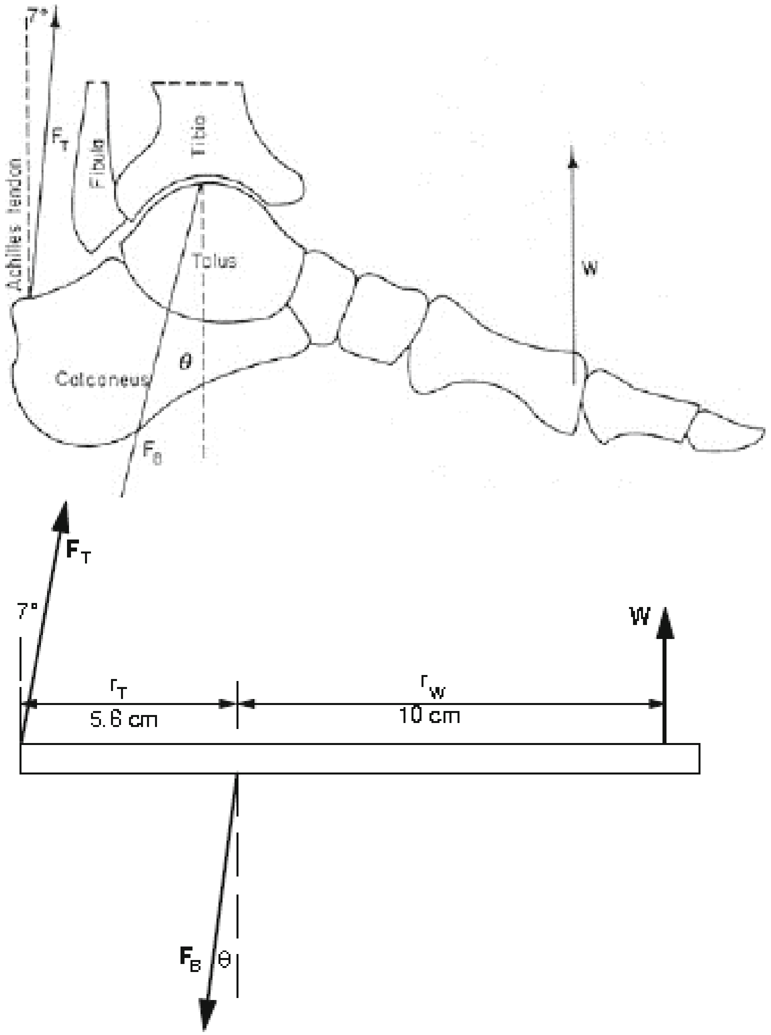
F-106 Física para Biologia

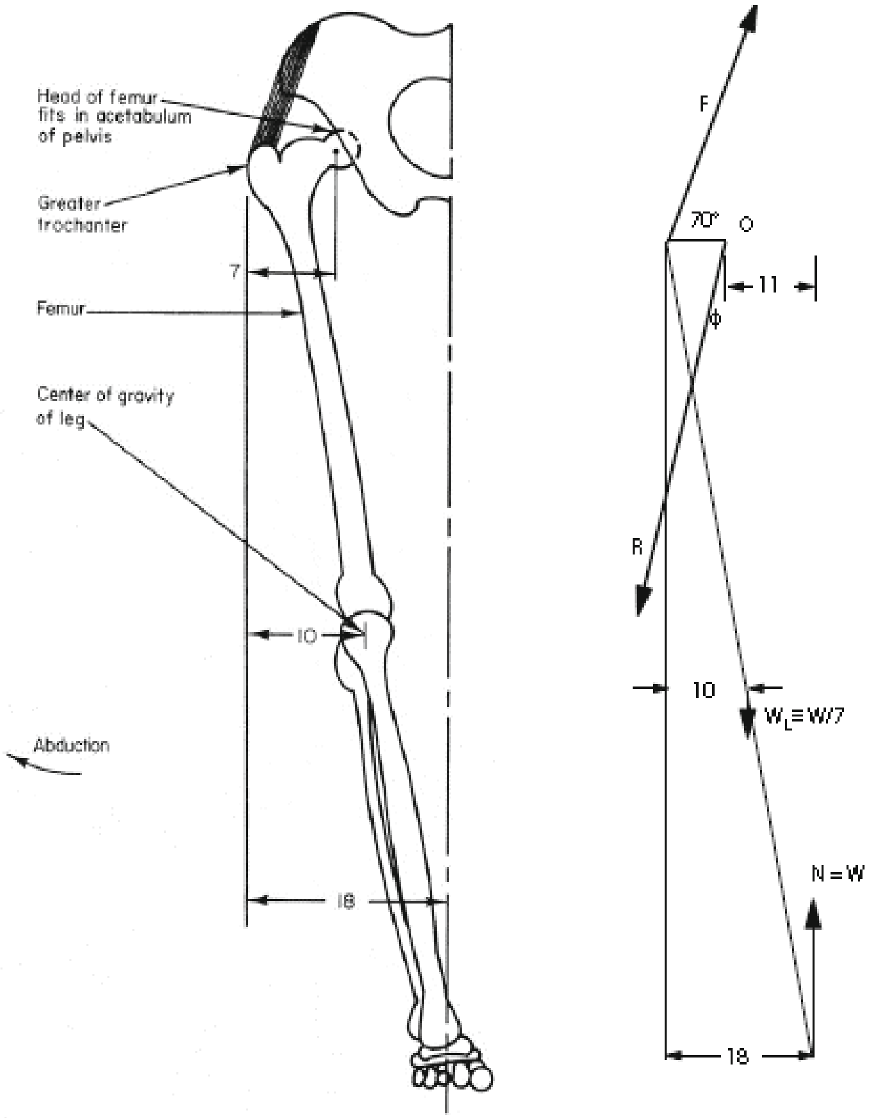
Dinâmica, Energia e Elasticidade – Exemplos

As Leis de Newton Aplicadas - Introdução

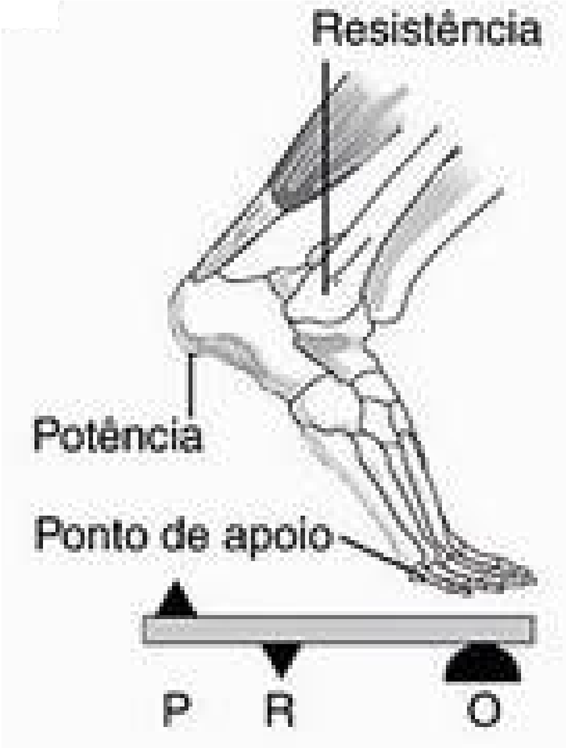
Força no Tendão de Aquiles

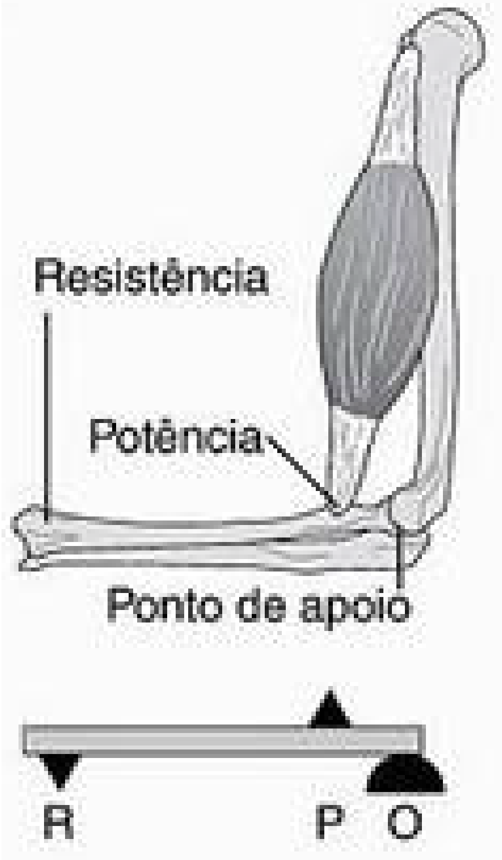


Força nos Quadris

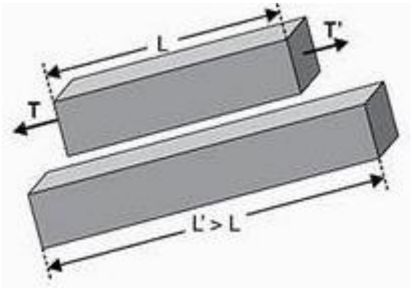


As Leis de Newton Aplicadas - Alavancas

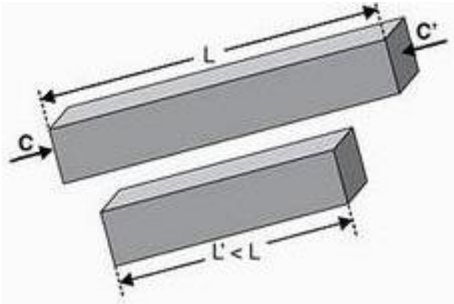




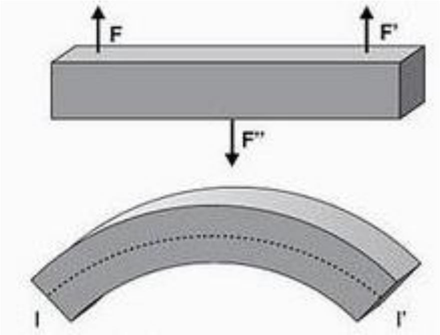
Elasticidade



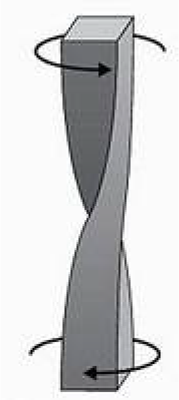
Tração



Compressão



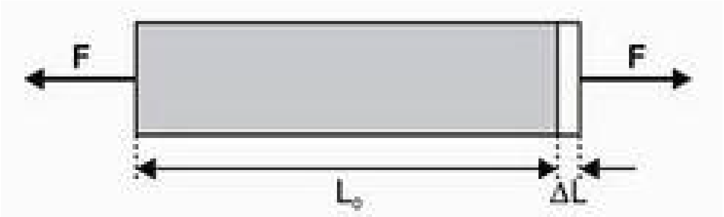
Flexão



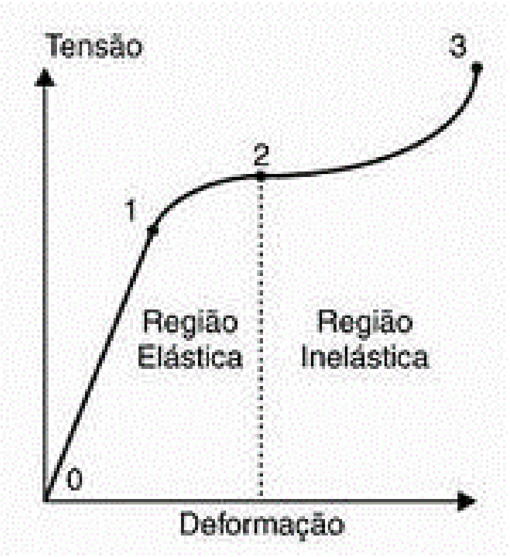
Torção

Grau de elasticidade: $Y = \frac{Tensão}{Deformação} = (F/A)(\Delta L/L_0)$

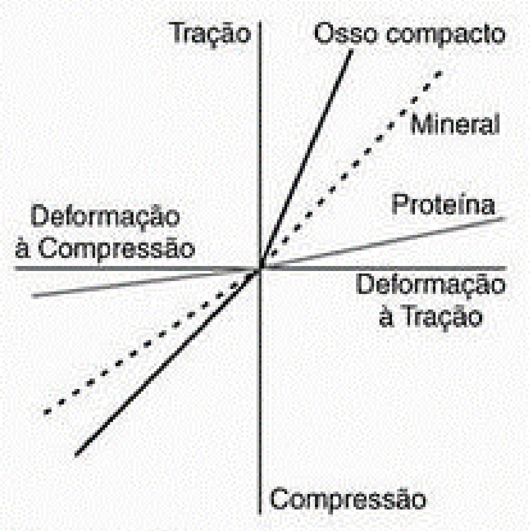
Módulo de Young



Elasticidade



	Tração máxima (N/m^2)	Compressão máxima (N/m^2)	Y (N/m^2)
Aço duro	$82,7 \times 10^7$	$55,2 \times 10^7$	$2,07 \times 10^{11}$
Osso compacto	$9,8 \times 10^7$	$14,7 \times 10^7$	$1,79 \times 10^{10}$



Exemplo: Resistência às tensões deformadoras do Fêmur

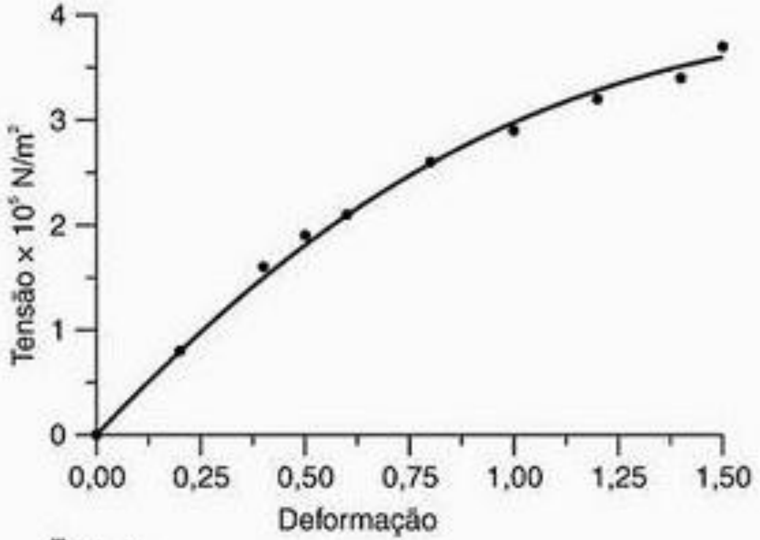
Espécie	Tração $\times 10^7$ N/m^2	Compressão $\times 10^7$ N/m^2
Homem	12,4	17,0
Cavalo	12,1	14,5
Boi	11,3	14,7
Cervo	10,3	13,3
Javali	10,0	11,8
Porco	8,8	10,0
Avestruz	7,1	12,0

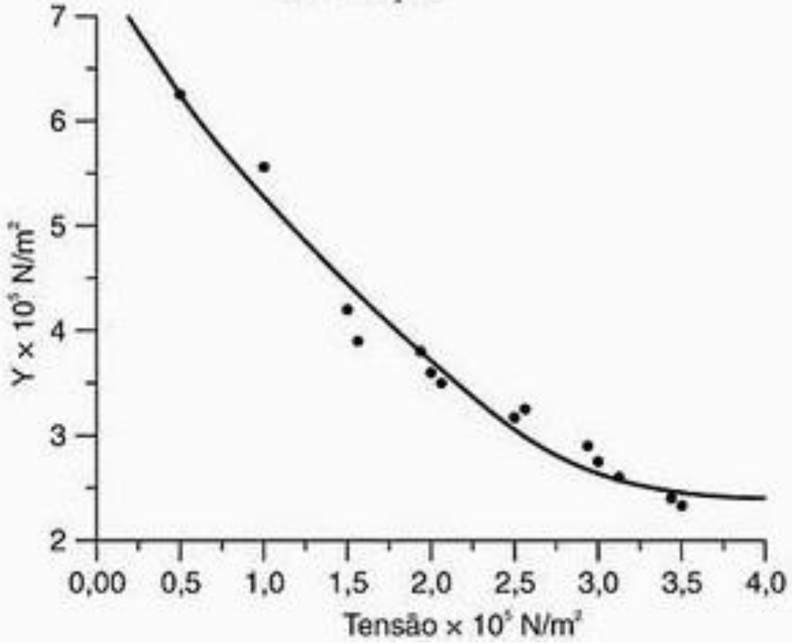
Elasticidade

Exemplo: Um músculo sofre uma força de compressão; o gráfico tensão-deformação das fibras musculares é apresentado na figura ao lado.

a) Determine o módulo de Young, para tensões de 1; 2,5 e $3{,}5\times10^5$ N/m^2.

b) Faça o gráfico do módulo de Young em função do esforço aplicado.





Resolução: Do gráfico tensão-deformação, vemos que, para as tensões 1; 2,5 e $3{,}5\times10^5$ N/m^2, as deformações são, respectivamente, 0,18, 0,79 e 1,5.

