma molécula de ATP, as pontes cruzadas de miosina se dobram, puxando o filamento fino (e, por sua vez, a linha Z) em direção ao centro do sarcômero.

Com a ligação de outra molécula de ATP, a cabeça de miosina se solta da actina e se liga logo em seguida a outro sítio ativo.

10



O MECANISMO DA CONTRAÇÃO MUSCULAR

Assista ao vídeo a seguir para saber mais sobre **o mecanismo da contração muscular**.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



ENERGÉTICA DA CONTRAÇÃO

A molécula de ATP é fundamental para que ocorra a contração muscular. São três as fontes de ATP (POWERS e HOWLEY, 2017):

FOSFOCREATINA

Também chamada de creatina fosfato (CP), é uma molécula de creatina fosforilada. A ligação do fosfato apresenta alta energia, assim como as ligações dos fosfatos nas moléculas de ATP. Nos primeiros segundos de esforço físico, os músculos quebram as moléculas de fosfocreatina em creatina e fosfato, liberando energia para a contração muscular. Os estoques de CP são restabelecidos apenas durante o repouso.

GLICÓLISE ANAERÓBIA

Nesse processo, uma molécula de glicose é quebrada em uma sequência de reações que produzem duas moléculas de piruvato, com produção de duas moléculas de ATP. Na ausência de oxigênio nas mitocôndrias, esse piruvato formado no citoplasma é convertido em ácido láctico. Sendo assim, **a glicólise anaeróbia (também chamada de fermentação láctica) produz uma pequena quantidade de energia (pouco eficiente)**, além de gerar um metabólito que não pode se acumular no plasma (o ácido láctico). Esse tipo de metabolismo é

predominante em atividades de alta intensidade e curta duração (por exemplo, musculação, atletismo de curta distância etc.).

METABOLISMO OXIDATIVO

Esse processo, também chamado de metabolismo aeróbio, inicia-se na mitocôndria, com a entrada do piruvato na organela. O piruvato se transforma em Acetil-CoA (lê-se acetil coenzima-A) e entra na primeira fase desse metabolismo, o Ciclo de Krebs (ou ciclo do ácido cítrico). Nesse ciclo, uma sequência de reações gera uma molécula de ATP, além de fornecer a moléculas transportadoras (NAD, FAD), pares de elétrons que serão usados na segunda fase do metabolismo, a cadeia de citocromos (ou cadeia fosforilativa). **O metabolismo aeróbio é muito eficiente, produzindo, ao final da degradação completa de cada molécula de glicose, 32 ATP.** Por ser um processo dependente de oxigênio e levar mais tempo para ocorrer, esse tipo de metabolismo é **predominante nas atividades de baixa intensidade e longa duração** (caminhadas, corridas etc.).

Segundo Hall (2017), até 25% de toda a energia fornecida aos músculos são convertidos em trabalho mecânico. O resto é convertido em calor, perdendo-se para o ambiente. No metabolismo corporal, aproximadamente metade da energia contida nos alimentos é aproveitada para a formação do ATP e, além disso, apenas 40% da energia de uma molécula de ATP é aproveitada para realizar trabalho, após a quebra da molécula.

TIPOS DE AÇÃO MUSCULAR

As pessoas têm a impressão de que contração muscular é a mesma coisa que “encurtamento muscular”. No entanto, não é bem assim. Um músculo pode contrair se encurtando, se alongando, ou mesmo não alterando seu comprimento. Dessa forma, são diversos os tipos de contração.

Segundo Fleck e Kraemer (2014), podemos classificar as ações musculares em:

AÇÃO MUSCULAR CONCÊNTRICA

O músculo realiza a contração, porém diminui seu comprimento (ou seja, se encurta). Isso ocorre, por exemplo, quando levantamos um peso contra a gravidade: os músculos precisam se encurtar para que os segmentos envolvidos gerem o movimento de alavanca, tendo a gravidade como resistência ao movimento.

AÇÃO MUSCULAR EXCÊNTRICA

O músculo realiza a contração, no entanto **aumenta seu comprimento progressivamente (ou seja, se alonga)**. Geralmente isso acontece quando deixamos um peso ser baixado de maneira controlada. Os músculos, nesse caso, vão se alongando de forma controlada, resistindo à ação da gravidade que empurra o peso para baixo.

