

Aspectos neurais do sistema muscular

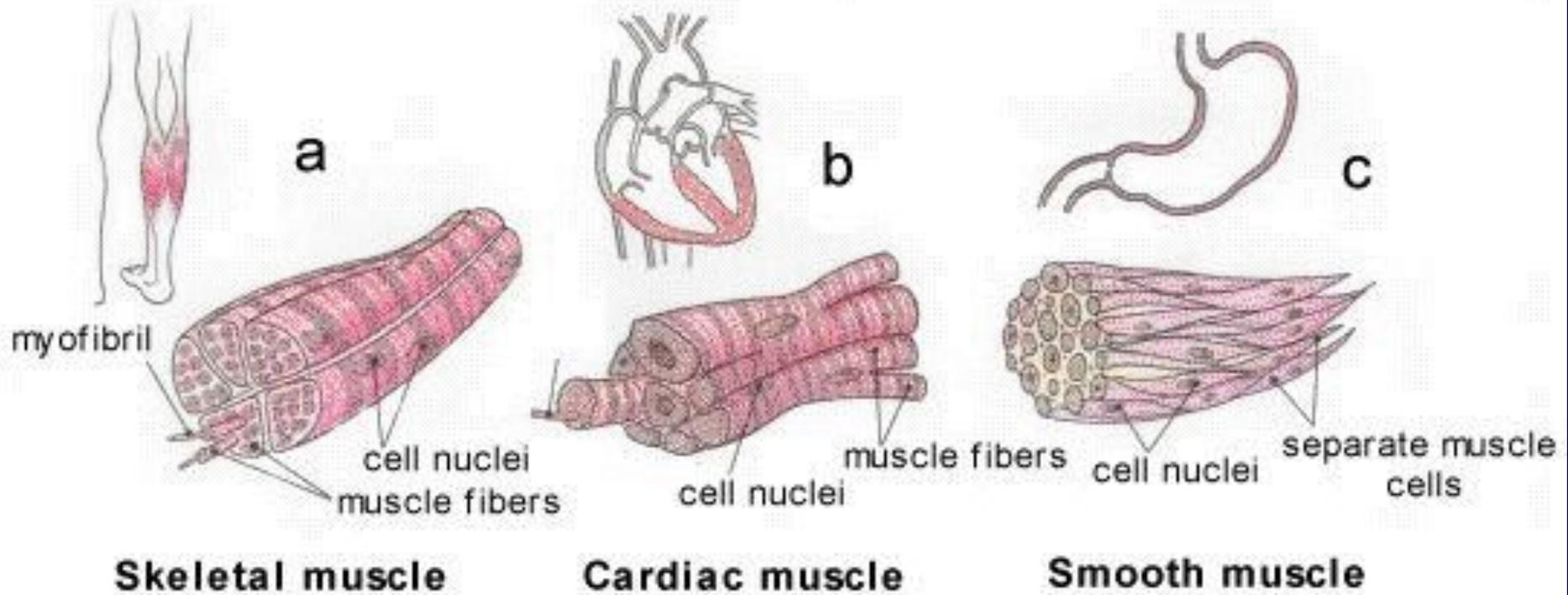
Prof. Dr. Paulo R. P. Santiago

Movimento

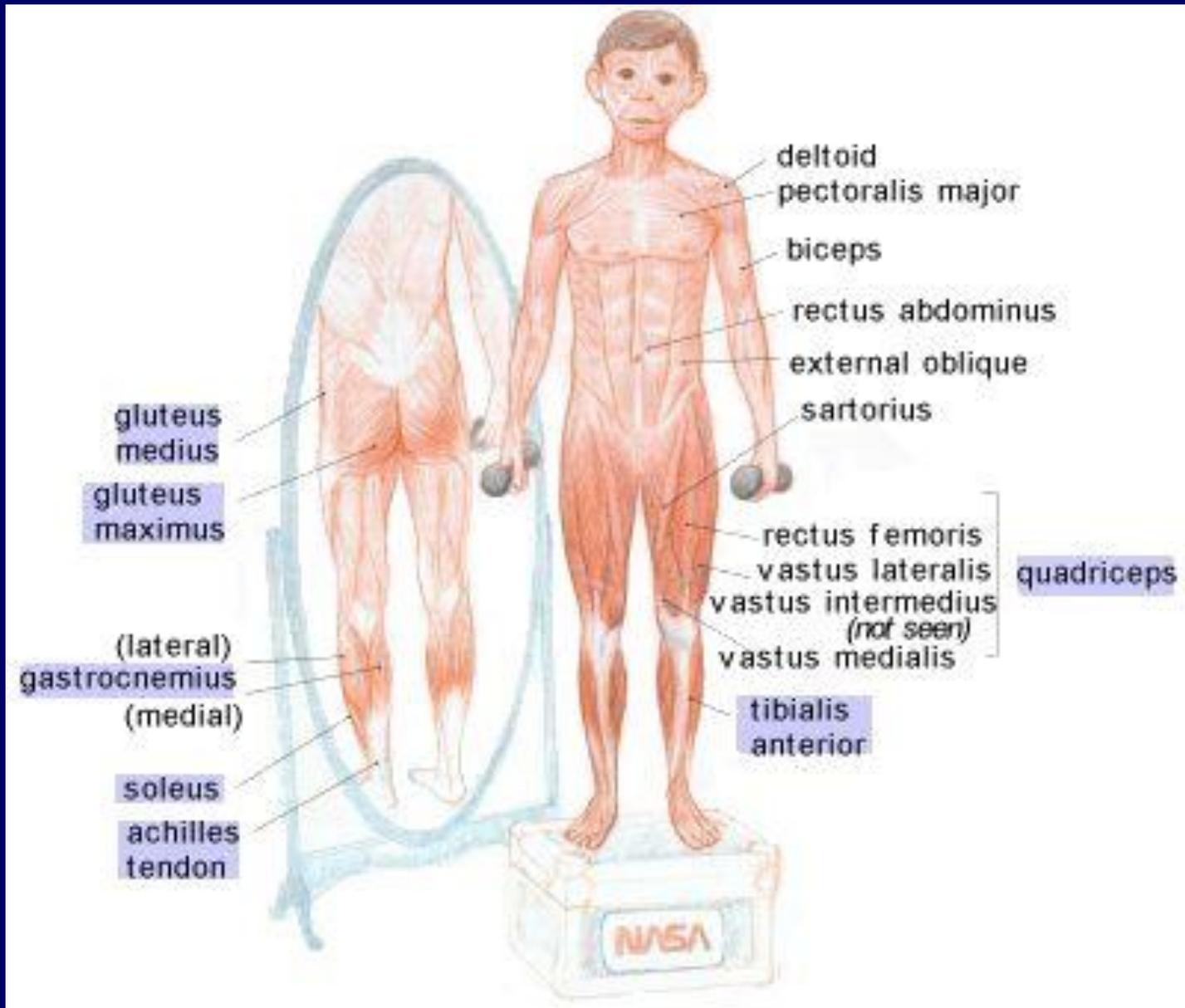
Todo movimento humano, do piscar de olhos à corrida de um maratonista, é gerado pela ação de um músculo

O músculo é o único tecido do corpo humano capaz de produzir força, i.e., biomecanicamente, o músculo é a única estrutura ativa do corpo (?)

