

Propriedades Biomecânicas dos Materiais Biológicos e Implicações Clínicas



Profa. Dra. Sílvia Maria Amado João

*Departamento de Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia
Ocupacional da FMUSP*

smaj@usp.br

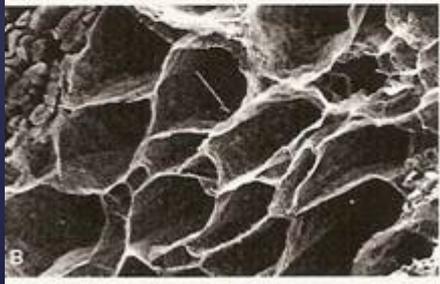
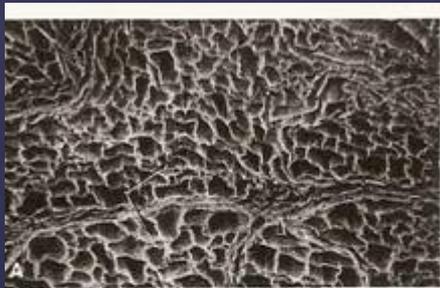
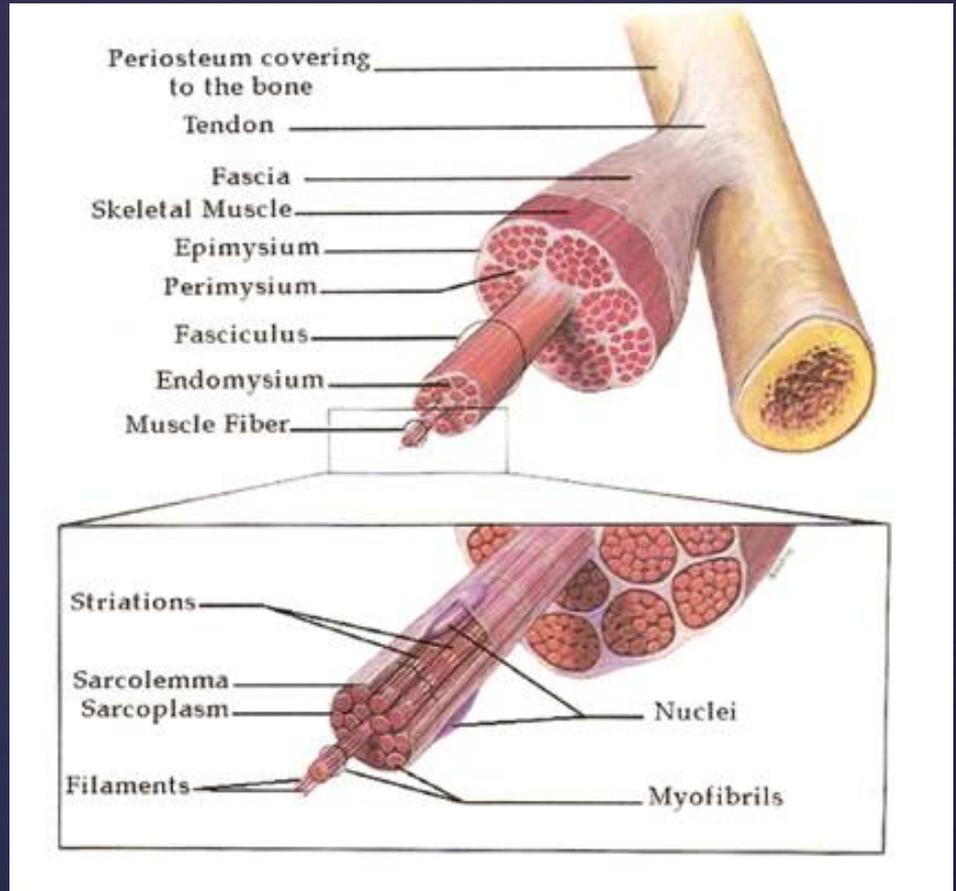
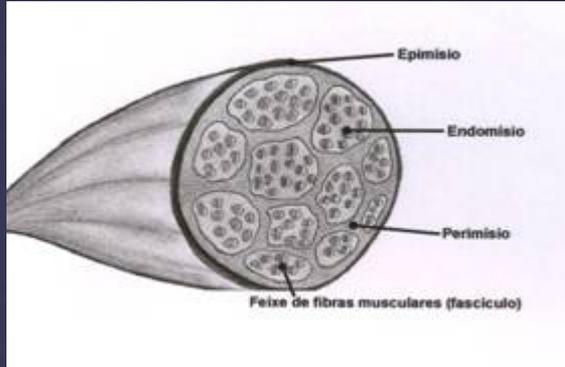
Estrutura e Função Muscular

- ✓ Estrutura e Função Muscular
- ✓ Propriedades Biomecânicas / Plasticidade
- ✓ Implicações Clínicas

Anatomia do Músculo Esquelético

- ✓ Componentes básicos da célula muscular;
- ✓ Estrutura da célula muscular / Organização celular.