AÇÃO MUSCULAR ISOMÉTRICA

O músculo se contrai sem alterar seu comprimento. Não há movimento visível na **articulação**. Sabe-se que a força isométrica máxima de um músculo é sempre maior do que a força concêntrica máxima, porém é sempre menor do que a força excêntrica máxima.

AÇÃO MUSCULAR ISOCINÉTICA

O movimento ocorre em velocidade angular constante. **A velocidade do movimento é controlada**. Para a realização desse tipo de ação, **é necessária a utilização de equipamentos isocinéticos** (figura 28). A grande vantagem de um treinamento com essa ação muscular é o desenvolvimento de força máxima em uma ampla faixa de velocidades, com ocorrência de dores articulares e musculares mínimas.



Fonte: cirkoglu/Shutterstock.com

📷 Figura 28. Equipamento isocinético.

FATORES QUE INFLUENCIAM A FORÇA MUSCULAR

Segundo Nordin e Frankel (2014), alguns fatores podem influenciar a produção de força muscular, a saber:

RELAÇÃO COMPRIMENTO-TENSÃO

A força gerada pelo músculo pode ser afetada pelo seu comprimento inicial. Caso o músculo esteja encurtado ou alongado demais, perdem-se conexões entre as cabeças de miosina e os sítios ativos de actina, dificultando a geração de força. A tensão isométrica máxima pode ser obtida quando o músculo está em repouso, e os sarcômeros apresentam um comprimento de 2 a $2,25\mu\text{m}$.

RELAÇÃO CARGA-VELOCIDADE

Um músculo que se contraia concentricamente terá velocidade de encurtamento inversamente proporcional à carga externa, ou seja, conforme a carga aumenta, o músculo se encurta mais lentamente.

RELAÇÃO FORÇA-TEMPO

Quanto maior for o tempo de contração, maior a força desenvolvida, até se atingir a tensão máxima.

ARQUITETURA DO MÚSCULO

Músculos com fibras mais longas e com área de secção transversa pequena geram menos força do que fibras mais curtas com grande área de secção. Alguns músculos de característica penada (peniformes, multipeniformes) irão gerar mais força: quanto maior o ângulo de penação, maior a capacidade de tensão.

PRÉ-ALONGAMENTO

O músculo gera mais tensão quando se encurta imediatamente após um alongamento.

EFEITO DA TEMPERATURA

Um aumento na temperatura do músculo aumentará a velocidade de condução ao longo do sarcolema e a atividade enzimática muscular. A elasticidade também é aumentada com o calor.

Já em temperaturas mais baixas, pode haver diminuição na produção de ATP, portanto reduzindo o desempenho muscular.

EFEITO DA FADIGA

Qualquer fator que leve à falta de ATP pode provocar a incapacidade do músculo de gerar tensão, o que chamamos de fadiga muscular.

EFEITO DA VIBRAÇÃO

Tem-se mostrado que a vibração pode aumentar a velocidade média, a potência e a força muscular (TAIAR *et al*, 2019).

TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES

A **força muscular é produzida pelo recrutamento de diversos tipos de fibras**, as quais podem ser **classificadas conforme sua capacidade de gerar tensão, suscetibilidade à fadiga e velocidade de contração**. Basicamente os tipos são:

Fibras de tipo I (lentas, ou vermelhas)

Possuem contração lenta oxidativa.

As fibras tipo II (rápidas, ou brancas)

São divididas em fibras IIa (de contração rápida oxidativa glicolítica) e fibras IIb (de contração rápida fosfagênica) (NORDIN e FRANKEL, 2014).

