

INSTRUMENTAÇÃO BIOMECÂNICA APLICADA À FISIOTERAPIA

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO SISTEMA MÚSCULO-ESQUELÉTICO

Prof. Dr. Carlos Bolli Mota

Laboratório de Biomecânica

*Grupo de Estudos e Pesquisa em Ergonomia, Biomecânica,
Esporte e Saúde - GEBES*

Ft. Esp^{nda}. Estele Caroline Welter Meereis

Prof. Me. Gabriel Ivan Pranke

Ft. Me^{nda} Juliana Corrêa Soares

Prof. Me. Luiz Fernando Cuzzo Lemos

Prof. Esp^{nda}. Patrícia Paludette Dorneles

2 OSSOS

2.1 Conceito

Tecido extremamente dinâmico, continuamente formado e remodelado pelas forças às quais está sujeito.

Funções:

- Sustentação,
- Sistema de alavancas,
- Proteção, armazenamento e formação de células sanguíneas.

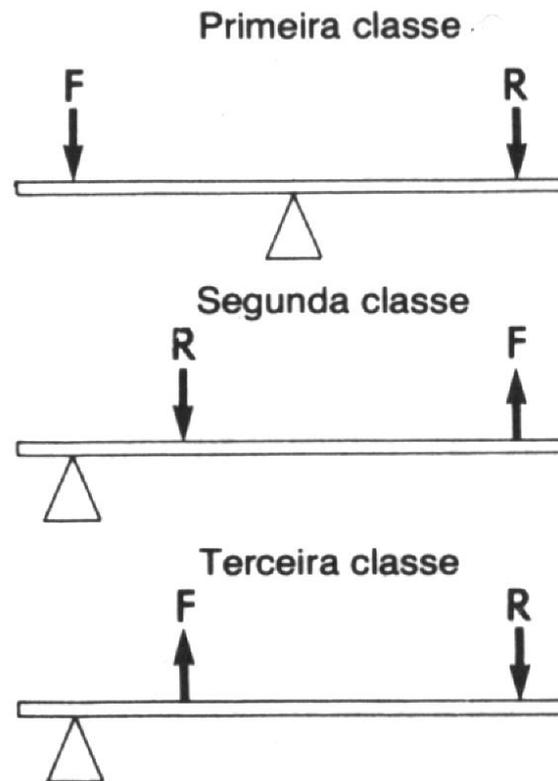


2 OSSOS

2.2 Funções

Alavancas

Alavancas são hastes rígidas que podem girar em torno de um eixo sob a ação de forças.



2 OSSOS

2.2 Funções

Alavancas

No corpo humano os ossos são as hastes rígidas, as articulações são os eixos e os músculos e cargas resistentes aplicam forças.



2 OSSOS

2.3 Composição

- Sulfato e fosfato de cálcio -> Rigidez ao osso

resistência à compressão

- Colágeno -> Elasticidade ao osso

resistência à tração

- Água importante para a resistência do osso.

- Células ósseas

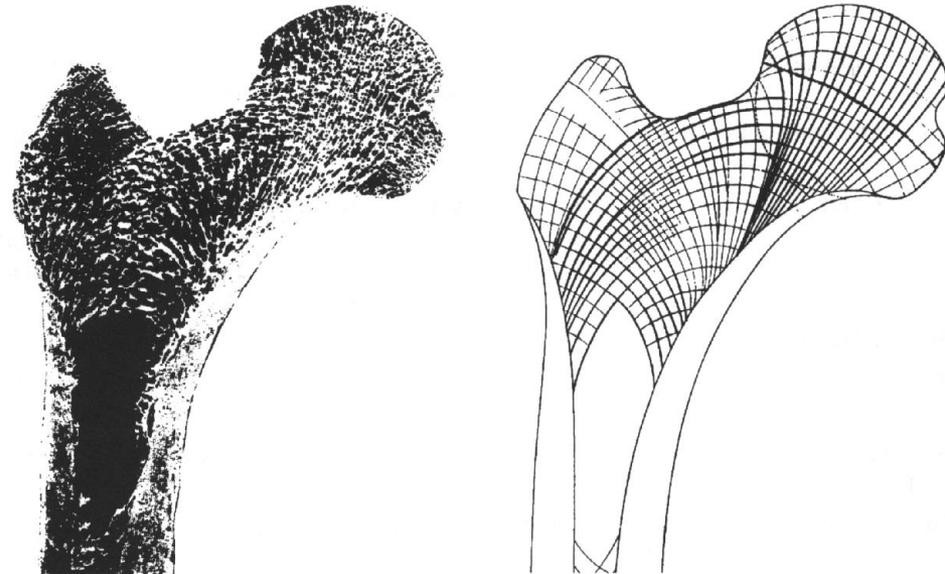
- Osteócitos: Osteoblastos e osteoclastos

Remodelação óssea

Osso cortical

- Osso compacto
- De baixa porosidade ($>15\%$ do volume)
- Suporta maiores tensões e menores deformações.

–Capaz de absorver maiores cargas tensivas quando as fibras de colágeno estiverem dispostas paralelamente a carga.

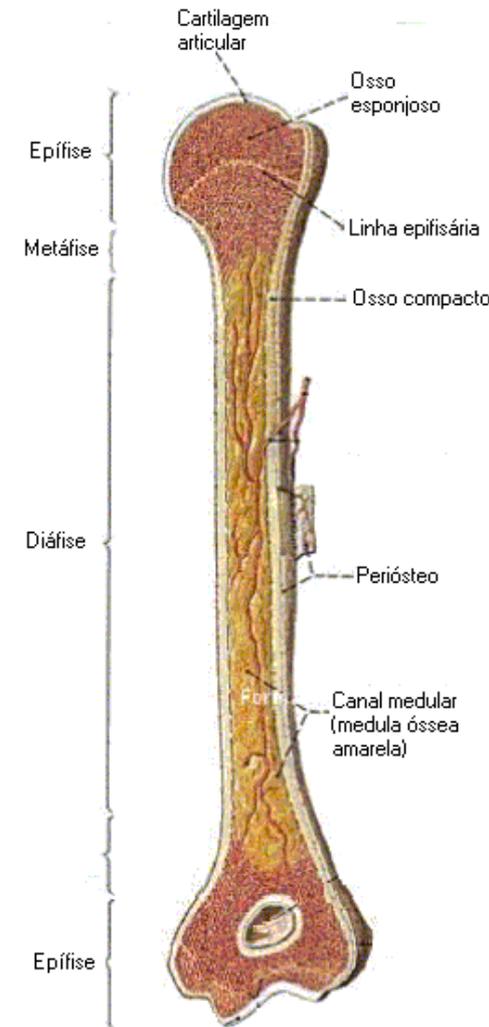


2 OSSOS

2.4 Arquitetura óssea

Osso esponjoso:

- Alta porosidade (<70% do volume)
- Menos denso, se adapta facilmente a direção da carga imposta.
- Tem grande capacidade de armazenar energia e distribuir pressões quando cargas são aplicadas.



2 OSSOS

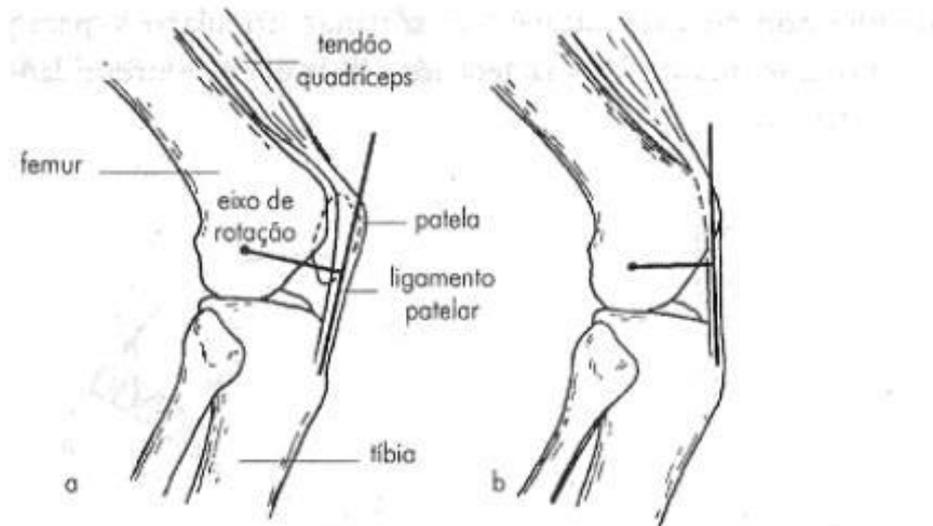
2.5 Tipos

- Ossos longos
 - Alavancas
- Ossos curtos
 - Absorção de choques e transmissão de forças
- Ossos planos
 - Protegem estruturas internas
- Ossos Irregulares
 - Sustentação, proteção, dissipação de cargas
- Ossos sesamoides
 - Alguns alteram o ângulo de inserção do músculo



2.6 Especificidade da patela

A patela faz com que aumente a distância entre a linha de ação de força e o eixo da articulação, aumentando o braço de força do quadríceps



a) A patela aumenta a capacidade de produção de torque do quadríceps por distanciar a linha de ação do músculo do eixo do movimento.

b) Sem a patela, o braço de momento do quadríceps diminui.

Anisotrópico

O osso resiste de maneira diversa à cargas aplicadas em diferentes direções

Viscoelástico

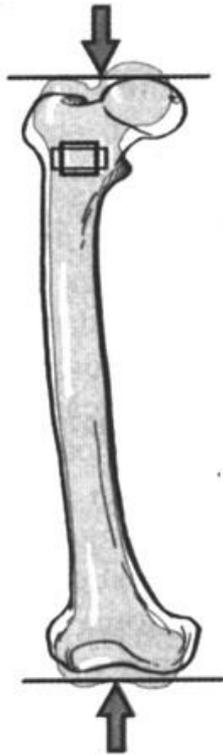
O osso responde de maneira diferente quando recebe cargas em velocidades diferentes:

↑ Velocidade ↑ Rigidez ↑ Carga antes de lesionar

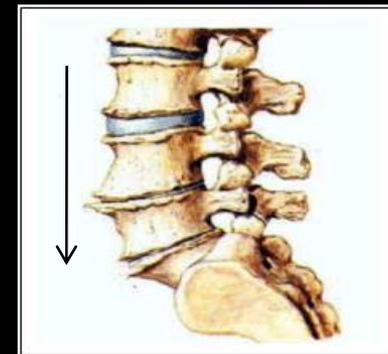
2 OSSOS

2.7 Cargas mecânicas

• Compressão →



- Atuando na direção longitudinal dos ossos, tende a diminuir o seu comprimento e aumentar seu diâmetro.
- Quanto maior a carga de compressão, mais tecido deve ter o osso para suportá-la.
- Ex:



2 OSSOS

2.7 Cargas mecânicas

Tração →



- É o oposto da compressão.
- Atuando na direção longitudinal do osso, tende a aumentar o seu comprimento e diminuir seu diâmetro.

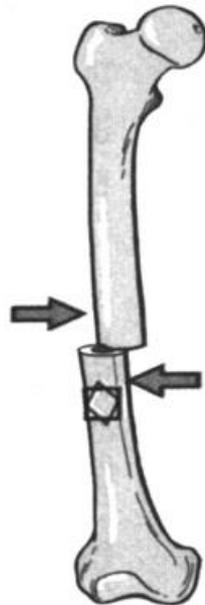
Ex:



2 OSSOS

2.7 Cargas mecânicas

• Cisalhamento →



- É um tipo de carga que tende a provocar um deslizamento de uma parte de um osso sobre outra (ou de um osso sobre outro).