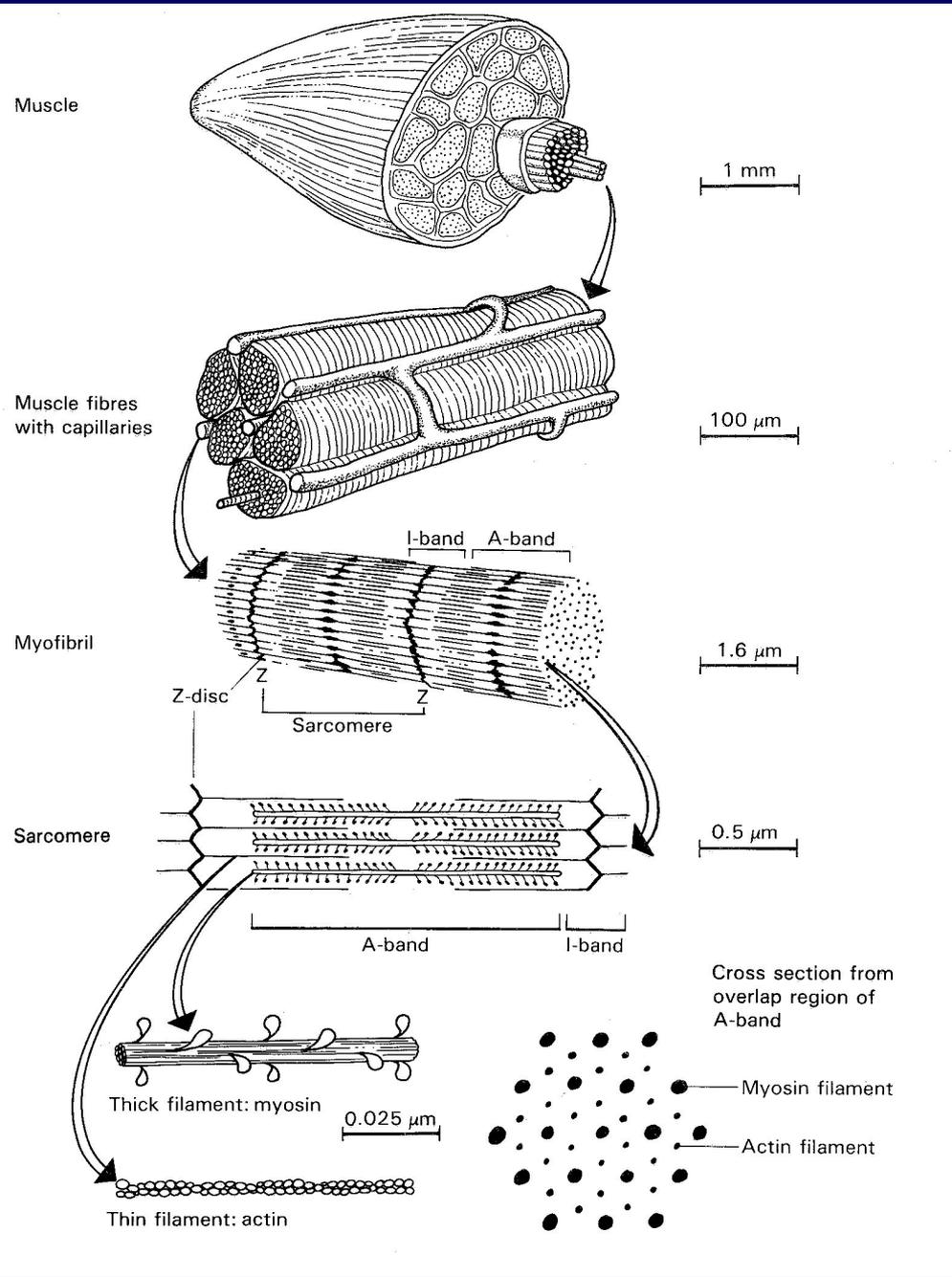
Tipos de músculos no corpo humano



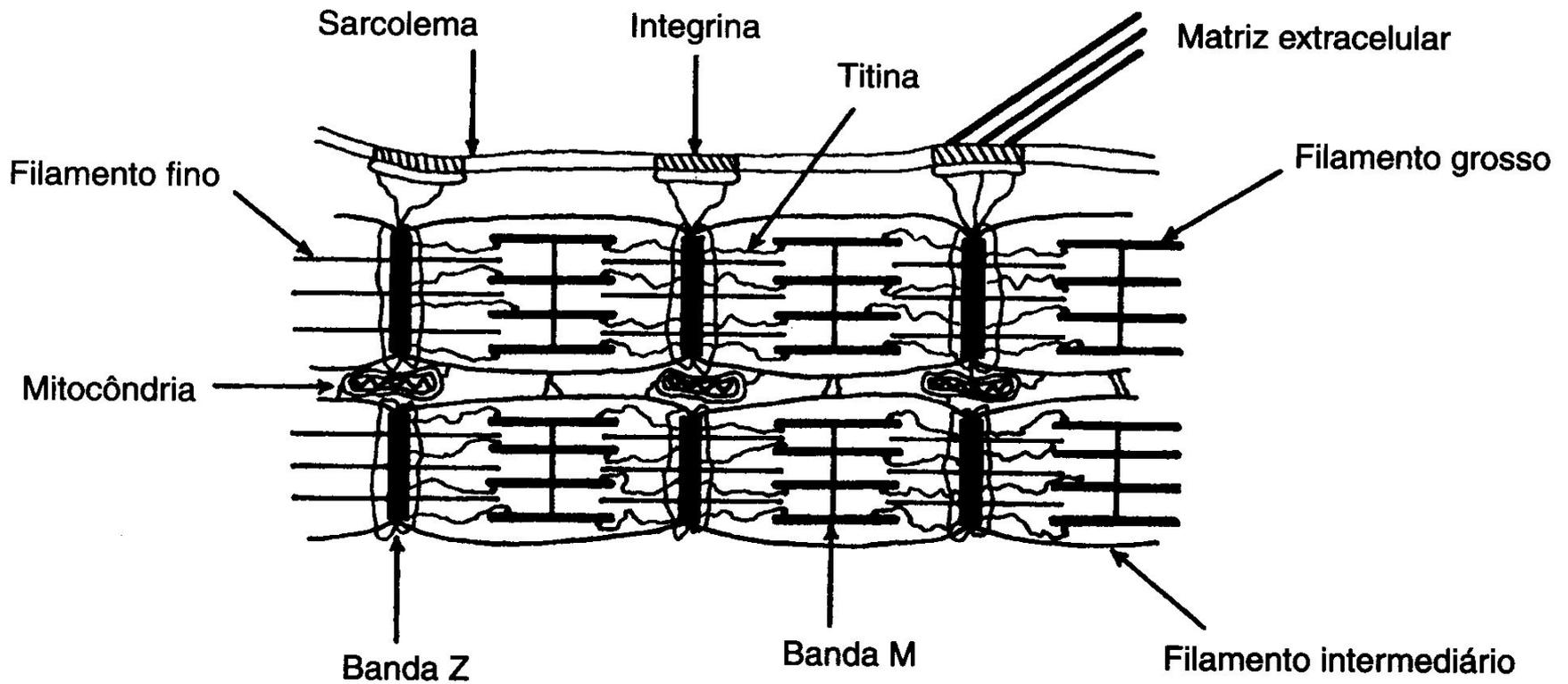
Os principais grupos musculares no corpo humano



Esquema da estrutura muscular



Estrutura Muscular

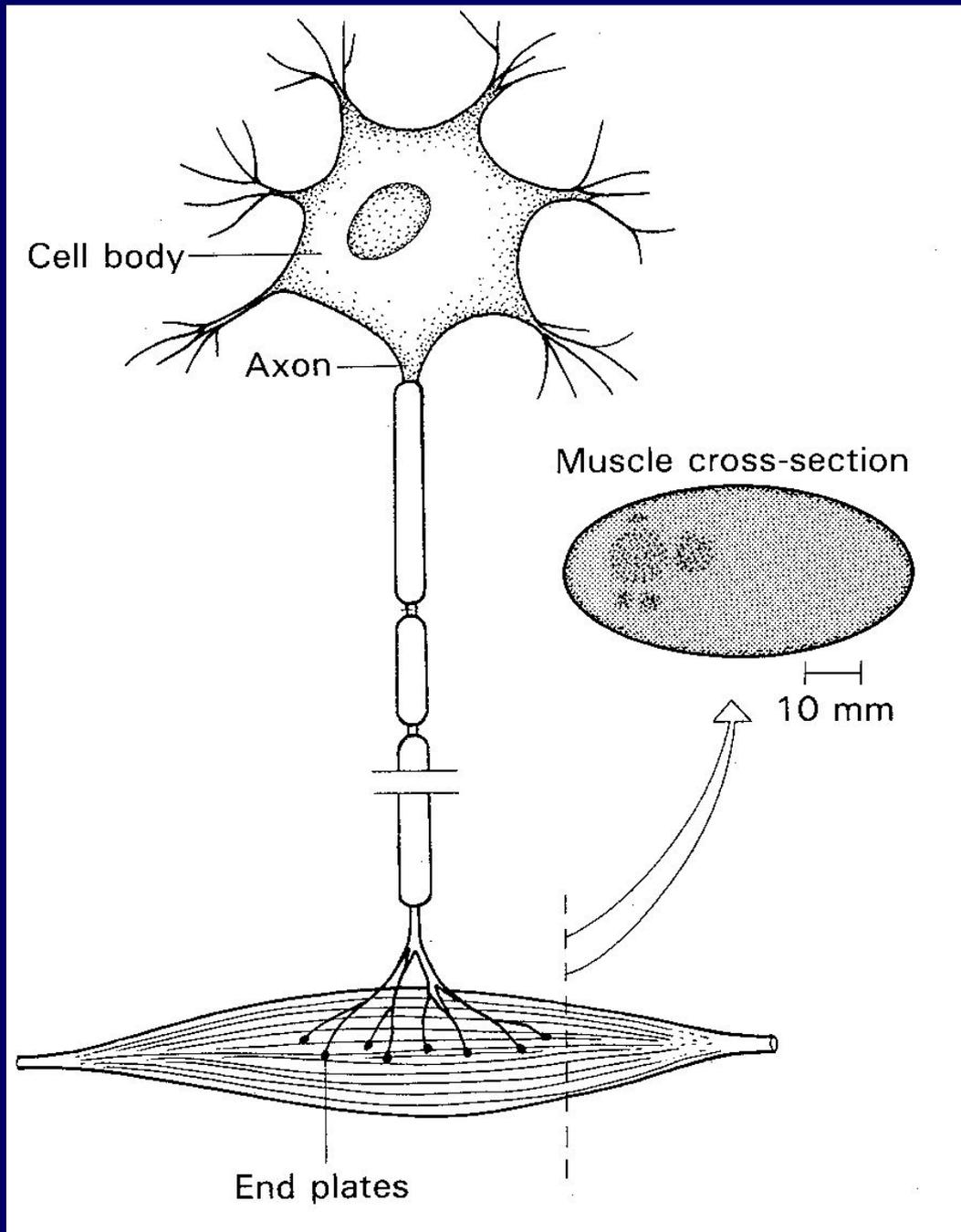


A UNIDADE MOTORA

A coordenação da contração de todas as fibras é feita através de uma subdivisão em unidades funcionais - as unidades motoras

A unidade motora consiste de um nervo motor, com seu corpo nervoso e núcleo localizado na matéria cinza da “medula espinhal” e forma um longo axônio até os músculos, onde se ramifica e inerva muitas fibras.

Esquema da
Unidade
Motora



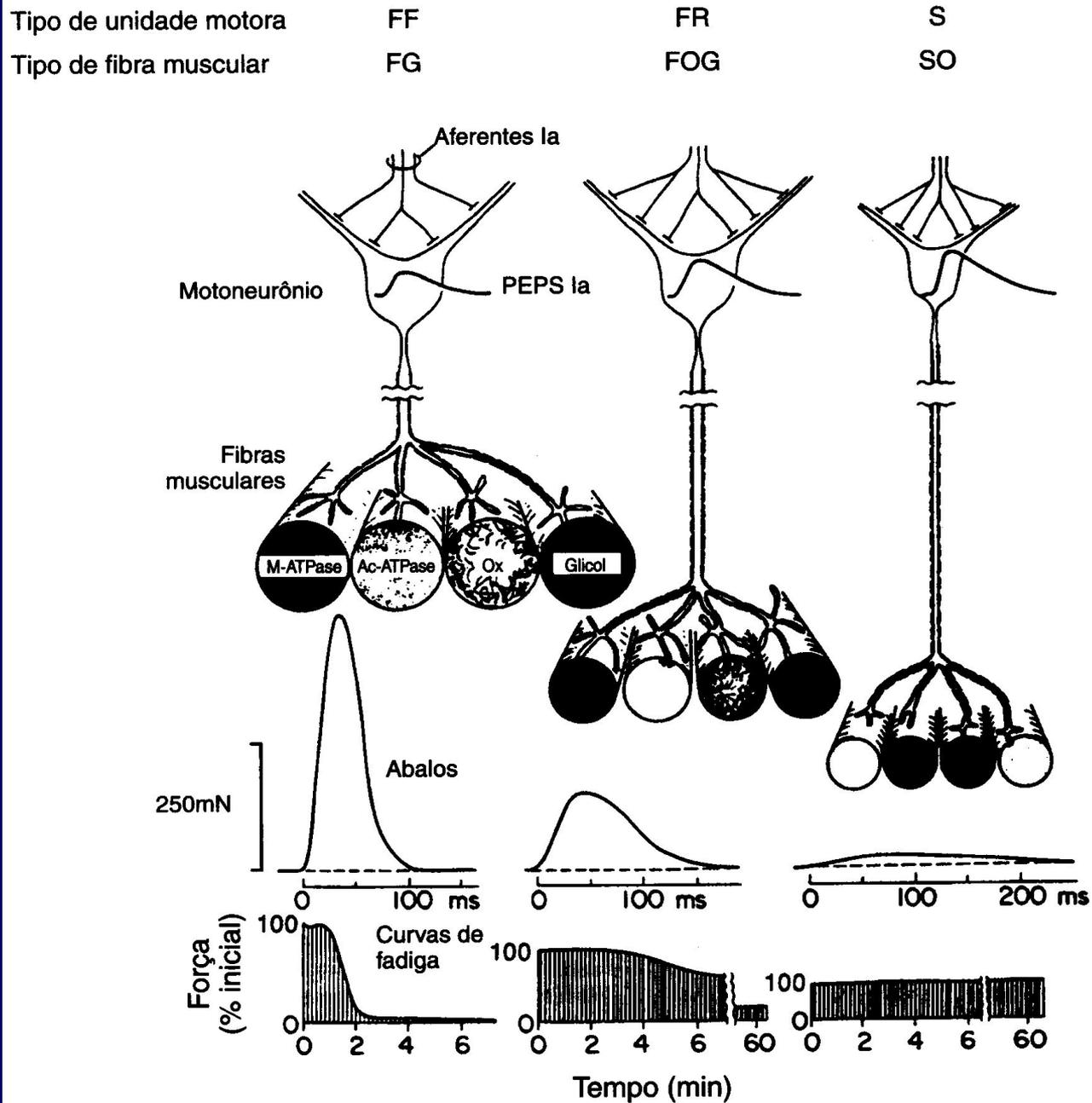
Excitação e Contração

- ✓ Quando uma unidade motora é ativada, impulsos (potenciais de ação) viajam pelo axônio e são distribuídos ao mesmo tempo por todas as fibras na unidade motora.
- ✓ A excitação do nervo é transferida pela sinapse para a membrana da fibra muscular.
- ✓ A união do nervo motor com a fibra muscular é chamada de junção neuromuscular ou placa motora.

