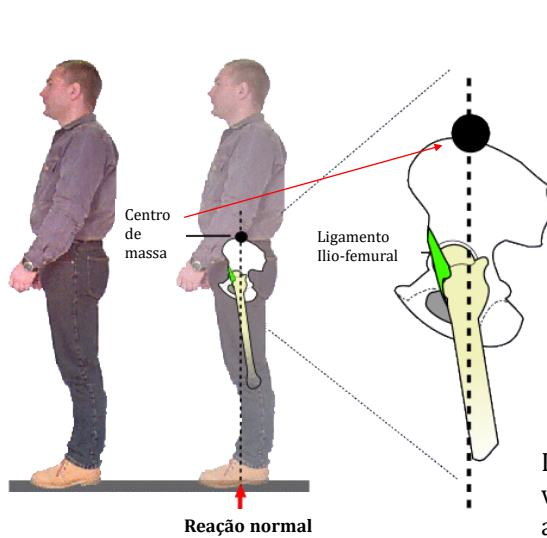


2. Estática do Corpo Humano

Essencialmente
Cap. 2 de
Herman



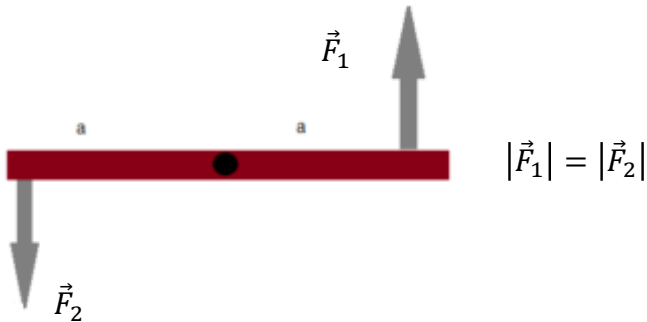
Independentemente da importância do CM, não vamos estudar a estática do corpo humano, admitindo que o homem é uma partícula material!!!

O que é necessário para haver equilíbrio mecânico?

$$\vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \sum \vec{F} = \vec{0}$$

É suficiente?

Este sistema está em equilíbrio mecânico?

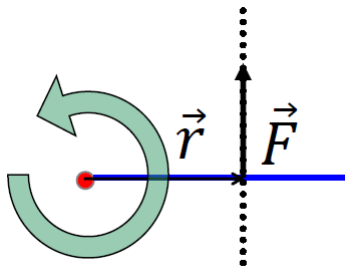


$$\sum \vec{\tau} = \sum_i \vec{r}_i \times \vec{F}_i = I \vec{\alpha}$$

Para que o sistema esteja em equilíbrio mecânico, além de: $\vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \sum \vec{F} = \vec{0}$

$$\vec{\alpha} = \vec{0} \Rightarrow \sum \vec{\tau} = \vec{0}$$

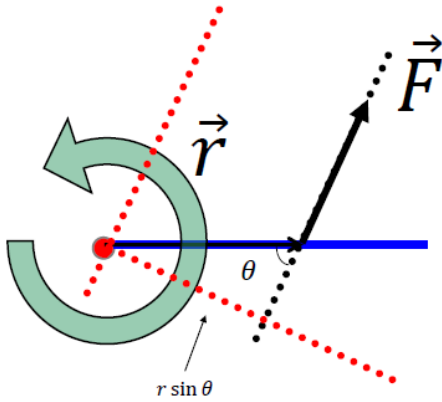
Estudemos um pouco o que se passa num sistema macroscópico simples: barra



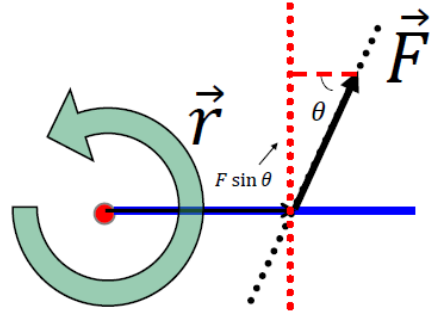
Qual o sentido do momento da força?

Como se pode alterar o momento da força?

