

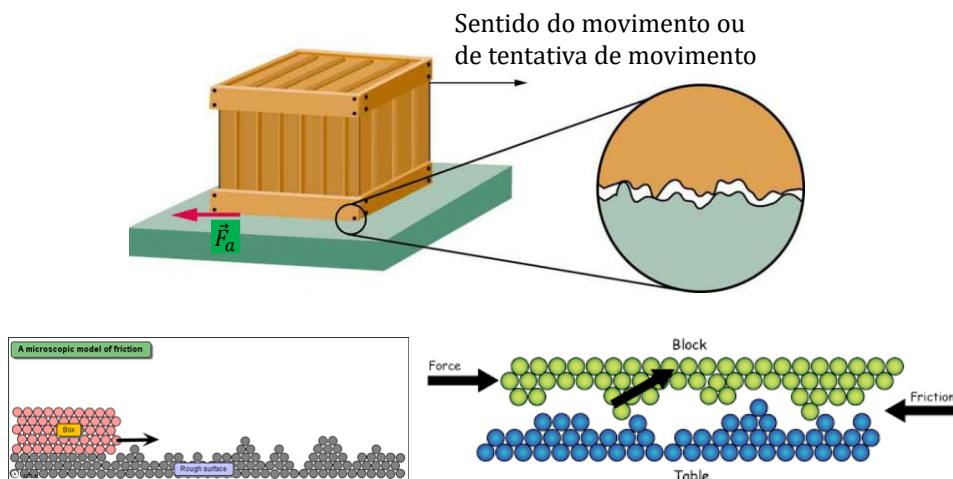
2. Estática do Corpo Humano (parte 2)

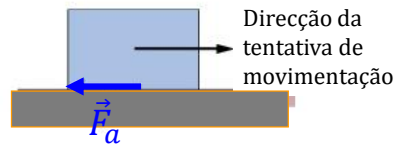
Atrito nas articulações

Contração muscular

Força de Atrito de escorregamento

As forças que os músculos esqueléticos aplicam nos ossos, têm uma magnitude relativamente elevada. A magnitude das forças resultantes nas articulações são também elevadas. As regiões de contacto, nas articulações devem ter atrito reduzido, caso contrário, essas zonas sofreriam desgaste muito rapidamente. Relembremos os atritos de escorregamento.