As unidades motoras são divididas em 3 categorias: [2]

1. **Unidades motoras lentas (S)** estimulam as pequenas fibras musculares, que se contraem muito lentamente e fornecem pequenas quantidades de energia, mas são muito resistentes à fadiga, por isso são usadas para sustentar a contração muscular, como manter o corpo ereto. Elas ganham energia através de meios oxidativos e, portanto, exigem oxigênio. São também chamadas de fibras vermelhas. [2]
2. **Unidades motoras rápidas e fatigantes (FF)** estimulam grupos musculares maiores, que aplicam grandes quantidades de força, mas que fadigam muito rapidamente. Elas são usadas para tarefas que exigem grandes explosões breves de energia, como saltar ou correr. Elas ganham energia através de meios glicolíticos e, portanto, não necessitam de oxigênio. São chamadas de fibras brancas. [2]
3. **Unidades motoras rápidas e resistentes à fadiga (FR)** estimulam grupos musculares de tamanho moderado que não reagem tão rapidamente quanto as unidades motoras do FF, mas podem ser sustentados por muito mais tempo (como está implícito no nome) e fornecer mais força do que unidades motoras S. Usam meios oxidativos e glicolíticos para ganhar energia. [2]

Tipos de Fibras Musculares



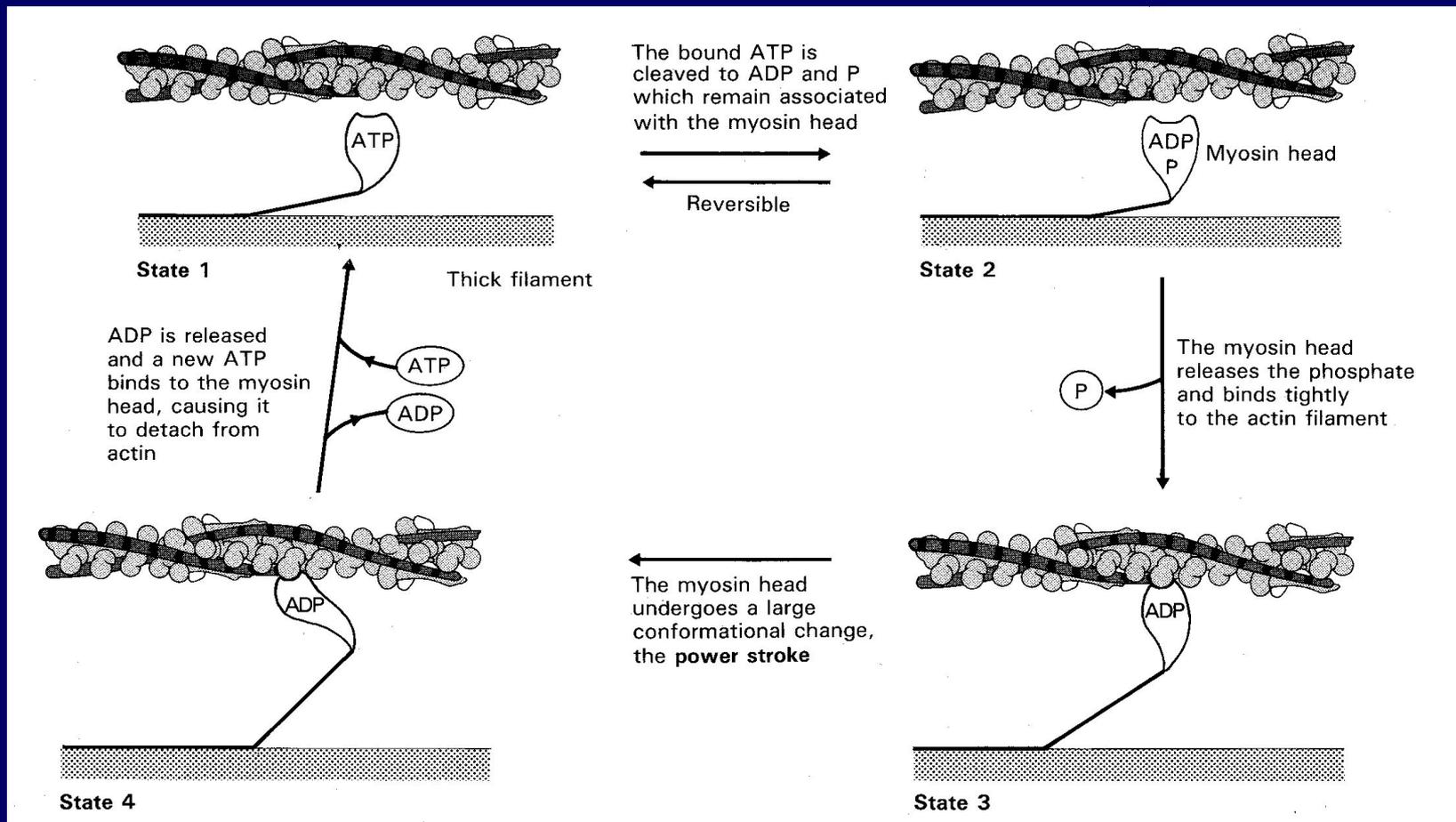
FIBRAS MUSCULARES

CLASSIFICAÇÃO DAS FIBRAS

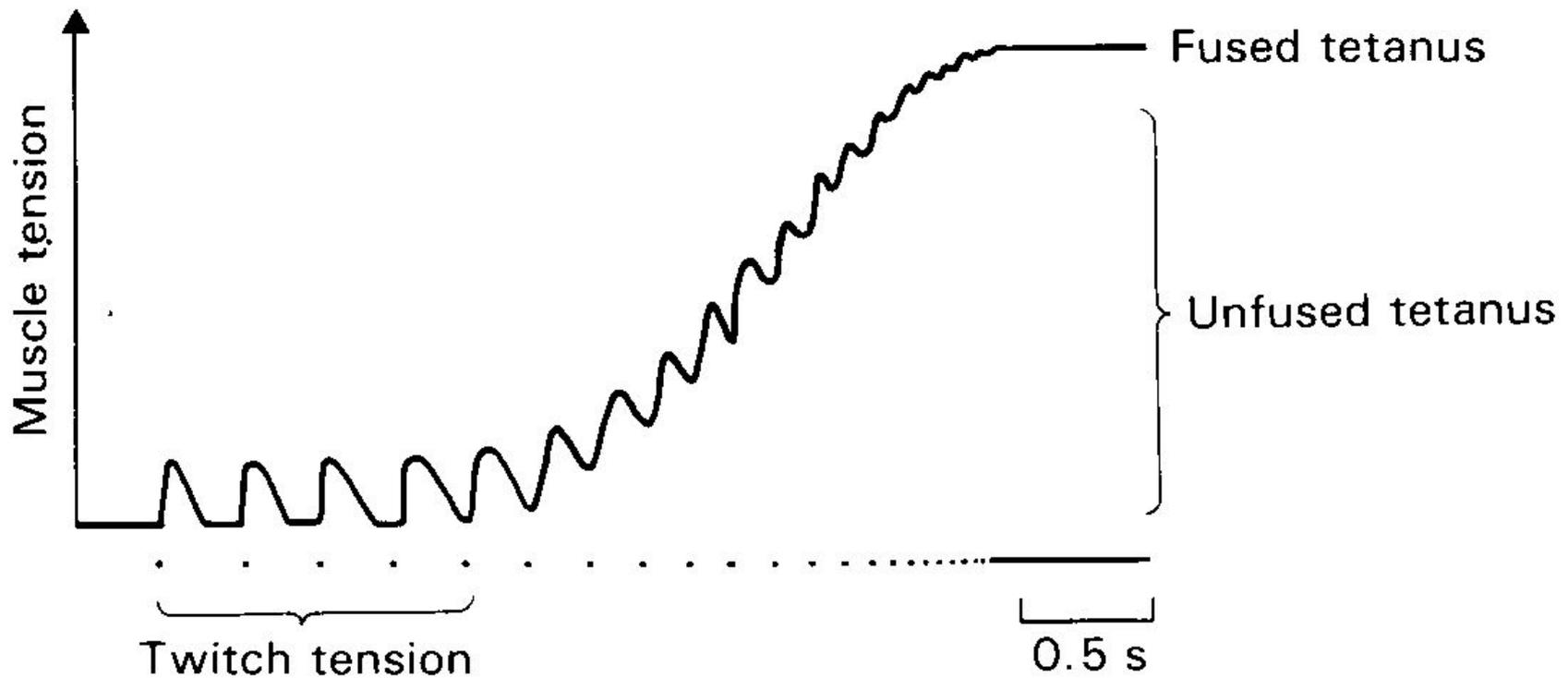
SISTEMA 1	contração lenta	contração rápida a	contração rápida b
SISTEMA 2	Tipo I	Tipo IIa	Tipo IIb
SISTEMA 3	SO	FOG	FG
velocidade de contração	lenta	rápida	rápida
resistência à fadiga	alta	moderada	baixa
força da unidade motora	baixa	alta	alta
capacidade oxidativa	alta	média	baixa
capacidade glicolítica	baixa	alta	maia alta

CICLO DE PONTES CRUZADAS

No músculo, a força é gerada pela ação de bilhões de cabeças de miosina interagindo com actina (promovendo a hidrólise do ATP em ADP - a ATPase), movendo-se, desligando-se, interagindo com outra actina e assim por diante.