Tecido Conjuntivo Muscular



Tecido Conjuntivo Muscular

- Componente elástico paralelo: sarcolema, endomísio, perimísio, epimísio, filamentos elásticos intracelulares
- Componente elástico em série: tendões, aponeuroses

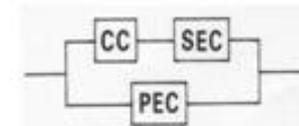


Figura 8.25. Modelo de relação entre os componentes contáteis e de tecido conjuntivo em uma unidade músculo-tendão: CC – componente contátil; SEC – componente elástico serial; PEC – componente elástico paralelo.

Tecido Conjuntivo Muscular

≠ concentrações de tec. conjuntivo nos ≠ tipos de fibras musculares:

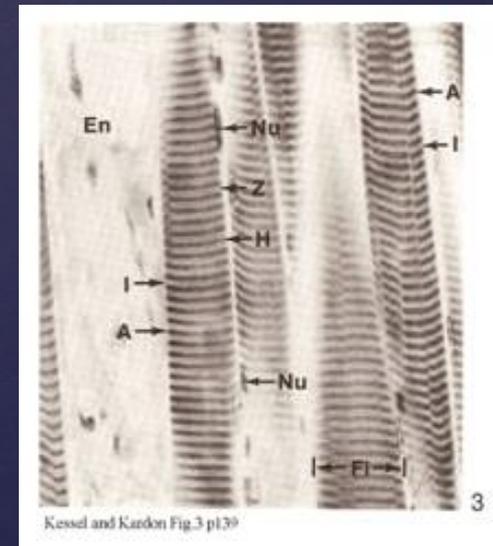
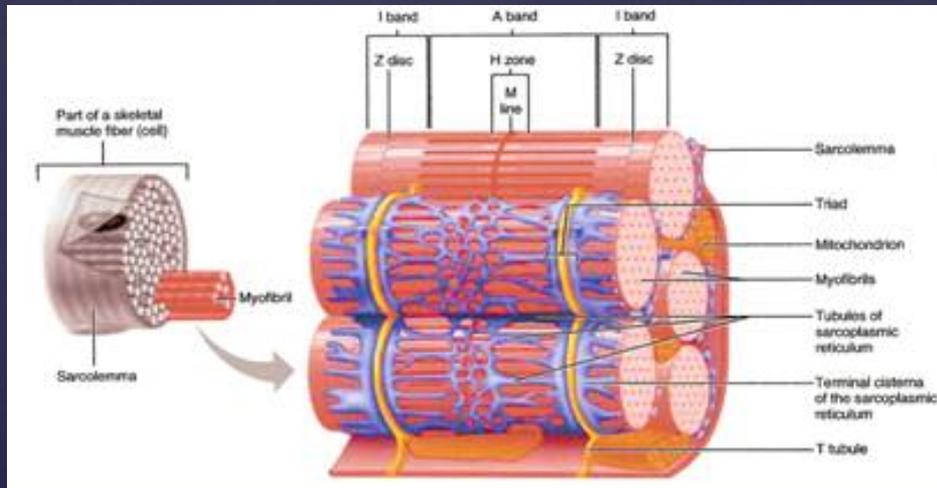
- ✓ no perimísio dos músculos de contração lenta, o colágeno aparece como feixes espessos ondulantes, ao contrário dos feixes de pequeno diâmetro encontrados nos músculos de contração rápida.
- ✓ a concentração de colágeno no endomísio é maior ao redor dos músculos de contração lenta.

Tecido Conjuntivo Muscular

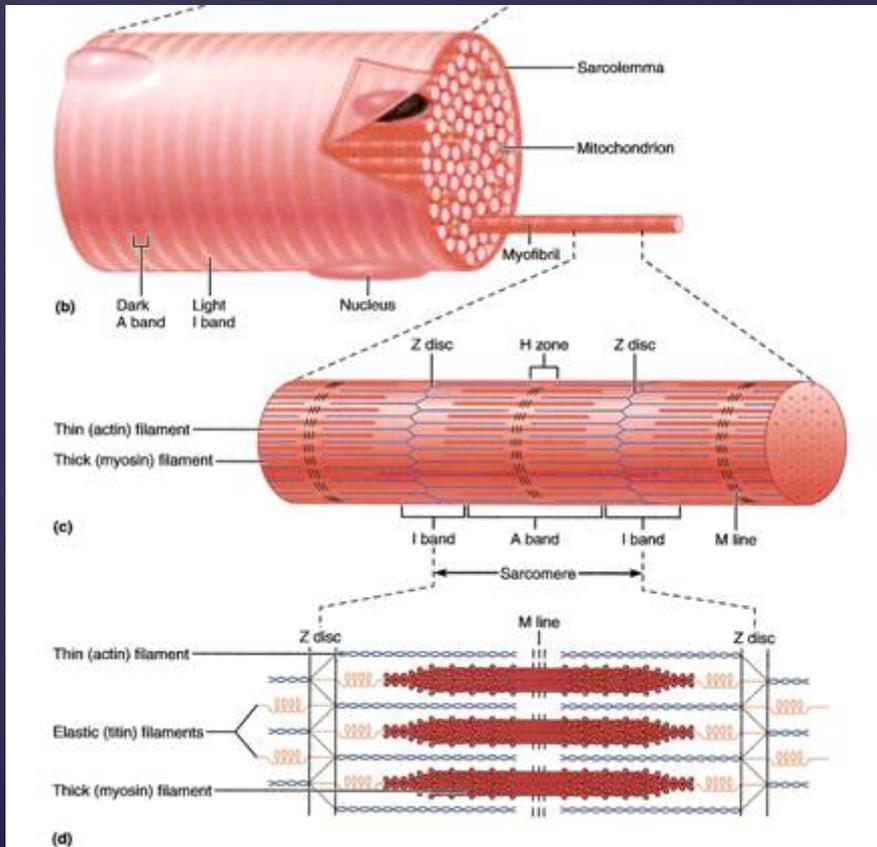
- ✓ Predominam nos músculos os colágenos dos tipos I, III, IV e V.
- ✓ O tipo I é encontrado principalmente no epimísio e em menor quantidade no perimísio. Suas fibras são as mais tolerantes ao estresse e apresentam alta força tênsil e limitada elasticidade, sendo, portanto, as mais adaptadas para a transmissão de força;
- ✓ O tipo III predomina no perimísio e endomísio, e apresenta estrutura e organização semelhante ao do tipo I, porém suas fibras são mais elásticas e de menor espessura.