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$



$$\tau = r \sin \theta F$$



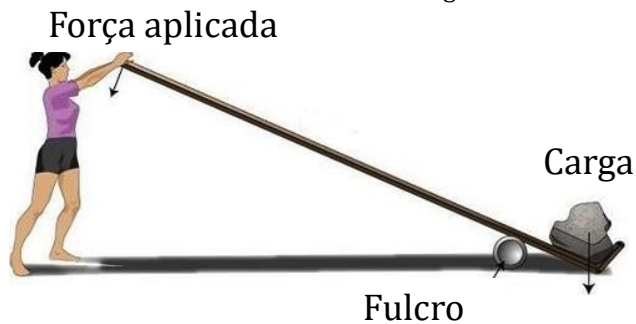
$$\tau = r F \sin \theta$$

Alavancas: Máquinas simples que funcionam com base na aplicação de momentos (*torque*)

As **alavancas** envolvem um **fulcro** (centro de rotação), uma **força que corresponde a uma carga** (que normalmente se pretende sustentar ou mover) e uma **força aplicada** (que vai permitir sustentar ou mover a carga).

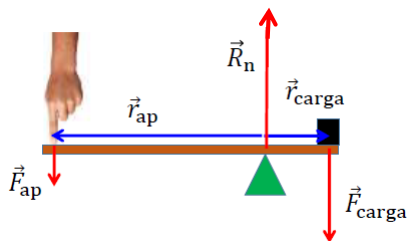
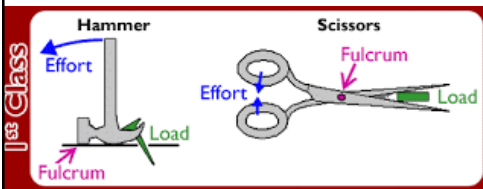
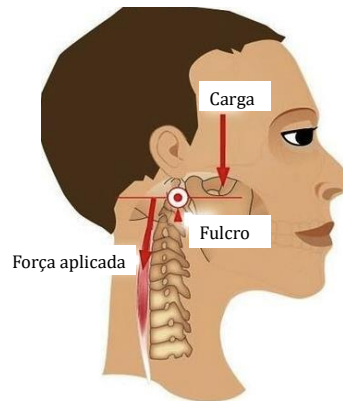
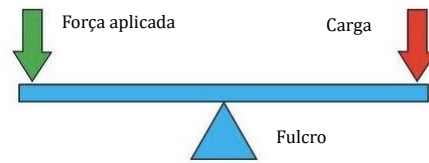
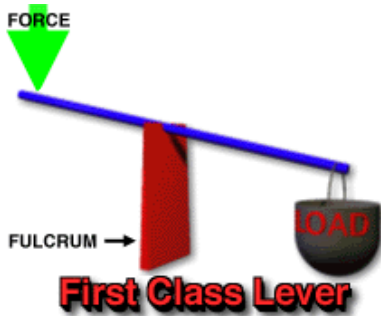
As alavancas permitem, dentro de certos limites:

1. Controlar a magnitude da força aplicada;
2. Controlar a distância e a velocidade com que se movem as cargas.



Tipos de alavancas

1 - Alavancas de tipo 1 (ou interfixa): Fulcro entre carga e força aplicada



Em condição de equilíbrio:

$$\vec{F}_{ap} + \vec{F}_{carga} + \vec{R}_N = \vec{0}$$

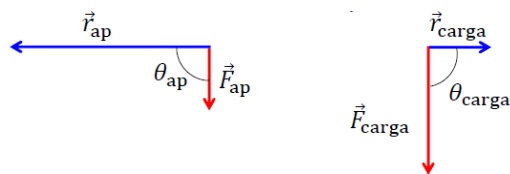
$$\vec{\tau}_{ap} + \vec{\tau}_{carga} + \vec{\tau}_{R_N} = \vec{0}$$

Relativamente ao apoio (fulcro) $\vec{\tau}_{R_N} = \vec{0}$

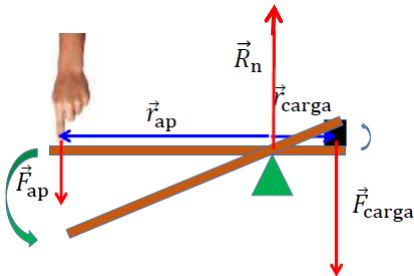
$$\Rightarrow \vec{\tau}_{ap} + \vec{\tau}_{carga} = \vec{0}$$

$$\Rightarrow \tau_{ap} - \tau_{carga} = 0$$

$$\Rightarrow r_{ap} F_{ap} \sin \theta_{ap} - r_{carga} F_{carga} \sin \theta_{carga} = 0$$