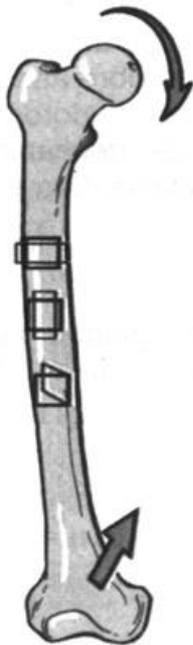
- Ex:



2 OSSOS

2.7 Cargas mecânicas

• Flexão



- Tende a curvar um osso, provocando esforços de compressão de um lado e esforços de tração do outro.

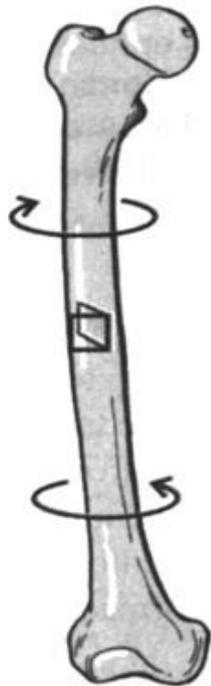
- Ex:



2 OSSOS

2.7 Cargas mecânicas

• Torção →



- É um tipo de carga que tende a torcer um osso.

-Ex:



2 OSSOS

2.7 Cargas mecânicas

Cargas combinadas

Como os ossos do corpo humano estão submetidos à força gravitacional, forças musculares e outros tipos de forças, eles geralmente estão submetidos a mais de um tipo de carga.

A forma irregular e a estrutura assimétrica dos ossos também contribui para o surgimento de cargas combinadas.



2.8 Resposta óssea à carga

- **Hipertrofia**

Aumento da densidade óssea (mineralização) em resposta ao aumento das cargas **regularmente** aplicadas.

- **Atrofia**

Diminuição da densidade óssea (desmineralização) em resposta à redução das cargas regularmente aplicadas.

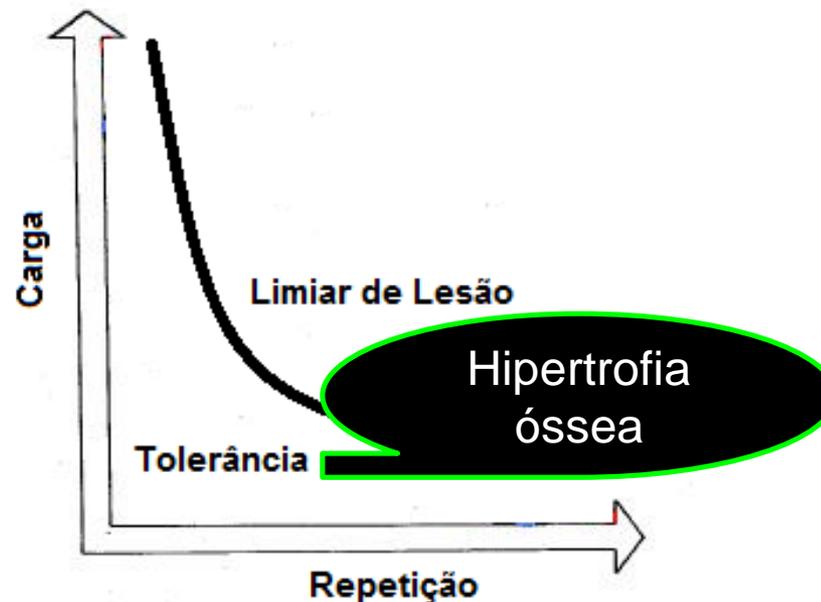
Radiografia da articulação do cotovelo de um tenista



2.8 Resposta óssea à carga

A magnitude da carga imposta ao tecido ósseo e a repetição em que é aplicada devem ser observadas:

Magnitude da Carga x Frequência da carga



Cargas Traumáticas e Repetitivas

Carga de grande magnitude

É uma carga que aplicada uma única vez é suficiente para causar lesão.

Fratura durante um salto triplo



Carga repetitiva

É uma carga de pequena magnitude que aplicada uma única vez não é suficiente para causar lesão.

A lesão óssea são geralmente causadas pela alta frequência da atividade física devido ao esgotamento muscular.

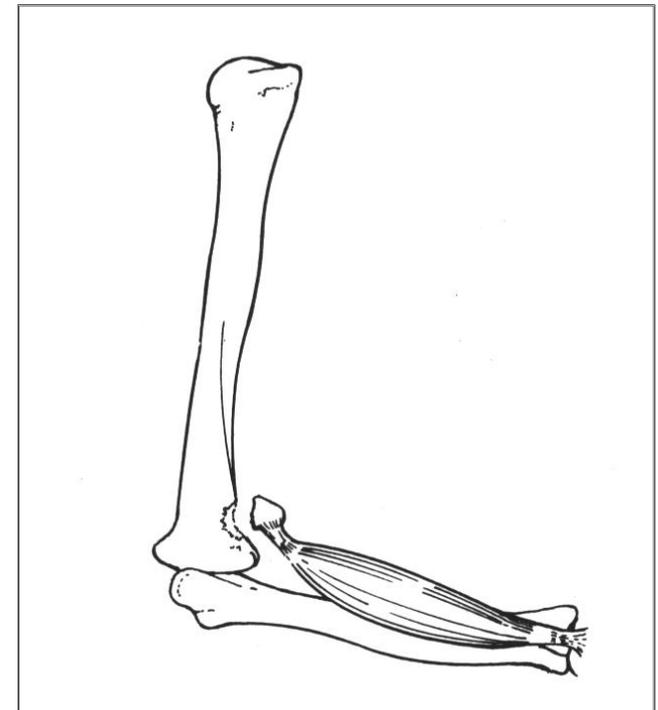
Os músculos fadigados transferem a sobrecarga para o osso ocorrendo a fratura por stress.

Radiografia da tíbia de um militar



- **Fratura por avulsão**

Induzida por uma carga de tração, na qual uma parte do osso é puxada para fora por um tendão ou ligamento nele inserido (arremessos e halterofilismo)

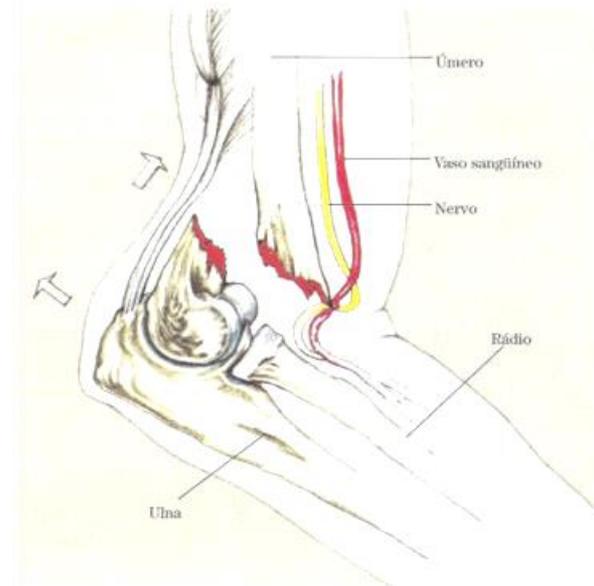


2.9 Lesões ósseas comuns

Fratura por torção
(fratura da tíbia - futebol)



Fratura impactada - Induzida por uma carga de compressão, normalmente acontece quando existem cargas combinadas



2 OSSOS

2.9 Lesões ósseas comuns

Fratura cominutiva

Resultante de uma carga rápida, caracterizada por numerosos fragmentos

Fratura em galho verde

Fratura incompleta



2 OSSOS

2.9 Lesões ósseas comuns

Fratura em flexão

Acontece em ossos longos



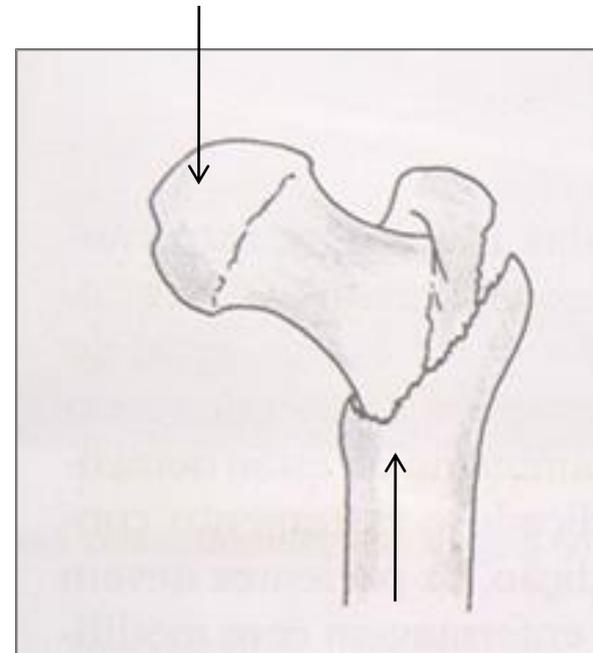
2.9 Lesões ósseas comuns

Fratura por fadiga

Resultante de carga repetitiva de pequena magnitude.

Fratura por cisalhamento

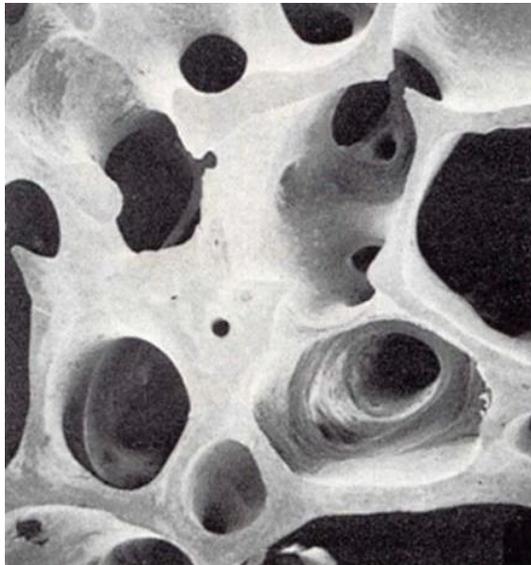
Forças opostas atuando.



2 OSSOS

2.10 Osteoporose

Perda excessiva de componente mineral e da resistência do osso. Observada na maioria dos indivíduos idosos, principalmente mulheres.



Cerca de 90% das fraturas após os 60 anos estão relacionadas com a osteoporose.

Com o aumento da proporção de idosos na sociedade houve um concomitante aumento da prevalência da osteoporose.

2 OSSOS

2.9 Lesões ósseas comuns



Estudos têm demonstrado que a atividade física regular tende a aumentar a mineralização óssea em indivíduos com osteoporose.



Lembrando-se que programas de atividades físicas para estes indivíduos devem ser feitos com cuidado para minimizar os riscos de fraturas.