Anatomia do Músculo Esquelético

- ✓ Microestrutura da Célula Muscular Esquelética
- ✓ Organelas Celulares (núcleo, RS, mitocôndria)



Unidade Contrátil- Miofibrilas



Micrômetro: μm (10^{-6} m)
Angstrom: \AA (10^{-10} m)

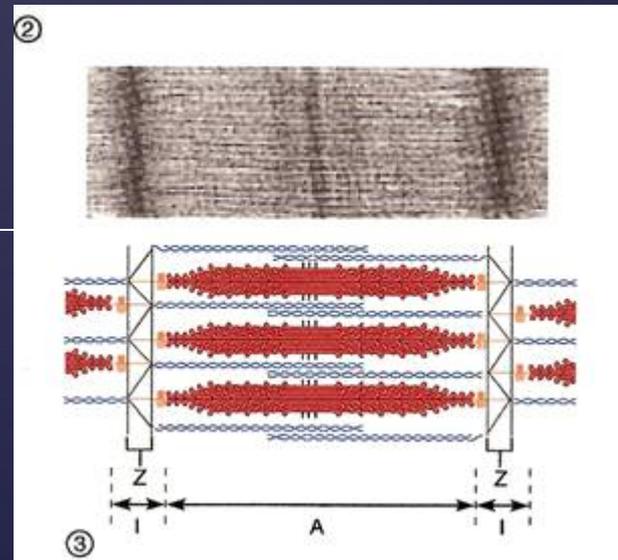
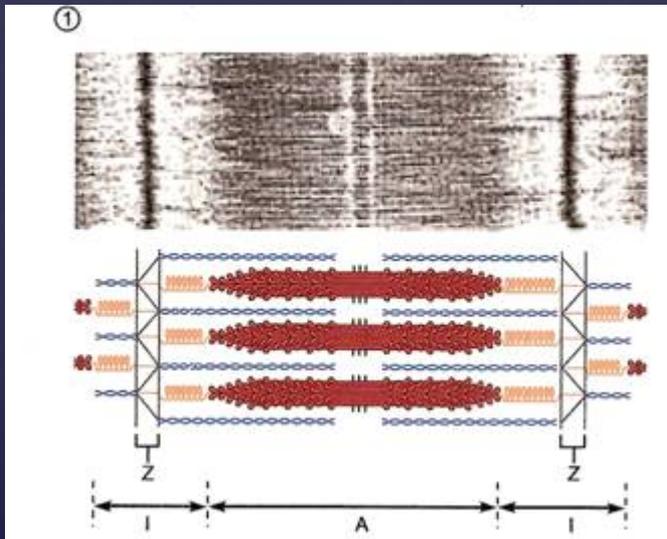
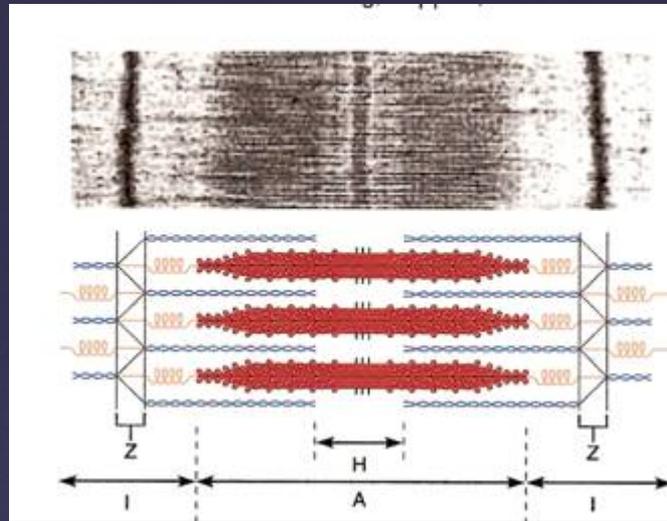
Músculo: cm