Portanto, os módulos de Young serão respectivamente:

$Y = 1{,}0\times10^5/0{,}18 = 5{,}56\times10^5$ N/m^2;

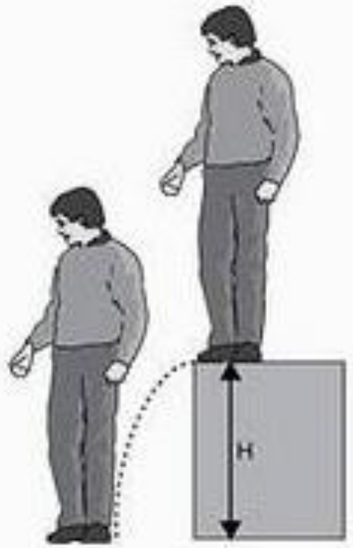
$Y = 2{,}5\times10^5/0{,}79 = 3{,}17\times10^5$ N/m^2;

$Y = 3{,}5\times10^5/1{,}50 = 2{,}33\times10^5$ N/m^2.

b) Do gráfico Y-tensão, concluímos que, quando a tensão *decresce*, o módulo de Young Y *aumenta*.

Forças elásticas

Exemplo: A *tíbia* é o osso mais vulnerável da perna do ser humano. Esse osso sofre fratura para esforços de *compressão* da ordem de 5×10^4 N. Suponha que um homem com 75 kg de massa salte de uma altura H e, ao cair no chão, *não dobre os joelhos*. O esforço que a tíbia sofre faz com que ela tenha um encurtamento $\Delta l \approx 1$ cm. Qual deverá ser o valor máximo de H para que esse osso não frature?



$v_0^2 = 2gH$

Resolução: Com determinamos a velocidade v, com a qual os pés do homem chegam ao chão: $v^2 = 2gH$. Ao tocar o chão, a tíbia sofre uma força média de compressão **F**, que provoca uma deformação Δl. Esta deformação acontece com uma aceleração média **a**; assim, de acordo com $v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$

$$2gH = 2a\Delta l \Rightarrow a = g(H/\Delta l).$$

A intensidade da compressão será

$$F = mgH/\Delta l;$$

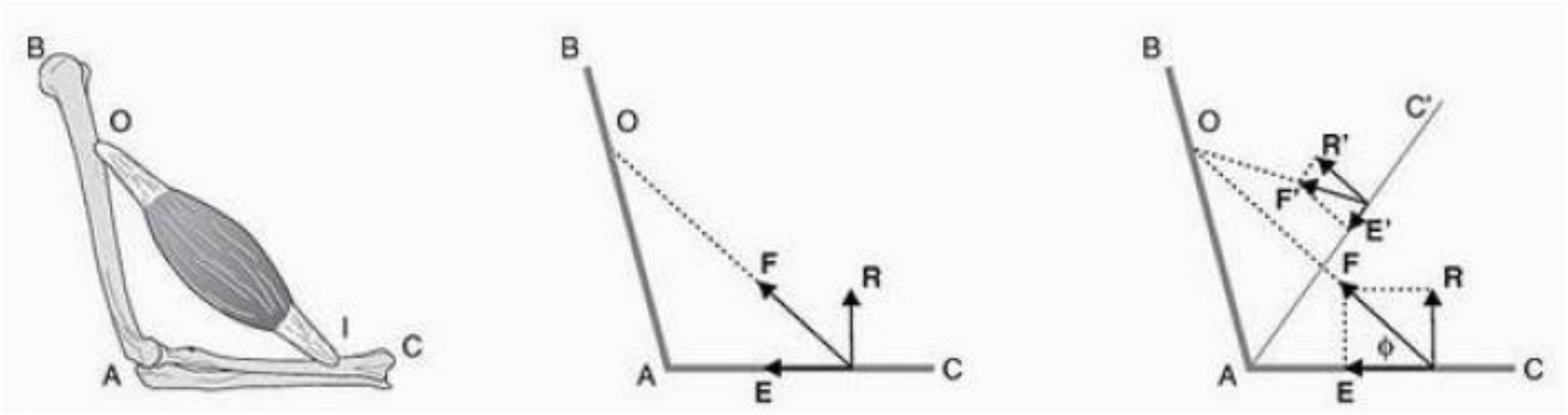
onde *m* é a massa do humano.

Se $F = 5 \times 10^4$ N, então temos que

$$H = (5 \times 10^4 \text{ N})(0{,}01 \text{m})/(75 \text{ kg})(9{,}8 \text{ m/s}^2) \approx 0{,}7 \text{ m}.$$

Assim, ignorando a ação muscular, se um homem com 75 kg saltar de alturas menores que 70 cm e cair de pé, não terá sua tíbia fraturada.

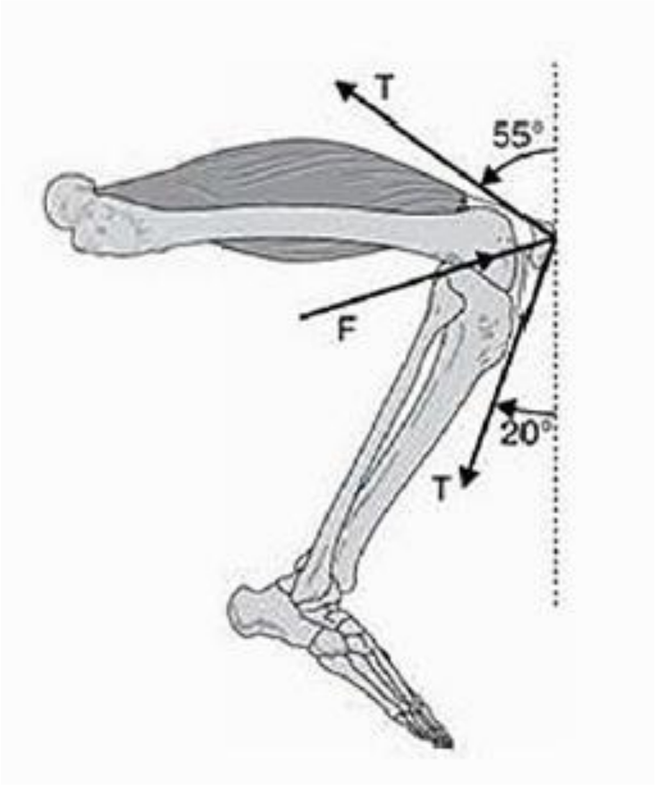
Força Muscular

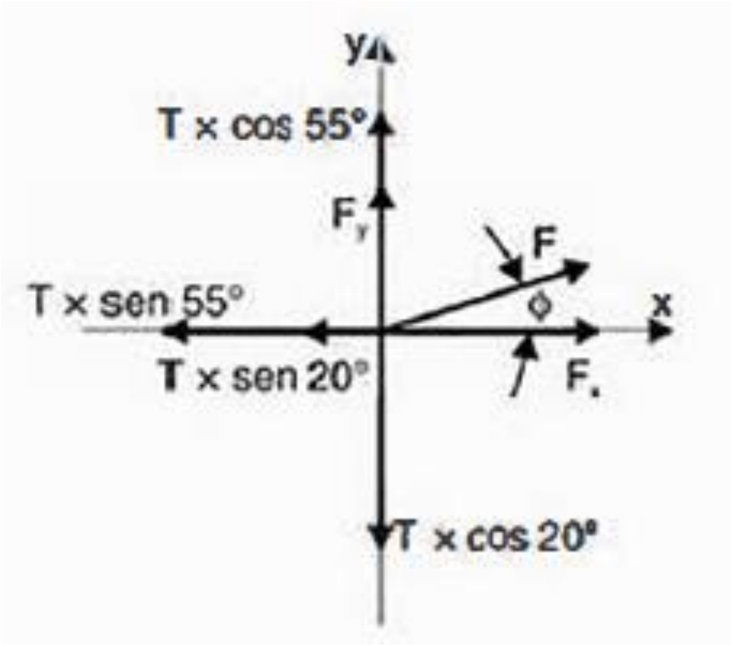


R: Componente Rotador
E: Componente Estabilizador

Exemplo: O músculo quadríceps se encontra na coxa e seu tendão chega até a perna. Considere a perna ligeiramente dobrada de modo que a tensão T no tendão seja 1400 N. Determine a direção e a magnitude da força F, exercida pelo fêmur sobre a patela.

Resolução: Como o sistema de ossos na articulação da perna e o tendão do quadríceps estão em equilíbrio, a resultante das forças T e F deverá ser nula.





Alavancas

NO CORPO HUMANO

Haste Rígida ——> Segmento corporal envolvido no movimento.

ossos

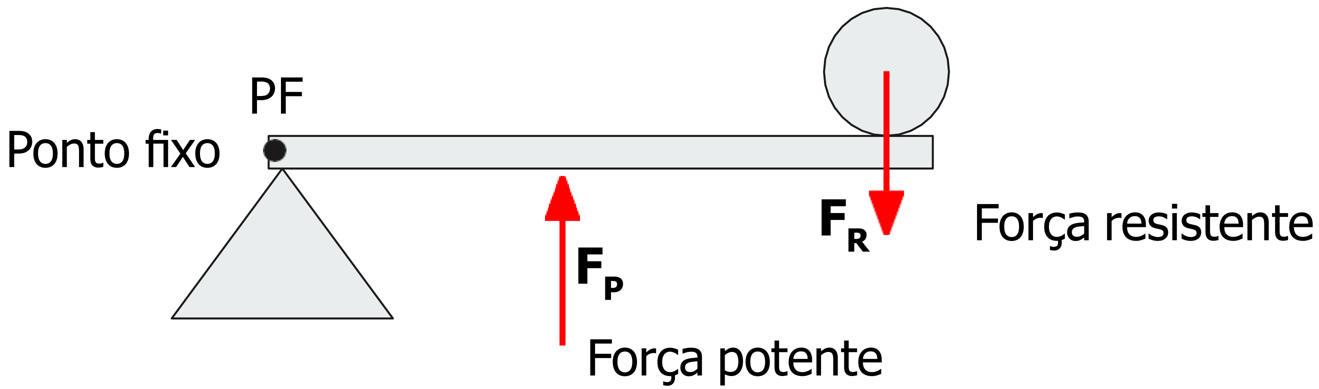
Ponto Fixo ——> Articulação.

Força Potente ——> Força Muscular (representada no local de inserção do músculo).

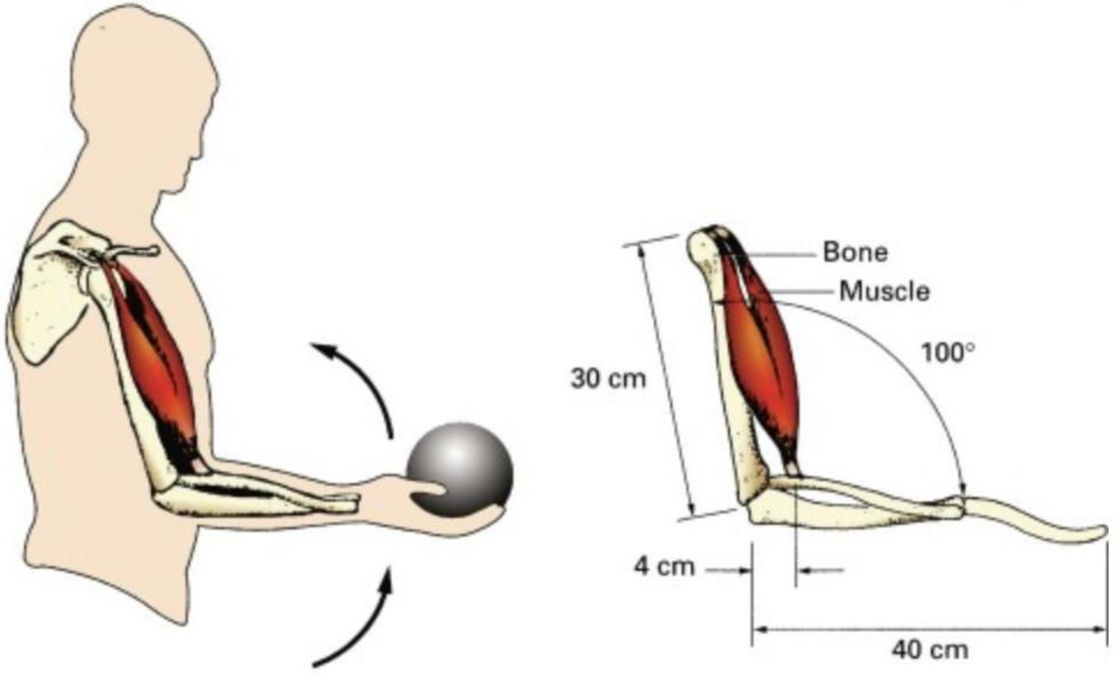
Força Resistente ——> Peso dos Segmentos corporais envolvidos no movimento.

ossos e/ou cargas

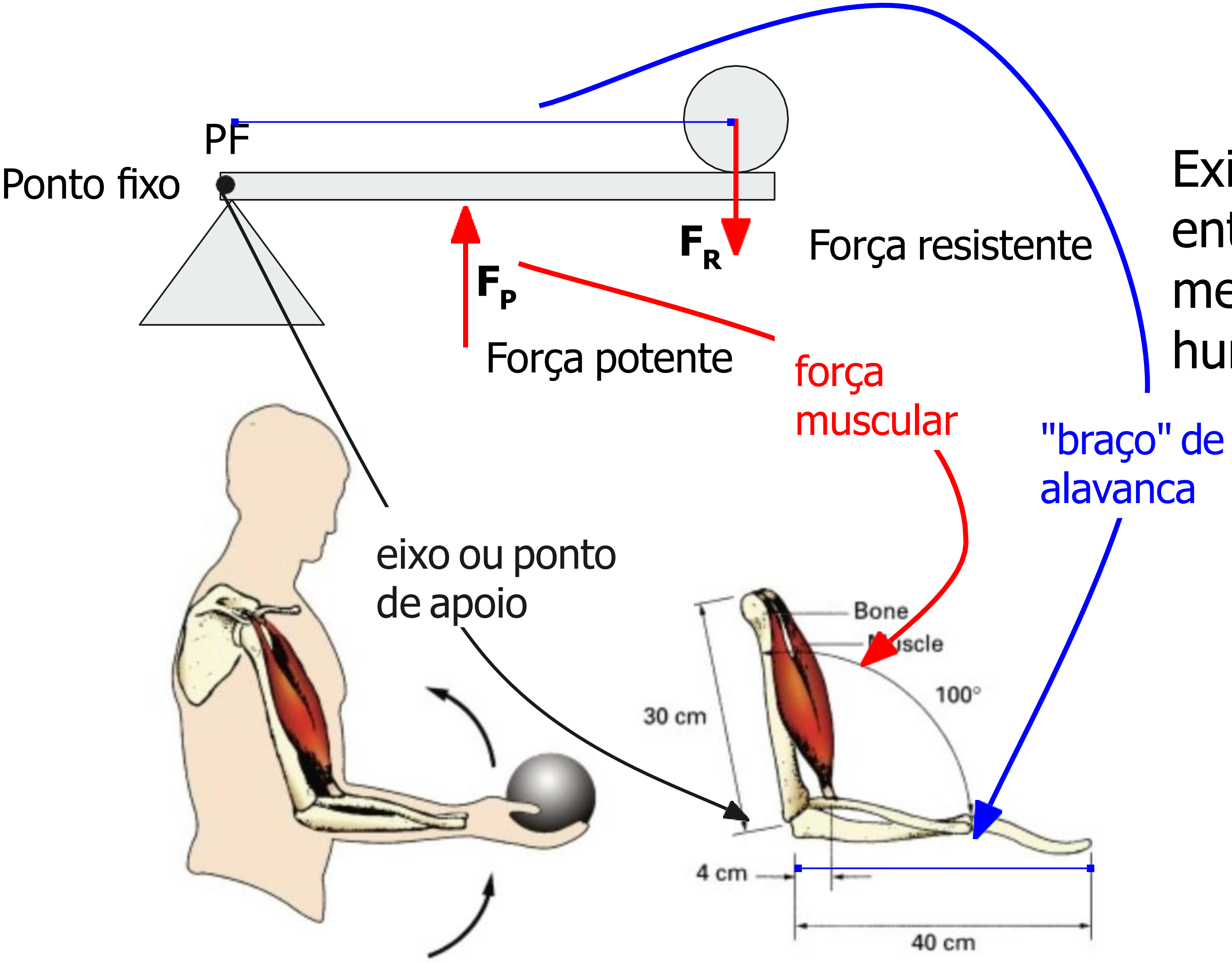
Alavancas



Existe semelhança entre esse sistema mecânico e corpo humano?



Alavancas



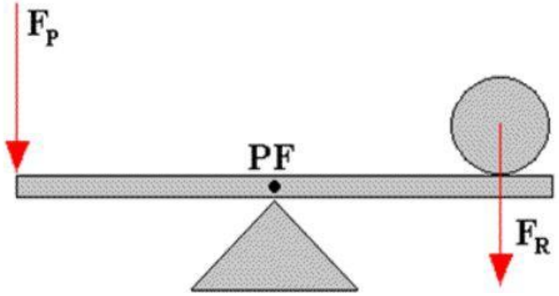
Existe semelhança entre esse sistema mecânico e corpo humano?