Atualmente sabe-se que **o que determina o tipo de fibra é a inervação**, tendo também influência genética. A tabela 1 mostra as principais características desses tipos de fibras musculares (POWERS e HOWLEY, 2017):

Característica	Fibras rápidas		Fibras lentas
	Tipo IIb	Tipo IIa	Tipo I
Número de mitocôndrias	baixo	alto/moderado	elevado

Diâmetro	grande	intermediário	pequeno
Capilaridade	esparsa	densa	densa
Conteúdo de mioglobina	baixo	intermediário	elevado
Dimensões da unidade motora	grande	intermediária	pequena
Resistência à fadiga	baixa	alta/moderada	elevada
Sistema energético predominante	anaeróbico alático	anaeróbico lático	aeróbico
Atividade ATPase	a mais elevada	elevada	baixa
Velocidade de condução axonal	rápida	rápida	lenta
V _{máx} (velocidade de encurtamento)	a mais elevada	intermediária	baixa
Eficiência	baixa	moderada	elevada
Tensão específica	elevada	elevada	moderada

Atenção! Para visualizaçãocompleta da tabela utilize a rolagem horizontal

A composição das fibras de um músculo depende de sua função. Por exemplo, o músculo bíceps braquial apresenta maior porcentagem de fibras rápidas (tipo II), ao passo que músculos eretores da coluna – que necessitam realizar trabalho menor durante mais tempo – mostram uma concentração maior de fibras tipo I.

O padrão de recrutamento das fibras é progressivo e depende da quantidade de força gerada. De acordo com a força muscular gerada, as fibras são recrutadas do seguinte modo:

POUCA FORÇA MUSCULAR

Os músculos utilizam predominantemente fibras tipo I.

AUMENTO DA INTENSIDADE (APROXIMADAMENTE 40% DA CONTRAÇÃO MÁXIMA)

As fibras tipo IIa começam a atuar para gerar tensão.

INTENSIDADES DE CONTRAÇÃO ACIMA DE 60% DA FORÇA MÁXIMA

As fibras tipo IIx são recrutadas.

Sabe-se também que **a composição muscular com respeito aos tipos de fibras pode ser determinada pelo treinamento físico**. A tabela 2 mostra a composição típica da fibra muscular de atletas de elite, representando diferentes esportes, e de não atletas (POWERS e HOWLEY, 2017):

Esporte	% de fibras lentas (Tipo I)	% de fibras rápidas (Tipos IIx e IIa)
Corredores de distância	70-80	20-30
Corredores de curta distância	25-30	70-75

Halterofilistas	45-55	45-55
Não atletas	47-53	47-53

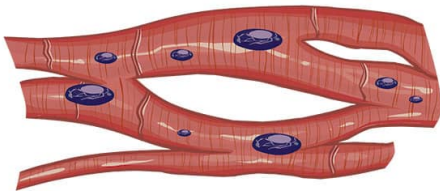
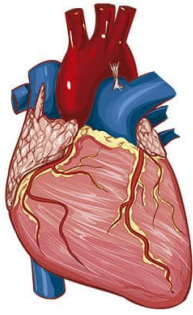
Atenção! Para visualizaçãocompleta da tabela utilize a rolagem horizontal

DIFERENÇAS ENTRE MÚSCULO ESTRIADO ESQUELÉTICO, ESTRIADO CARDÍACO E LISO

Existem três tipos de músculos no corpo humano: o estriado esquelético, o estriado cardíaco e o liso. Vamos ver agora o que os diferencia.

Músculo estriado cardíaco

Ele **forma as paredes do coração e é excitado de forma involuntária**. Tem um sistema próprio de geração de potenciais de ação e se submete aos sinais do sistema nervoso autônomo quando há necessidade. As fibras do miocárdio estão dispostas em malha ou treliça, dividindo-se, recombinaando-se e, novamente, separando-se. Apresenta também os miofilamentos de actina e miosina.



Músculo estriado cardíaco

Fonte: corbac40/Shutterstock.com

📷 Figura 29. Tipos de músculo.



Músculo estriado esquelético

Fonte: corbac40/Shutterstock.com

📷 Figura 30. Tipos de músculo.