Fascículos musculares: mm

Fibras Musculares: $\mu\text{m} \times 100$

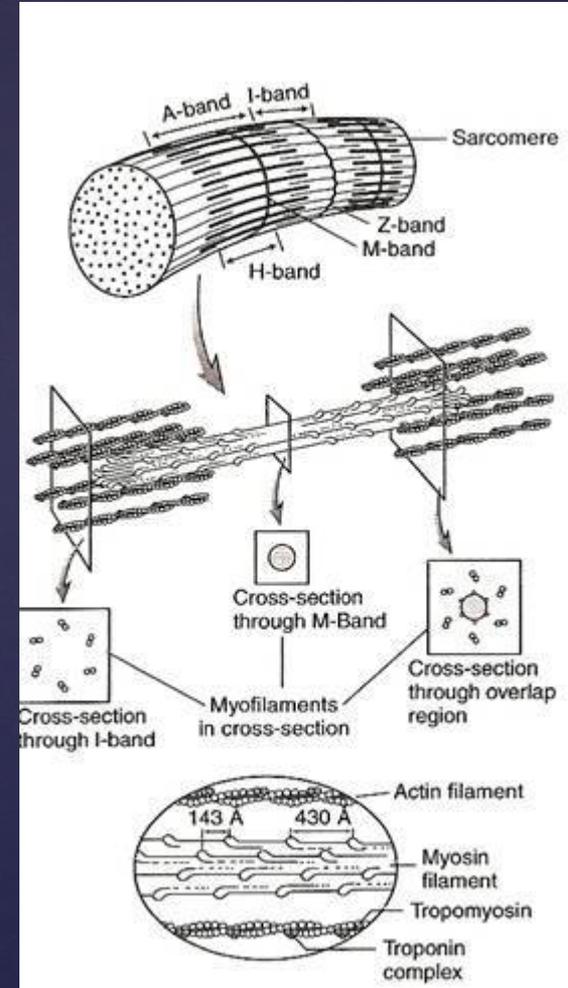
Diâmetro da Miofibrila: 1 μm

Miofilamento: nm



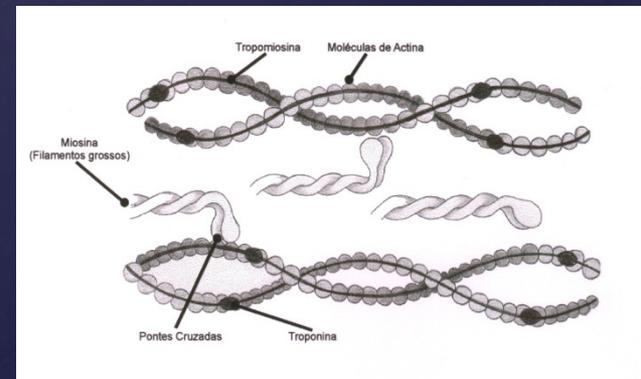
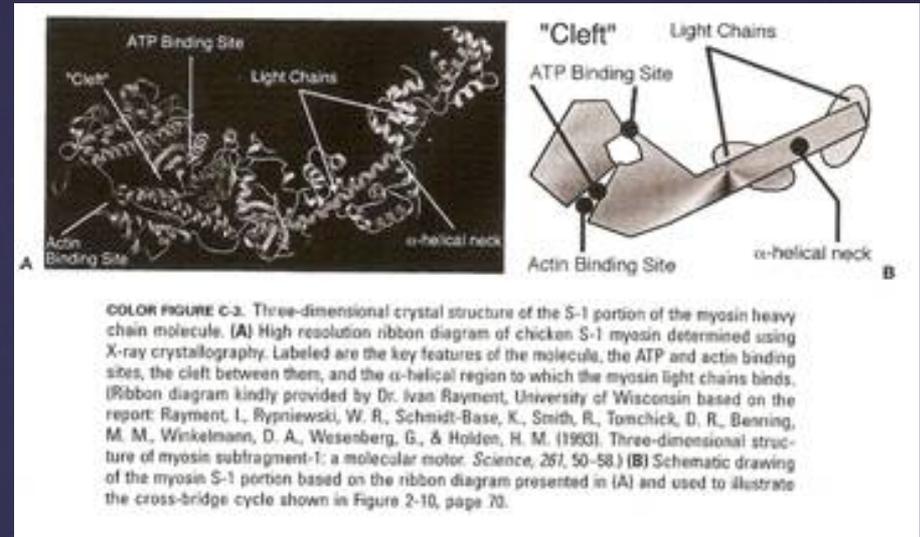
Miofilamentos

- ✓ Miosina: LMM (light meromyosin) e HMM- (heavy meromyosin)
- ✓ Actina: regulação da contração
- ✓ Isoformas da Miosina: base para os “tipos celulares”