Alavancas no corpo humano

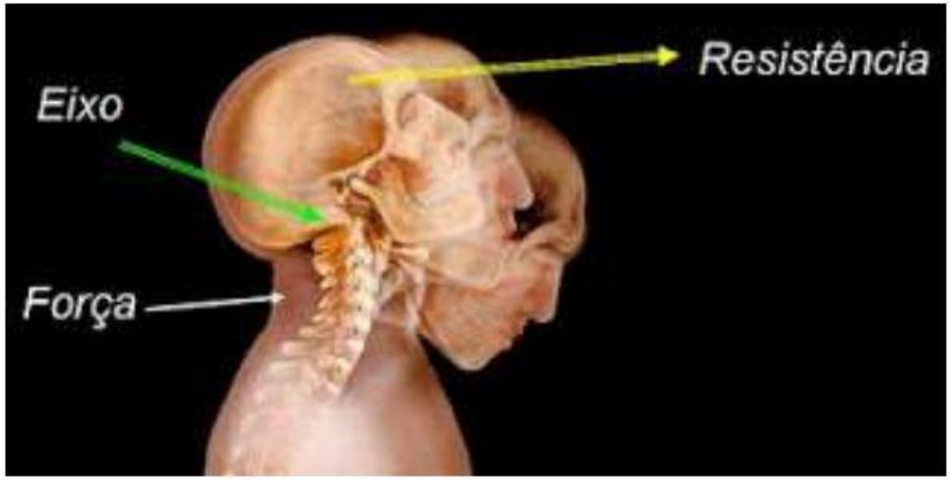
Alavancas de Iª classe

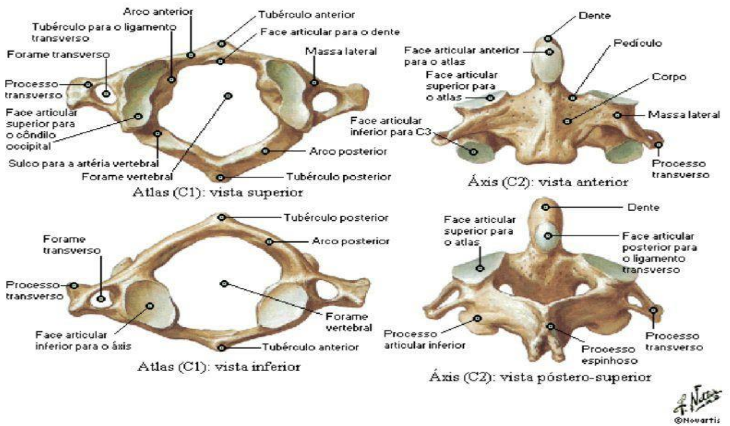
- INTERFIXA

O ponto fixo se encontra entre a força potente e a força resistente;
É mais bem desenhada para o movimento de balanceio;



- Movimento da cabeça sobre o Atlas (Iª vértebra cervical) no sentido de flexão e extensão do pescoço.



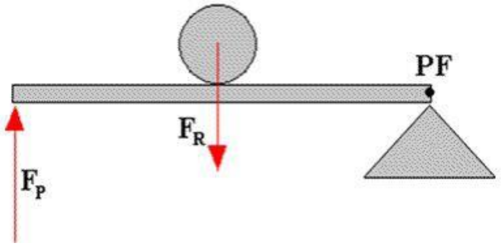


Alavancas no corpo humano

Alavancas de 2ª classe

- INTER-RESISTENTES

A força resistente está entre a força potente e o ponto fixo;
Apresenta maior vantagem mecânica pois o braço de força é sempre maior que o braço de resistência;
Pouco encontrada no corpo humano.



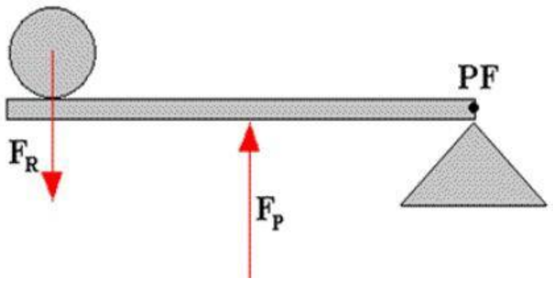
- A ação dos músculos flexores plantares do tornozelo quando uma pessoa fica nas pontas dos pés.

Alavancas no corpo humano

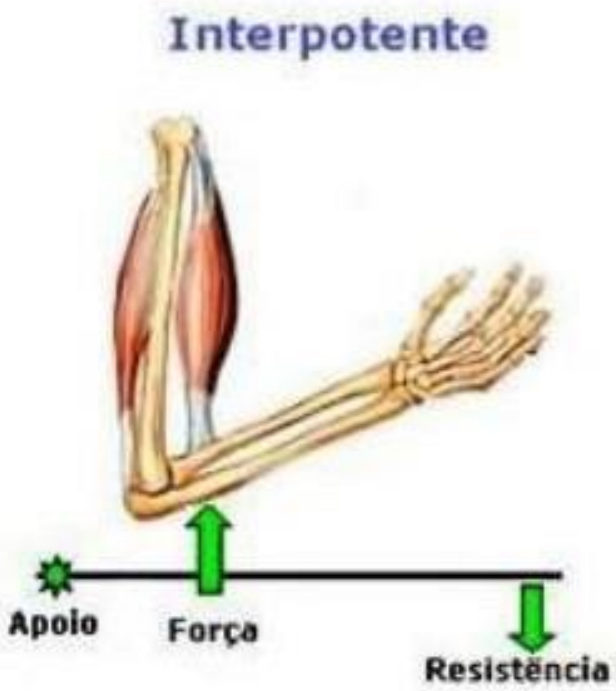
Alavancas de 3ª classe

- INTERPOTENTES

A força potente está entre a força resistente e o ponto fixo;
Mais comum no corpo humano;
Não oferece vantagem mecânica;
É boa para o movimento.



- Bíceps durante a flexão de cotovelo, onde o ponto fixo é a articulação do cotovelo, a força potente é a inserção proximal do bíceps no rádio e a força resistente é o peso do antebraço e da mão.



O cotovelo

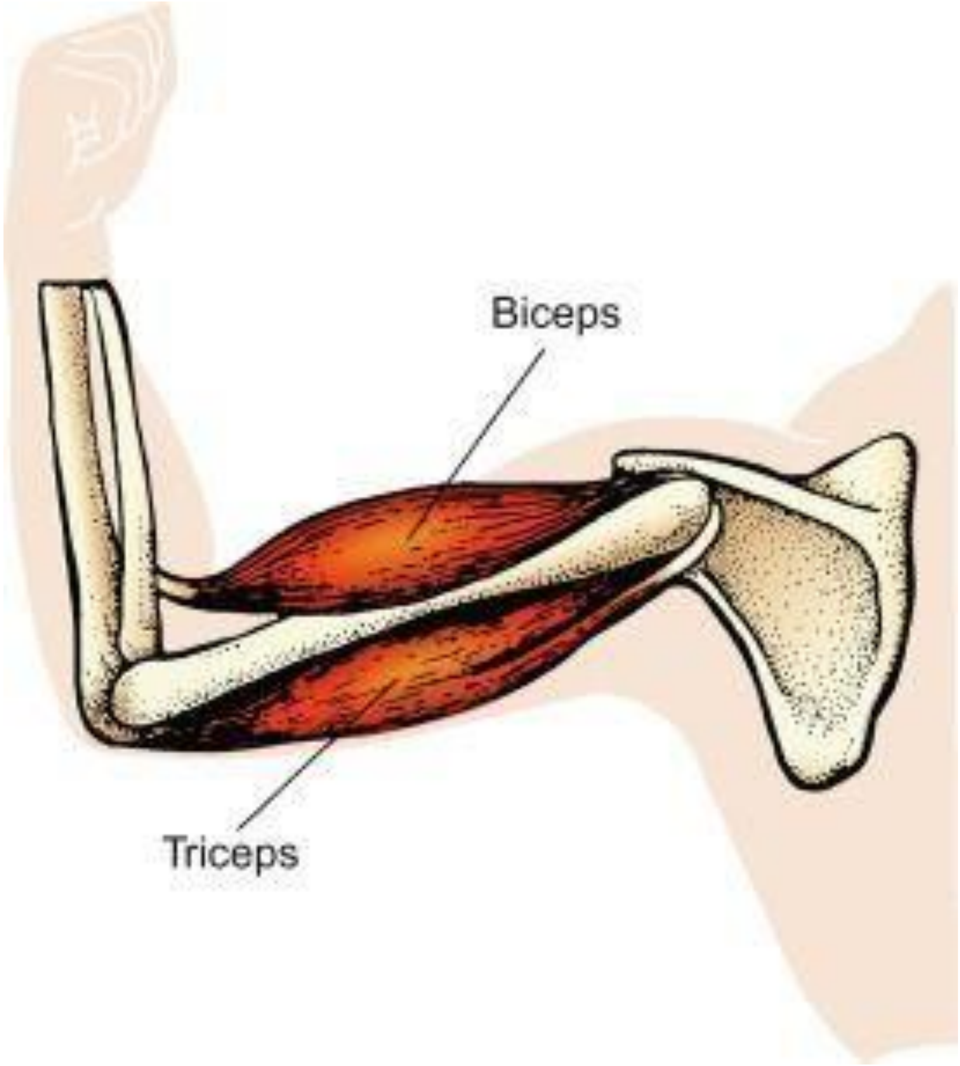
Os dois músculos mais importantes que produzem o movimento do cotovelo são o **bíceps** e o **tríceps**.

A contração do tríceps causa uma extensão ou abertura do cotovelo

A contração do bíceps fecha o cotovelo.

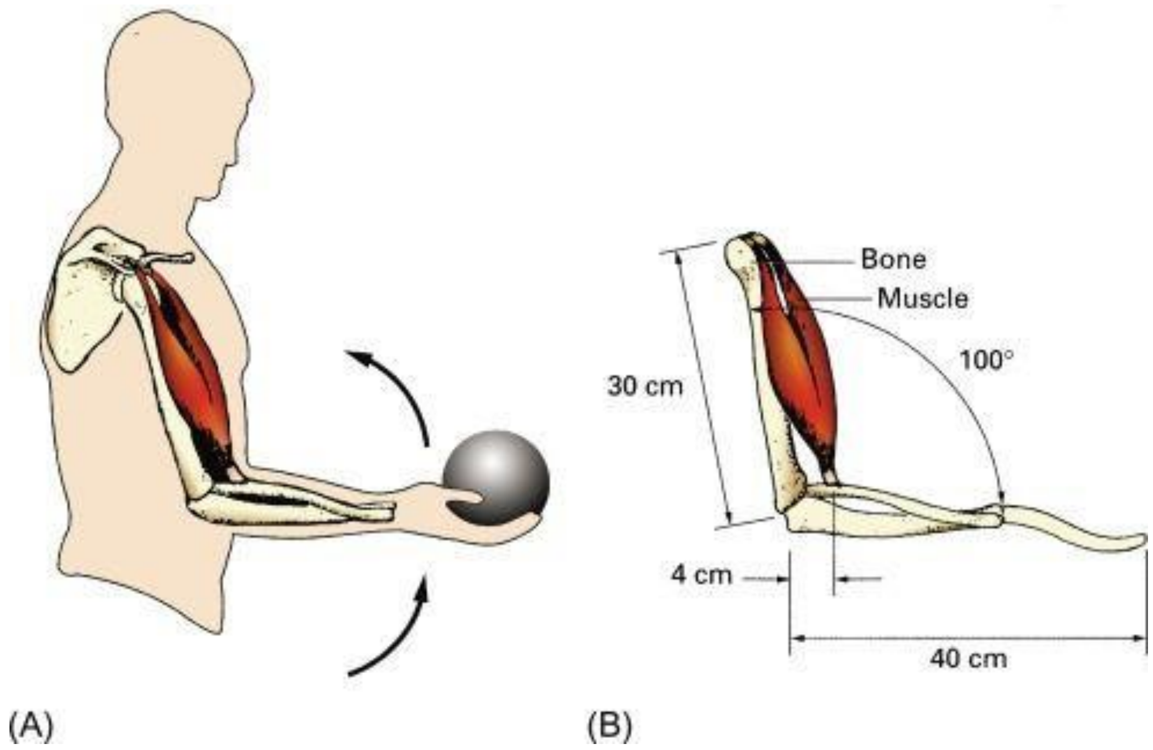
Em nossa análise do cotovelo, vamos considerar a ação desses dois músculos.

Obs.: Isso é uma **simplificação**, pois muitos outros músculos também desempenham um papel no movimento do cotovelo. Alguns deles estabilizam as articulações do ombro à medida que o cotovelo se move, e outros estabilizam o próprio cotovelo.



O cotovelo

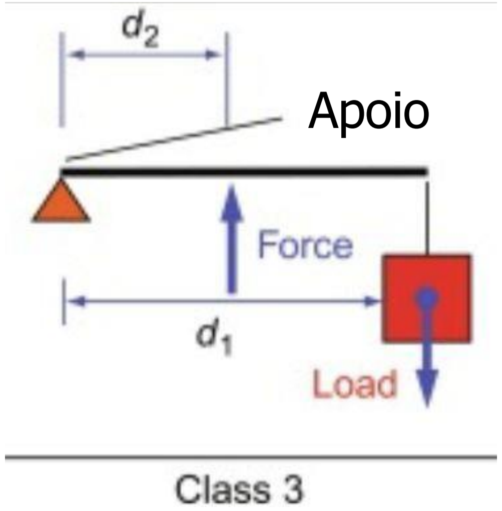
A Figura (A) mostra um peso (m = 14 kg) sobre a mão, com o cotovelo dobrado em um ângulo de 100 °.
Um diagrama simplificado dessa posição do braço é mostrado em (B).
As dimensões são razoáveis para um braço humano, mas obviamente variam de pessoa para pessoa.
O peso puxa o braço para baixo. Portanto, a força muscular que atua no braço deve estar na direção ascendente.
Assim, o principal músculo ativo é o bíceps. A posição do braço é fixada no ombro pela ação dos músculos do ombro.



Calcularemos, **nas condições de equilíbrio**, a força de **tração exercida pelo bíceps** e a **direção e magnitude da força de reação** no ponto de apoio (articulação).

O cotovelo

Os cálculos serão realizados considerando a posição do braço como uma alavanca da Classe 3.