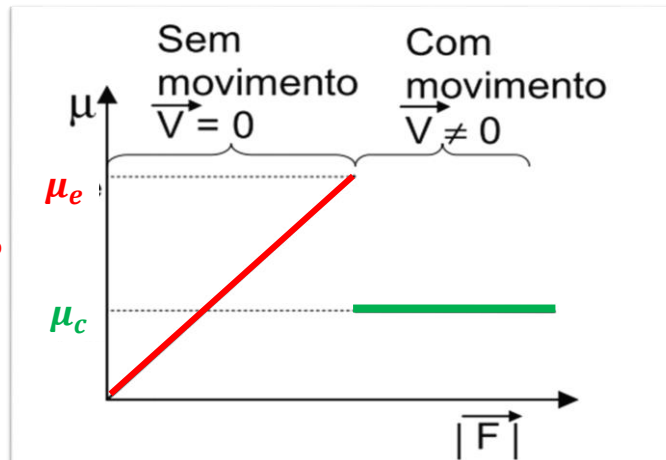


$$F_a = \mu R_N$$

Atrito Estático

$$F_{ae} = \mu_e R_N$$

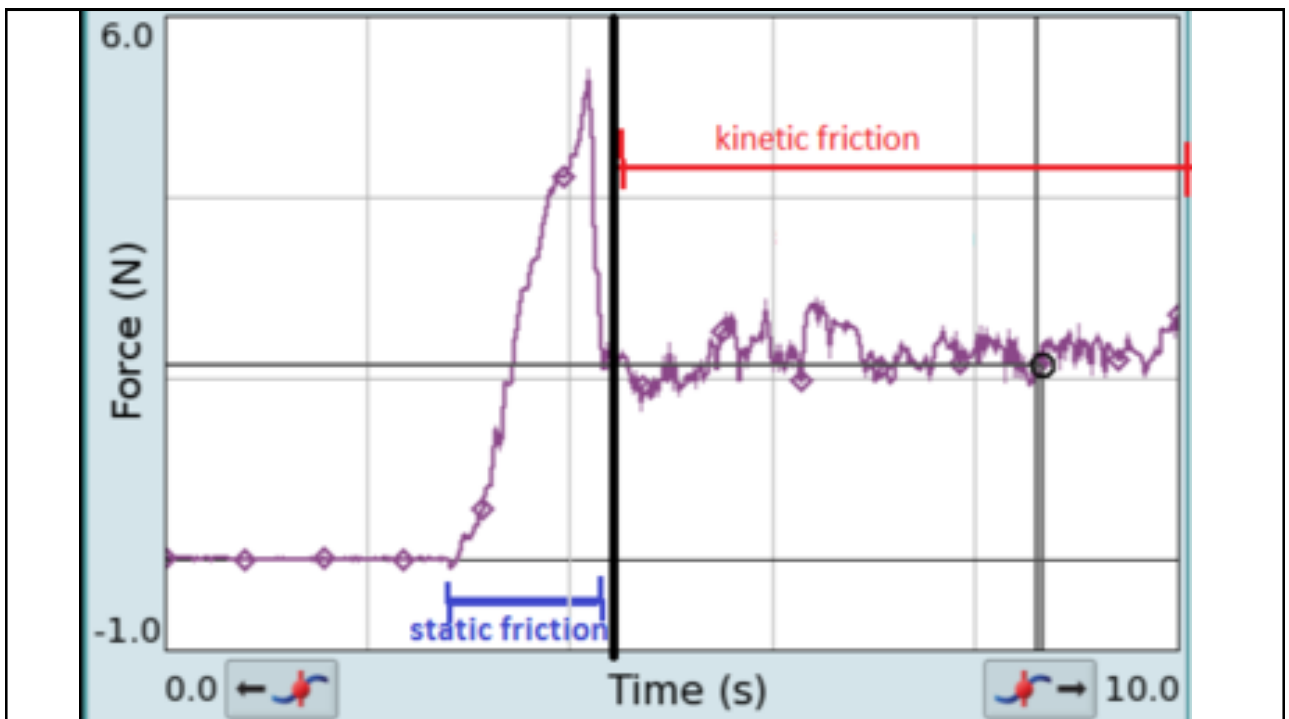
μ_e - coeficiente de atrito de escorregamento estático