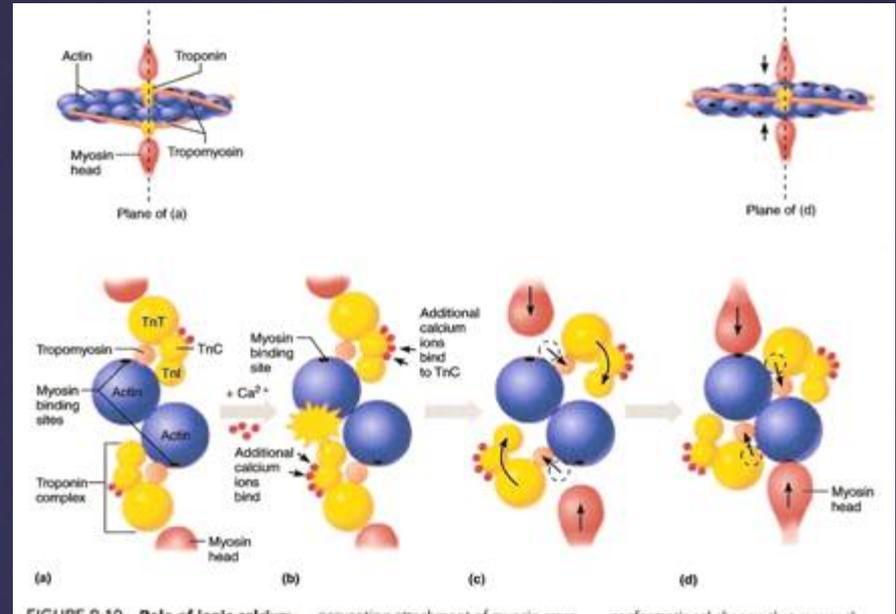
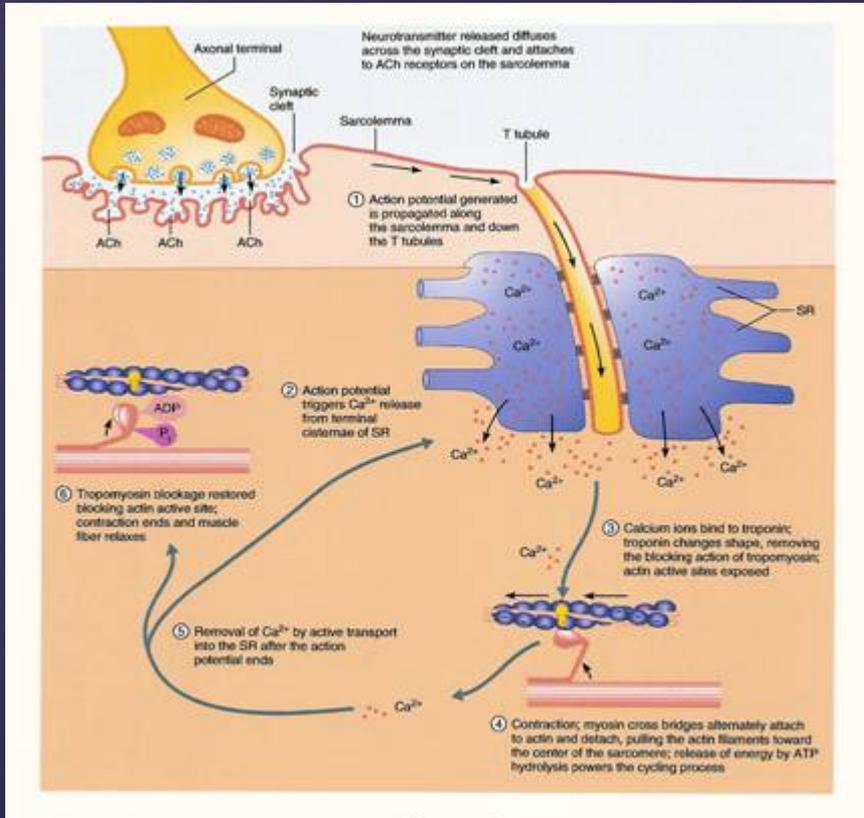


Miofilamentos

- ✓ Várias formas da miosina de cadeia pesada e miosina de cadeia leve podem existir dentro do mesmo músculo. Por quê? As várias isoformas da miosina de cadeia pesada tem diferentes propriedades funcionais.