Caso genérico

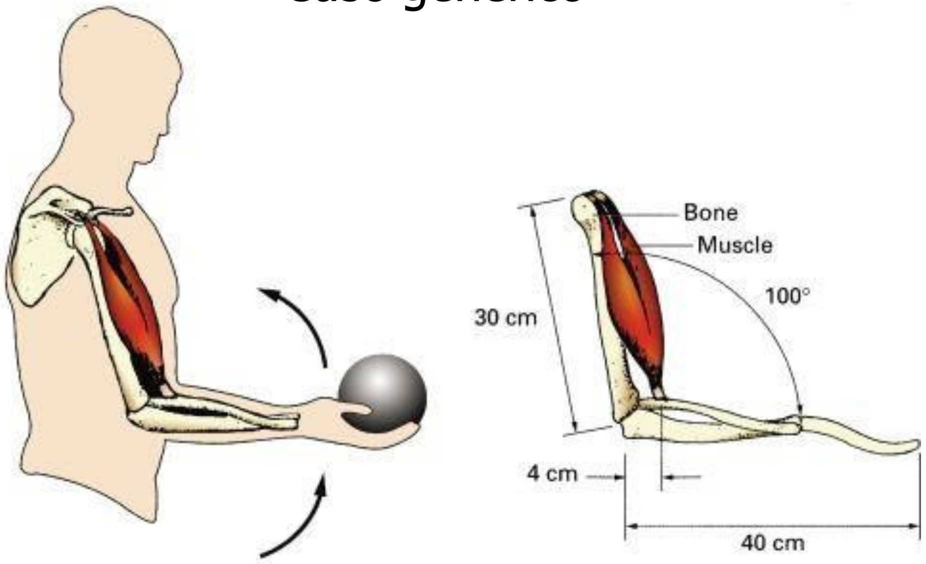
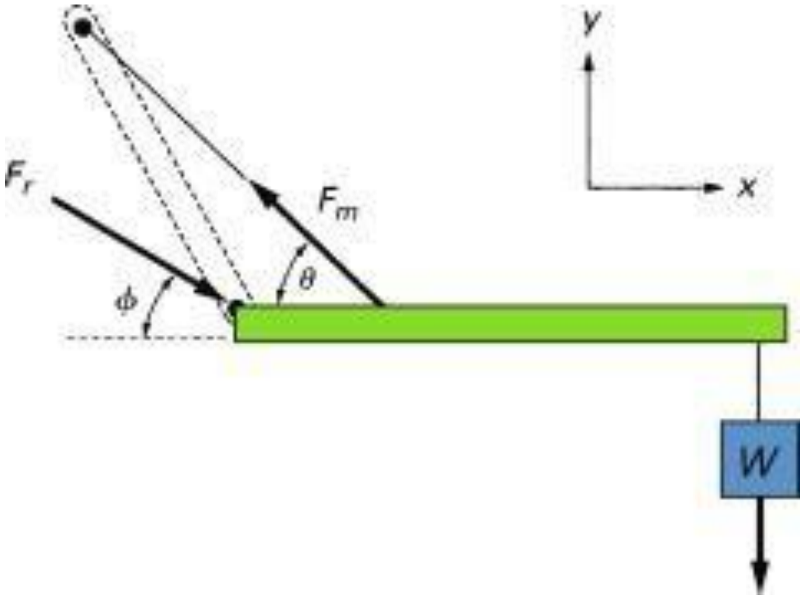


Diagrama de forças

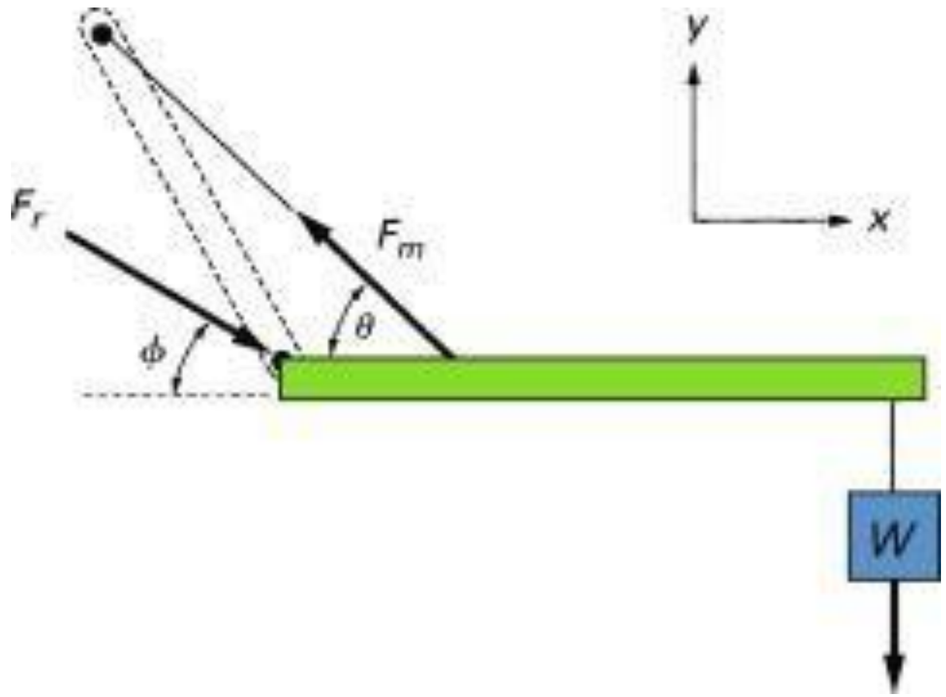


O cotovelo

Calcularemos, **nas condições de equilíbrio**, a força de tração $\mathbf{F_m}$ exercida pelo músculo bíceps e a direção e magnitude da força de reação $\mathbf{F_r}$ no ponto de apoio (articulação).

Os eixos x (direção horizontal) e y (direção vertical) são adotados como mostra a Figura.

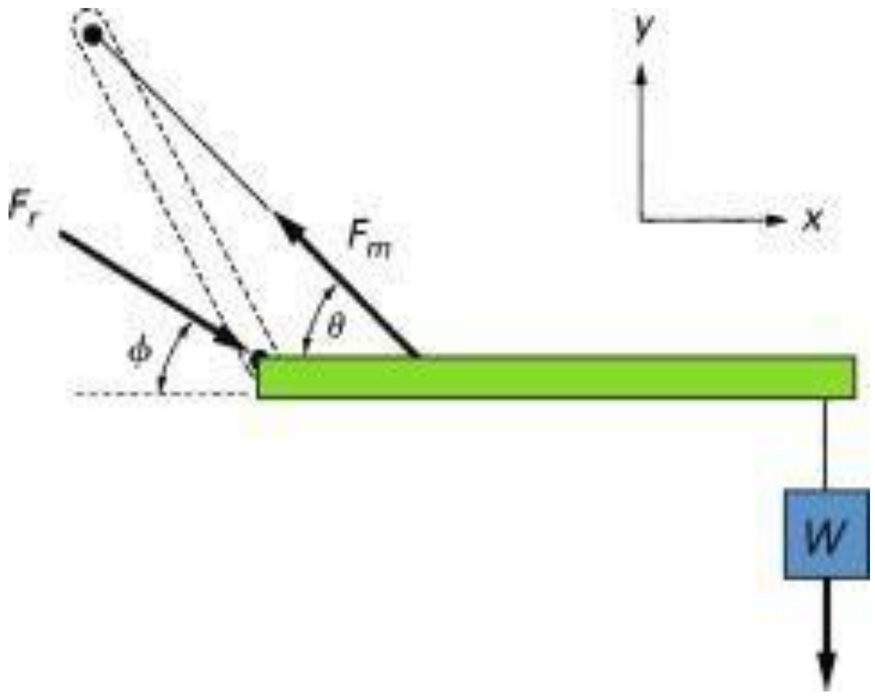
A direção da força de reação mostrada é um palpite.
Caso comum em juntas ósseas (ação simultânea da normal e da força de atrito entre as superfícies ósseas)
A resposta exata será fornecida pelos cálculos.



O cotovelo

Nesse problema, temos três quantidades desconhecidas: a força muscular Fm, a força de reação Fr no ponto de apoio e o ângulo Φ , que nos dá a direção de Fr.
O ângulo θ, nesse caso, será considerado como sendo θ = 72,6 °.

Para o equilíbrio, a soma das forças e torques deve ser zero. A partir dessas condições, obtemos:



Componente x das forças: $F_m \cos\theta = F_r \cos\phi$

Componente y das forças: $F_m \sin\theta = W + F_r \sin\phi$

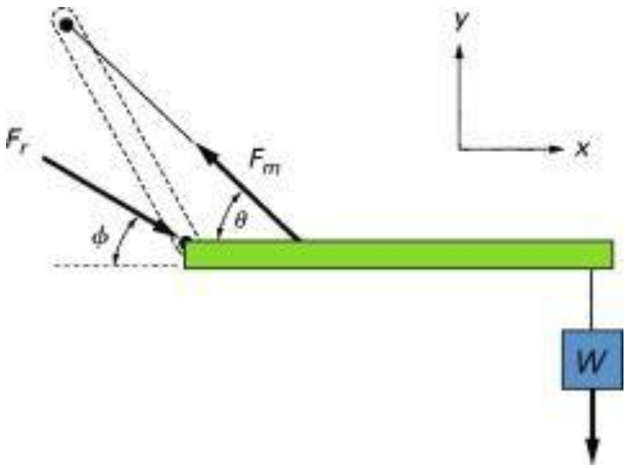
O cotovelo

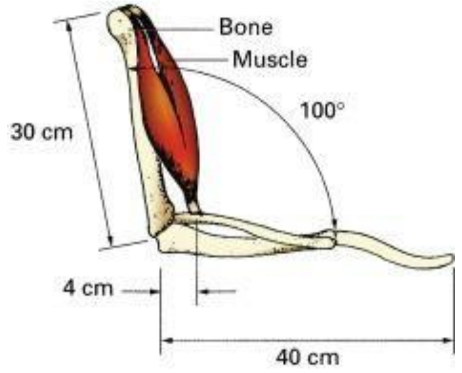
Somente essas duas equações não são suficientes para determinar as três quantidades desconhecidas:
i) Fm, ii) Fr, iii) Φ .

Uma equação adicional é necessária, e podemos obtê-la a partir das condições de torque para o equilíbrio. Em equilíbrio, o torque em qualquer ponto da Figura deve ser zero.

Por conveniência, escolhemos o cotovelo como o ponto de apoio para o nosso equilíbrio de torque.

O torque sobre o ponto de apoio deve ser zero. Existem dois torques sobre esse ponto: um torque no sentido horário devido ao peso e um torque no sentido anti-horário devido ao componente vertical da força muscular. Como a força de reação atua no ponto de apoio, ela não produz um torque sobre esse ponto.





$$4\,\text{cm} \times F_m \sin\theta = 40\,\text{cm} \times W$$

$$F_m \sin\theta = 10\,W$$

O cotovelo

Portanto, com θ = 72,6 °, a força muscular é

$$F_m = \frac{10\,W}{0.954} = 10.5\,W$$

$$F_m = 10.5 \times \underbrace{14 \times 9.8}_{W\ =137{,}2\ \mathrm{N}} = 1440\,\mathrm{N}$$

Pergunta: Esse "design" de alavanca é eficiente?

Agora, vamos determinar as grandezas faltantes.

O cotovelo

Novamente usando:

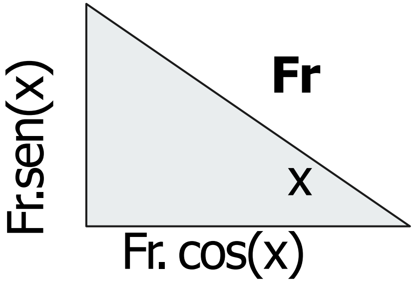
$$\begin{cases} F_m \cos\theta = F_r \cos\phi \\ F_m \sin\theta = W + F_r \sin\phi \end{cases}$$

$$F_r \cos\phi = 430\,\mathrm{N}$$
$$F_r \sin\phi = 1240\,\mathrm{N}$$

$$1440 \times \cos 72.6 = F_r \cos\phi$$
$$1440 \times \sin 72.6 = 14 \times 9.8 + F_r \sin\phi$$

$\Longrightarrow$

$$F_r \cos\phi = 430\,\mathrm{N}$$
$$F_r \sin\phi = 1240\,\mathrm{N}$$

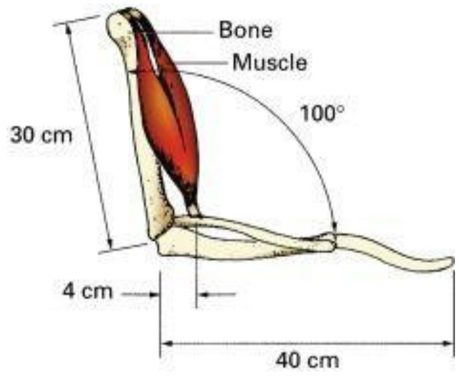


Elevando os dois termos ao quadrado e somando:

$$F_r^2 = 1.74 \times 10^6\,\mathrm{N}^2 \Longrightarrow F_r = 1320\,\mathrm{N}$$

O cotovelo

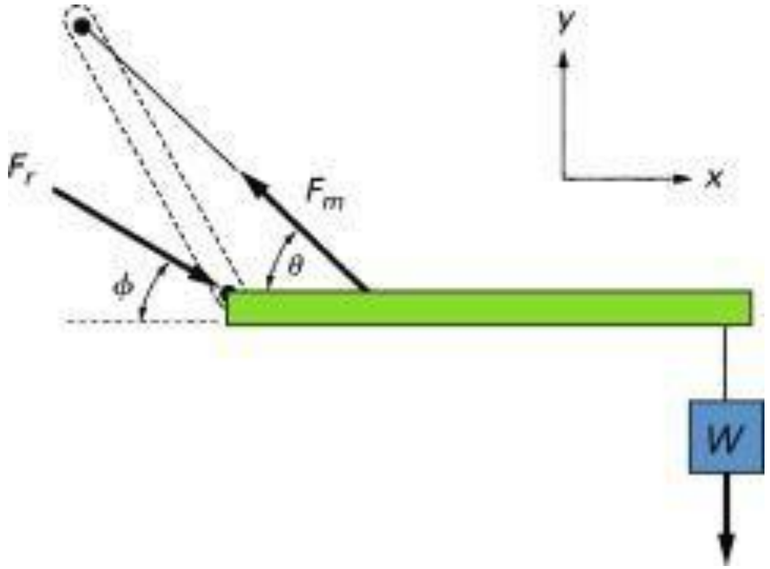
Finalmente , a direção da força de reação é dada por:



$$\cot \phi = \frac{430}{1240} = 0.347$$

and

$$\phi = 70.9^\circ$$



Ou ainda…
Fr.sen Fi = 1240 e Fr = 1320
⇒ 1320.sen Fi = 1240
sen Fi = 1240/1320
sen Fi = 0,94
Fi = arcsen 0,94 ~ 70 graus

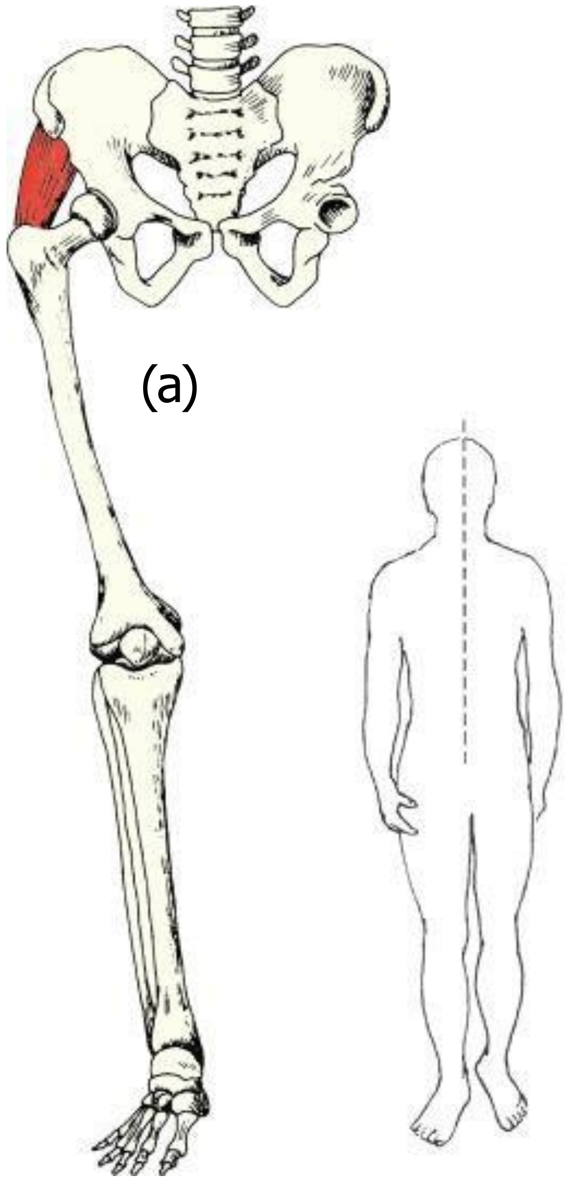
A bacia

A Figura (a) mostra a articulação do quadril e sua representação simplificada como alavanca (b), fornecendo dimensões típicas do corpo humano.

O quadril é estabilizado em seu encaixe por um grupo de músculos, representado na Fig. (b) como uma única força resultante F_M . Quando uma pessoa está ereta, o ângulo dessa força é de cerca de 71 ° em relação à horizontal.

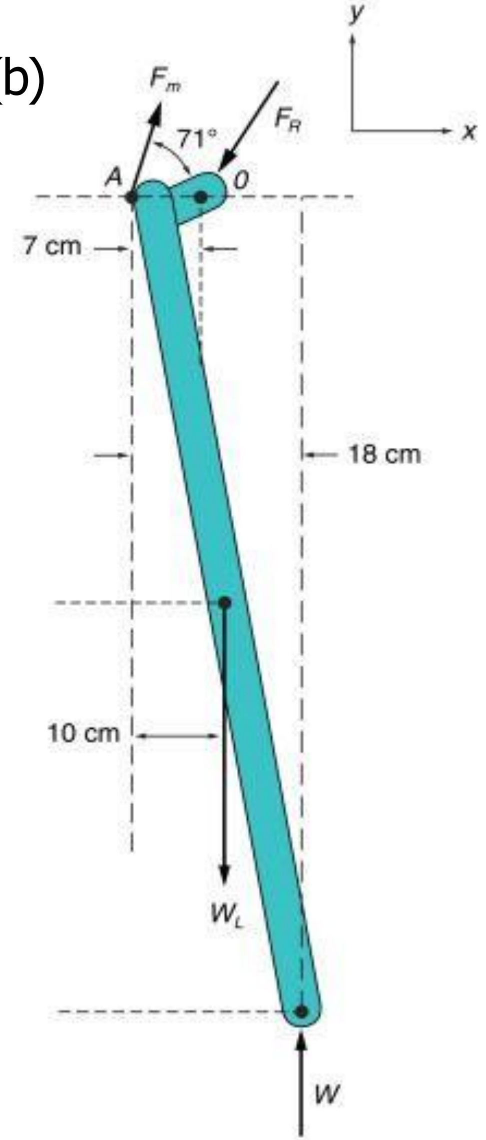
W_L representa o peso combinado da perna, pé e coxa. Normalmente, esse peso é uma fração (0,185) do peso corporal total $W \rightarrow W_L = 0{,}185W$

Presume-se que o peso atue verticalmente (para baixo) no ponto médio do membro.