Vantagens e desvantagens das alavancas de tipo 1 ou interfixas



Vantagem mecânica (na situação de equilíbrio):

$$VM = \frac{F_{\text{carga}}}{F_{\text{ap}}} = \frac{r_{\text{ap}}}{r_{\text{carga}}}$$

$$F_{\text{ap}} = \frac{r_{\text{carga}}}{r_{\text{ap}}} F_{\text{carga}}$$

E a conservação de energia? Funciona?

Se: $\tau_{\text{ap}} = \tau_{\text{carga}}$ Sendo a velocidade angular a mesma: $\tau_{\text{ap}} \omega = \tau_{\text{carga}} \omega$

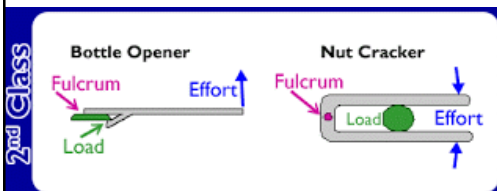
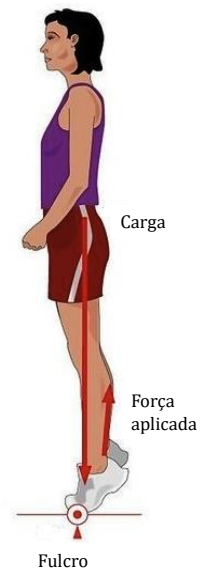
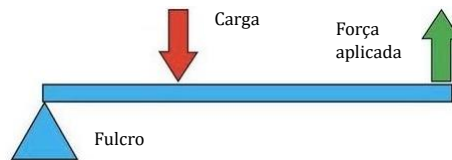
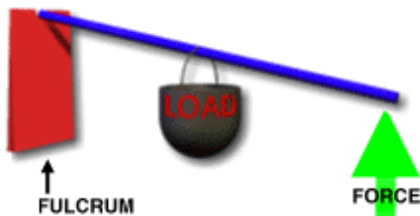
$$\Leftrightarrow F_{\text{ap}} r_{\text{ap}} \sin \theta \omega = F_{\text{carga}} r_{\text{carga}} \sin \theta \omega \quad \Leftrightarrow F_{\text{ap}} r_{\text{ap}} \omega = F_{\text{carga}} r_{\text{carga}} \omega$$

$$\Leftrightarrow F_{\text{ap}} v_{\text{ap}} = F_{\text{carga}} v_{\text{carga}} \quad \Leftrightarrow P_{\text{ap}} = P_{\text{carga}}$$

No caso de uma alavanca com $VM > 1$ ($r_{\text{ap}} > r_{\text{carga}}$), a força aplicada tem uma magnitude inferior à magnitude do peso da carga. Em contrapartida, o percurso efetuado é maior, mas com a mesma velocidade angular \Rightarrow maior velocidade "linear".

2- Alavancas de tipo 2 (ou interresistente): Carga entre fulcro e força aplicada

Second Class Lever



Em condição de equilíbrio:

$$\vec{F}_{\text{ap}} + \vec{F}_{\text{carga}} + \vec{R}_N = \vec{0}$$

$$\vec{\tau}_{\text{ap}} + \vec{\tau}_{\text{carga}} + \vec{\tau}_{R_N} = \vec{0}$$

Relativamente ao apoio (fulcro) $\vec{\tau}_{R_N} = \vec{0} \Rightarrow \vec{\tau}_{\text{ap}} + \vec{\tau}_{\text{carga}} = \vec{0}$

$$\Rightarrow -\tau_{\text{ap}} + \tau_{\text{carga}} = 0$$

$$\Rightarrow -r_{\text{ap}} F_{\text{ap}} \sin \theta_{\text{ap}} + r_{\text{carga}} F_{\text{carga}} \sin \theta_{\text{carga}} = 0$$

Vantagens e desvantagens das alavancas de tipo 2 ou interresistentes

$$VM = \frac{F_{\text{carga}}}{F_{\text{ap}}} = \frac{r_{\text{ap}}}{r_{\text{carga}}} \quad VM > 1$$

Vantagem mecânica é sempre maior que 1, mas há sempre menor amplitude de movimento da carga.