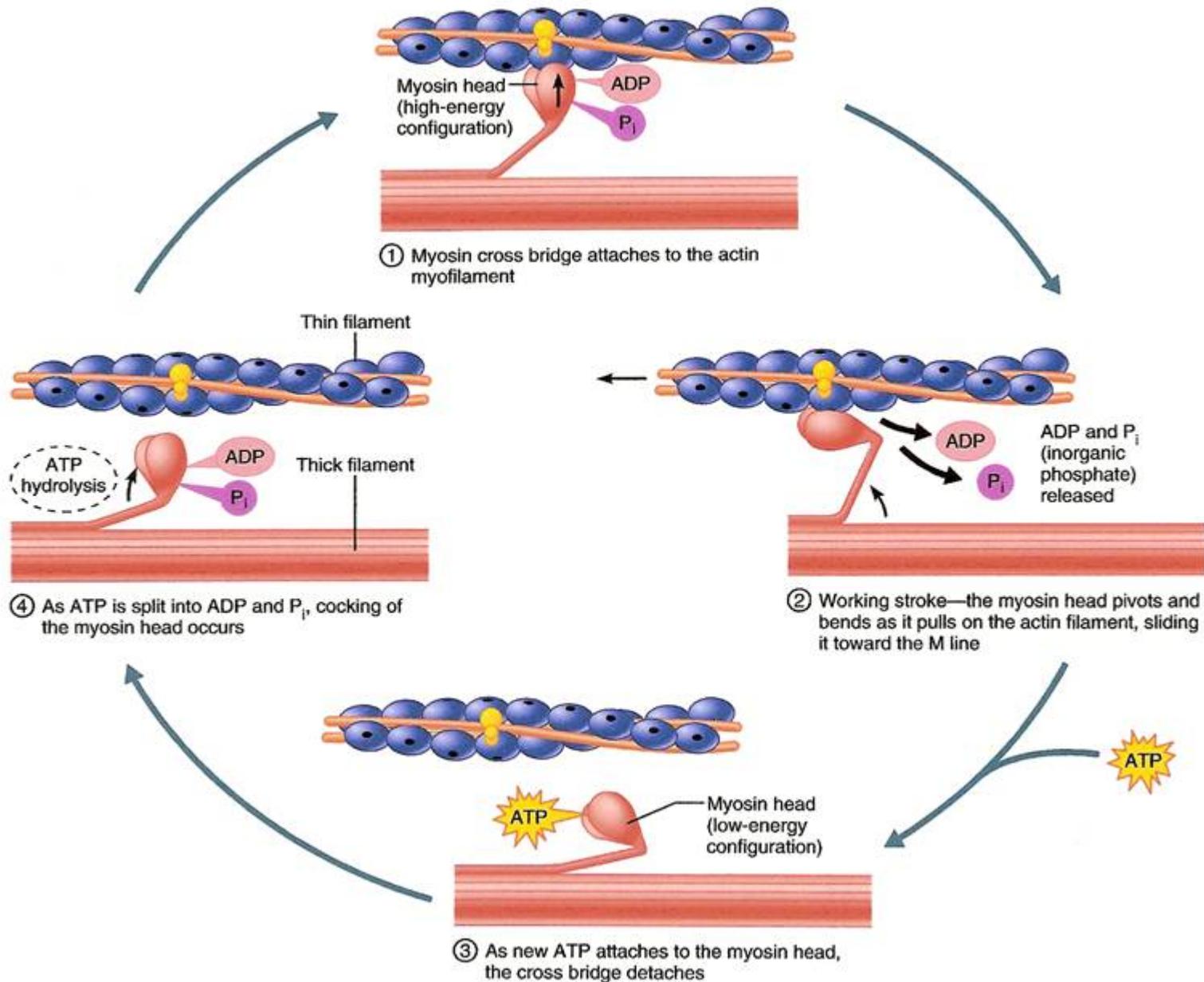
Mecanismo de Contração Muscular

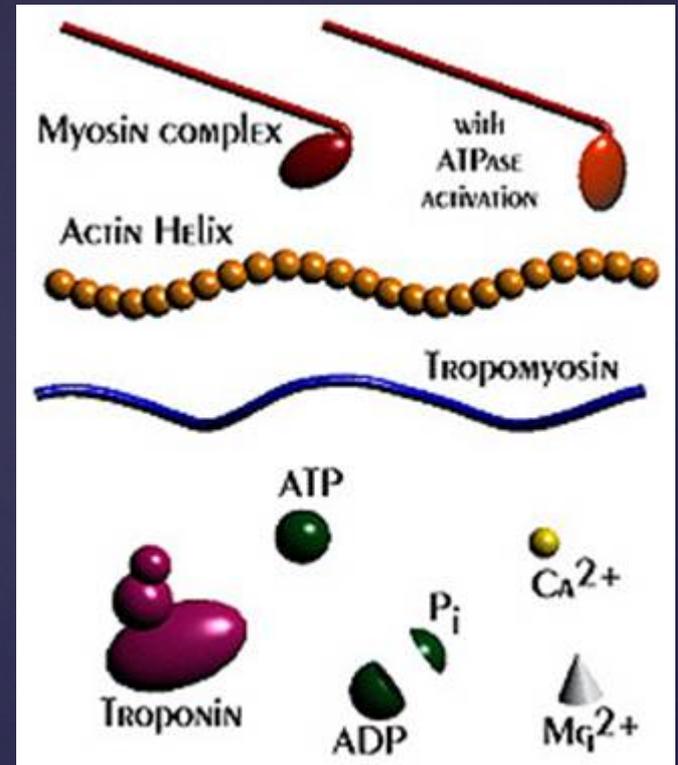
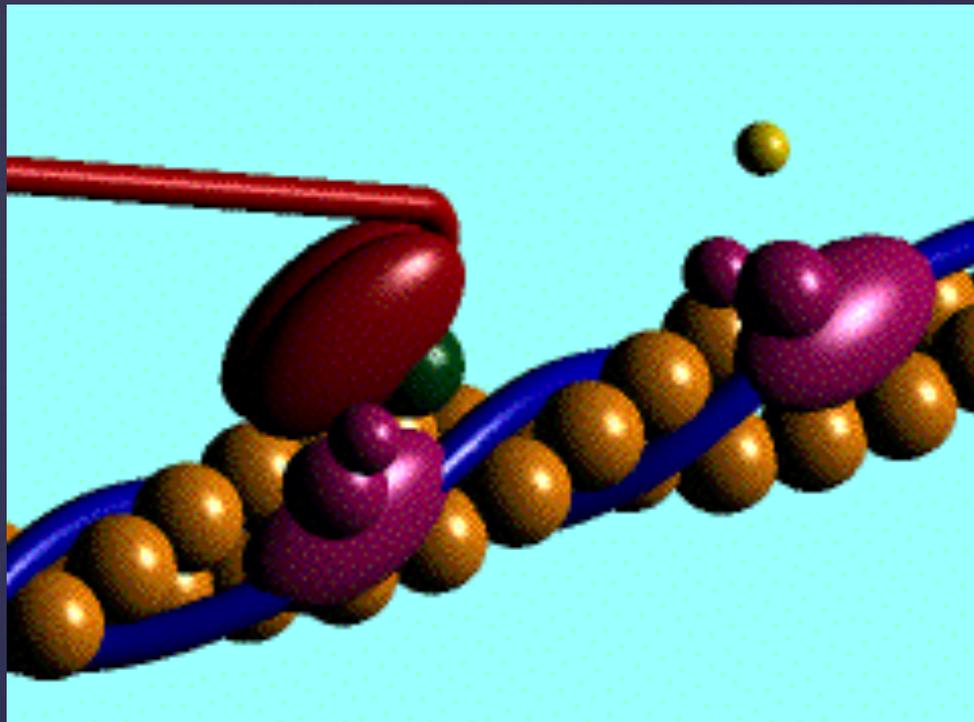