3 MÚSCULOS

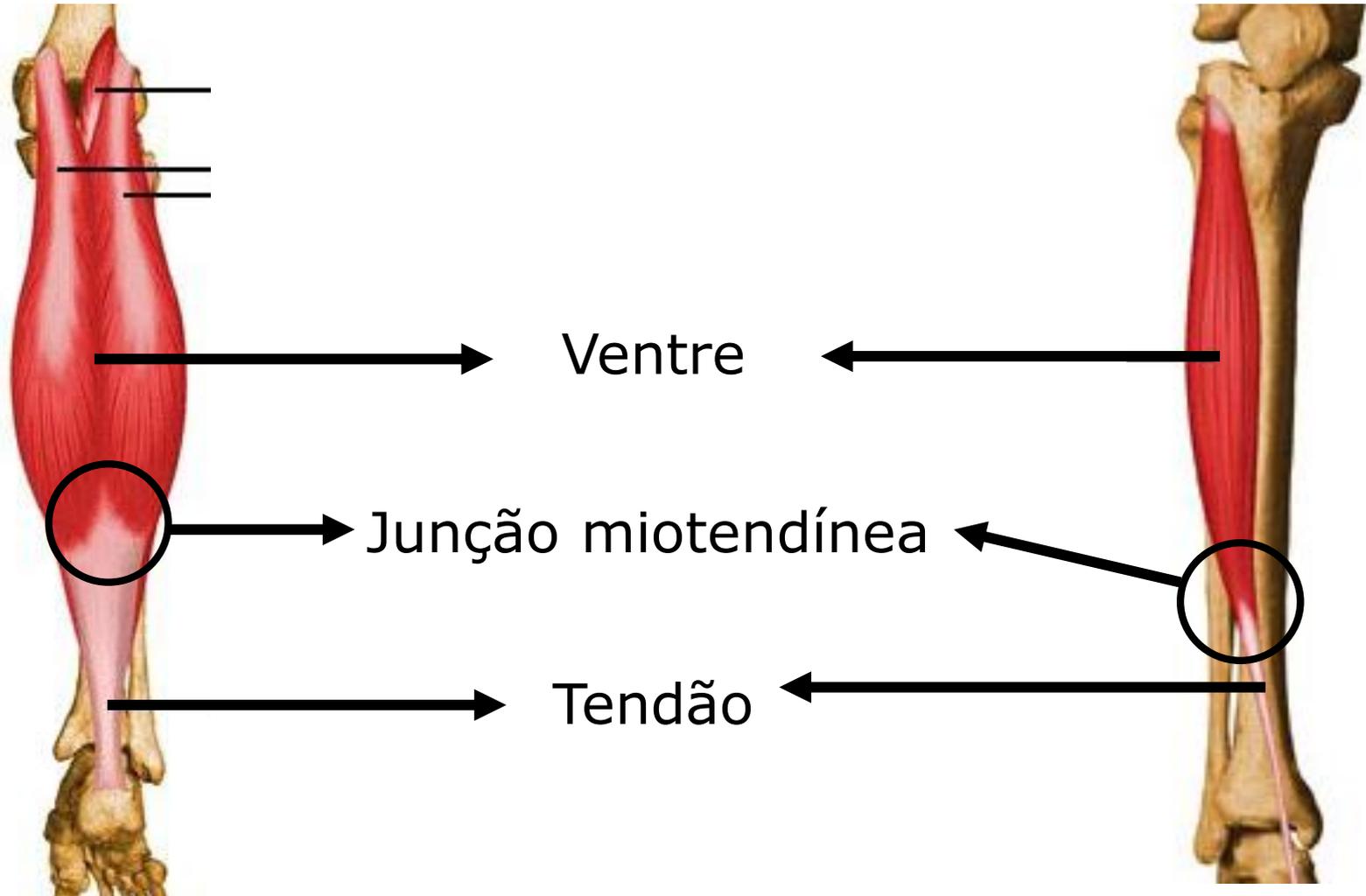
3.1 Conceito

São estruturas individualizadas que cruzam uma ou mais articulações e pela sua contração são capazes de transmitir-lhes movimento.

Único tecido do corpo humano capaz de desenvolver tensão ativamente.

3 MÚSCULOS

3.2 Composição



3 MÚSCULOS

3.2 Composição

Proteínas (Actina e miosina)

Sarcômero

Miofibrila

Fibra muscular

Feixe de Fibras (fascículos)