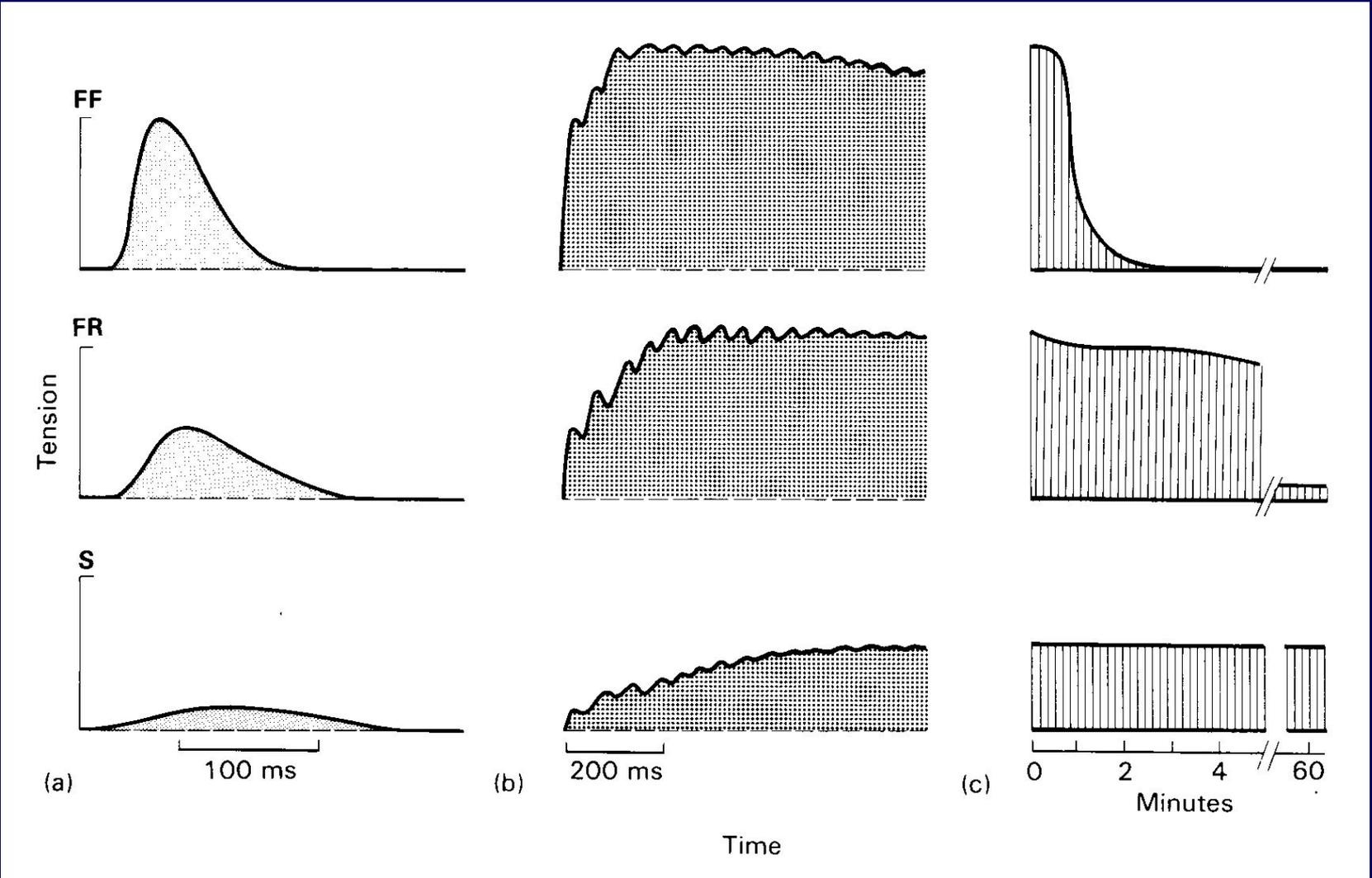
Tensão isométrica desenvolvida por uma fibra muscular



ELETROMIOGRAFIA

- ✓ O impulso elétrico que atravessa a placa ou junção pode ser registrado, e é a base da eletromiografia - o registro da atividade elétrica associada à contração muscular, sendo o sinal captado, chamado sinal EMG.
- ✓ A eletromiografia é um importante método de medição para a biomecânica.

Tensão isométrica desenvolvida por três tipos de fibras musculares



PRINCÍPIO DO TAMANHO

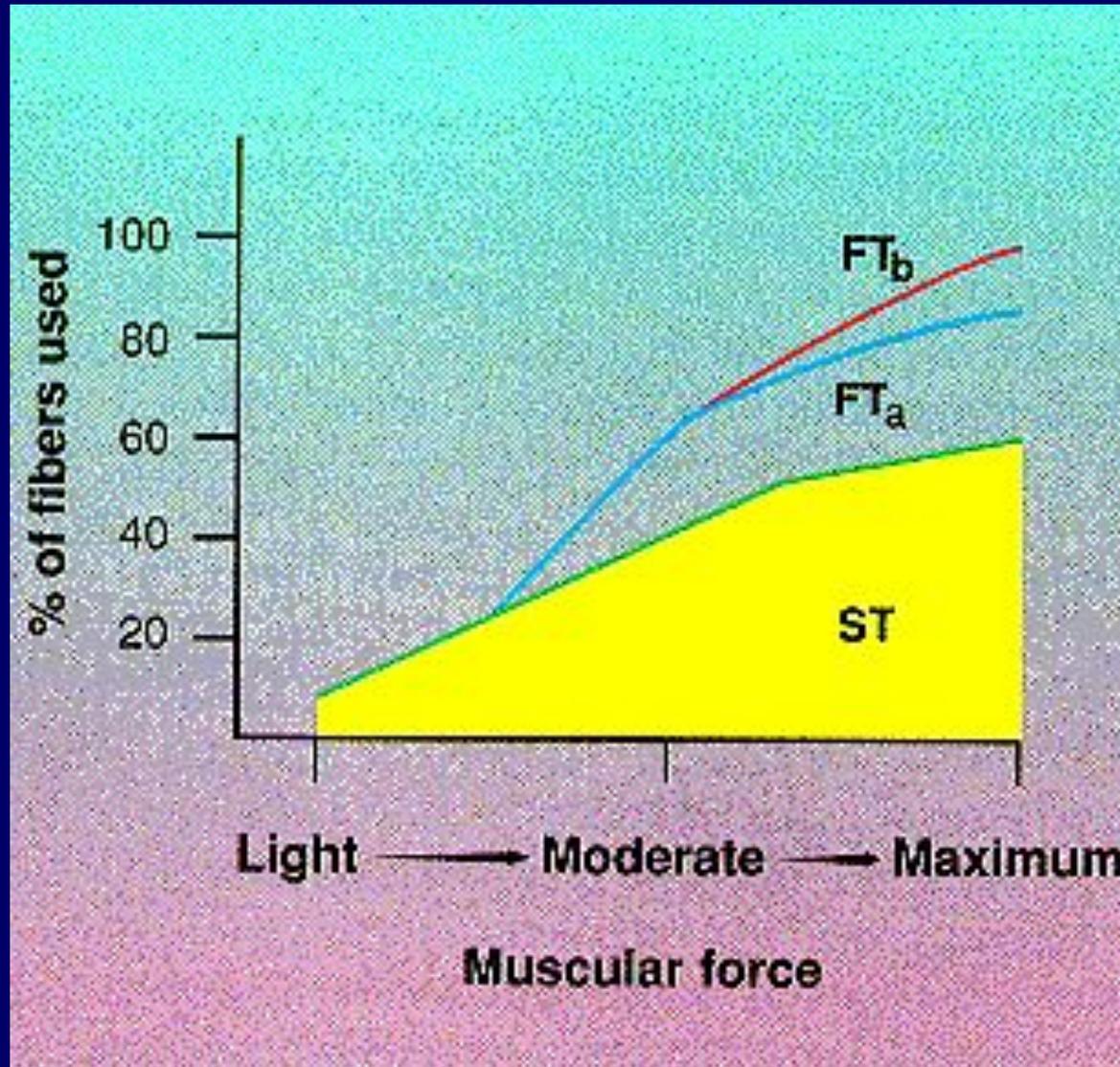
As fibras musculares são recrutadas numa ordem crescente de tamanho, por que fibras maiores apresentam maior limiar de excitação.

TAMANHO DA FIBRA



TIPO DE FIBRA

PRINCÍPIO DO TAMANHO



Recrutamento das unidades motoras

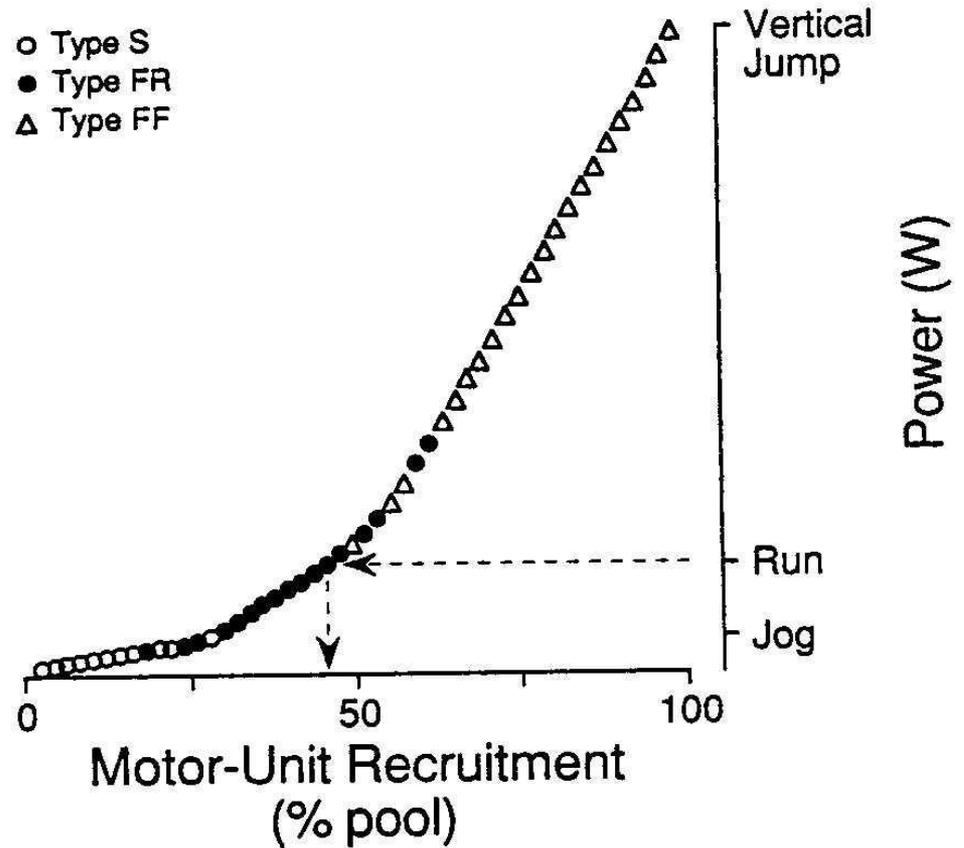


Figure 6.4 Hypothetical model of motor unit recruitment as dictated by the power demands of the task. Recruitment begins on the left (at 0% of the pool) and continues until enough units are recruited to produce the power needed to perform the task. For example, producing sufficient power to run would require the recruitment of about 48% of the motor units in the pool.