(a)

(b)



A bacia

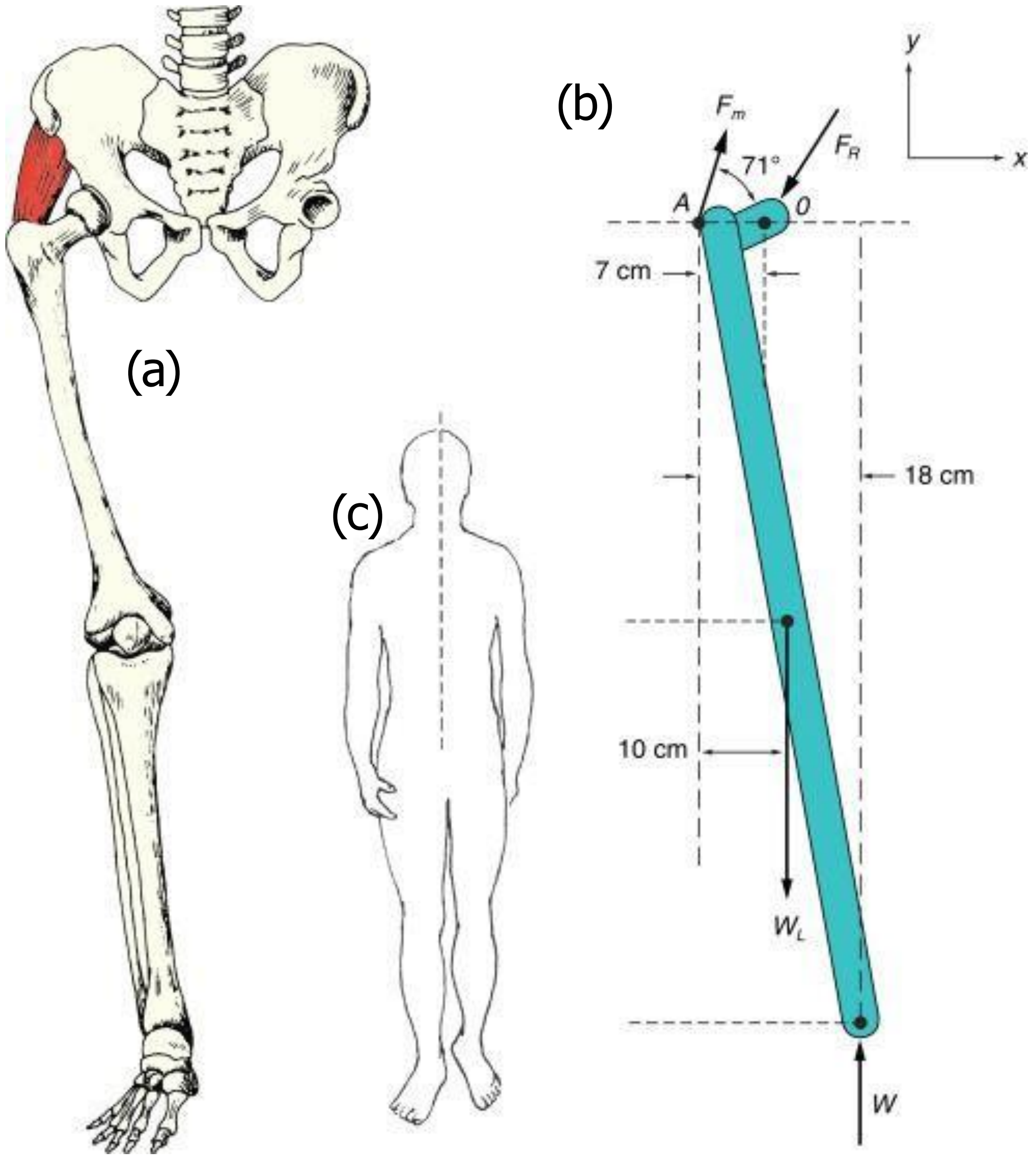
Vamos agora calcular a magnitude da força muscular F_M e da força de resistência F_R na articulação do quadril, quando a pessoa estiver ereta, apoiada sobre um pé, como em uma caminhada lenta, como mostra a Figura (c).

A força que atua na extremidade inferior da alavanca é a força de reação W, do solo no pé da pessoa. Esta é a força que suporta o peso do corpo.

Novamente, nossa abordagem é escrever as condições de equilíbrio: Σ = 0 ; das componentes em x, y, e torques.

1. direção x: $F_m \cos 71^\circ - F_R \cos\theta = 0$
2. direção y: $F_m \sin 71^\circ + W - W_L - F_R \sin\theta = 0$
3. torques (em torno de A):

$$(F_R \sin\theta) \times 7\,\mathrm{cm} + W_L \times 10\,\mathrm{cm} - W \times 18\,\mathrm{cm} = 0$$



A bacia

1. direção x: $F_m \cos 71^\circ - F_R \cos\theta = 0$
2. direção y: $F_m \sin 71^\circ + W - W_L - F_R \sin\theta = 0$
3. torques (em torno de A):

$$(F_R \sin\theta) \times 7\,\mathrm{cm} + W_L \times 10\,\mathrm{cm} - W \times 18\,\mathrm{cm} = 0$$

Sabemos que W_L = 0,185 W. Então, de (3):

4. $$F_R \sin\theta = 2.31\,W$$

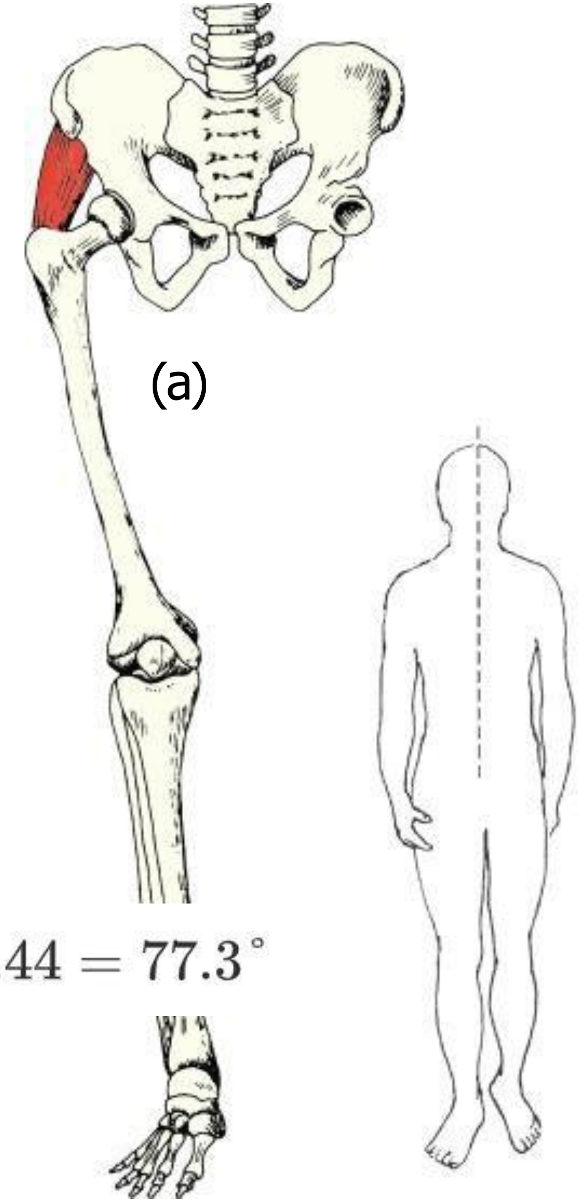
Usando esse resultado em (2) e depois em (1):

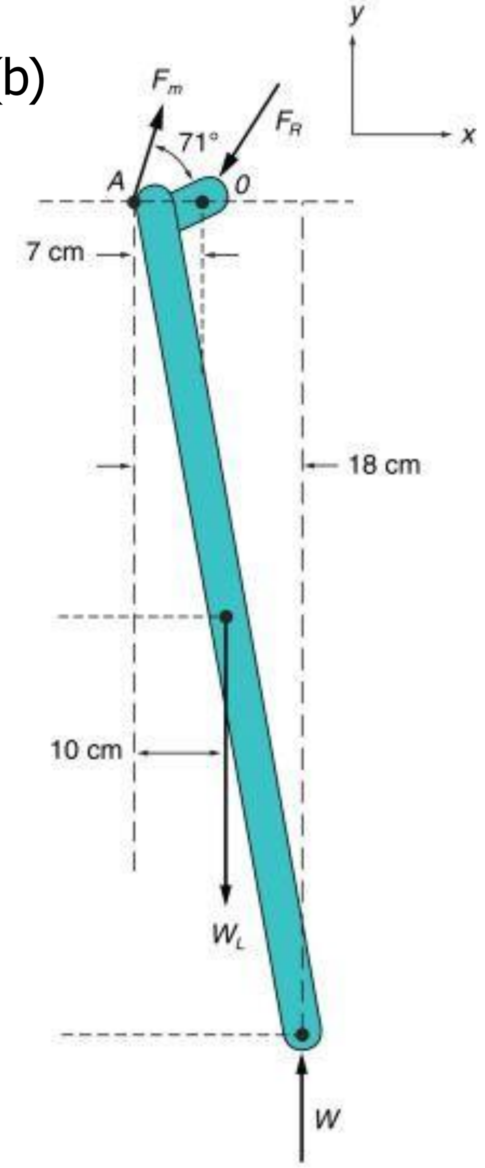
5. $$F_m = \frac{1.50\,W}{\sin 71^\circ} = 1.59\,W$$

6. $$F_R \cos\theta = 1.59\,W \cos 71^\circ = 0.52\,W$$

logo: tg(Θ) = $\dfrac{F_R \sin\theta}{F_R \cos\theta}$ =2.31/0.52 → $\theta = \tan^{-1} 4.44 = 77.3^\circ$

e assim: $F_R = 2.37\,W$


(a)


(b)

A bacia

Resumindo:

$$F_m = 1.59\,W$$

$$F_R = 2.37\,W$$

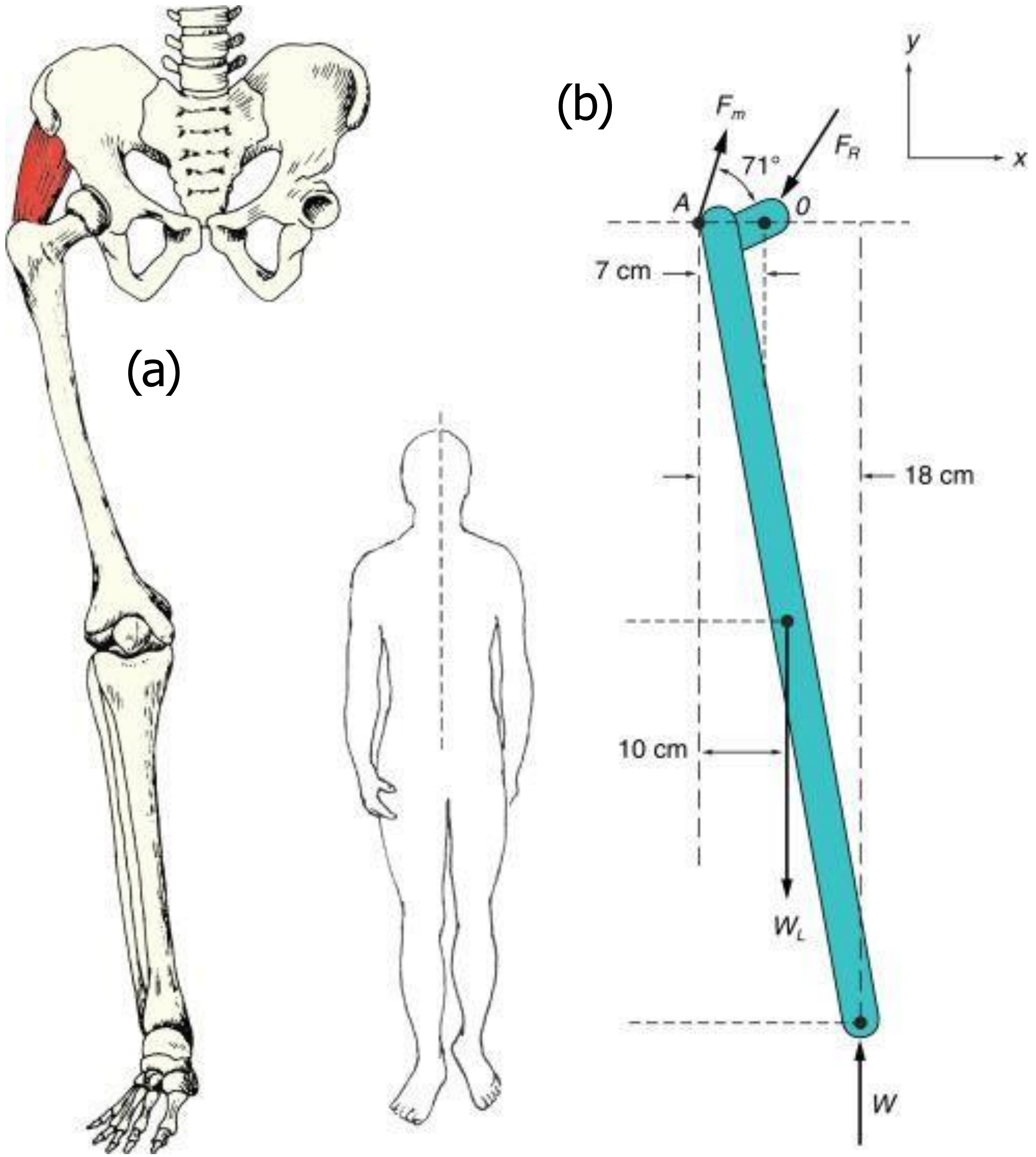
Este cálculo mostra que a força na articulação do quadril é quase 2,5 x P , P = peso da pessoa (= W).

Considere, por exemplo, uma pessoa com massa m=70 kg. O peso é P = m . g → P = 70 kg . 9,81 m/s^2 = 687 N

Logo:

a força na articulação do quadril é F_R= 1625 N

a força muscular é F_M= 1091 N

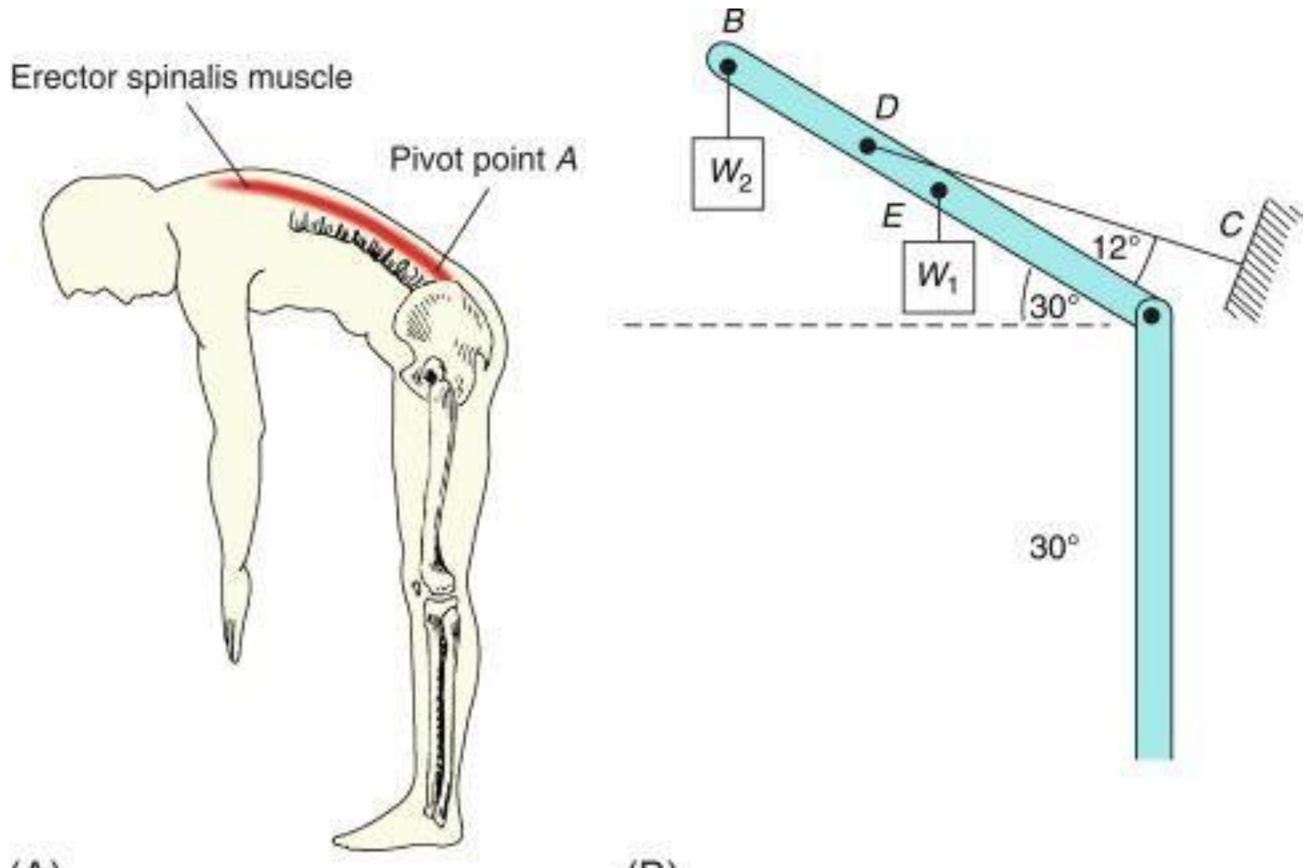


A coluna

Quando o tronco é dobrado para a frente, a coluna gira principalmente na quinta vértebra lombar, como mostra a Figura (A)

Analisaremos as forças envolvidas quando o tronco estiver dobrado a 60 ° da vertical, com os braços pendurados livremente.