Músculo

Grupamento muscular

Endomísio

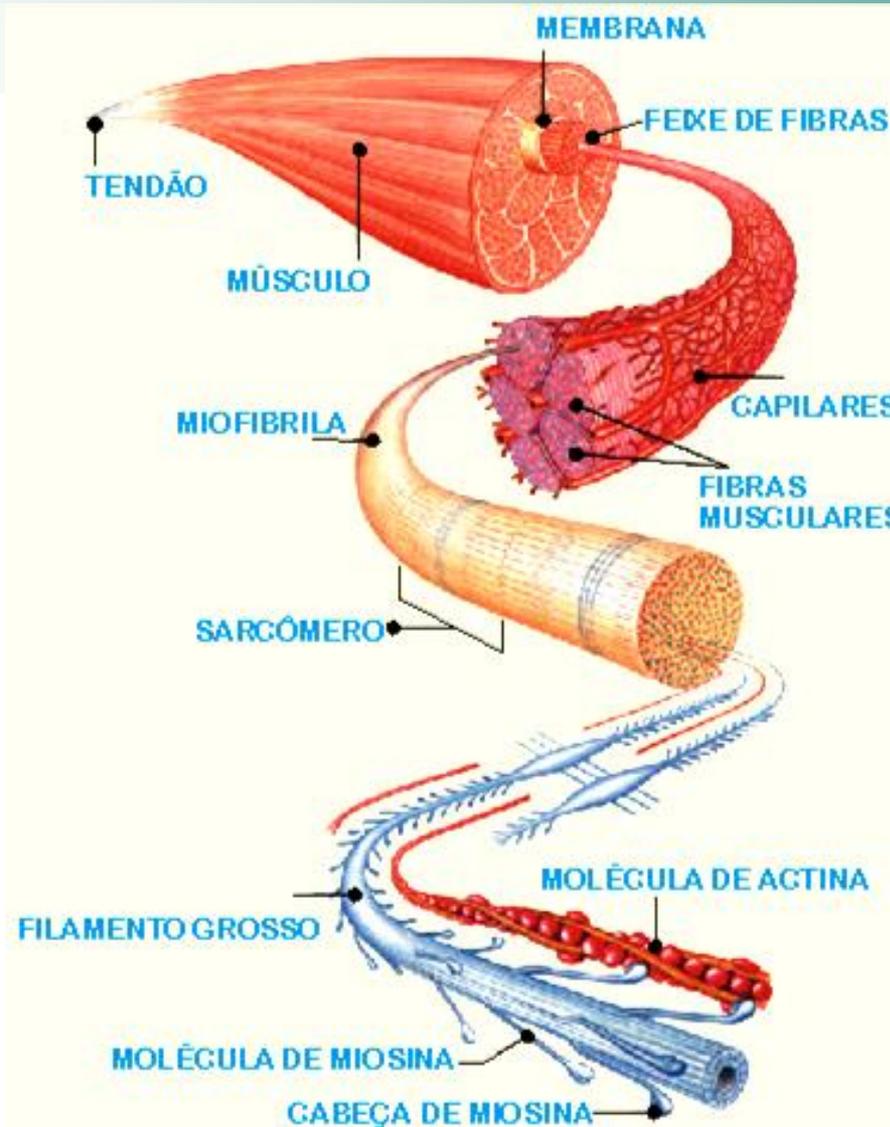
Perimísio

Epimísio

Fáscia

3 MÚSCULOS

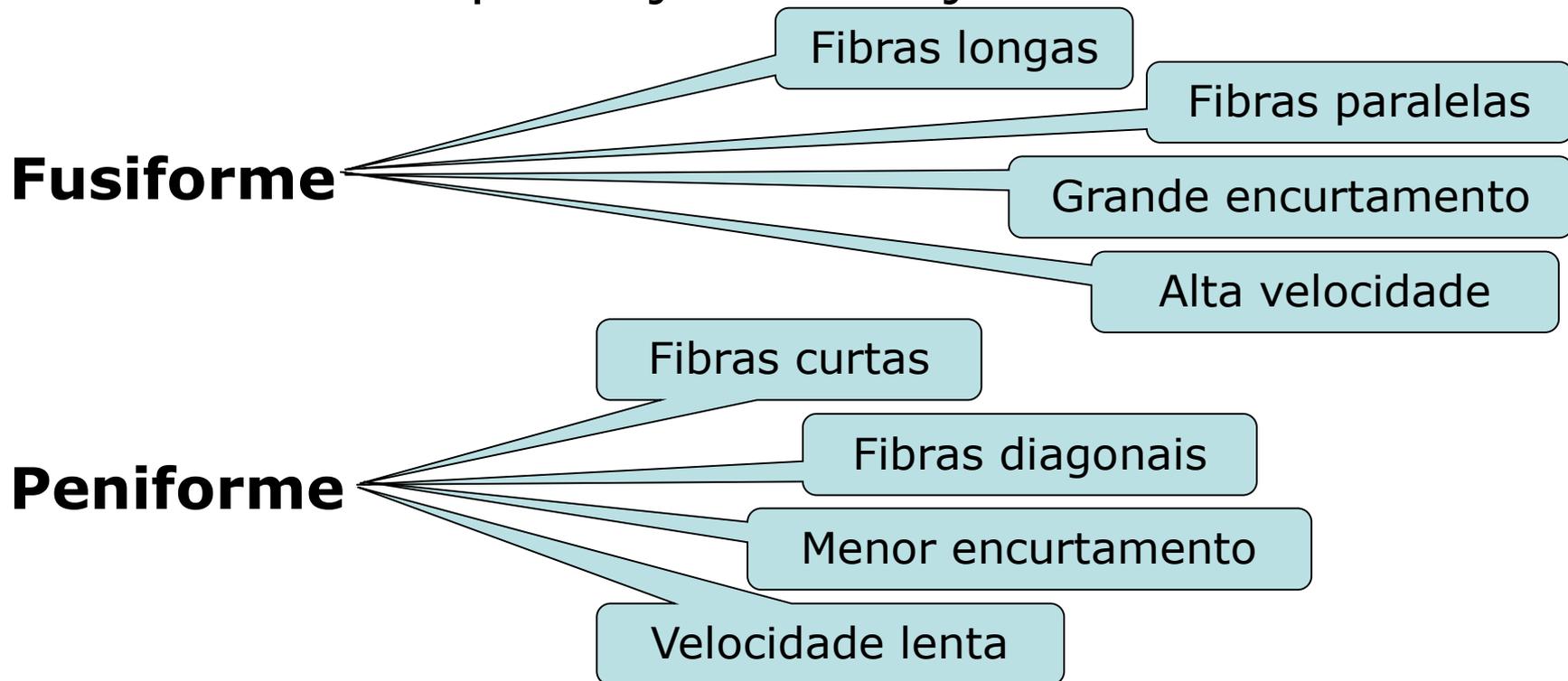
3.2 Composição



3 MÚSCULOS

3.3 Arquitetura muscular

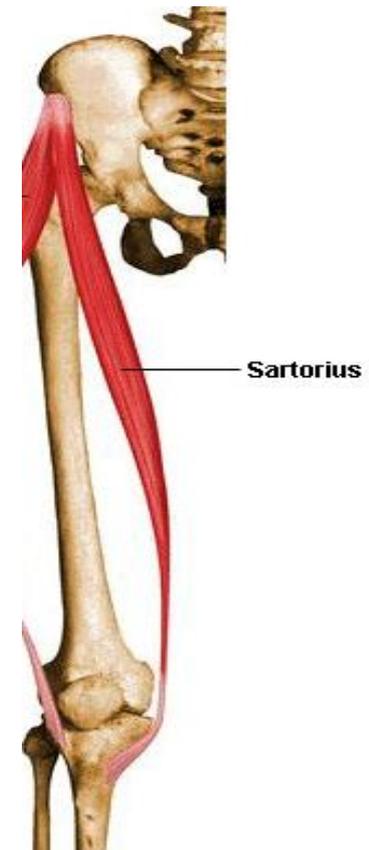
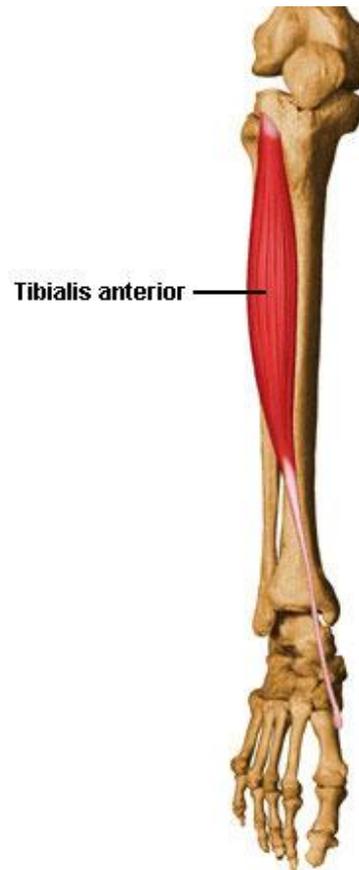
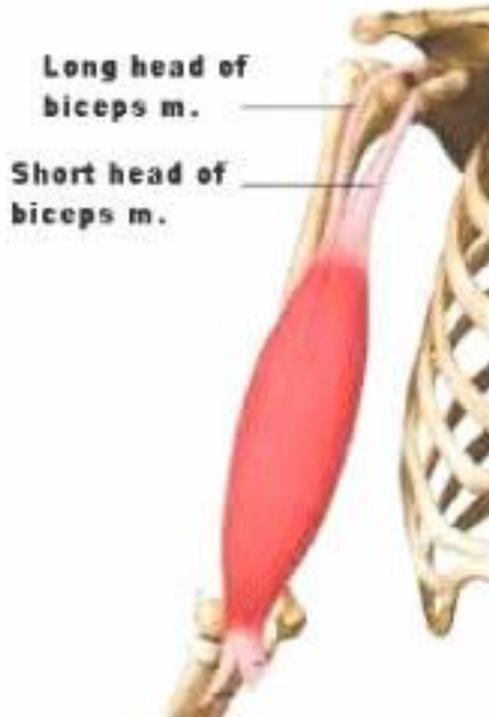
Arranjo das fibras em relação ao eixo de produção de força



3 MÚSCULOS

3.3 Arquitetura muscular

Fusiforme



3 MÚSCULOS

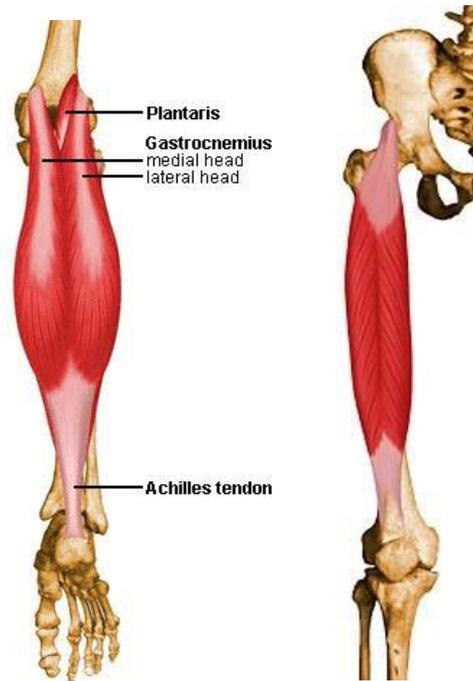
3.3 Arquitetura muscular

Peniforme

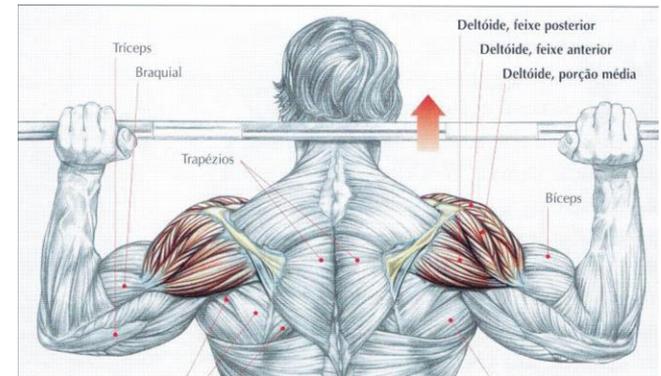
Unipenado



Bipenado



Multipenado



3 MÚSCULOS

3.3 Arquitetura muscular

Ângulo de penação

Ângulo entre o arranjo das fibras e o eixo longitudinal do músculo

3 MÚSCULOS

3.3 Arquitetura muscular

Relação com a produção de força



Força Total = Força das fibras x cos ângulo

nº de fibras

3 MÚSCULOS

3.4 Tipos de fibras

Tipo de contração lenta – I

Oxidativas e avermelhadas

Tipo de contração rápida – II

IIa – Oxidativas-glicolíticas, avermelhadas

IIb – Glicolíticas, brancas

3 MÚSCULOS

3.4 Tipos de fibras

Classificação das fibras e características fundamentais			
	Tipo I	Tipo IIa	Tipo IIb
Velocidade de contração	Lenta	?	?
Resistência à fadiga	?	?	?
Força da unidade motora	?	?	?
Capacidade oxidativa	?	?	?
Capacidade glicolítica	?	?	?

3 MÚSCULOS

3.5 Inserção muscular

Formas de inserção muscular

- Diretamente no osso
- Tendão
- Aponeurose

3 MÚSCULOS

3.5 Inserção muscular

Tendão

Função do tendão

Transmitir a tensão (força) do músculo para o
OSSO

3 MÚSCULOS

3.5 Inserção muscular

Tendão

Constituição

Feixe inelástico de fibras colágenas

3 MÚSCULOS

3.5 Inserção muscular

Tendão

Resposta à carga

Pode responder de forma elástica em função do tecido conjuntivo

Suportam grandes cargas tensivas

3 MÚSCULOS

3.5 Inserção muscular

Tendão

Resposta à carga

Junção miotendínea

- Velocidade de aplicação de carga
- Quantidade de força
- Grau de frouxidão do tendão

3 MÚSCULOS

3.5 Inserção muscular

Tendão

Resposta à carga

Junção miotendínea

Frouxo: ↓ velocidade ↑ intensidade carga

Rígido: ↑ velocidade ↓ intensidade carga

3 MÚSCULOS

3.6 Funções

Ligadas ao movimento humano:

- Produção de movimento
- Manutenção de posturas e posições
- Estabilização de articulações

3 MÚSCULOS

3.6 Funções

Agonistas - músculos que causam movimento em torno de uma articulação por meio de ação concêntrica.

Exemplo:

Bíceps braquial na flexão do cotovelo

3 MÚSCULOS

3.6 Funções

Antagonistas - músculos que se opõem ao movimento em torno de uma articulação por meio de ação excêntrica.

Exemplo:

Tríceps na flexão do cotovelo

3 MÚSCULOS

3.6 Funções

Estabilizadores - músculos que agem em um segmento de modo a estabilizá-lo, para que possam ocorrer movimentos específicos em articulações adjacentes.

Exemplo:

Rombóide fixa a escápula para movimentar somente o membro superior

3 MÚSCULOS

3.6 Funções

Neutralizadores - músculos que previnem ações acessórias indesejadas provocadas por outros músculos.

Exemplo:

Bíceps braquial produz tanto flexão do cotovelo quanto supinação do antebraço. Se apenas a flexão do cotovelo é desejada o *pronador redondo* age como neutralizador na supinação do antebraço

3 MÚSCULOS

3.7 Propriedades

Extensibilidade: capacidade de aumentar o seu comprimento

Elasticidade: capacidade de retornar a seu comprimento original após a deformação

3 MÚSCULOS

3.7 Propriedades

Contratilidade: capacidade do músculo se encurtar ao receber estimulação suficiente

Irritabilidade: capacidade de responder a um estímulo

3 MÚSCULOS

3.7 Propriedades

Capacidade de gerar tensão: A tensão muscular é gerada pela ativação do músculo.

A tensão aplicada sobre um segmento corporal pode gerar movimento deste segmento através da rotação em torno de uma articulação (produção de torque)

O torque resultante determina a presença ou não de movimento.

3 MÚSCULOS

3.8 Ações musculares

- Ação concêntrica
- Ação isométrica
- Ação excêntrica

3 MÚSCULOS

3.8 Ações musculares

Exercício	Ação Muscular	Comprimento muscular	Relação $T_{MUSC} - T_{RES}$
Estático	Isométrica	Não muda	$T_{MUSC} = T_{RES}$
Dinâmico	Concêntrica	Encurta	$T_{MUSC} > T_{RES}$
	Excêntrica	Alonga	$T_{MUSC} < T_{RES}$

3 MÚSCULOS

3.8 Ações musculares

Relações entre as ações musculares

Ação excêntrica utiliza menos unidades motoras para uma igual produção de força

- Consumo de oxigênio
- Atividade elétrica muscular

3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

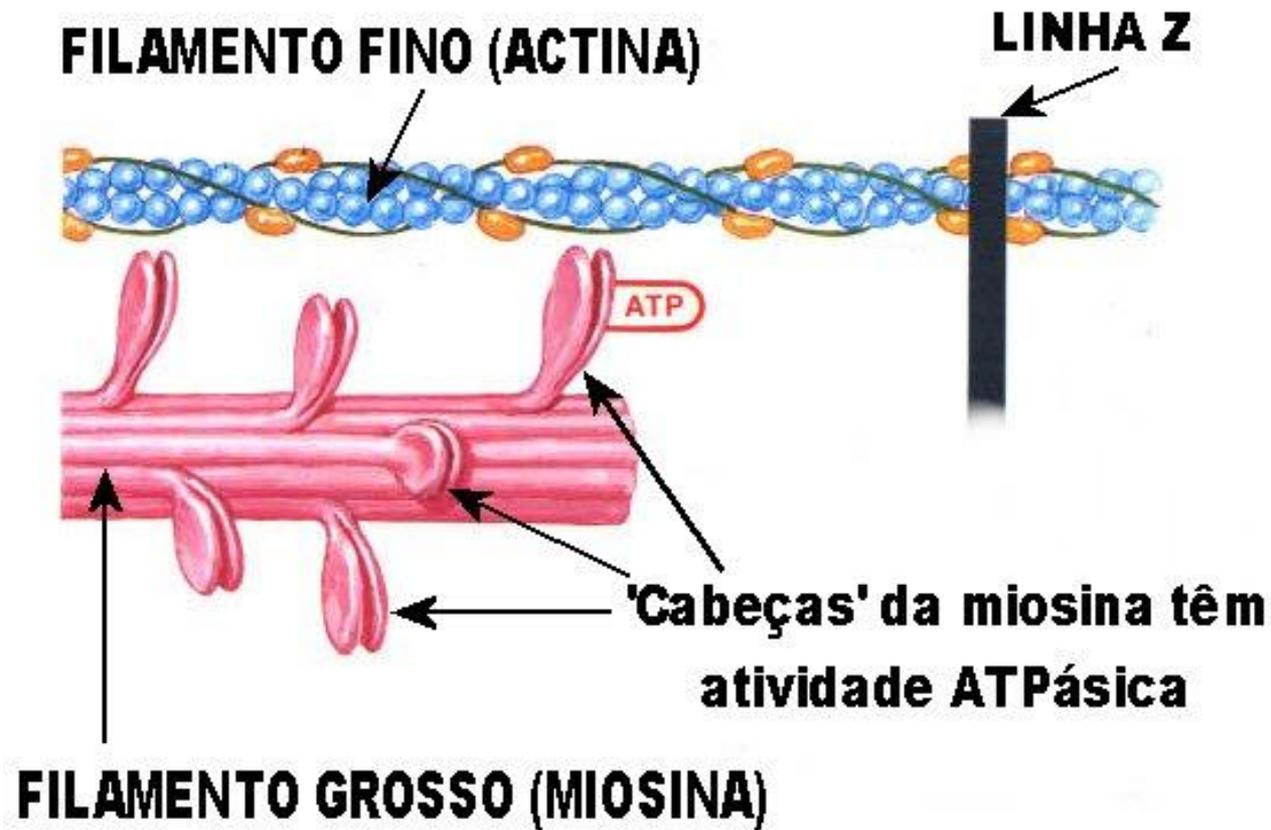
Quantidade máxima de esforço produzido por um músculo ou grupo muscular no local de inserção no esqueleto.