Recrutamento das unidades motoras

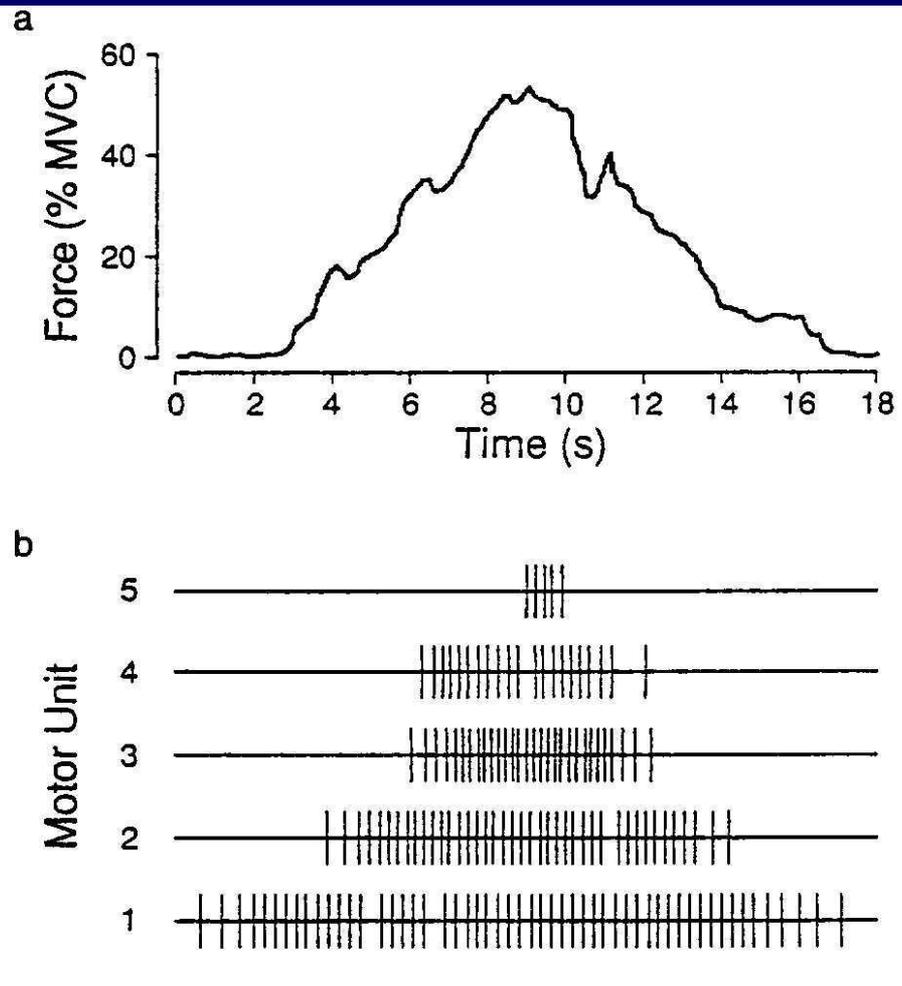


Figure 6.2 Recruitment and discharge pattern of five (of many) motor units during the performance of a graded contraction to 50% of the maximum force.

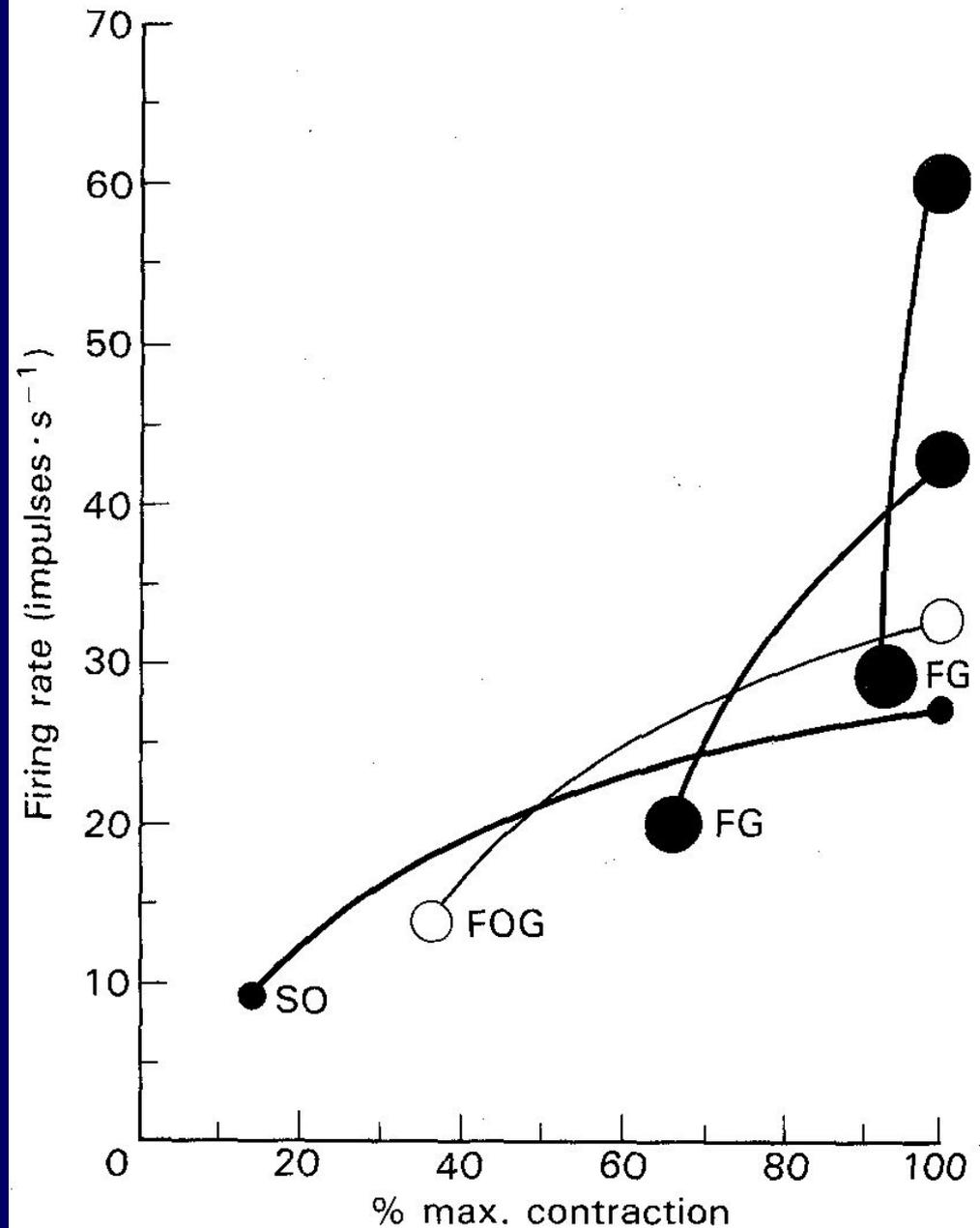
Note. From “Unusual Motor Unit Firing Behavior in Older Adults” by G. Kamen and C.J. DeLuca, 1989, *Brain Research*, 482, p. 137. Copyright 1989 by Elsevier Science Publications. Reprinted by permission.

Regulação da força muscular

A regulação da força muscular é dependente de:

- ✓ Número de unidades motoras recrutadas.
- ✓ Frequência de disparos

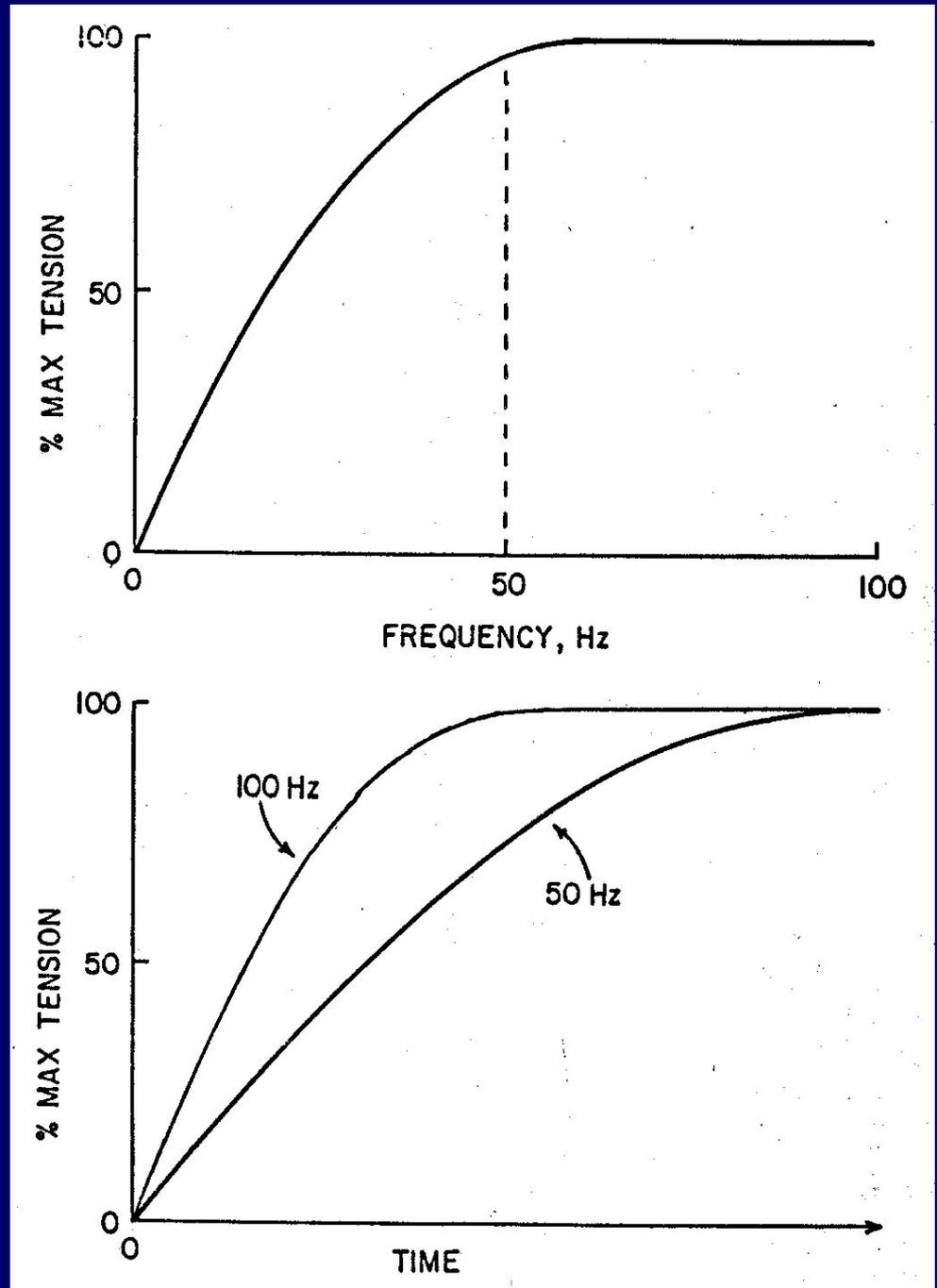
Recrutamento das
unidades motoras
em função do
tipo de fibra