3- Alavancas de tipo 3 (ou interpotente): Força aplicada entre fulcro e carga

Third Class Lever

Força aplicada

Carga

Fulcro

Third order levers

Força aplicada

Carga

Fulcro

Weight

Effort

Fulcrum

Class 3 levers

Em condição de equilíbrio:

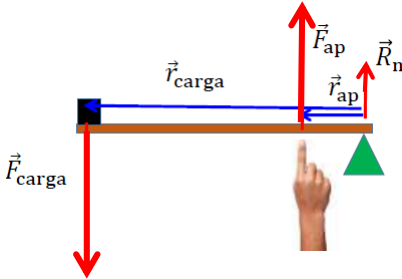
$$\vec{F}_{\text{ap}} + \vec{F}_{\text{carga}} + \vec{R}_N = \vec{0}$$

$$\vec{\tau}_{\text{ap}} + \vec{\tau}_{\text{carga}} + \vec{\tau}_{R_N} = \vec{0}$$

Relativamente ao apoio (fulcro) $\vec{\tau}_{R_N} = \vec{0} \Rightarrow \vec{\tau}_{\text{ap}} + \vec{\tau}_{\text{carga}} = \vec{0}$

$$\Rightarrow -\tau_{\text{ap}} + \tau_{\text{carga}} = 0$$

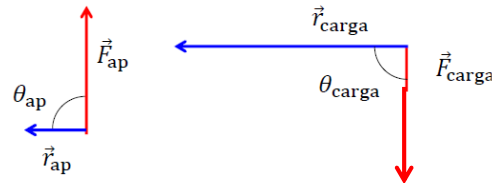
$$\Rightarrow -r_{\text{ap}} F_{\text{ap}} \sin \theta_{\text{ap}} + r_{\text{carga}} F_{\text{carga}} \sin \theta_{\text{carga}} = 0$$



Vantagens e desvantagens deste tipo de alavancas?

$$VM = \frac{F_{\text{carga}}}{F_{\text{ap}}} = \frac{r_{\text{ap}}}{r_{\text{carga}}} \quad VM < 1$$

Maior amplitude de movimento da carga.



A alavanca de tipo 3 é o tipo de alavanca mais comum no corpo humano.

Alavancas anatómicas

Alavanca: São ossos

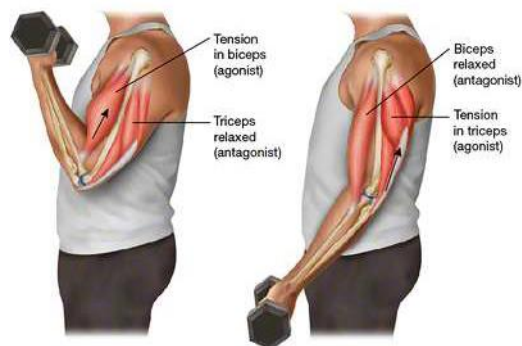
Fulcro – Articulações que de facto não são pontos: e.g. omoplata $\sim 18.9 \text{ mm}^2$ e cotovelo $\sim 12 \text{ mm}^2$.

Força aplicada - Os músculos aplicam as forças nos ossos (alavancas).