Junctional feet: link T – system to the SR

Ryanodine receptor (RyR): voltage sensing protein

Dihydropyridine receptor (DHP): calcium release channel



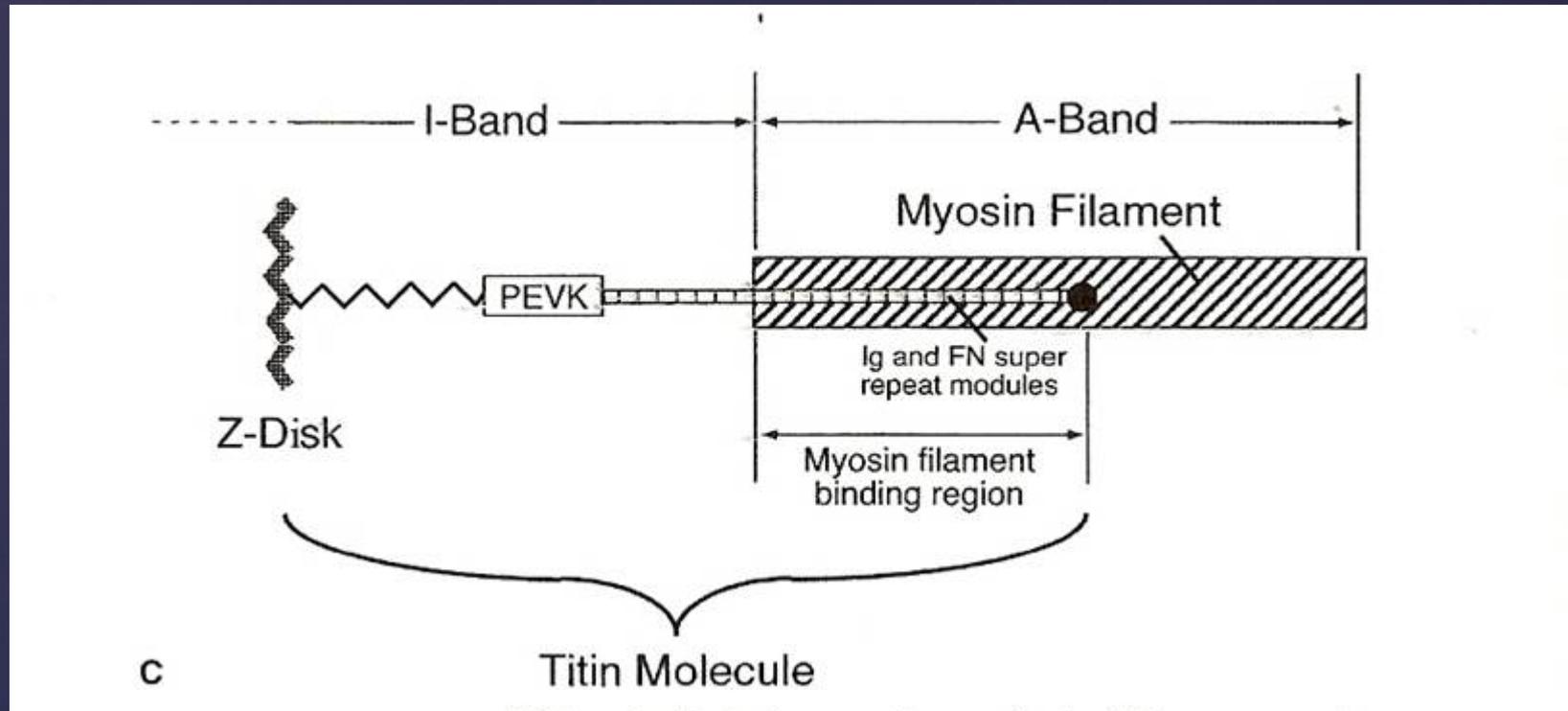


Titina

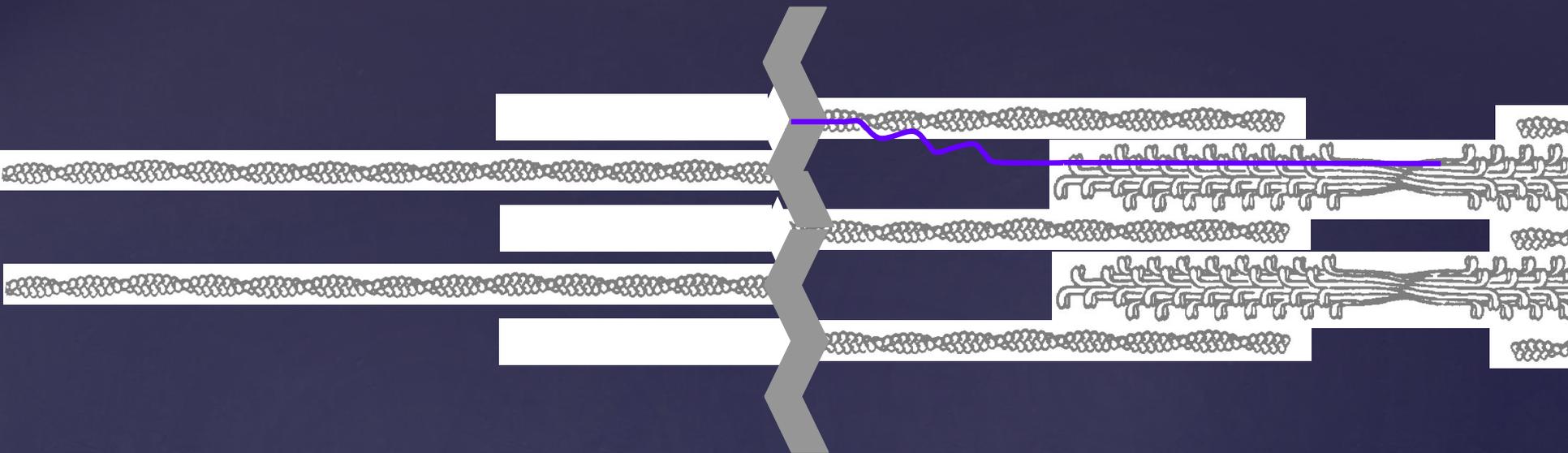


- ✓ Maior proteína conhecida. É um filamento único composto por uma única cadeia de aprox. 27.000 aminoácidos com um peso molecular de 3 milhões de daltons.
- ✓ **Relevância Clínica:** a titina suporta a maior parte da carga passiva no músculo, o grande comprimento da titina (1,5 μm permite ter um potencial papel crítico na organização do desenvolvimento do sarcômero).