Frequência de disparo

e

tensão muscular



Músculo: gerador de tensão

- ✓ A contração muscular é unidirecional. As forças geradas entre os filamentos somente encurtam o sarcômero
- ✓ A extensão do músculo tem que ser feita por uma força externa
- ✓ Então, todo músculo do corpo é acompanhado por outro músculo que pode reagir à sua ação, o antagonista.
- ✓ M. esqueléticos trabalham no princípio agonista-antagonista. Em alguns casos, a função do antagonista pode ser feita pela força de gravidade.

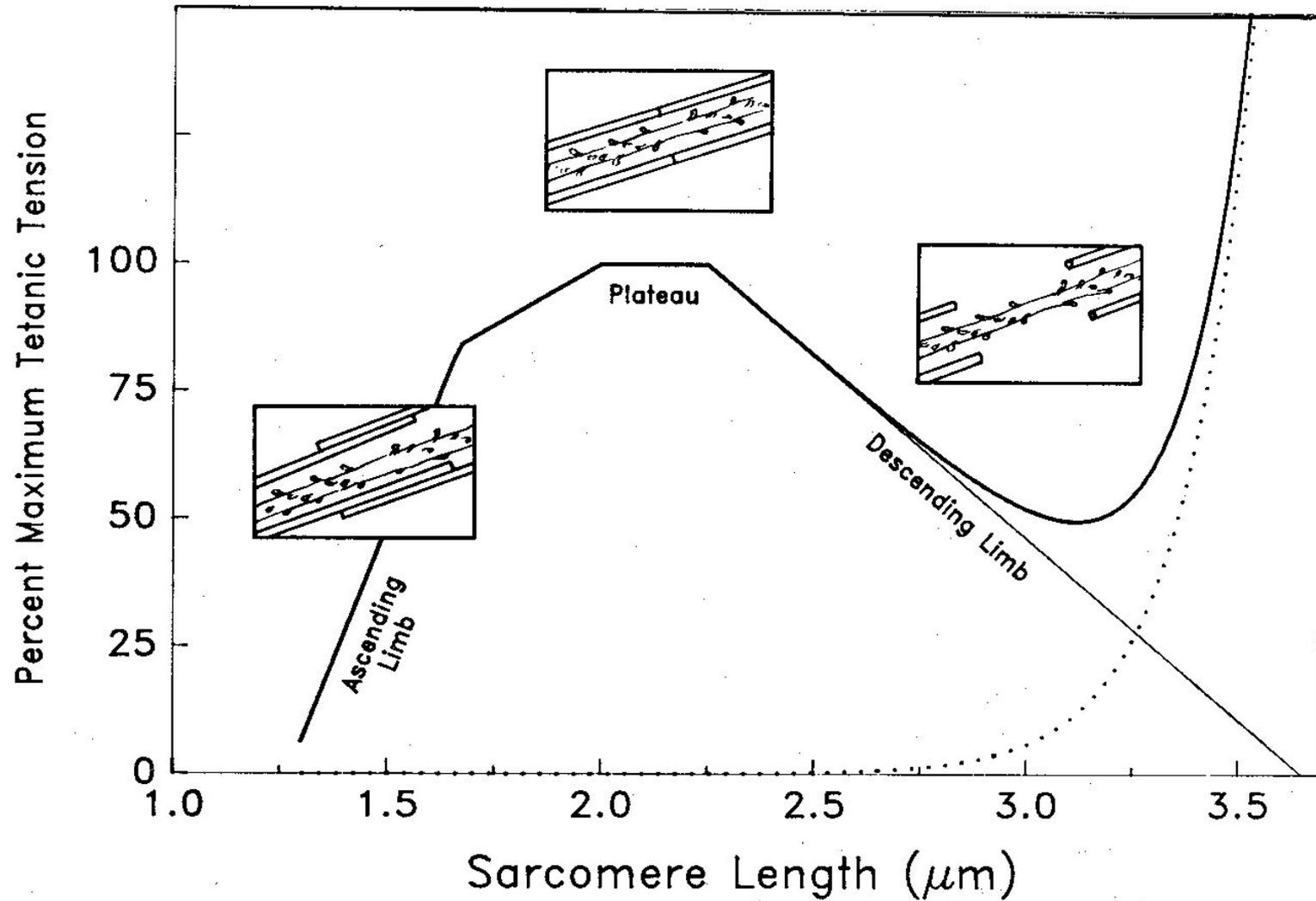
Ação muscular: o estado da atividade muscular

<i>Exercício</i>	<i>Ação Muscular</i>	<i>Comprimento</i>	<i>Relação $F_I - F_E$</i>
ESTÁTICO	ISOMÉTRICA	CONSTANTE	$F_I = F_E$
DINÂMICO	CONCÊNTRICA	ENCURTA	$F_I > F_E$
DINÂMICO	EXCÊNTRICA	ALONGA	$F_I < F_E$
DINÂMICO ISOCINÉTICO	CONCÊNTRICA ou EXCÊNTRICA	ENCURTA ou ALONGA	$F_I = F_E$

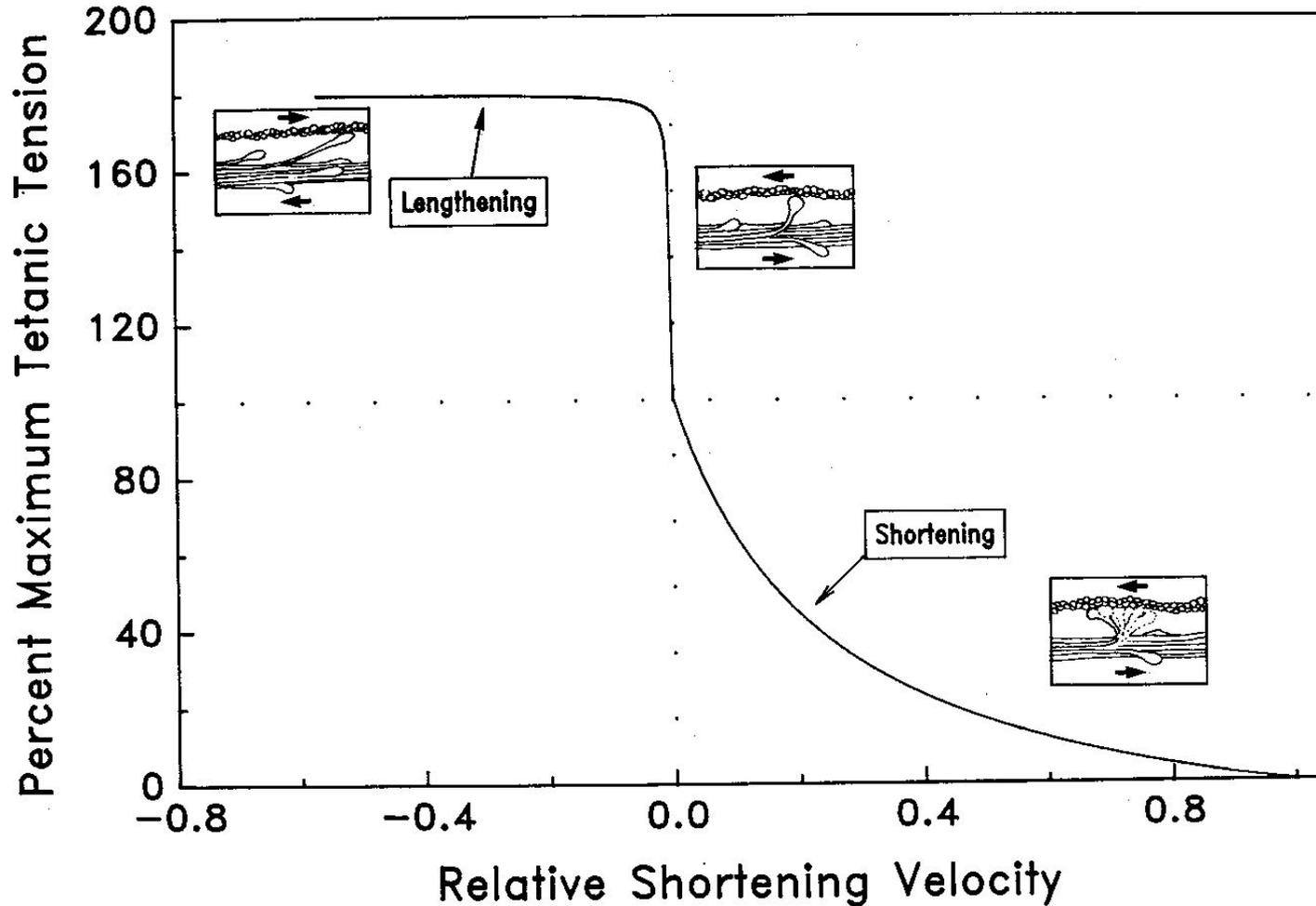
F_I = força interna desenvolvida pelo músculo.

F_E = força externa sobre o músculo.

Relação força e comprimento do sarcômero



Relação força e velocidade de contração



Regulação do movimento

- Agonista: Músculo principal na contração muscular. Agonista primário e acessório. Ex.: Na flexão do cotovelo, o m. braquial e o m. bíceps braquial são agonistas primários, o m. braquiorradial, m. extensor radial longo do carpo e o m. pronador redondo são agonistas acessórios.
- Antagonista: Músculo que oferece resistência à contração muscular. opõe-se a um movimento. Gera torque em oposição àquele gerado pelo agonista.

Regulação do movimento

- **Fixador:** Imobiliza uma articulação para realizar o movimento de outra articulação. Ex.: o m. rombóide fixa a escápula para movimentar somente o braço.
- **Neutralizador:** Evita a ação indesejada quando um m. agonista realiza o movimento. Ex.: O m. bíceps braquial produz tanto flexão do cotovelo quanto supinação do antebraço. Se apenas a flexão do cotovelo é desejada o m. pronador redondo age como neutralizador na supinação do antebraço.