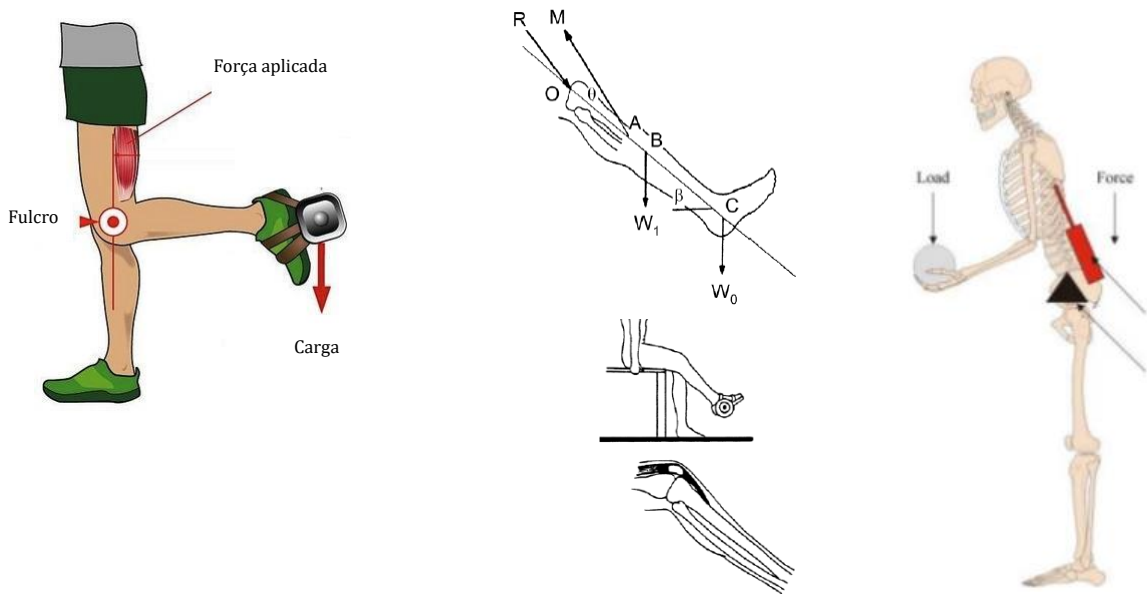
Carga (ou resistência) – podem ser partes do corpo e objetos.

A combinação músculos/esqueleto permite o movimento, tarefa que os músculos e os ossos não conseguiriam por si só. A contração é a principal função dos músculos associados aos esqueleto (skeletal muscles). **Os músculos só “puxam”, não “empurram”.** Esta particularidade exige que cada articulação possua dois conjuntos de músculos que atuam antagonicamente (movimentos concêntricos e excêntricos).

Os músculos movem os ossos como alavancas.

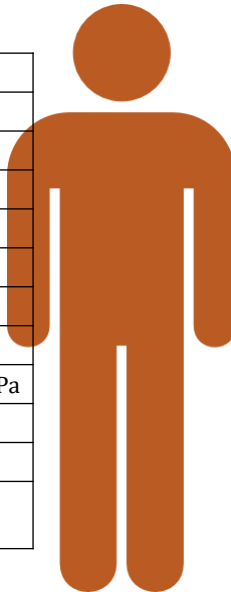


Outras balanças anatômicas:



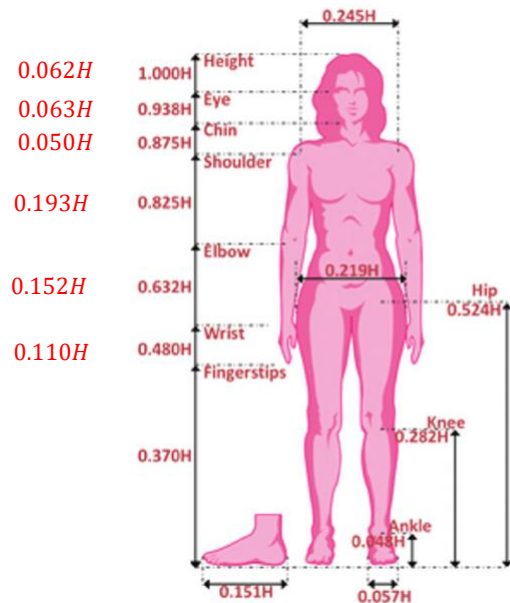
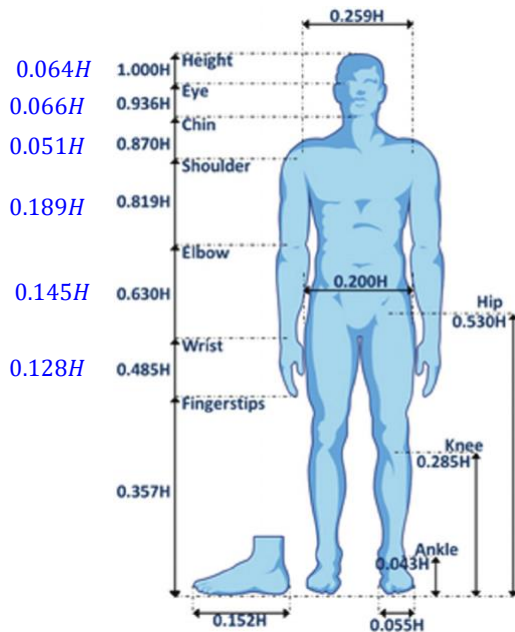
Homem padrão