Atrito Cinético

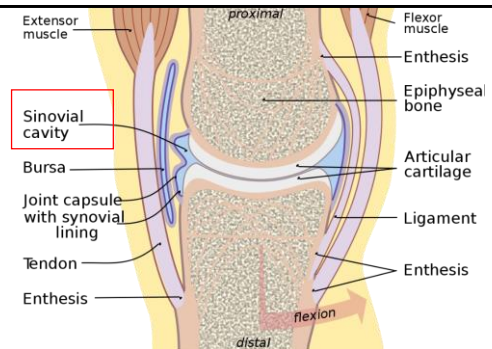
$$F_{ac} = \mu_c R_N$$

μ_c - coeficiente de atrito de escorregamento cinético

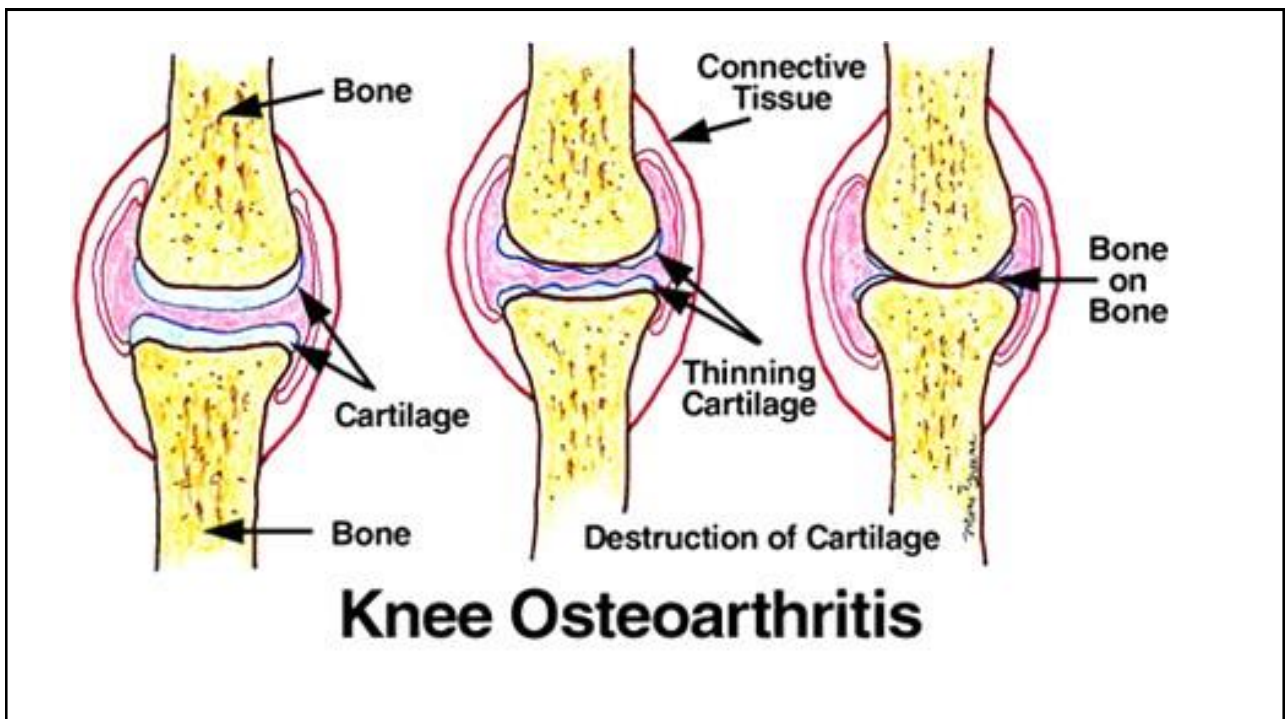


Mas estes eram atritos externos. E os internos?

Já vimos que as magnitudes das forças nas articulações podem ser elevadas. Potencialmente, quando em movimento, podem gerar-se forças de atrito muito elevadas, e que podem causar efeitos destruidores. Para reduzir o atrito, nas extremidades dos ossos há cartilagens (com porosidade elevada) e o fluido sinovial (atua como lubrificante e fornecedor de nutrientes).



Materiais em contacto	μ_e	μ_c
Aço/cobre	1.05	0.29
Cimento/borracha	1.0	0.6-0.85
Gelo/gelo	0.02-0.09	
Aço/gelo	0.03	
Osso seco/osso seco	-	0.3
Fluido sinovial humano/cartilagem	0.01	0.003





Vimos num dos exercícios da aula anterior que a articulação do cotovelo fica sujeita a forças da ordem dos 1000 N, quando a mão sustenta uma carga com massa 10 kg.

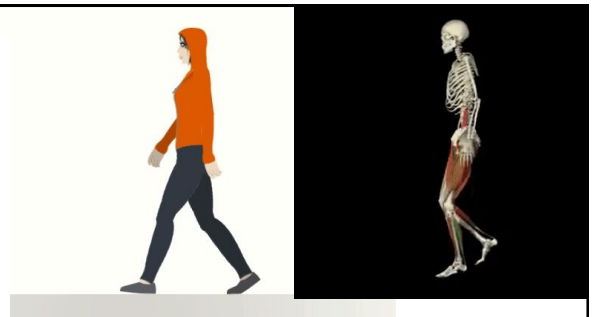
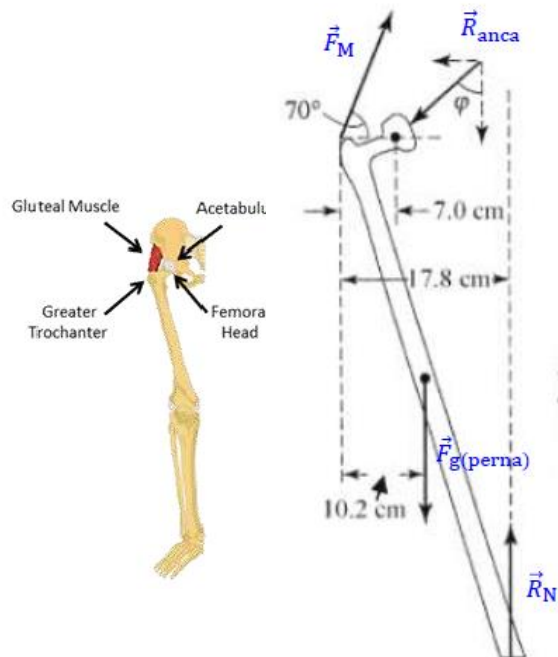
A força de atrito de escorregamento, na articulação, será:

$$F_a \approx \mu 1000$$

Se não houvesse lubrificação ($\mu=0.3$) $F_a \approx 300 \text{ N}$

Com lubrificação ($\mu=0.003$) $F_a \approx 3 \text{ N}$

Caso da articulação da anca ao caminhar

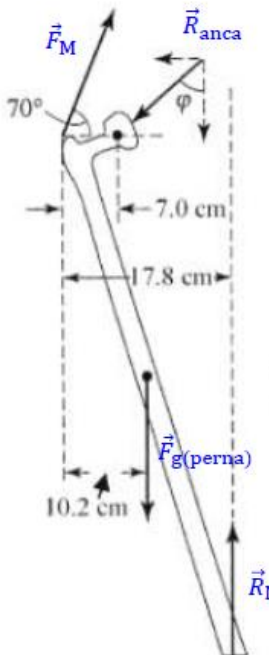


$\vec{F}_{g(\text{perna})}$ Peso o membro inferior (coxa, perna e pé)

\vec{R}_N Reação do solo

\vec{F}_M Força Muscular

\vec{R}_{anca} Resultante na articulação da anca



$$\sum \vec{\tau} = \vec{0} \quad \tau_{R_{anca}} - \tau_{F_M} - \tau_{F_{perna}} + \tau_{R_N} = 0$$

$$0 - 0.07F_M \sin 70^\circ - (0.102 - 0.07)F_{perna} + (0.178 - 0.07)R_N = 0$$

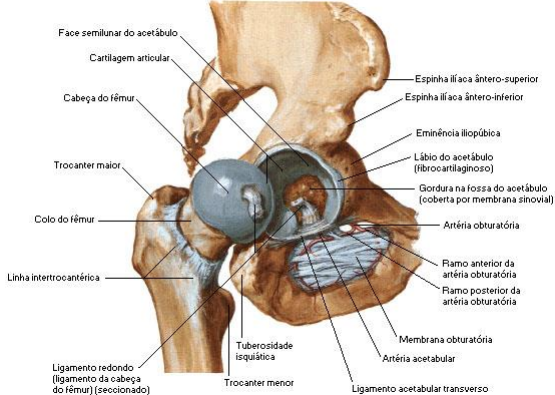
$$-0.066F_M - (0.032) \times 0.161F_g + (0.108)F_g = 0$$

$$F_M = 1.56F_g$$

$$\begin{cases} R_{ancax} + 1.56F_g \cos 70^\circ = 0 \\ R_{ancay} + 1.56F_g \sin 70^\circ - F_{g(perna)} + R_N = 0 \end{cases} \begin{cases} R_{ancax} = -0.53F_g \\ R_{ancay} = -2.3F_g \end{cases}$$

$$R_{anca} = \sqrt{0.53^2 + 2.3^2}F_g = 2.4F_g$$

No caso de Luís Cunha $R_{anca} = 1764 \text{ N}!!!!$



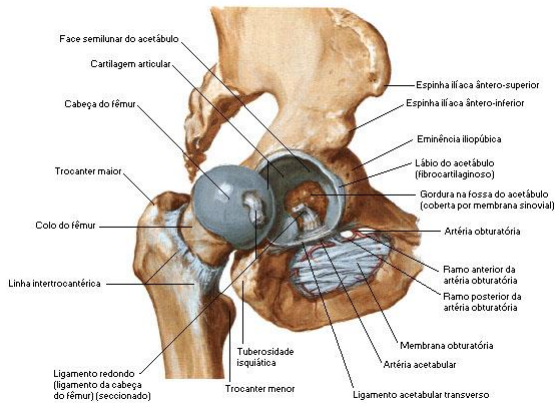
A força de atrito de escorregamento na articulação será: $F_a = \mu 2.4F_g$

Sem lubrificação: $F_a = 0.3 \times 2.4F_g = 0.72F_g$

Com lubrificação: $F_a = 0.003 \times 2.4F_g = 0.0072F_g$

Sem lubrificação: $F_a = 529.2 \text{ N}$

No caso de Luís Cunha: Com lubrificação: $F_a = 5.3 \text{ N}$



Sem lubrificação: $F_a = 0.3 \times 2.4F_g = 0.72F_g$

Com lubrificação: $F_a = 0.003 \times 2.4F_g = 0.0072F_g$

Num passo, a articulação roda cerca de 60° , o que corresponde a uma deslização de cerca de 3 cm, na zona da articulação. **Estimar o trabalho produzido por esta força!**

Sem lubrificação: $W_{F_a} \approx 0.03 \times 0.72F_g = 0.02F_g$

Com lubrificação: $W_{F_a} \approx 0.03 \times 0.0072F_g = 0.0002F_g$

Sem lubrificação: $W_{F_a} \approx 15 \text{ J}$

No caso de Luís Cunha:

Equivale aproximadamente à energia despendida para elevar-me 2 cm (num só passo). Esta energia dissipada sob a forma de energia térmica, destruiria rapidamente os tecidos da articulação.