Unidade motora

Teoria dos filamentos deslizantes

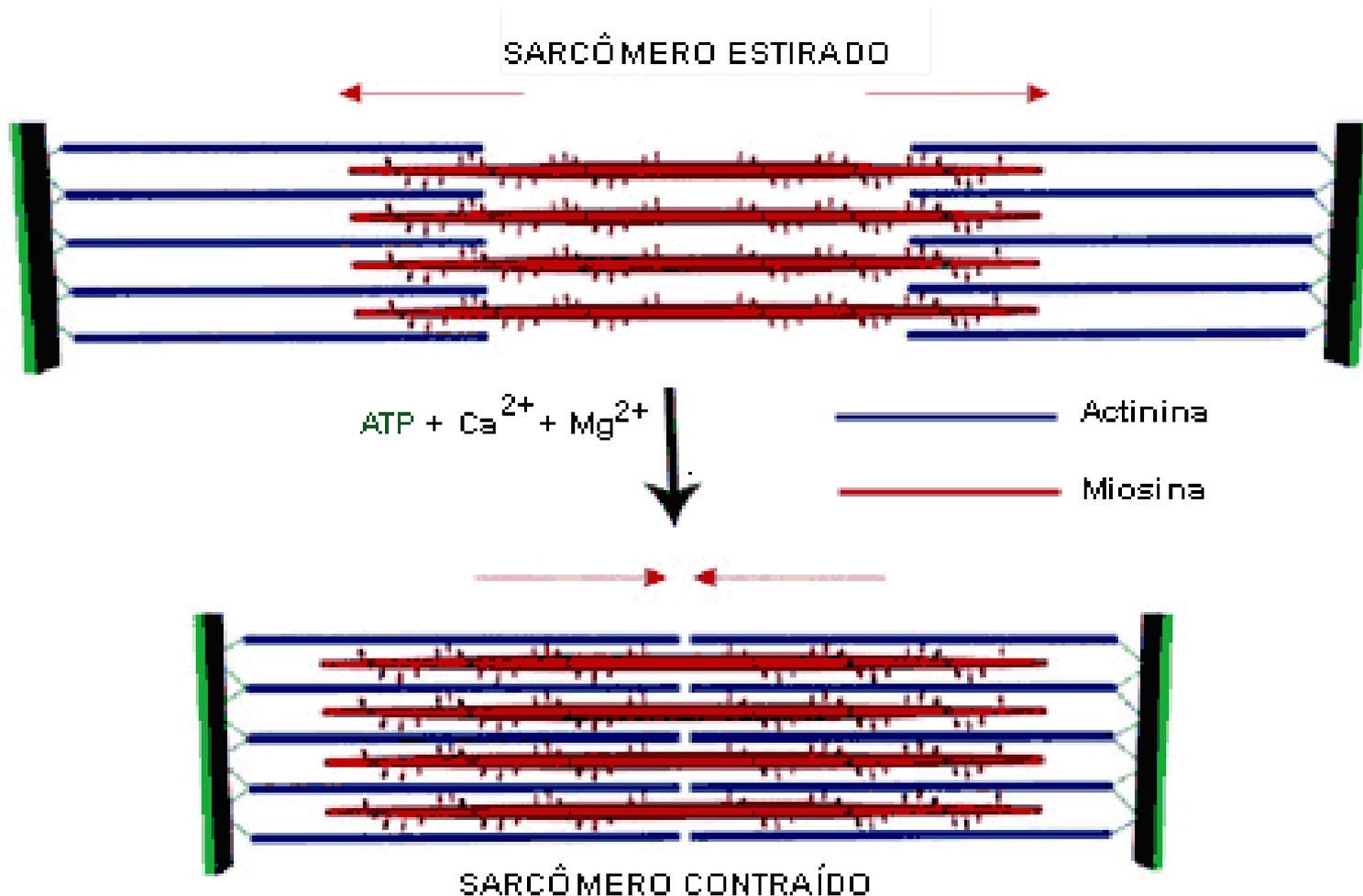
3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular



3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular



3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

- Relação força x velocidade
- Relação força x comprimento
- Ângulo de inserção do músculo

3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x velocidade

Na concêntrica



Relação força x velocidade é inversa

Quando a resistência é alta, a velocidade de encurtamento deve ser relativamente baixa.
Quando a resistência é baixa, a velocidade de encurtamento pode ser relativamente alta.

3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x velocidade

Na concêntrica

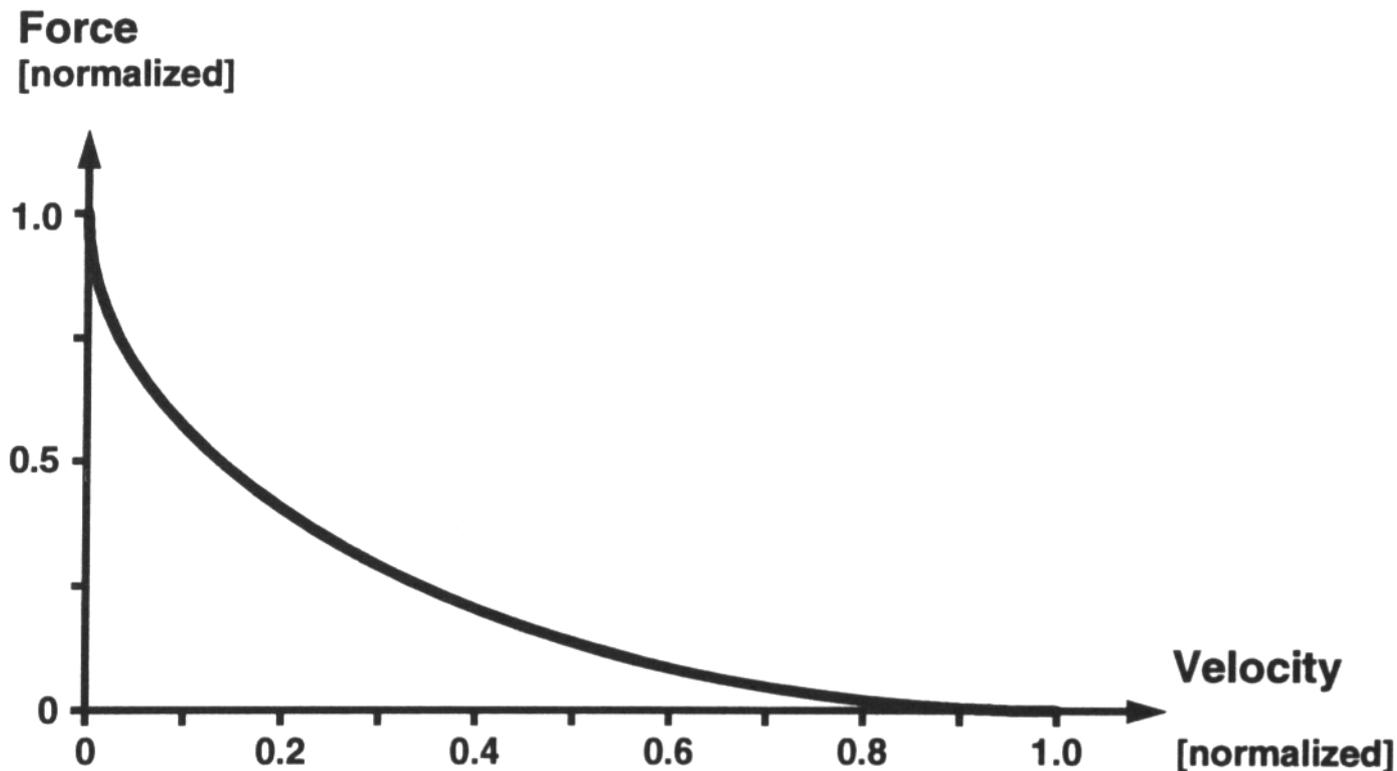
A relação força x velocidade indica que para uma determinada carga ou força muscular desejada existe uma velocidade máxima de encurtamento possível.

3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x velocidade



3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x velocidade

Na excêntrica

Relação com comportamento diferente

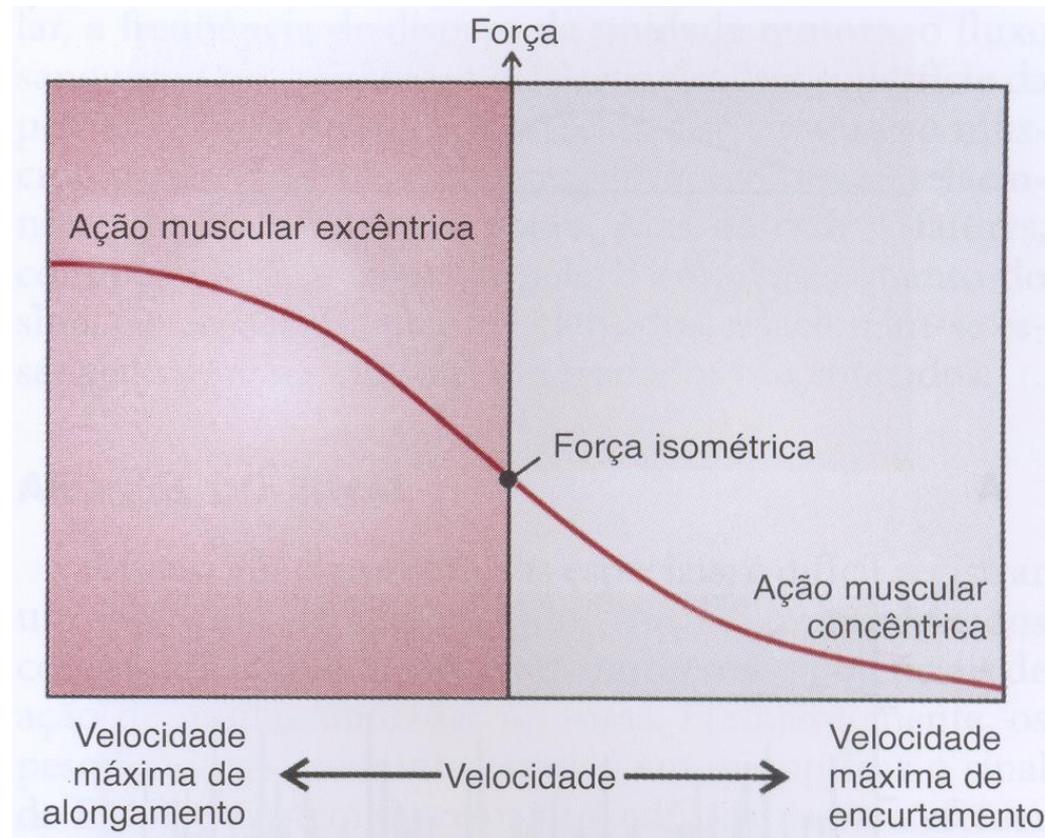
Em cargas menores que a isométrica máxima, a velocidade de estiramento é controlada voluntariamente. Em cargas maiores que a isométrica máxima, o músculo é forçado a estirar com velocidade proporcional à carga.