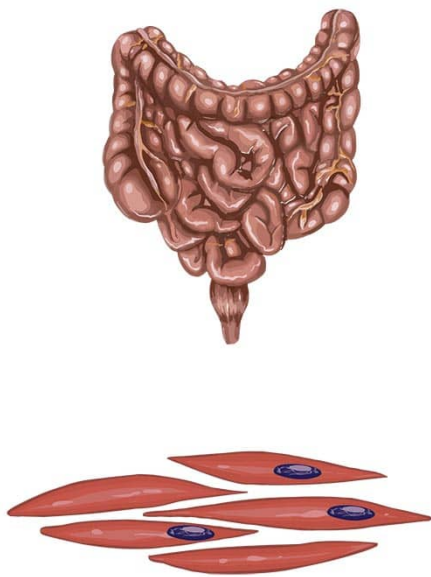
Músculo estriado esquelético

As fibras musculares do músculo estriado esquelético estão separadas umas das outras por discos intercalados (membranas de separação), com “*gap junctions*”: pequenas aberturas na

membrana, permitindo a **rápida difusão de íons de uma célula para outra**.

Músculo liso

Ele se encontra em **órgãos e vísceras do corpo humano** que apresentam movimentos involuntários (por exemplo, sistema digestório). Portanto, **sua estimulação é involuntária**. É formado por células fusiformes com um único núcleo que fazem contração tônica mantida, mais lenta do que nos músculos esqueléticos. As células musculares lisas contêm uma proteína chamada **calmodulina** (semelhante à troponina), responsável pela ativação das pontes cruzadas de miosina, ao se ligar com íons Ca^{2+} .



Músculo liso

Fonte: corbac40/Shutterstock.com

📷 Figura 31. Tipos de músculo.

CALMODULINA

O cálcio no interior da célula liga-se à calmodulina, formando o complexo cálcio-calmodulina, que ativa a miosina quinase.

VERIFICANDO O APRENDIZADO

1. LEIA ATENTAMENTE AS AFIRMATIVAS A SEGUIR, SOBRE O PROCESSO DE CONTRAÇÃO DOS SARCÔMEROS:

I – O CÁLCIO TEM PAPEL FUNDAMENTAL NA CONTRAÇÃO, UMA VEZ QUE ELE SE LIGA À TROPONINA, FAZENDO COM QUE ELA PASSE POR UMA ALTERAÇÃO CONFORMACIONAL E CUBRA O SÍTIO ATIVO DA ACTINA.

II – A CABEÇA DE MIOSINA SE LIGA AO SÍTIO ATIVO NA ACTINA E, COM A ENERGIA DERIVADA DE UM ATP, DOBRA SUA CABEÇA E PUXA O FILAMENTO DELGADO EM DIREÇÃO AO CENTRO DO SARCÔMERO.

III – O RETÍCULO SARCOPLASMÁTICO É O RESPONSÁVEL POR ARMAZENAR ÍONS CÁLCIO DENTRO DA FIBRA MUSCULAR.

IV – MESMO SEM IMPULSO NERVOSO, O CÁLCIO PODE SER JOGADO PARA O SARCOPLASMA E LEVAR À CONTRAÇÃO MUSCULAR.

MARQUE A ALTERNATIVA CORRETA:

- A) As afirmativas I e II estão corretas.
- B) As afirmativas I e III estão corretas.
- C) As afirmativas II e III estão corretas.
- D) As afirmativas I e IV estão corretas.
- E) As afirmativas III e IV estão corretas.

2. OS MÚSCULOS APRESENTAM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE TIPOS DE FIBRAS, DE ACORDO COM SUAS FUNÇÕES. POR EXEMPLO, MÚSCULOS COMO BÍCEPS E TRÍCEPS BRAQUIAL SÃO ESPECIALIZADOS EM GERAÇÃO DE TENSÃO, POR ISSO SUA MAIOR

CONCENTRAÇÃO DE FIBRAS TIPO IIB. ASSINALE A ALTERNATIVA EM QUE SOMENTE TEMOS CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS TIPO IIB:

- A)** Metabolismo predominantemente anaeróbio, grande capacidade para gerar tensão, pouca quantidade de mitocôndrias.
- B)** Metabolismo predominantemente aeróbio, grande capacidade para gerar tensão, grande quantidade de mitocôndrias.
- C)** Metabolismo predominantemente anaeróbio, pequena capacidade para gerar tensão, grande quantidade de mitocôndrias.
- D)** Metabolismo predominantemente aeróbio, pequena capacidade para gerar tensão, pequena quantidade de mitocôndrias.
- E)** Metabolismo predominantemente aeróbio, grande capacidade para gerar tensão, grande quantidade de mitocôndrias.