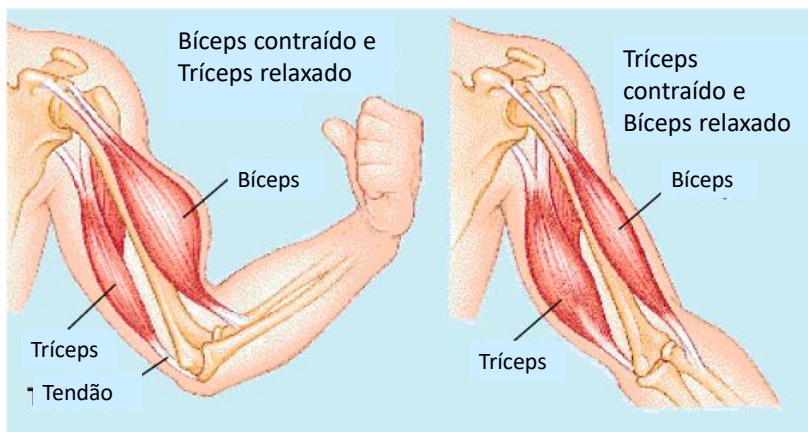
Com lubrificação: $W_{F_a} \approx 0.15 \text{ J}$

Contração muscular

Secções 5.7 e 5.8 de Herman

Os **músculos esqueléticos** e os **ossos** combinam a sua atividade em várias situações.

Estes músculos estão ligados aos ossos por tendões. Os músculos trabalham aos pares (antagonicamente) – e.g. os Bíceps e os tríceps (um contrai enquanto o outro relaxa)

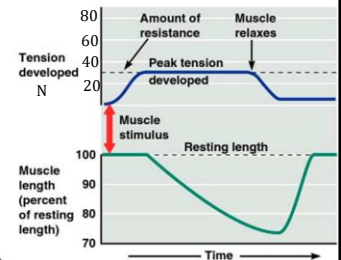
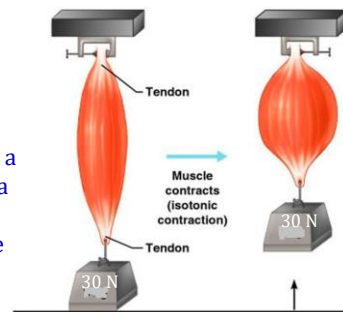


©Addison Wesley Longman, Inc.

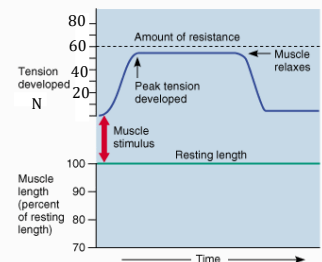
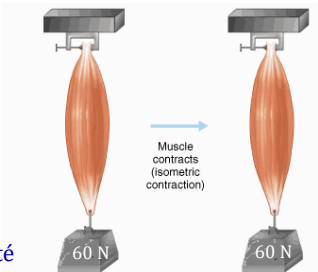
Contração muscular

Contração isotônica

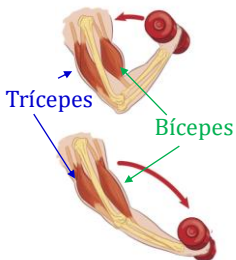
Quando o músculo contrai, diminuindo de comprimento, enquanto a carga (e a respetiva força muscular, representada pela tensão) permanece constante.

**Contração isométrica**

A carga é suficientemente elevada para que o músculo não diminua de comprimento durante a contração. A tensão desenvolvida aumenta até ao valor máximo.

**Contração isotônica**

Quando o comprimento de um músculo esquelético varia, o ângulo da articulação a que está ligado altera-se. Há **Força** (aplicada pelo músculo na ligação ao osso através do tendão), há **deslocamento** (movimento do osso) \Rightarrow há realização de **trabalho**.



Ação concêntrica do bíceps - Bíceps diminui o comprimento (exerce força ativamente para puxar).