Coordenação do movimento

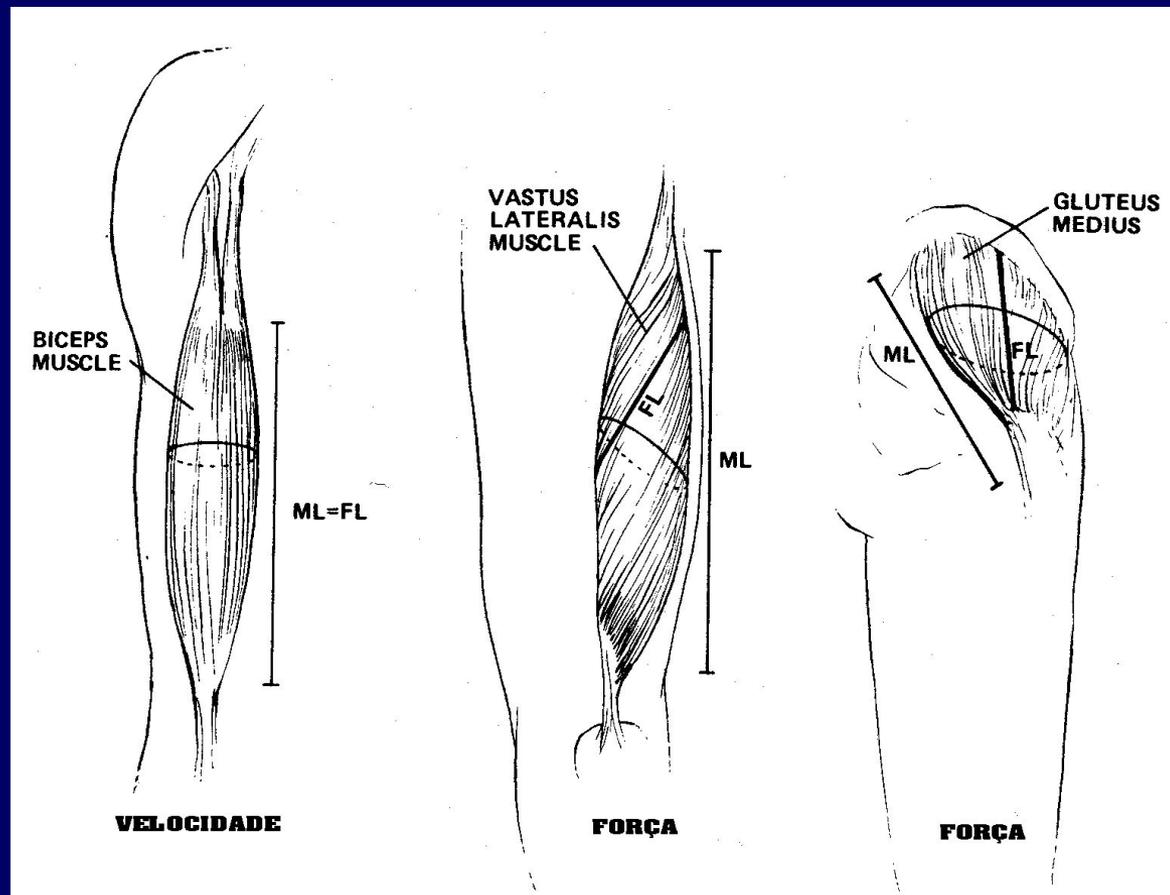
Sinergia muscular

Ligações entre estruturas neuro-músculo-esqueléticas antômica e funcionalmente independentes que atuam de forma cooperativa como uma unidade.

(BERNSTEIN, 1967)

Arquitetura do músculo esquelético

Ângulo de penação: ângulo entre o arranjo das fibras musculares e o eixo longitudinal do músculo (paralelas ou oblíquas)



ARQUITETURA MUSCULAR

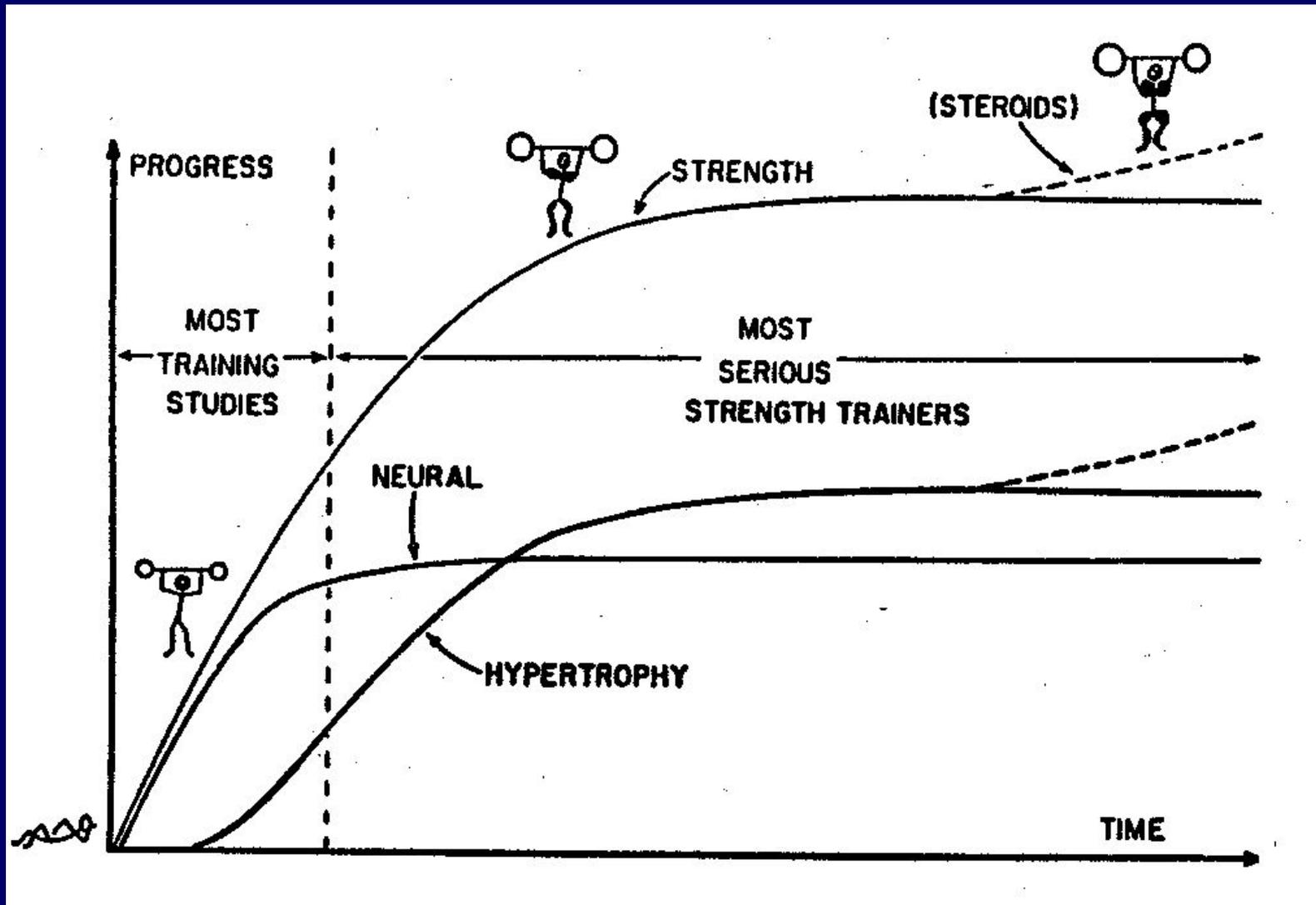
Fibras paralelas \Rightarrow Amplitude de Movimento \Rightarrow velocidade
(sartório, reto abdominal, bíceps braquial)

Fibras oblíquas \Rightarrow Mais fibras por unidade de área \Rightarrow força
(tibial posterior, reto femoral, deltóide)

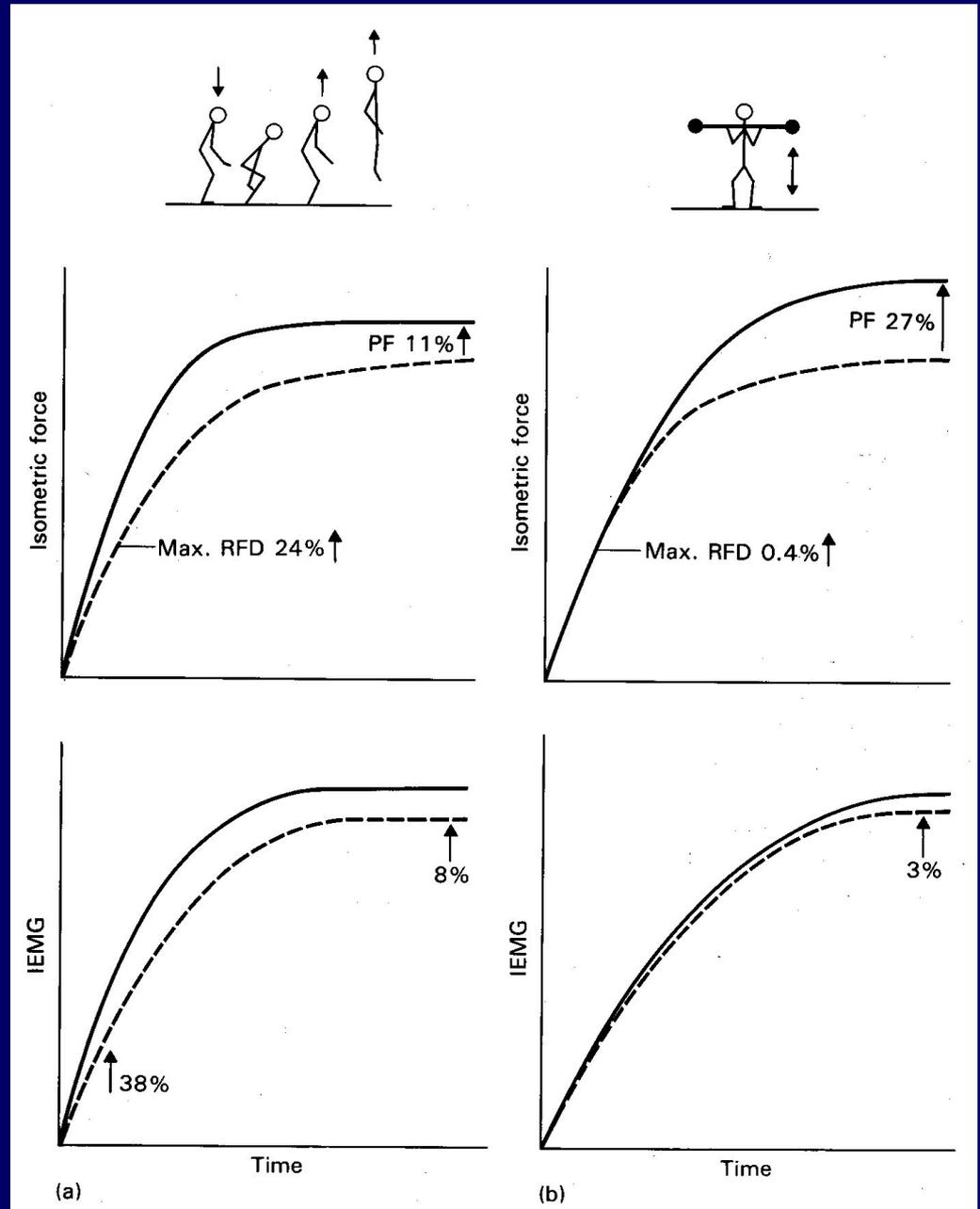
Quanto $>$ ângulo $<$ F total,
independentemente da F das fibras