GABARITO

1. Leia atentamente as afirmativas a seguir, sobre o processo de contração dos sarcômeros:

I – O cálcio tem papel fundamental na contração, uma vez que ele se liga à troponina, fazendo com que ela passe por uma alteração conformacional e cubra o sítio ativo da actina.

II – A cabeça de miosina se liga ao sítio ativo na actina e, com a energia derivada de um ATP, dobra sua cabeça e puxa o filamento delgado em direção ao centro do sarcômero.

III – O retículo sarcoplasmático é o responsável por armazenar íons cálcio dentro da fibra muscular.

IV – Mesmo sem impulso nervoso, o cálcio pode ser jogado para o sarcoplasma e levar à contração muscular.

Marque a alternativa correta:

A alternativa **"C "** está correta.

As afirmativas I e IV estão erradas. O cálcio tem papel fundamental na contração, uma vez que ele se liga à troponina, fazendo com que ela passe por uma alteração conformacional e assim descubra o sítio ativo da actina, para a ligação com a miosina. Para que aconteça a liberação de cálcio no sarcoplasma, o impulso nervoso deve chegar ao retículo sarcoplasmático.

2. Os músculos apresentam diferentes concentrações de tipos de fibras, de acordo com suas funções. Por exemplo, músculos como bíceps e tríceps braquial são especializados em geração de tensão, por isso sua maior concentração de fibras tipo IIb. Assinale a alternativa em que somente temos características das fibras tipo IIb:

A alternativa "A " está correta.

As fibras tipo IIx são especializadas em produção de força, por essa razão seu metabolismo é predominantemente anaeróbio, podem gerar grande quantidade de tensão e têm poucas mitocôndrias (uma vez que o metabolismo aeróbio não é predominante).

CONCLUSÃO

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O movimento humano é fantástico! Os tecidos ósseo, articular e muscular agem em sinergia para que possamos produzir movimentos de alavanca e gerar os torques necessários para nossas atividades do dia a dia.

Neste tema, foi possível observar como os princípios da Mecânica são essenciais para entender de que forma os músculos agem no corpo. Também aprendemos que os três tipos de alavanca (interfixa, inter-resistente e interpotente) estão presentes em nossa biomecânica.

Vimos como ocorre o complexo processo de contração muscular, por intermédio de uma interação entre proteínas especializadas. Esse fenômeno é inteiramente dependente da presença de duas coisas: ATP e cálcio. O ATP fornecerá a energia necessária para a geração de força pelas pontes cruzadas de miosina-actina. O cálcio, por sua vez, possibilitará a ligação da cabeça da miosina com a actina, para a contração do sarcômero.

Por fim, compreendemos alguns aspectos importantes da biomecânica do tecido muscular: que os músculos são compostos por fibras musculares tipo I e II, cada uma com suas características peculiares; a energética da contração, ou seja, de onde os músculos extraem os ATP para a oferta de energia; e os fatores que podem influenciar a produção de força muscular.

Para ouvir um *podcast* sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



REFERÊNCIAS

- FLECK, S. J.; KRAEMER, W. J. **Fundamentos do treinamento de força muscular**. Porto Alegre: Artmed, 2014.
- HALL, J. E. **Guyton e Hall: Tratado de fisiologia médica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia básica: texto & atlas**. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2013.
- NORDIN, M.; FRANKEL, V. H. **Biomecânica básica do sistema musculoesquelético**. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2014.
- NEUMANN, D. A. **Cinesiologia do aparelho musculoesquelético**. Rio de Janeiro: Mosby, 2011.
- POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho**. São Paulo: Manole, 2017.
- TAIAR, R.; MACHADO, C. B.; CHIEMENTIN, X.; BERNARDO-FILHO, M. **Whole body vibrations: physical and biological effects on the human body**. Boca Raton: CRC Press, 2019.
-

EXPLORE+

Pesquise e leia o artigo de Braga *et al*, publicado na *Revista brasileira de fisiologia do exercício* para saber o que são as câibras e o que pode causá-las.

CONTEUDISTA

Christiano Bittencourt Machado

 **CURRÍCULO LATTES**