Ação excêntrica do tríceps - Tríceps alonga (tríceps atua como travão, não puxa)

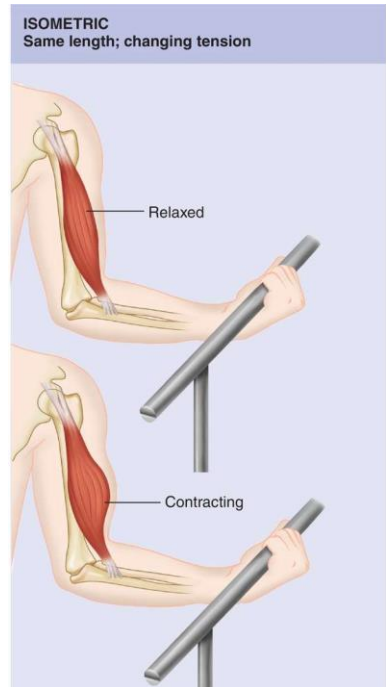
Ação concêntrica do tríceps - Tríceps diminui o comprimento (exerce força ativamente para puxar).

Ação excêntrica do bíceps - Bíceps alonga (bíceps atua como travão, não puxa)

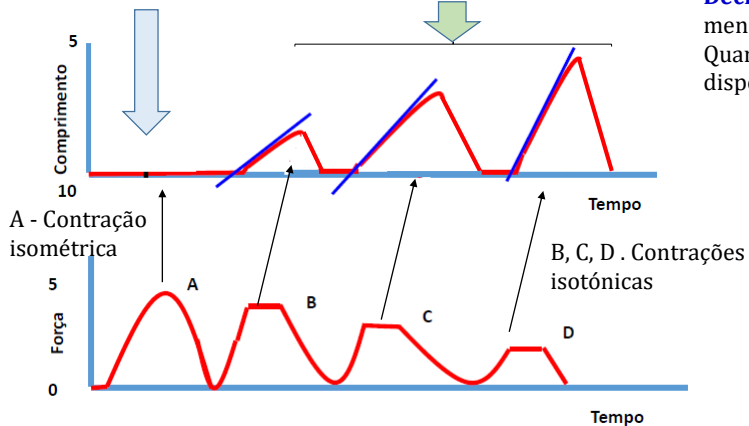
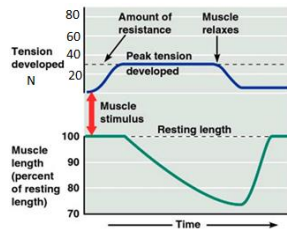
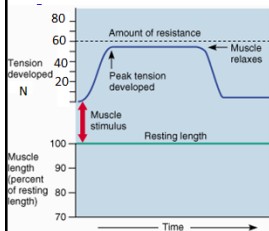
Ação concêntrica do músculo \Rightarrow Trabalho (mecânico) positivo

Ação excêntrica do músculo \Rightarrow Trabalho (mecânico) negativo

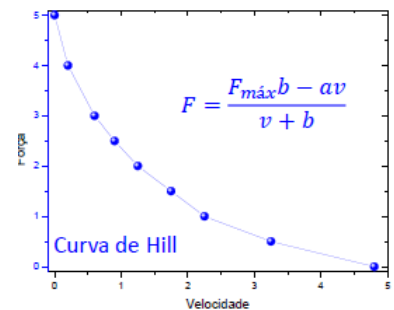
Contração isométrica – Não é realizado trabalho mecânico (não há movimento) mas despende-se energia para que o músculo produza a tensão necessária para resistir à ação da carga.

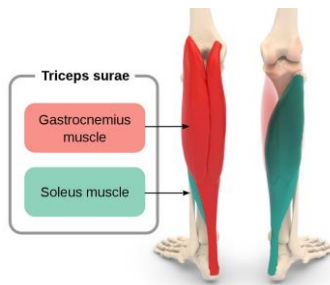
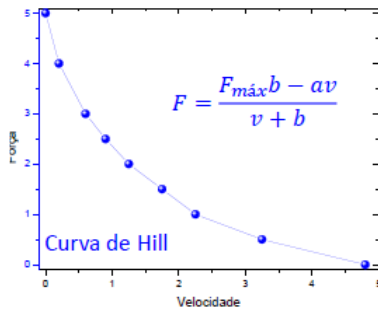