3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x velocidade



3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x comprimento



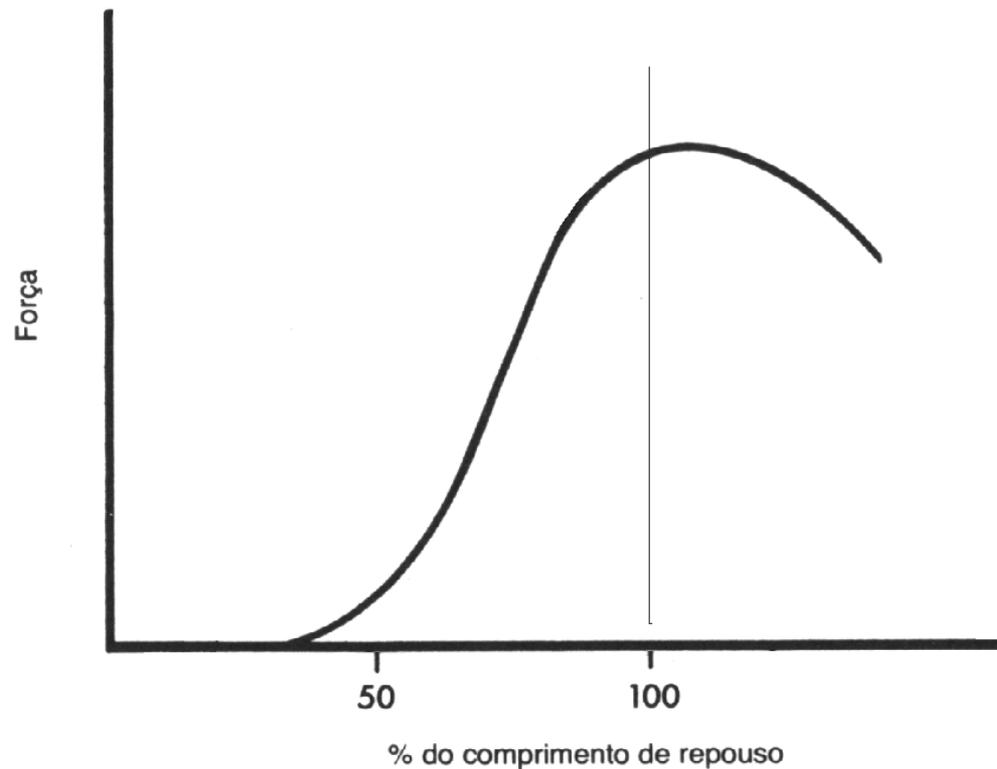
No corpo humano, o pico de geração de força acontece quando o músculo está levemente estirado.

3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x comprimento



3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x ângulo de inserção

Decomposição

Perpendicular

Responsável pela produção de torque

→ Componente rotatória

→ Componente de deslizamento

Paralela

>90° - Puxa o osso pra fora da articulação:
Componente de deslocamento

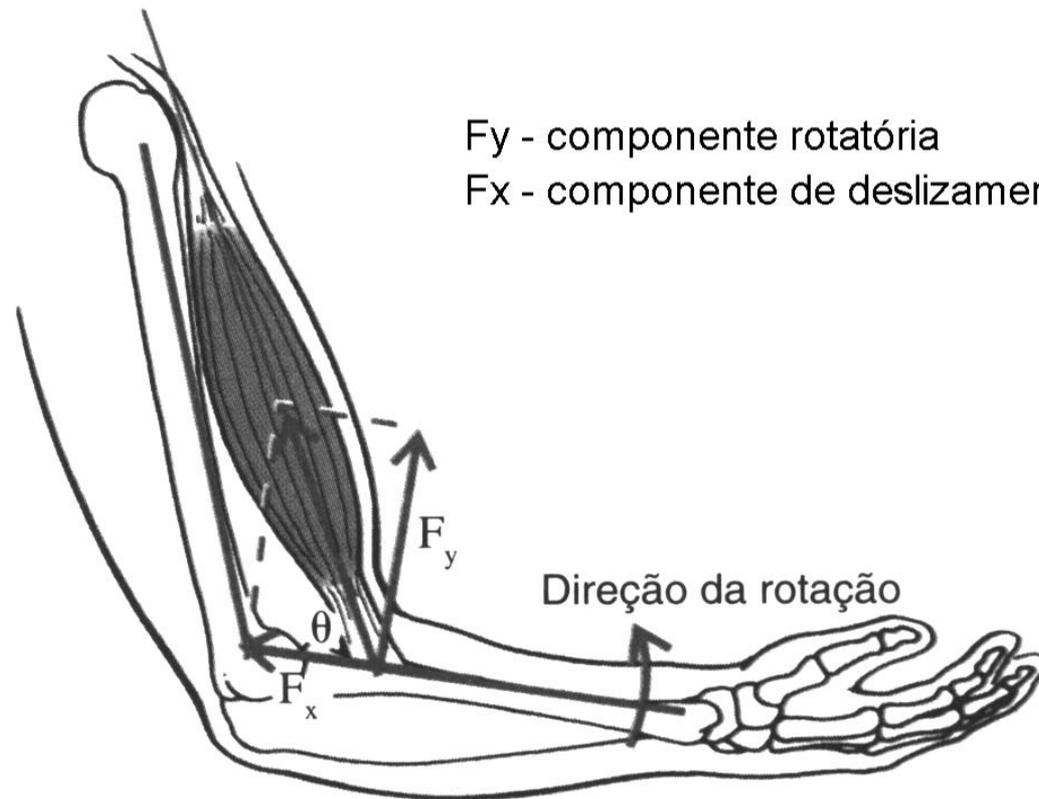
<90° - Empurra o osso contra articulação :
Componente estabilizador

3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x ângulo de inserção

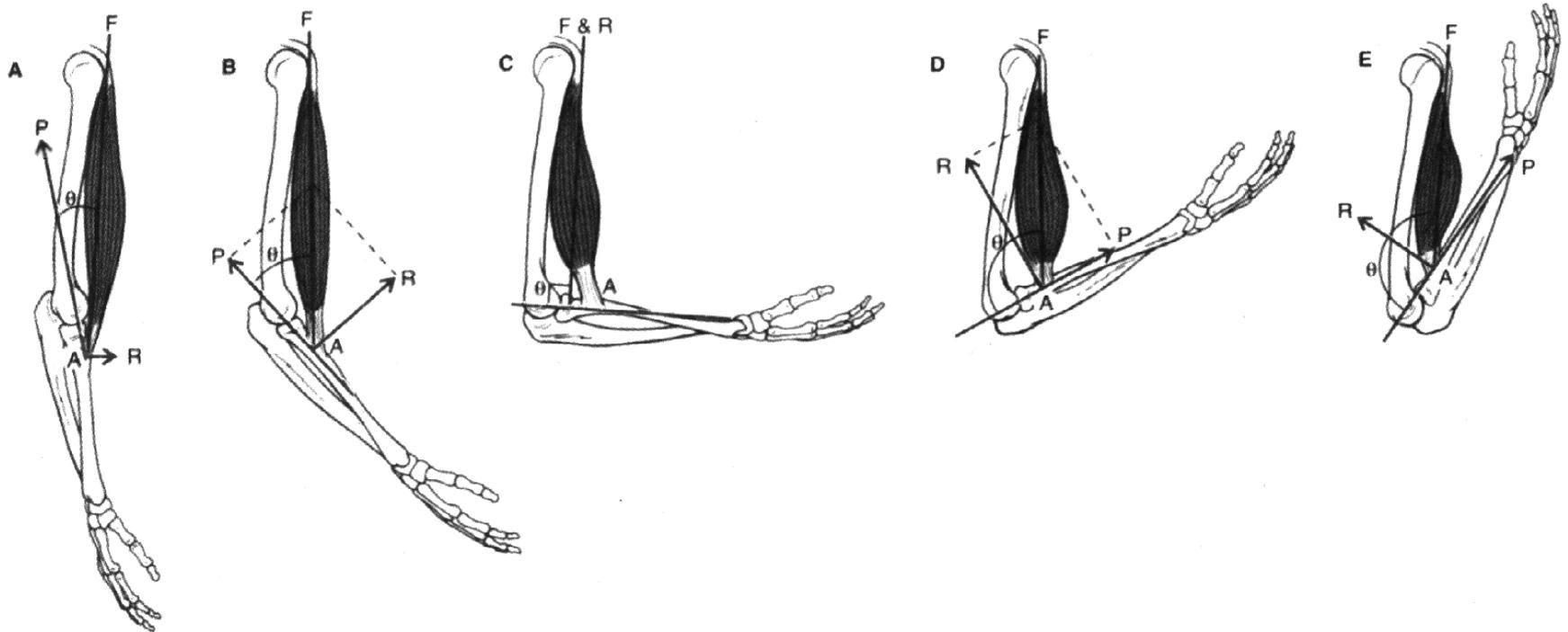


3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x ângulo de inserção

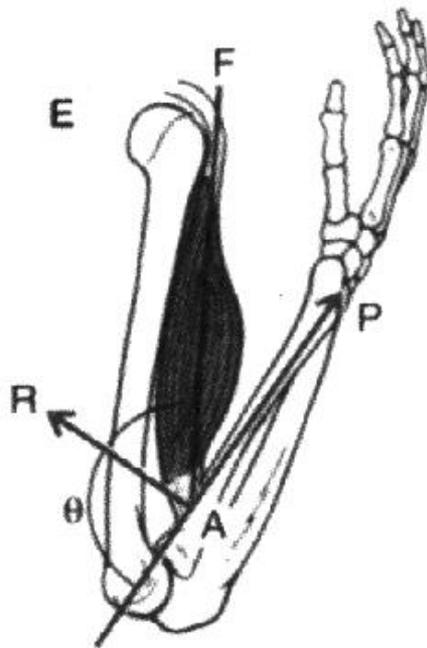


3 MÚSCULOS

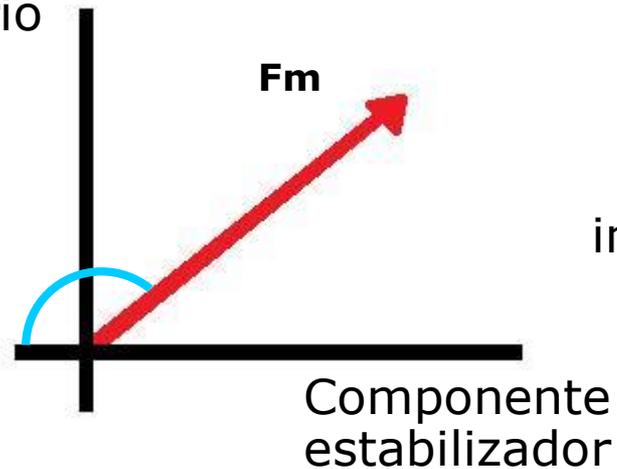
3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x ângulo de inserção