O modelo de alavanca que representa essa situação é apresentado na Figura (B).



(A) (B)

A coluna

O pivô de rotação A é a quinta vértebra lombar.

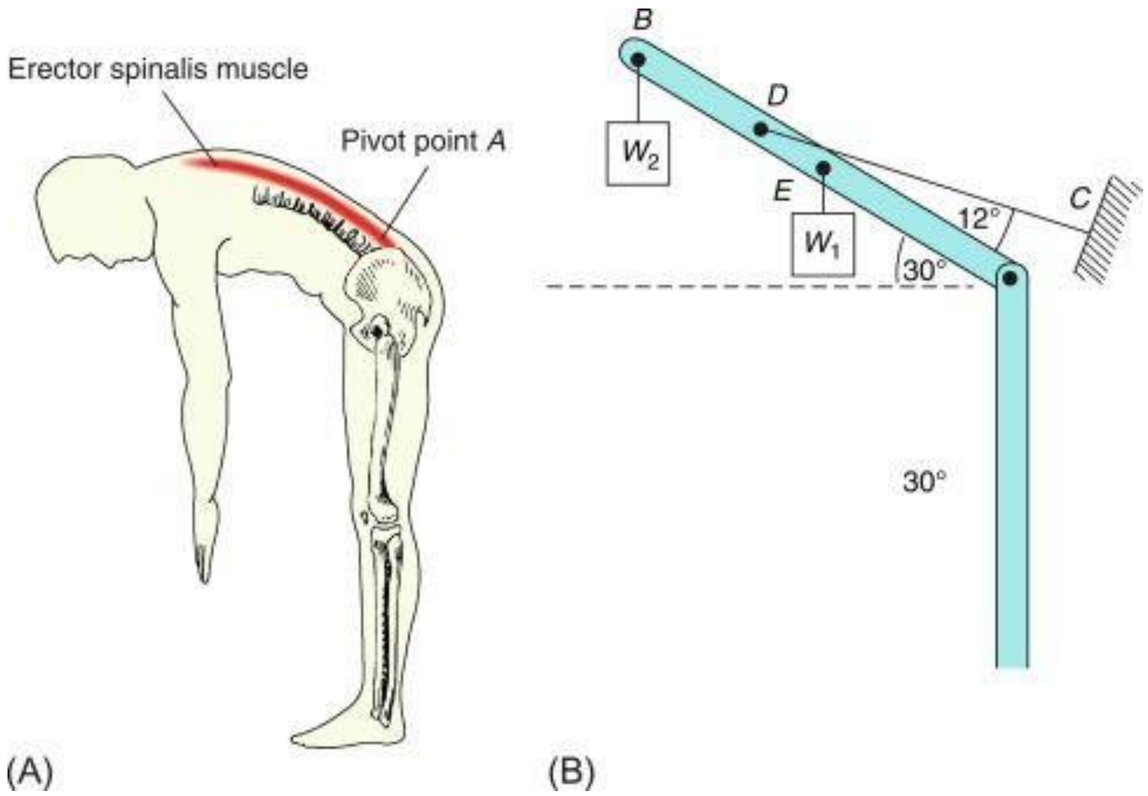
O braço da alavanca representa as costas (músculos e espinha dorsal).

O peso do tronco W_1 é distribuído uniformemente ao longo das costas, entretanto seu efeito pode ser representado por um peso agindo no ponto médio das costas (ver Figura (b)).

O peso da cabeça e dos braços é representado por W_2 suspenso no final do braço da alavanca.

O músculo eretor da coluna vertebral, mostrado como a conexão D-C, é preso em um ponto a 2/3 da coluna. Ele mantém a posição das costas. O ângulo entre a coluna e esse músculo é de cerca de 12 °.

Para uma pessoa de 70 kg, tipicamente, temos: W_1= 320 N e W_2= 160 N

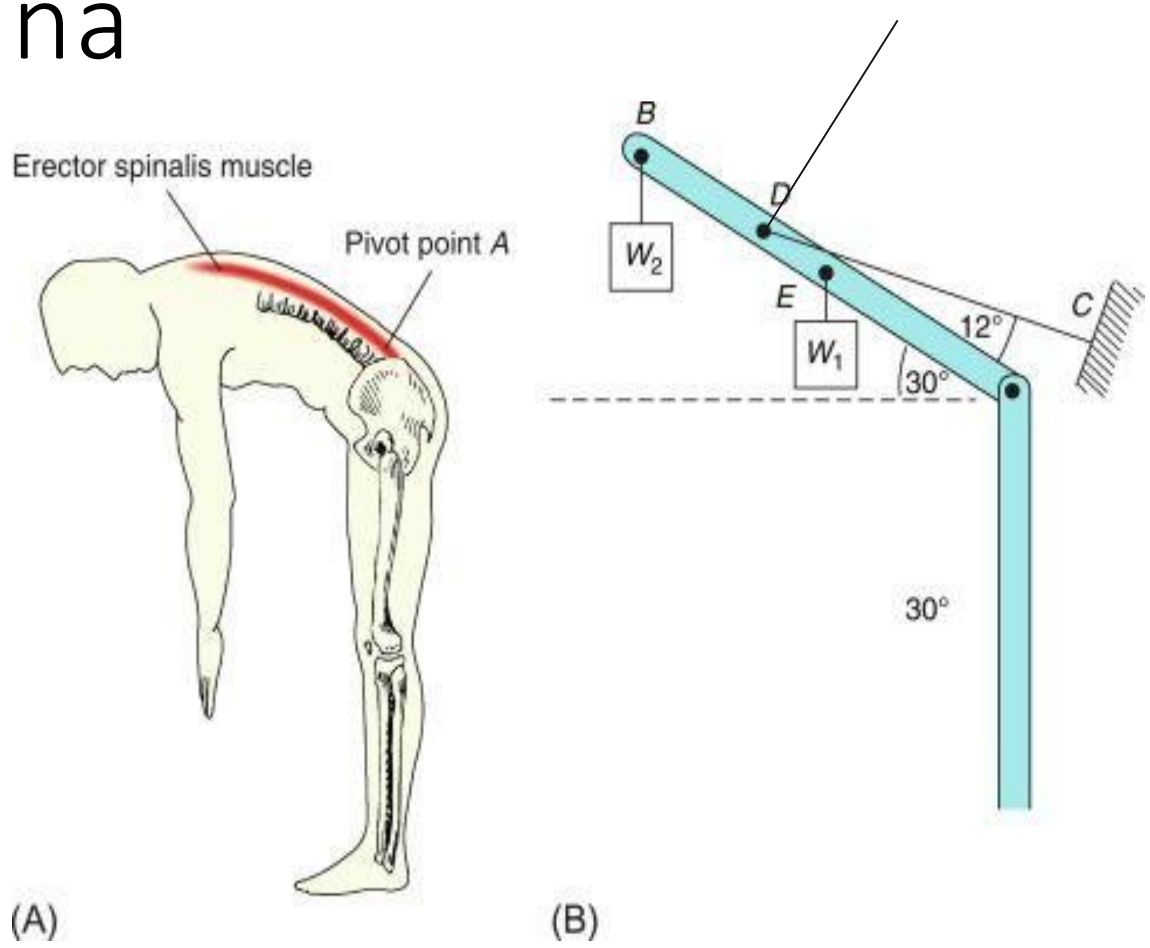


A coluna

Para analisarmos novamente as magnitudes das forças exercidas em nossos esqueletos/músculos, os resultados são:

Para sustentar o peso corporal, o músculo deve exercer uma força F_M= 2000 N e a força de compressão da quinta vértebra lombar é F_C = 2230 N.

Reflexão: Considere 2 pesos, W_M e W_C, de magnitude igual às duas forças acima. Qual seriam as massas associadas aos pesos?

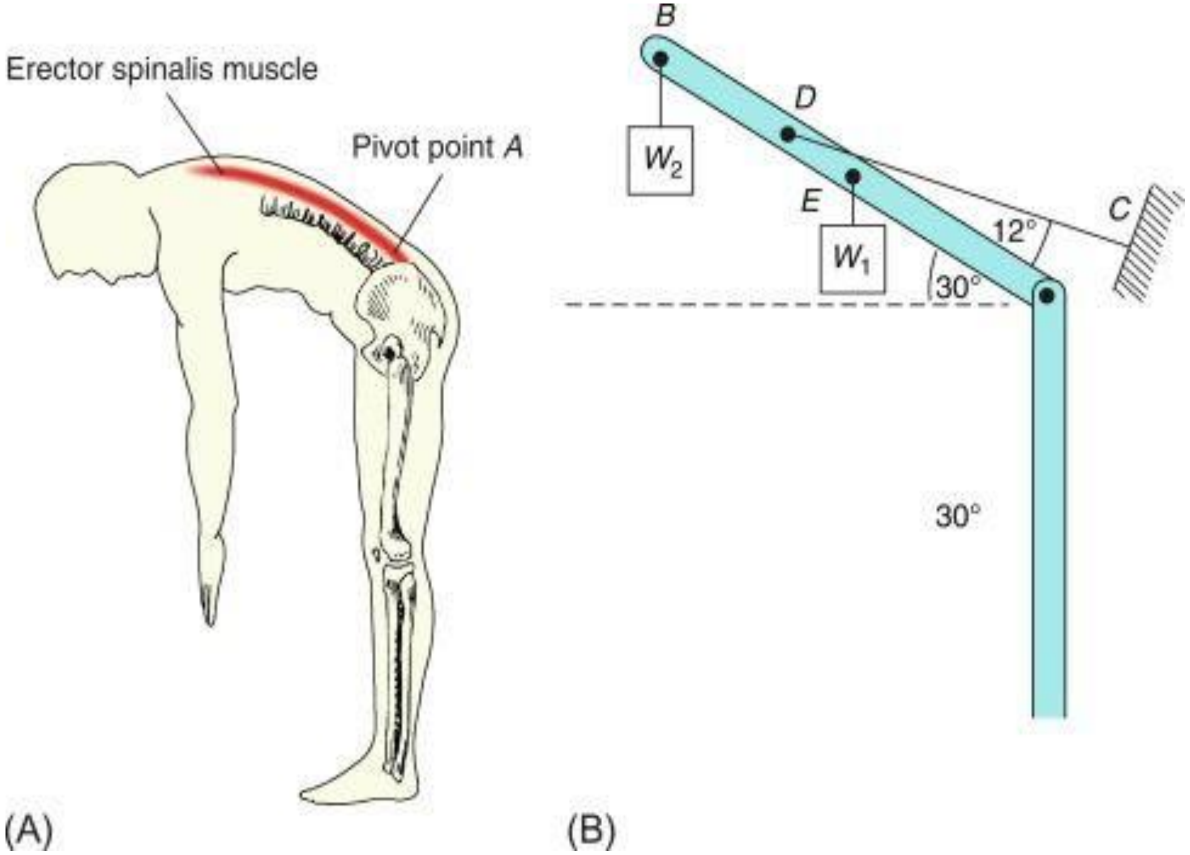


A coluna

- Para sustentar o peso corporal, o músculo deve exercer uma força F_M= 2000 N e a força de compressão da quinta vértebra lombar é F_C = 2230 N.

1) Vemos que grandes forças são exercidas na quinta vértebra lombar. Não é de surpreender que as dores nas costas se originem com mais frequência nesta altura das costas.

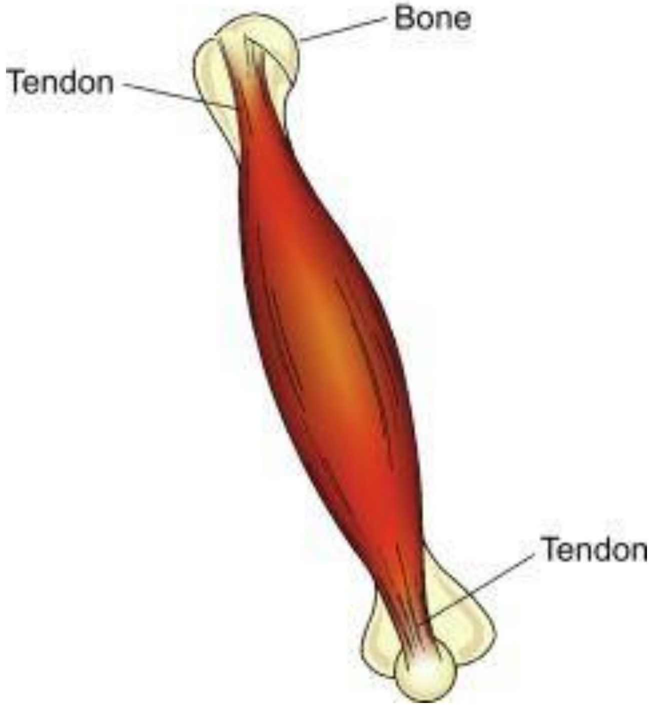
2) Também é evidente que a posição mostrada na figura não é a maneira recomendada de levantar um peso.



Ossos e músculos: algumas considerações

Os músculos que produzem movimentos do esqueleto consistem em milhares de fibras paralelas envolvidas por uma bainha flexível que se estreita em ambas as extremidades em tendões (Figura ao lado).

Os tendões, que são feitos de tecido forte e resistente, crescem no osso e anexam o músculo ao osso.



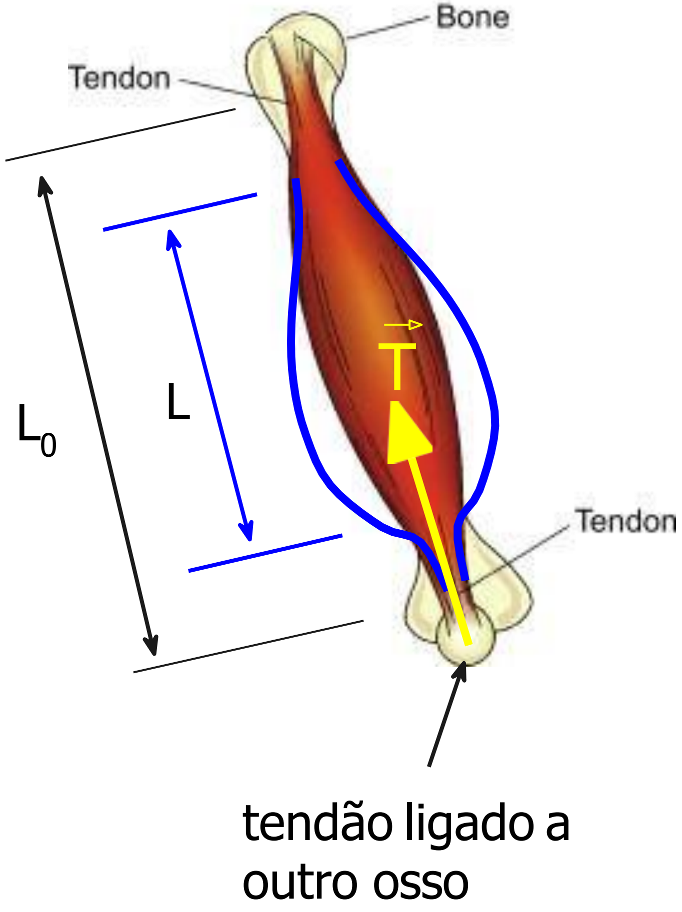
A extremidade da maioria dos músculos diminui para um único tendão. Mas alguns músculos terminam em dois ou três tendões; esses músculos são chamados, respectivamente, bíceps e tríceps.

Cada extremidade do músculo está ligada a um osso diferente. Em geral, os dois ossos presos pelos músculos estão livres para se moverem um com o outro nas articulações onde se contactam.

Ossos e músculos: algumas considerações

O arranjo músculos + ossos foi observado por Leonardo da Vinci, que escreveu:
"Os músculos sempre começam e terminam nos ossos que se tocam, e nunca começam e terminam no mesmo osso ..."

A observação de Da Vinci sobre a força dos músculos está correta. Quando as fibras do músculo recebem um estímulo elétrico das terminações nervosas que estão ligadas a elas, elas se contraem. Isso resulta em um encurtamento do músculo **($\Delta L = L - L_0$)** e uma força de tração T entre os dois ossos aos quais o músculo está ligado.