Estudo baseado em contrações com carga



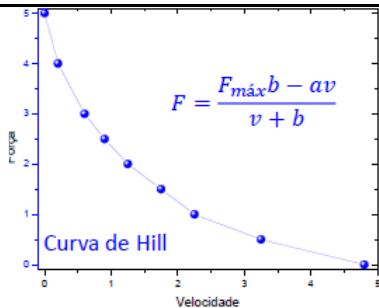
Declive corresponde à velocidade. Quanto menor a carga, mais rápido o movimento. Quanto maior a carga, menos o músculo está disponível para se contrair.





muscle	Pressão isométrica; $p_0 (F_0)$ (MPa)	maximum velocity, v_0 (FL/s) ^a
human soleus (15°C) ^b	0.145	0.52
human gastrocnemius (15°C) ^b	0.136	0.64
monkey soleus (15°C) ^b	0.146	0.7
monkey gastrocnemius (15°C) ^b	0.160	0.69
rabbit psoas (20°C) ^c	0.246	3.26
rat soleus (20°C) ^c	0.234	1.94

^aFL is the fiber length.



Em que condições a energia desenvolvida pelos músculos por unidade de tempo (potência) é maior?

Podemos ter uma ideia da potência desenvolvida pelos músculos?

Para obter a potência (P) multiplicamos a força pela velocidade

$$P = Fv = v \frac{F_{\max}b - av}{v + b}$$

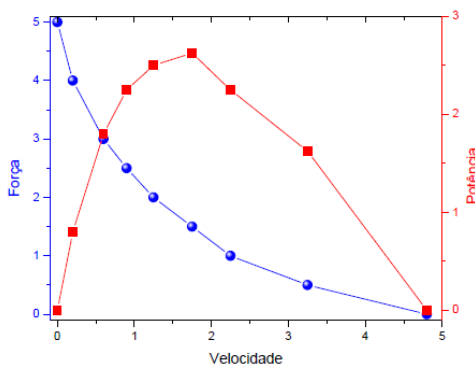
$$v \approx 0.3v_{\max}$$

O pico da potência acontece quando

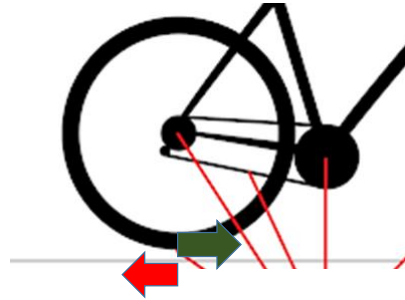
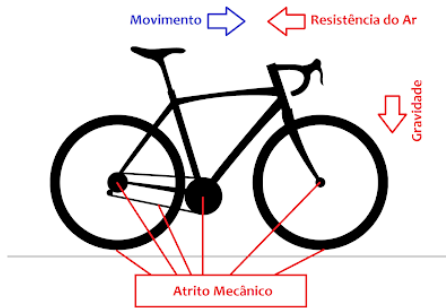
$$F \approx 0.3F_{\max}$$

Para a maior parte dos músculos a máxima eficiência ocorre quando a potência é máxima.

e.g. As bicicletas estão estudadas para que a velocidade de contração do músculo esteja próxima do valor que permita obter a potência máxima. Em subida, pode sentir-se a relação entre a potência despendida e a velocidade. Engrena-se uma velocidade menor, até se conseguir pedalar em condições de obter a máxima velocidade. Se engrenar uma velocidade demasiado baixa, a velocidade angular do pedal é demasiado elevada para fornecer tanta potência à corrente da bicicleta.