Componente rotatório



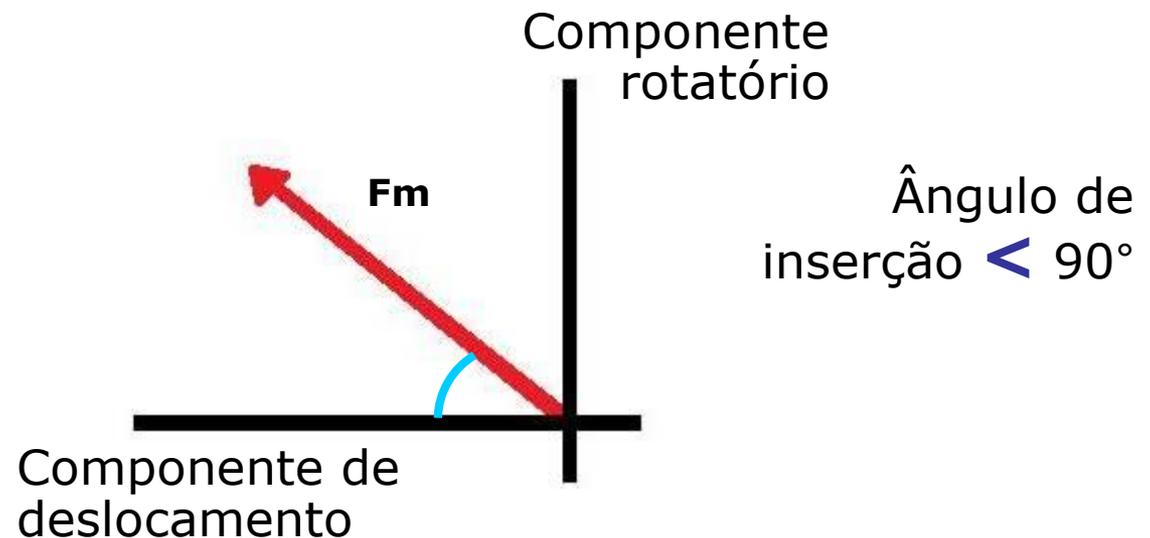
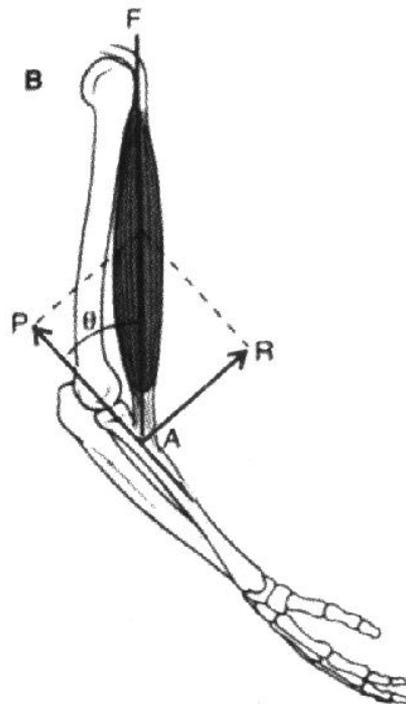
Ângulo de inserção $> 90^\circ$

3 MÚSCULOS

3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x ângulo de inserção

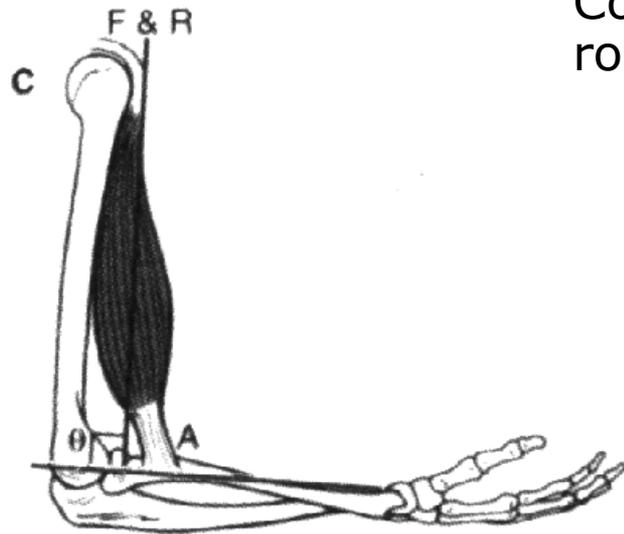


3 MÚSCULOS

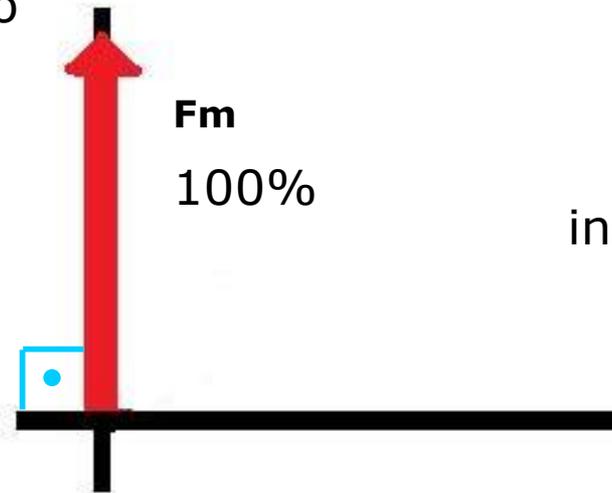
3.9 Força muscular

Fatores mecânicos que influenciam

Relação força x ângulo de inserção



Componente rotatório



Ângulo de inserção = 90°

3 MÚSCULOS

3.10 Potência



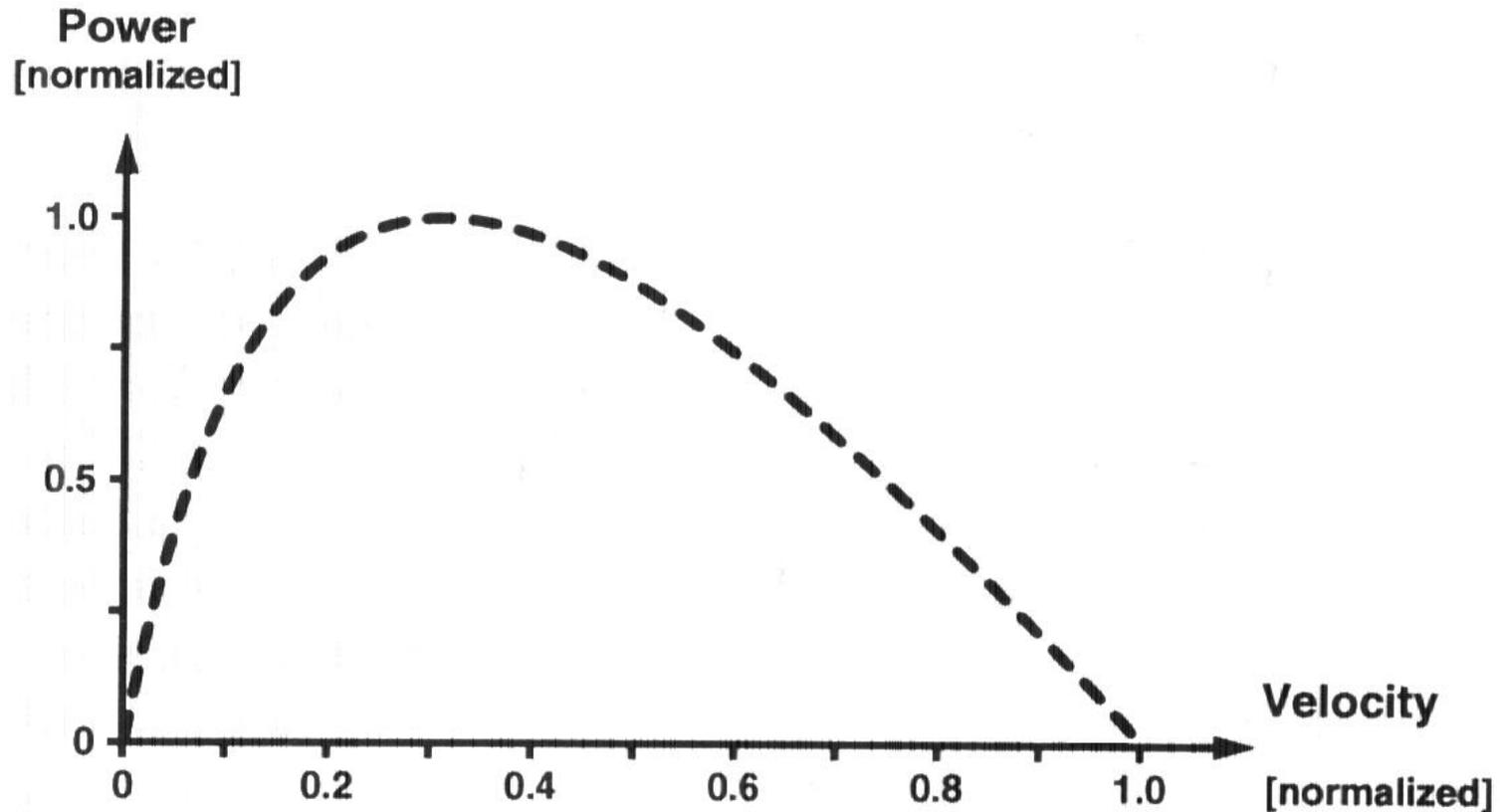
$$\text{Potência} = F_m \times \text{vel}$$

Tipo de fibra \rightarrow CR x CL

A potência muscular máxima ocorre aproximadamente a um terço da velocidade máxima de encurtamento do músculo.

3 MÚSCULOS

3.10 Potência



3 MÚSCULOS

3.11 Efeito da temperatura

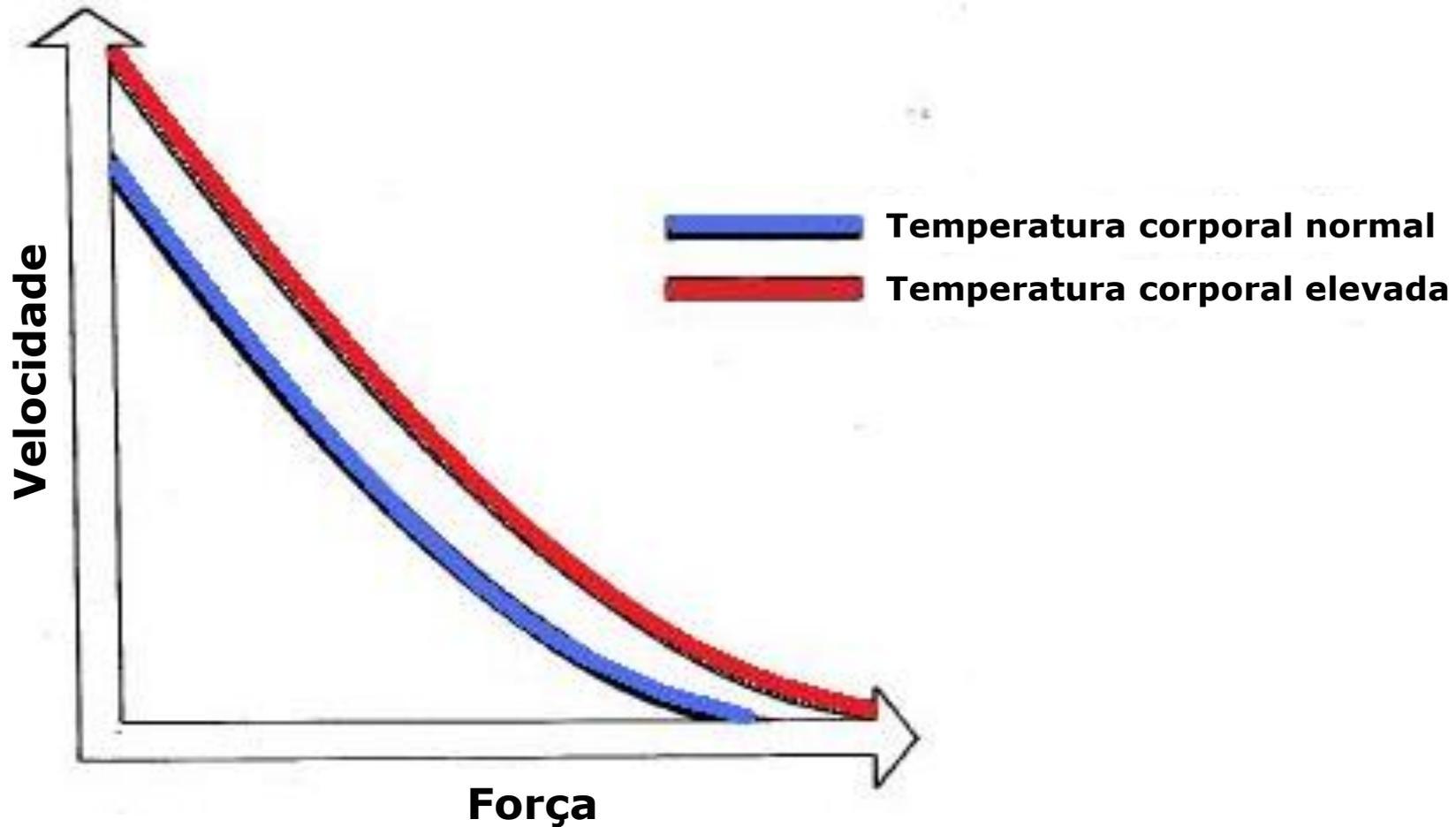
T aumenta → desvia curva força x velocidade



A função muscular é mais eficiente a 38,5 °C.