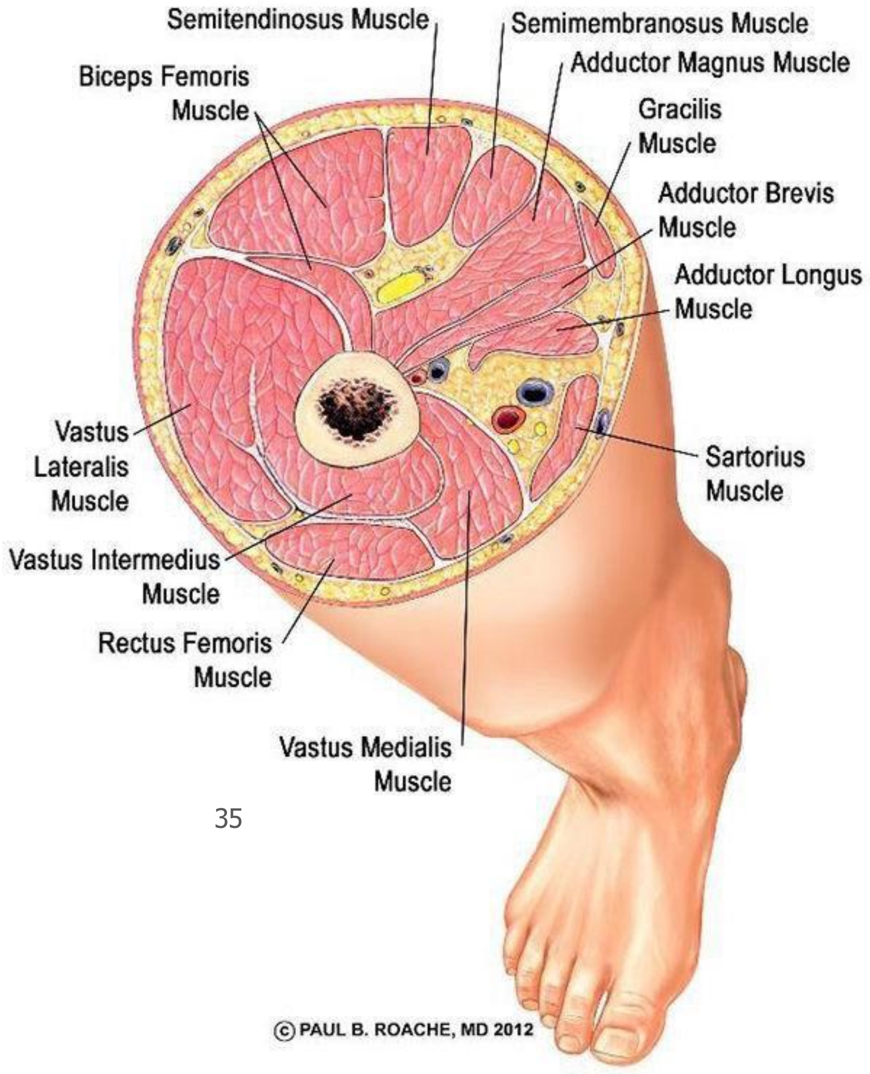
Existe uma grande variabilidade na força de tração que um determinado músculo pode aplicar. ***A força da contração a qualquer momento é determinada pelo número de fibras individuais que se contraem dentro do músculo.*** Quando uma fibra individual recebe um estímulo elétrico, ela tende a se contrair totalmente. Se for necessária uma força de tração mais forte, um número maior de fibras é estimulado a se contrair.

Ossos e músculos: algumas considerações

Experimentos mostraram que a força máxima que um músculo é capaz de exercer é proporcional à sua seção transversal.

SEÇÃO TRANSVERSAL → ÁREA

A partir das medições, estimou-se que um músculo pode exercer uma força de **$7{,}0 \times 10^{5}$ N/m²** .



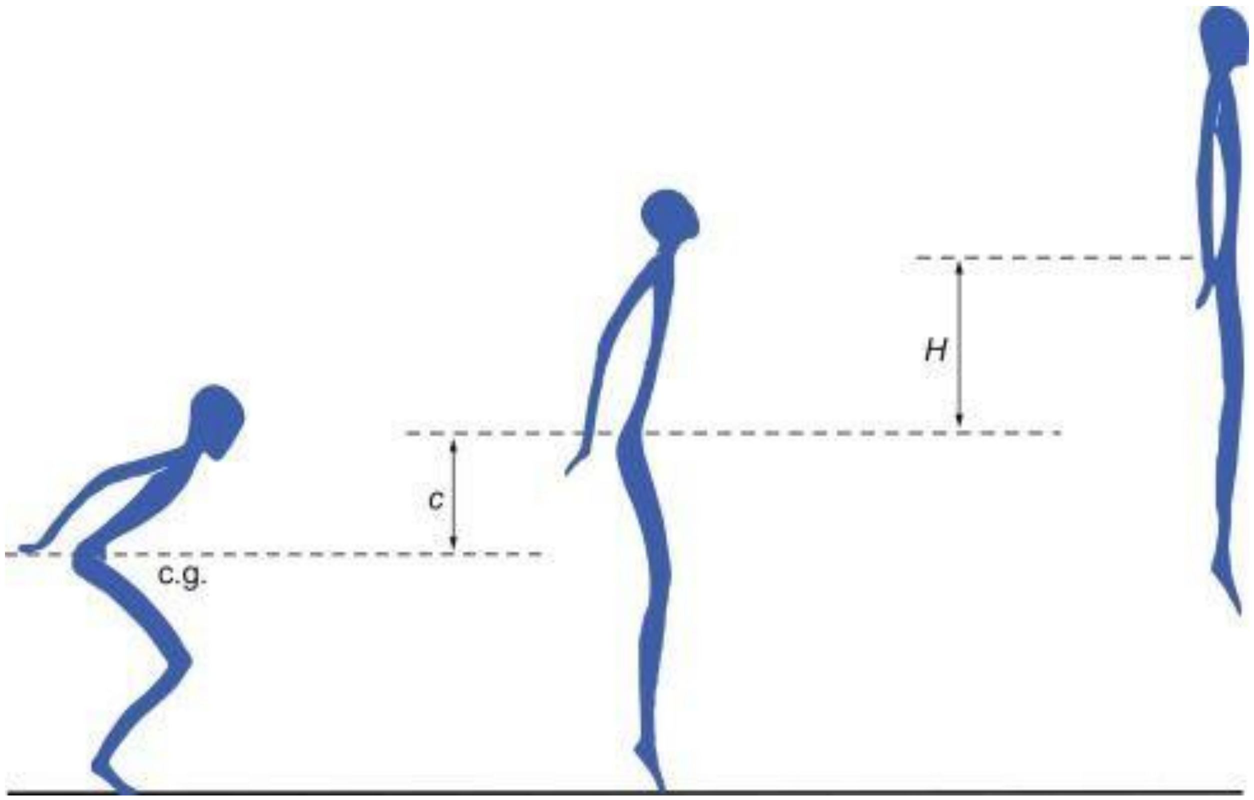
Salto vertical

Considere um simples salto vertical no qual uma saltadora começa na posição agachada e depois faz força com as pernas e empurra o chão com os pés para saltar, como na Figura.

Vamos calcular aqui a altura atingida H pela saltadora.

A altura atingida será analisada de forma geral, em termos de grandezas típicas do corpo humano:

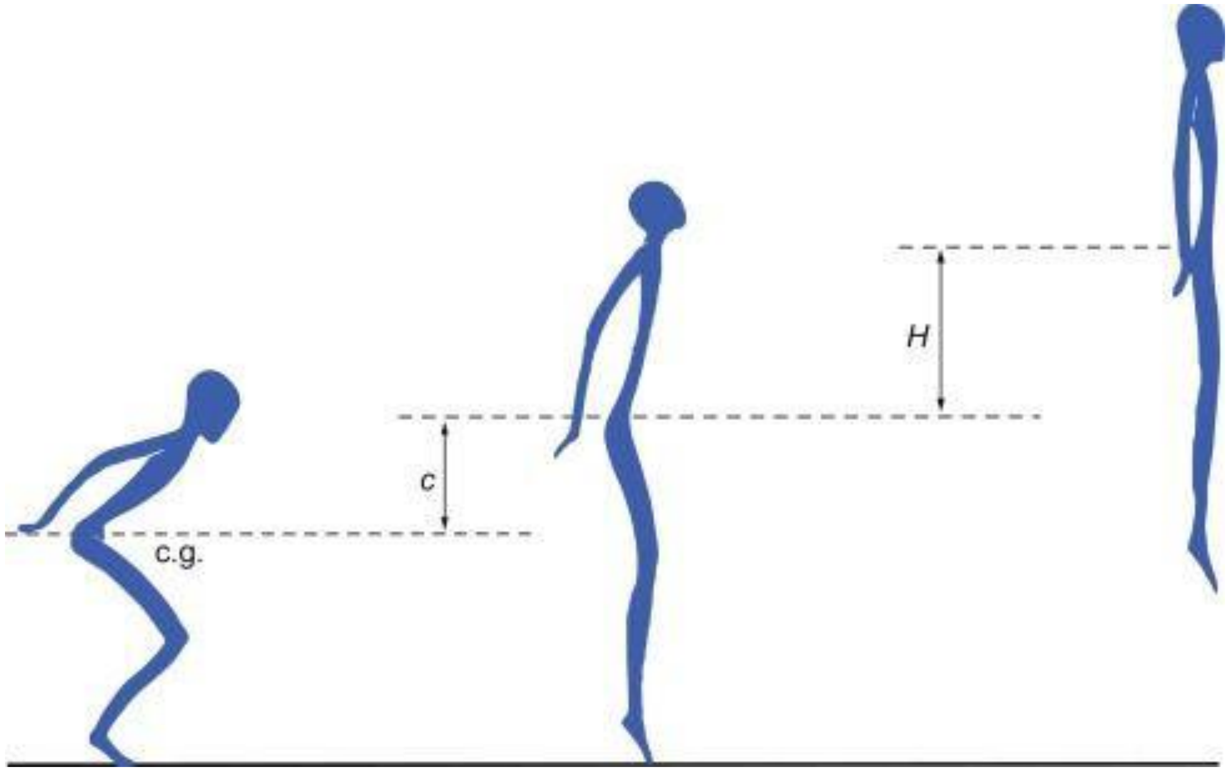
- força muscular
- amplitude de movimentos



Salto vertical

Na posição agachada, no início do salto, o centro de gravidade diminui uma distância c.

Durante o ato de pular, as pernas geram força pressionando a superfície. Embora essa força varie durante o salto, assumimos que ela possui um *valor médio* constante F.

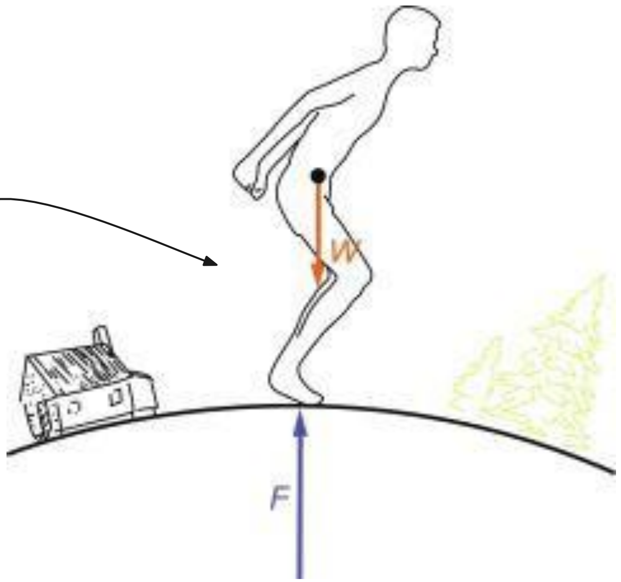


F106 – Fundamentos de Física para Biologia

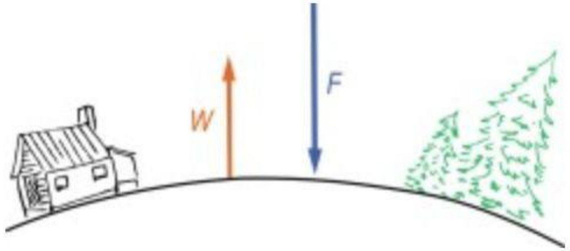
Salto vertical: considerações da dinâmica

Como os pés exercem uma força na superfície, uma força igual dirigida para cima é exercida pela superfície na saltadora (terceira lei de Newton).

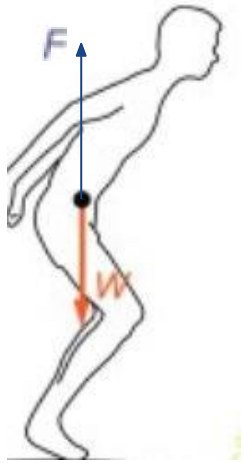
Assim, existem duas forças atuando nela: o peso dela (W), que está na direção descendente, e a força da reação (F), que está na direção ascendente.



Enquanto isso, sobre a TERRA:
3a. Lei de Newton...



A força líquida (para cima) na saltadora é (F-W), como na Figura ao lado.



Salto vertical

A força líquida (F-W), ascendente, portanto, atua na saltadora ***apenas*** durante o percurso da distância c (veja Figura B).

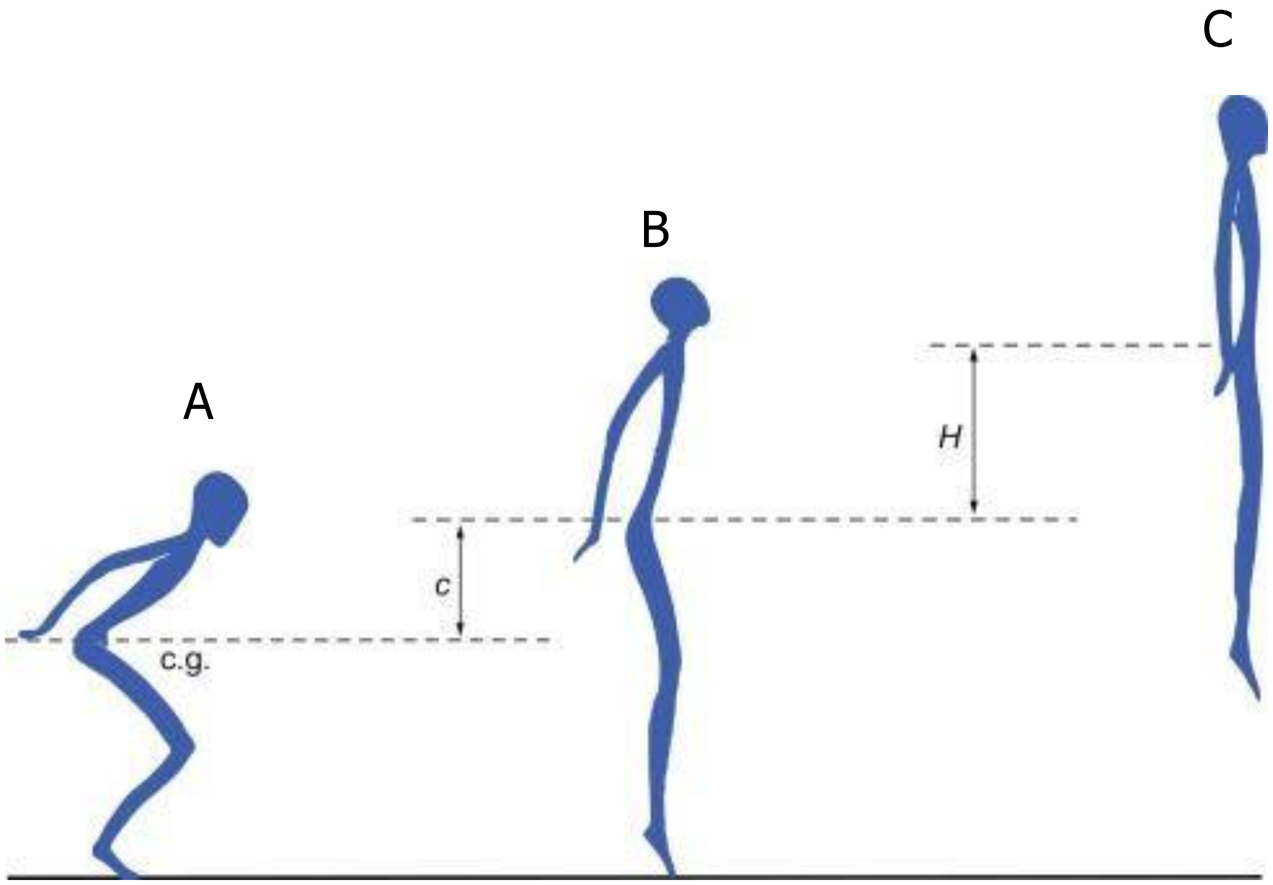
A aceleração da pessoa nesta etapa do salto é:

(1) $$a = \frac{F - W}{m} = \frac{F - W}{W/g}$$

Lembrando a equação de Torricelli (útil quando o tempo é uma variável desconhecida:

(2) $$v^2 = v_0^2 + 2\,ac$$ (ΔS = c)

Considerando que a velocidade no início do movimento (veja Figura A) é ZERO:



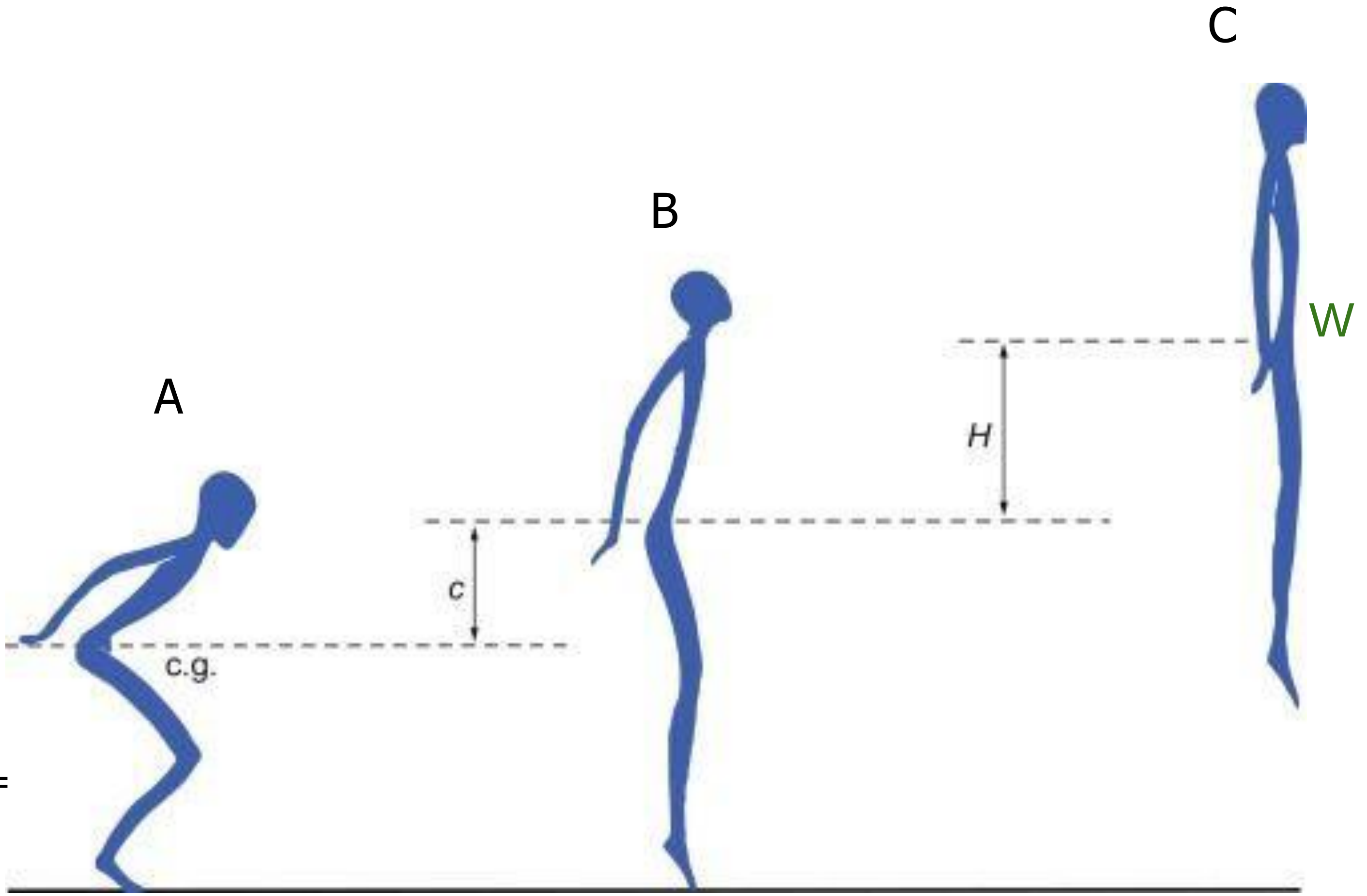
(3) $$v^2 = \frac{2\,(F - W)\,c}{W/g}$$, onde substituímos a aceleração obtida em (1) na equação (2).

Salto vertical

Depois que o corpo sai do chão, a única força que age sobre ele é a força da gravidade W, que produz uma aceleração descendente no corpo -g (Figura C).

Na altura máxima H (em relação ao centro de gravidade do corpo), pouco antes do corpo começar a cair de volta ao chão, a velocidade é zero ⇒ v = 0.

A velocidade inicial v_0 para esta parte do salto (C) corresponde à velocidade de decolagem v do cálculo anterior. Usando novamente Torricelli, temos a altura H (ΔS = H, nesse caso) atingida no salto:



$$v^2 = v_0^2 + 2\,a \quad \Delta S \Rightarrow \; 0 = \frac{2\,(F - W)\,c}{W/g} - 2\,gH$$

$$H = \frac{(F - W)\,c}{W}$$

Salto vertical

$$H = \frac{(F - W)\,c}{W}$$

Vamos analisar esse resultado.

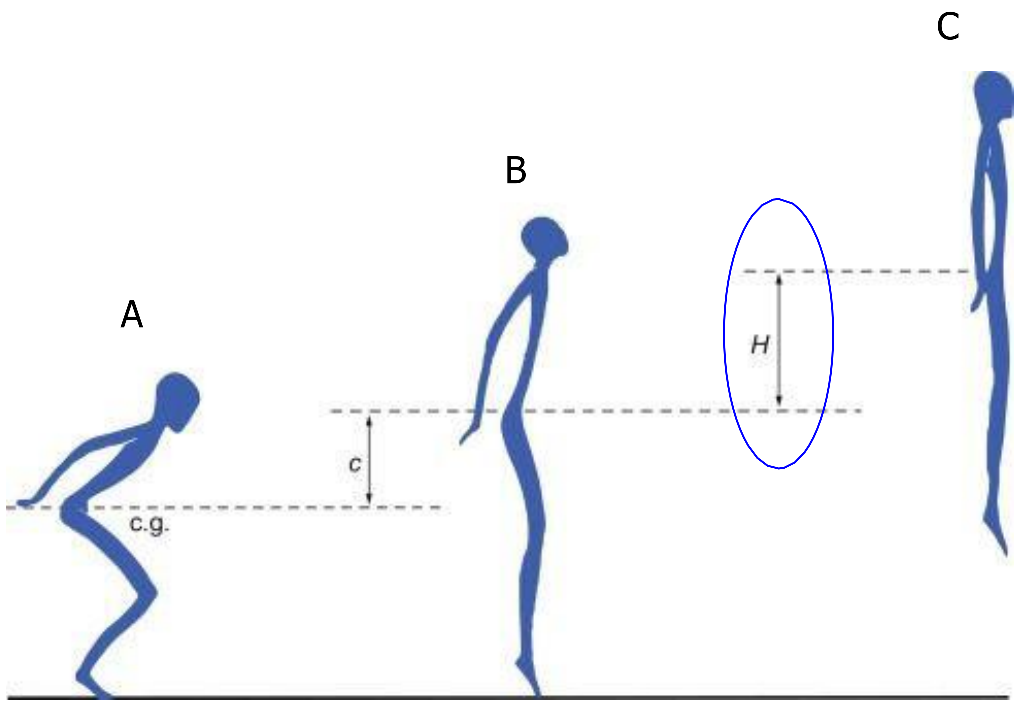
H depende da força líquida F-W.
A força muscular é aplicada para baixo, assim como o peso. Assim, F é a reação do solo no pé da pessoa no instante B), dada por:

$\Rightarrow F = W + F_m$

Com força muscular nula, F = W anulando o numerador na fórmula para H, ou H=0.

Uma pessoa típica gera uma força muscular média $F_m = W \rightarrow F = 2W \rightarrow H = c$.

c , a distância de agachamento, tipicamente, vale c = 60 cm → H = 60 cm



obs. : c é proporcional ao tamanho das pernas

Salto em distância (estacionário)

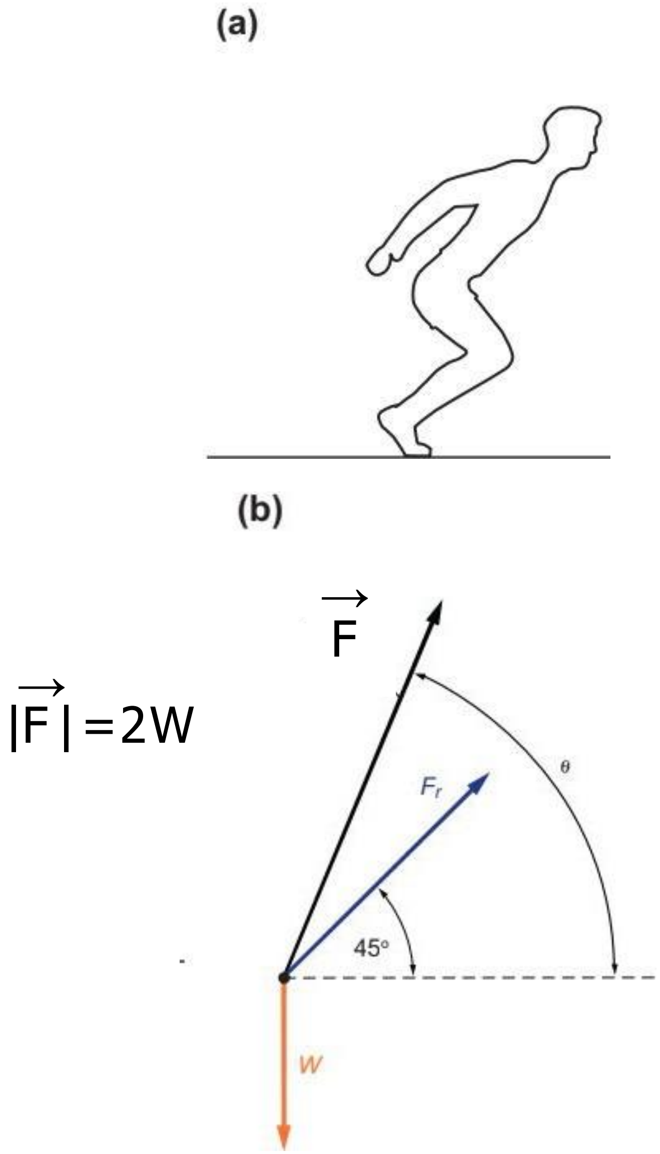
Quando o saltador se projeta para o salto em distância de uma posição agachada estacionária, sua aceleração é determinada pela resultante de duas forças:

1) a força da gravidade para baixo, que é simplesmente igual ao seu peso W,

2) e a força gerada pelos pés, que ele pode aplicar em qualquer direção.

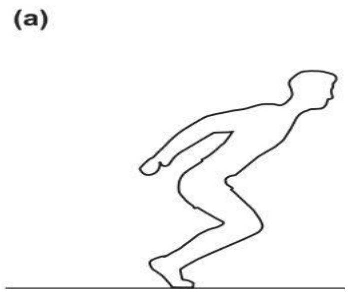
Para maximizar a distância do salto, a velocidade de lançamento e, portanto, também a força resultante deve ser dirigida em um ângulo de 45 °.

Vamos supor (como no exemplo anterior) que um saltador pode gerar com seus pés uma força igual a duas vezes o peso corporal.



Salto em distância (estacionário)

A magnitude da força resultante Fr e o ângulo θ em que as pernas devem aplicar a força ao corpo, e assim maximizar a distância do salto, são obtidos a partir das as seguintes considerações:

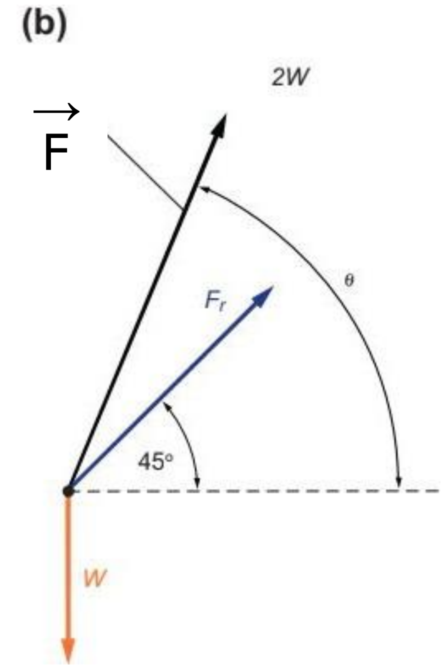


- Os componentes horizontal (Fx) e vertical (Fy) da força resultante (ver Fig. (b)) são, respectivamente:

(1) Fx : $F_r \cos 45^\circ = 2W \cos\theta$

(2) Fy : $F_r \sin 45^\circ = 2W \sin\theta - W$

$|\vec{F}| = 2W$



- Temos duas equações que podem ser resolvidas e encontrar Fr e θ. Os resultados são:

$$F_r = 1.16W$$

Salto em distância (estacionário)

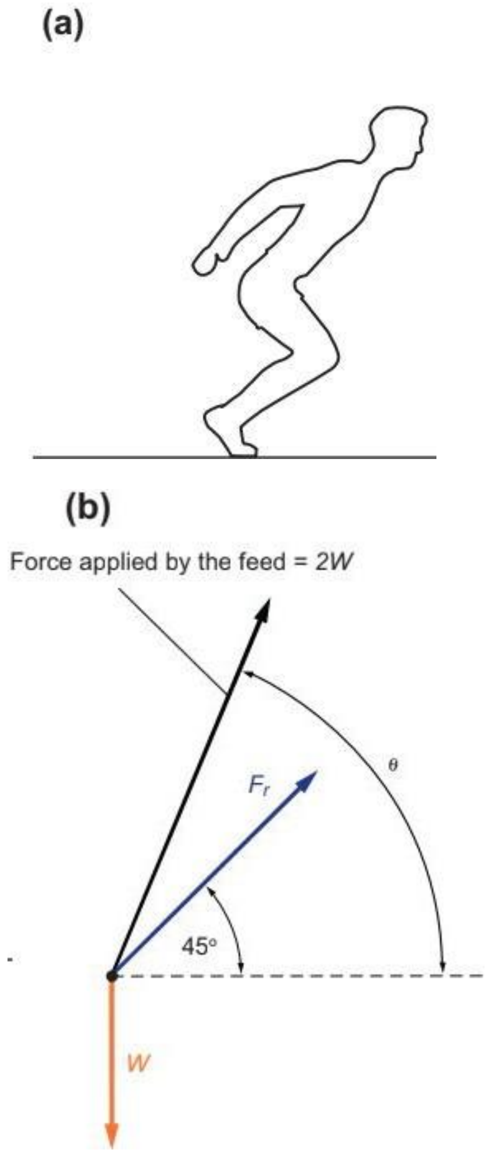
- A magnitude da força Fr é: $F_r = 1.16W$

- O ideal ângulo ideal θ no qual as pernas aplicam a força (F = 2W) é: θ = 65,8◦

Vamos novamente considerar que a força que lança o saltador
é aplicada à distância de 60 cm, que é a extensão da posição agachada.

A aceleração produzida pela força resultante é: $a = \frac{F_r}{m} = \frac{1.16W}{W/g} = 1.16g$

A velocidade de lançamento v do saltador é, portanto: v = √2as.
Com s = 60 cm, a velocidade é 3,70 m / seg.
Assim, calculamos a distância (R) alcançada pelo salto: $R = \frac{v^2}{g} = \frac{13.7}{9.8} = 1.4\,\mathrm{m}$



Obs.: O alcance do salto pode ser aumentado significativamente balançando tanto o
pernas e braços na direção do salto, o que resulta em um aumento na
impulso para a frente do corpo.

Salto em distância (com corrida)

Vamos supor que um atleta inicie um salto à distância com uma velocidade máxima de 10 m/s. A força de impulso F = 2W gerada pelas pernas fornece a componente vertical da velocidade de lançamento. Dessa força, temos que subtrair o peso W do saltador.

A aceleração produzida pela força líquida é: $a = \frac{2W - W}{m} = \frac{W}{W/g} = g$

Se a força de impulso atua no atleta por uma distância de 60 cm (a extensão do agachamento), e se é direcionada inteiramente na direção vertical y, a componente vertical da velocidade durante o salto é:

$$v_y^2 = 2as = 2 \times g \times 0.6 = 11.8\,\mathrm{m}^2/\mathrm{sec}^2$$
$$v_y = 3.44\,\mathrm{m}/\,\mathrm{sec}$$

Como o componente horizontal da velocidade de lançamento v_x é a velocidade de corrida → v_x = 10m/s, a magnitude da velocidade de lançamento é: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 10.6\,\mathrm{m}/\,\mathrm{sec}$

Agora podemos calcular o ângulo de lançamento: $\theta = \tan^{-1}\frac{v_y}{v_x} = \tan^{-1}\frac{3.44}{10} = 19^{\circ}$

Finalmente podemos calcular a distância do salto: $R = \frac{v^2 \sin 2\theta}{g} = \frac{112.4 \sin 38^{\circ}}{g} = 7.06\,\mathrm{m}$

Para termos uma comparação dos resultados e das aproximações utilizadas: Recordes mundiais: R = 9 m para homens e R = 7,5 m para mulheres.