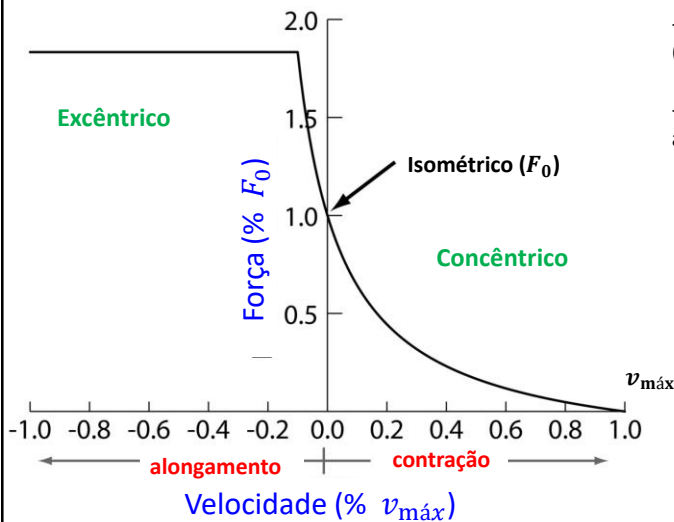
Extra



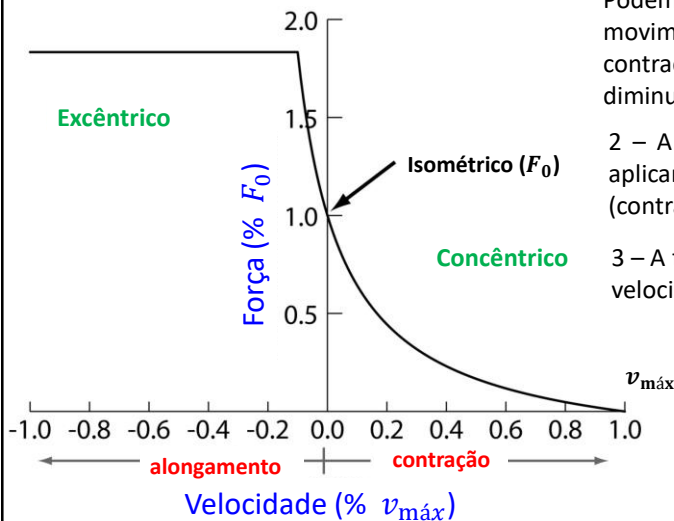
A relação **Força–Velocidade (curva de Hill)** ajuda a entender como a ativação do músculo varia com a velocidade (de “contração”).

A curva mostra que a força que o músculo exerce:

- diminui com o aumento da velocidade de contração (região das ações concêntricas);
- Resiste ao aumento quando a velocidade de alongamento aumenta (região das ações excêntricas)



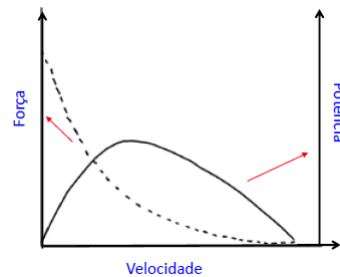
Consequências desta relação força-velocidade:



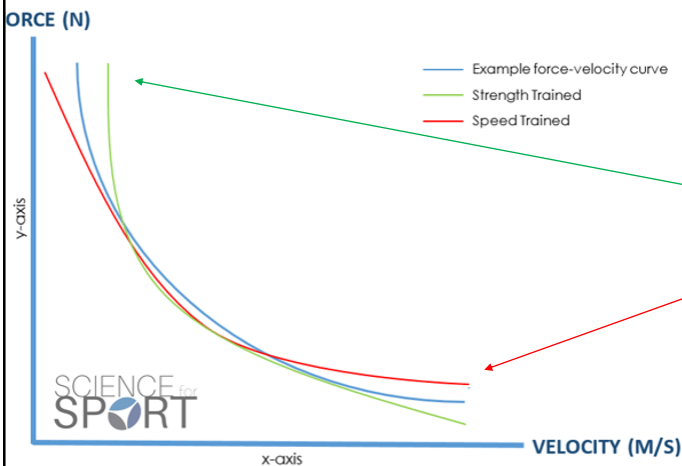
1 – Não é possível que um músculo exerça forças elevadas para altas velocidades de contração. \Rightarrow Podem aplicar forças elevadas para iniciar o movimento, mas à medida que a velocidade de contração aumenta, a capacidade de manter essa força, diminui.

2 – A força que potencialmente os músculos podem aplicar para baixas velocidades de movimento (contração e alongamento) depende de F_0 .

3 – A forma da curva (relação inversa entre força e velocidade) tem influência direta na potência muscular.



Pode o treino alterar a relação entre F e v ?



Não se pode alterar a forma geral da curva mas pode modificar-se ligeiramente a curva para aumentar o desempenho mais específico.

e.g. Treinar com cargas pesadas e poucas repetições provoca um deslocamento da curva para maiores forças, perto das condições isométricas - **Treino de força**

e.g. Treinar com cargas mais leves em repetições rápidas provoca um deslocamento da curva na região perto da velocidade máxima de encurtamento do músculo - **Treino de velocidade**

A força isométrica e a velocidade muscular são duas capacidades distintas, e.g., Um atleta que lance o dardo (ou lançador de baseball) treina com cargas mais leves, mas maiores taxas de repetição (é o que acontece em geral em atletas que queiram maximizar a velocidade de lançamento). Um halterofilista terá um treino mais dirigido para cargas mais elevadas e menores taxas de repetição.

Mas pode treinar-se para ter uma pequena melhoria em todos os regimes F e v .