Fibras Oblíquas - $<$ F efetiva para movimentar grandes amplitudes, mas como $>$ # fibras por unidade de volume, pode gerar mais Força

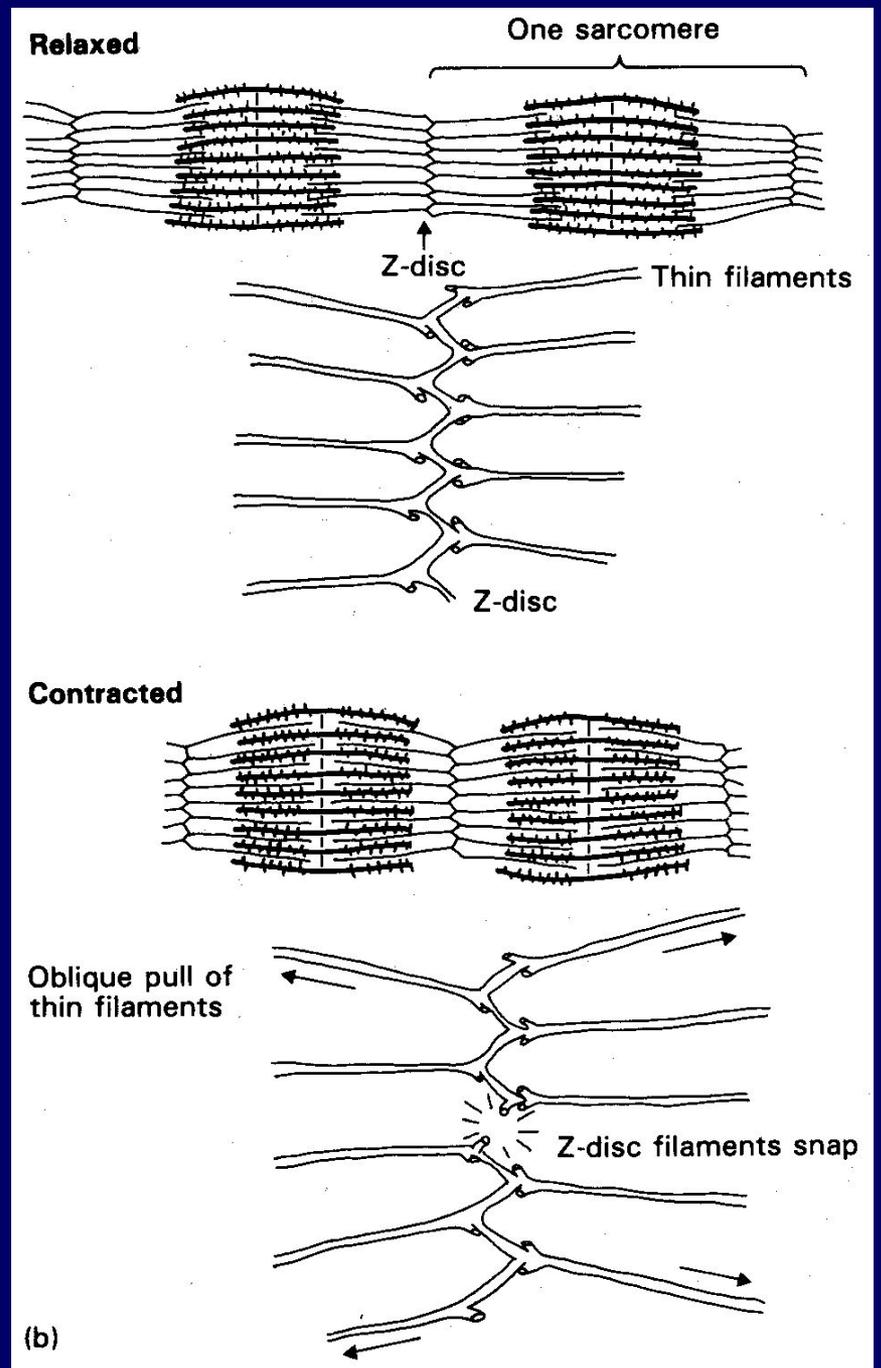
Adaptação neural e muscular durante o treinamento de resistência



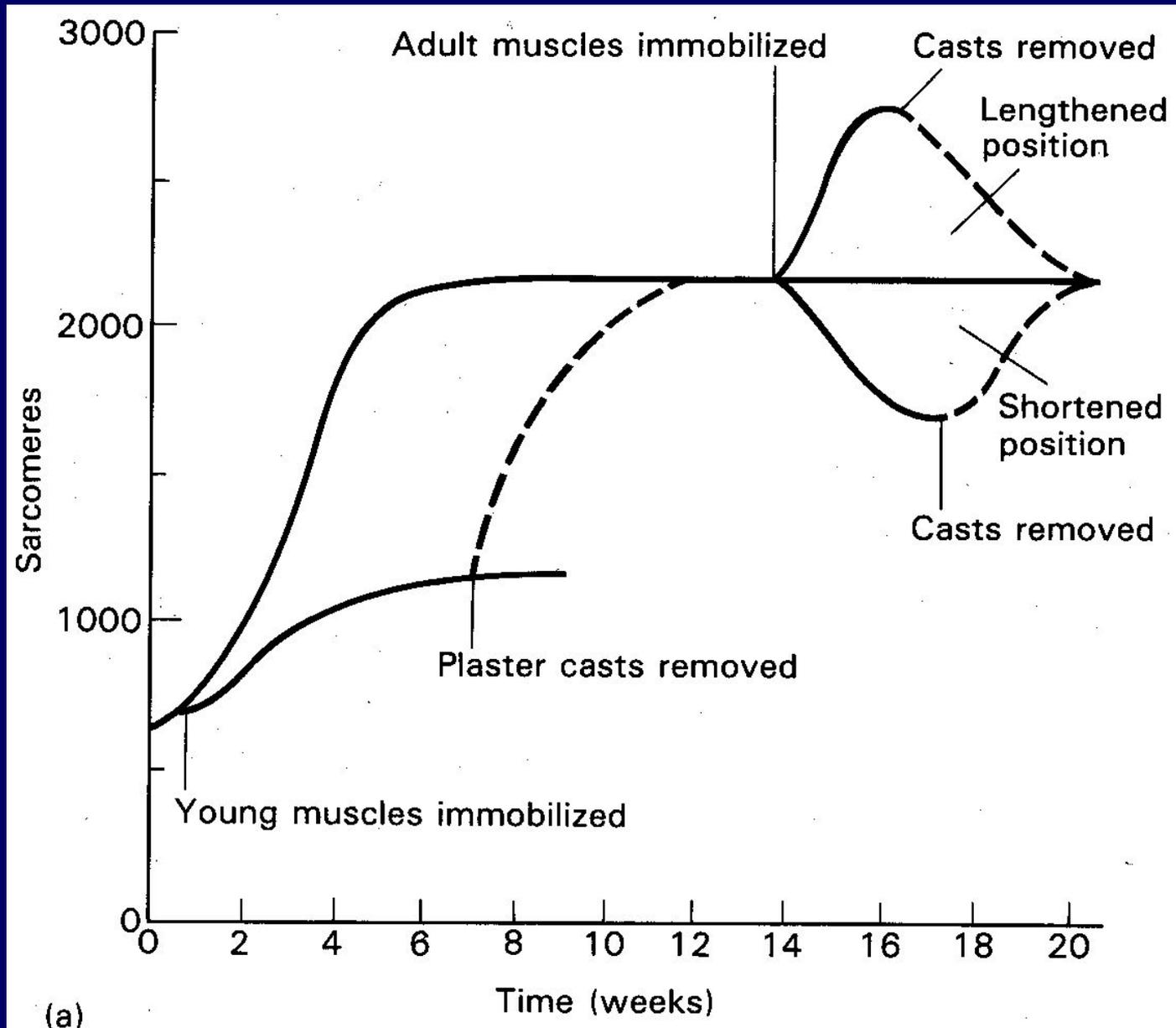
Adaptação neural ao treinamento



Adaptação mecânica
do tecido muscular
ao
exercício

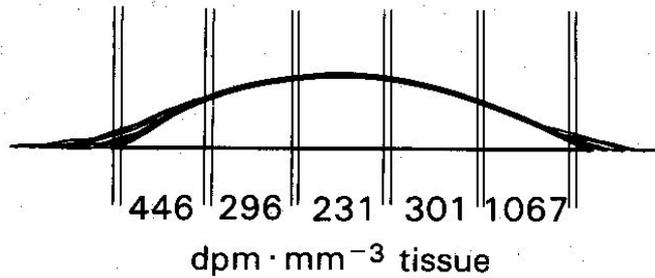


Número de sarcômeros em função da imobilização em ratos

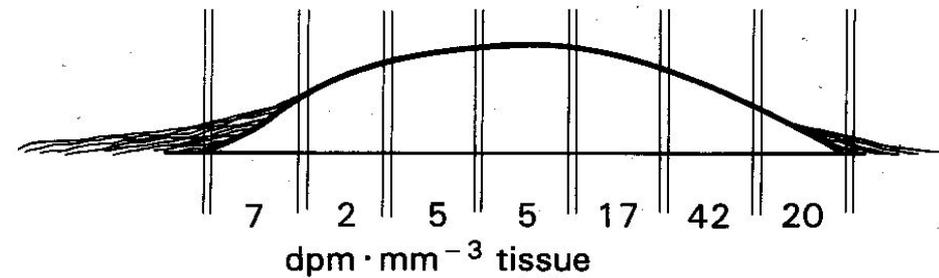


Adição de novos sarcômeros no músculo

Young muscle—actively growing



Adult muscle—not growing



Adult muscle—recovering from immobilization