Idade	30 anos
Altura	172 cm
Massa	70 kg
Área	1.85 m ²
T (corpo)	37.0 °C
T (pele)	34.0 °C
Capacidade calorífica	3.5 kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹
Batida cardíaca	65 min ⁻¹
Pressão sanguínea	16.0 kPa/10.7 kPa
Consumo de O ₂	0.26 L/min
Produção de CO ₂	0.21 L/min
Eficiência de trabalho mecânico	0-25%



Segmento	massa do segmento/massa do corpo (m) - massa volúmica (g/cm ³)
Mão	0.006 - 1.16
Antebraço	0.016 - 1.13
Braço	0.028 - 1.07
Antebraço + mão	0.022 - 1.14
Membro superior	0.050 - 1.11
Pé	0.0145 - 1.10
Coxa	0.100 - 1.05
Perna	0.0465 - 1.09
Perna + pé	0.061 - 1.09
Membro inferior	0.161 - 1.06
Cabeça + pescoço	0.081 - 1.11
Tronco	0.497 - 1.03

Proporções médias no “Homem ou Mulher padrão”



Checkpoint 1

Considere um indivíduo de sexo masculino com 1.80 m de altura e massa 80 kg. A ligação do bíceps ao osso está a cerca de 2.75 cm da articulação do cotovelo. A mão suporta um objeto esférico com $m = 10$ kg:

a) Representar as forças aplicadas na alavanca antebraço.

a) Fazer uma estimativa da força que o bíceps exerce no osso para sustentar a carga de 10 kg?

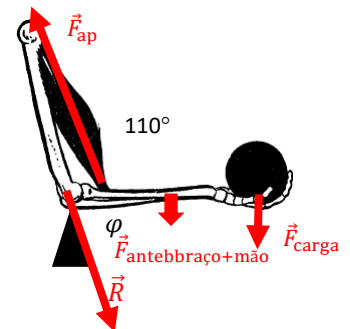
b) Calcule a força \vec{R} na articulação do cotovelo.

Dados: $r_{ap} = 2.75$ cm

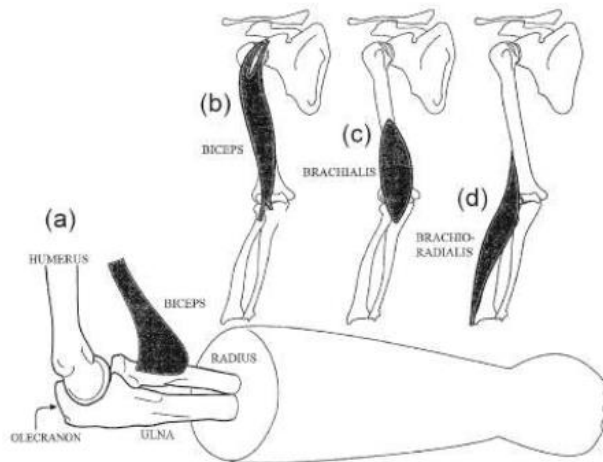
$$F_{carga} = 10 \times 9.8 = 98 \text{ N}$$

$$r_{carga} = 0.209 \times H = 0.209 \times 1.80 = 0.3762 \text{ m}$$

Correspondente ao comprimento do antebraço mais metade do comprimento da mão ($0.145H + 0.128H/2 = 0.209H$)

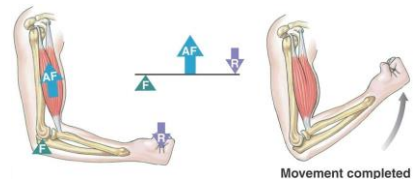


De facto há outros 2 músculos a exercer essa ação. Por isso o valor obtido é aproximadamente a resultante da força aplicada pelos 3 músculos.



Checkpoint 2

A alavanca de tipo 3 é o tipo de alavanca mais comum no corpo humano. Indicar algumas vantagens deste tipo de alavanca anatómica.



Esta configuração permite, por exemplo, que os músculos das pernas possam propulsionar o corpo a velocidades maiores ou a saltar alturas maiores do que o encurtamento do músculo na contração.