3 MÚSCULOS

3.11 Efeito da temperatura



3 MÚSCULOS

3.12 Eletromiografia



Estudo da atividade elétrica do músculo

3 MÚSCULOS

3.13 Treinamentos musculares

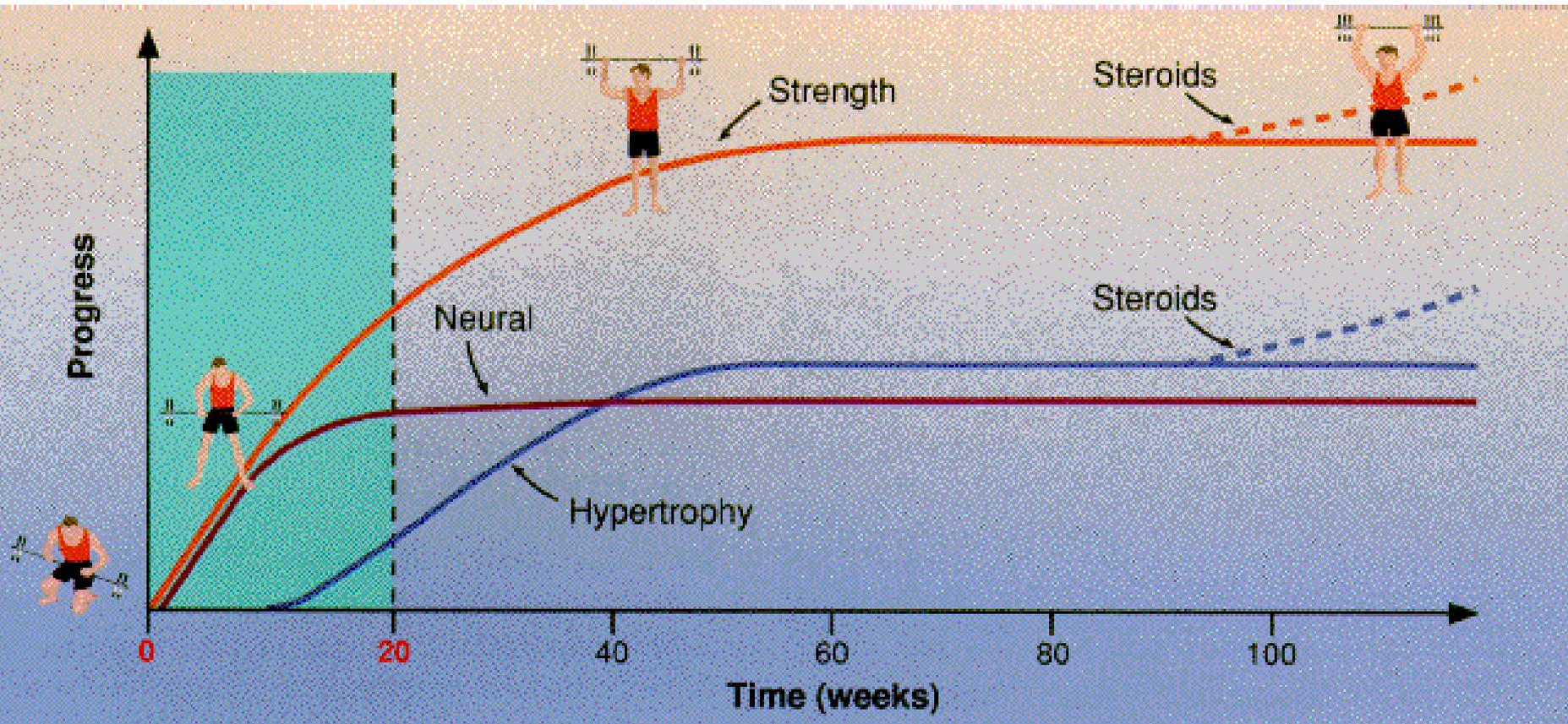
Treinamento de força

- Ganhos neurais
- Hipertrofia (aumento da área da secção transversa)
- Hiperplasia??

3 MÚSCULOS

3.13 Treinamentos musculares

Treinamento de força



3 MÚSCULOS

3.13 Treinamentos musculares

Treinamento de flexibilidade

Amplitude de movimento

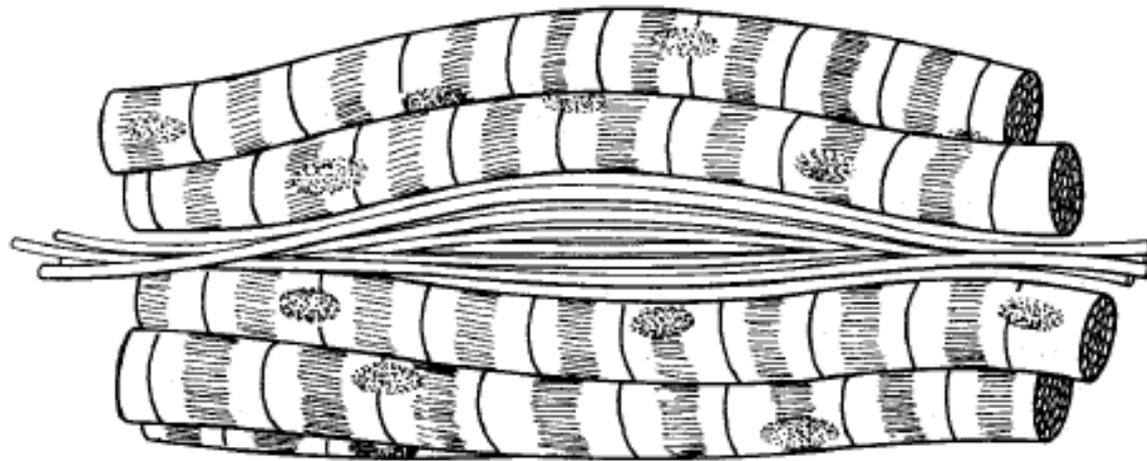
Estruturas proprioceptivas musculares

3 MÚSCULOS

3.13 Treinamentos musculares

Treinamento de flexibilidade

FUSOS NEUROMUSCULARES



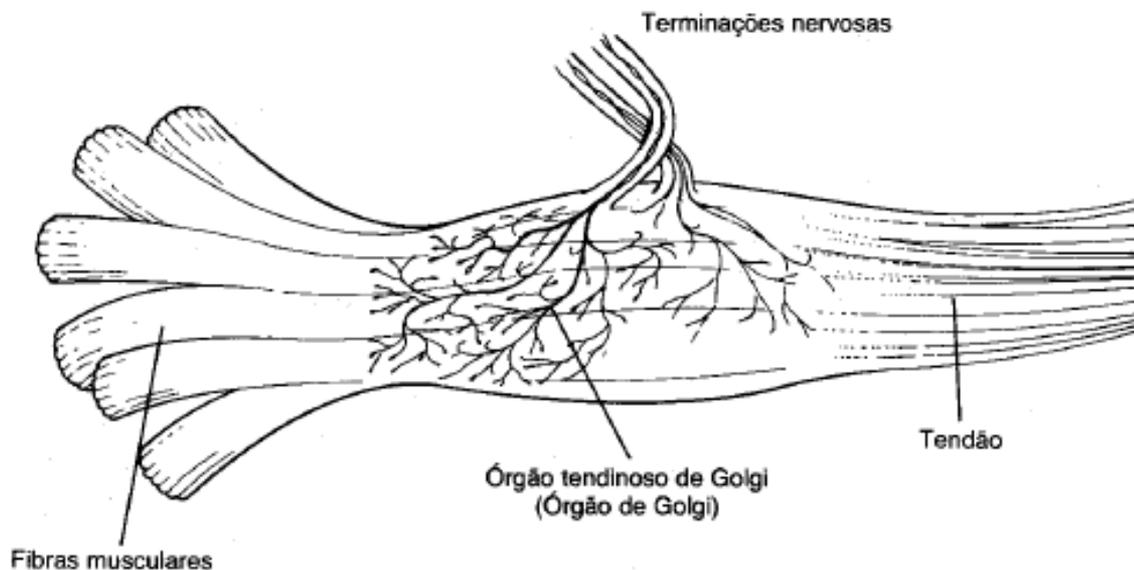
- ✓ receptores sensoriais estimulados pela presença de estiramento no músculo.
- ✓ reflexo de estiramento ou miotático: os fusos neuromusculares promovem a excitação do músculo estirado.

3 MÚSCULOS

3.13 Treinamentos musculares

Treinamento de flexibilidade

ÓRGÃOS TENDINOSOS DE GOLGI



- ✓ receptores sensoriais estimulados pela presença de tensão ativa no músculo.
- ✓ inibem o desenvolvimento de tensão no músculo e excita o músculo antagonista.
- ✓ Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva

3 MÚSCULOS

3.14 Lesões



- Músculos biarticulares
- Músculos limitadores da ADM
- Músculos utilizados excetricamente

3 MÚSCULOS

3.14 Lesões

Tipo da distensão	Grau
Estiramento	<u>Grau 1</u> – fibras intactas, sem ruptura
Ruptura parcial	<u>Grau 2</u> – 50% de fibras afetadas
Ruptura total	<u>Grau 3</u> – Quantidade de fibras afetadas grande. Divisão do músculo em duas partes

3 MÚSCULOS

3.14 Lesões

- Fadiga muscular
- Enfraquecimento por uso recente
- Recorrência da lesão

Laboratório de Biomecânica

www.ufsm.br/labiomec

Grupo de Estudos e Pesquisa em Ergonomia, Biomecânica,
Esporte e Saúde – GEBES

www.ufsm.br/labiomec/gebex

Ft. Esp^{nda}. Estele Caroline Welter Meereis

Prof. Me. Gabriel Ivan Pranke

Ft. Me^{nda} Juliana Corrêa Soares

Prof. Me. Luiz Fernando Cuzzo Lemos

Prof. Esp^{nda}. Patrícia Paludette Dorneles