- ✓ Titina: situada para servir como um “sensor” para alterações mecânicas do músculo (mudanças crônicas de comprimento e força muscular).

Questão Clínica: Você pode sentir a “titina” no exame físico ?

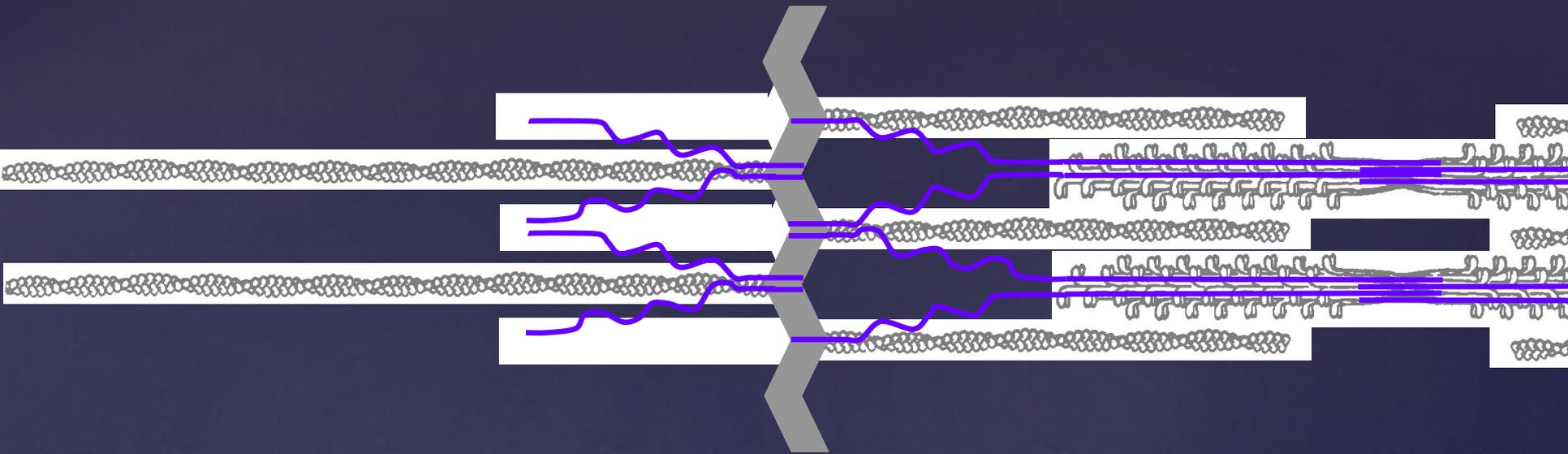


Therapist's Comments: Papel da Titina na rigidez nas alterações neurológicas e nas contraturas musculares



Titina

- ✓ situa-se da linha Z a linha M;
- ✓ uma das funções é agir como “rédea” para prevenir o estiramento do sarcômero.



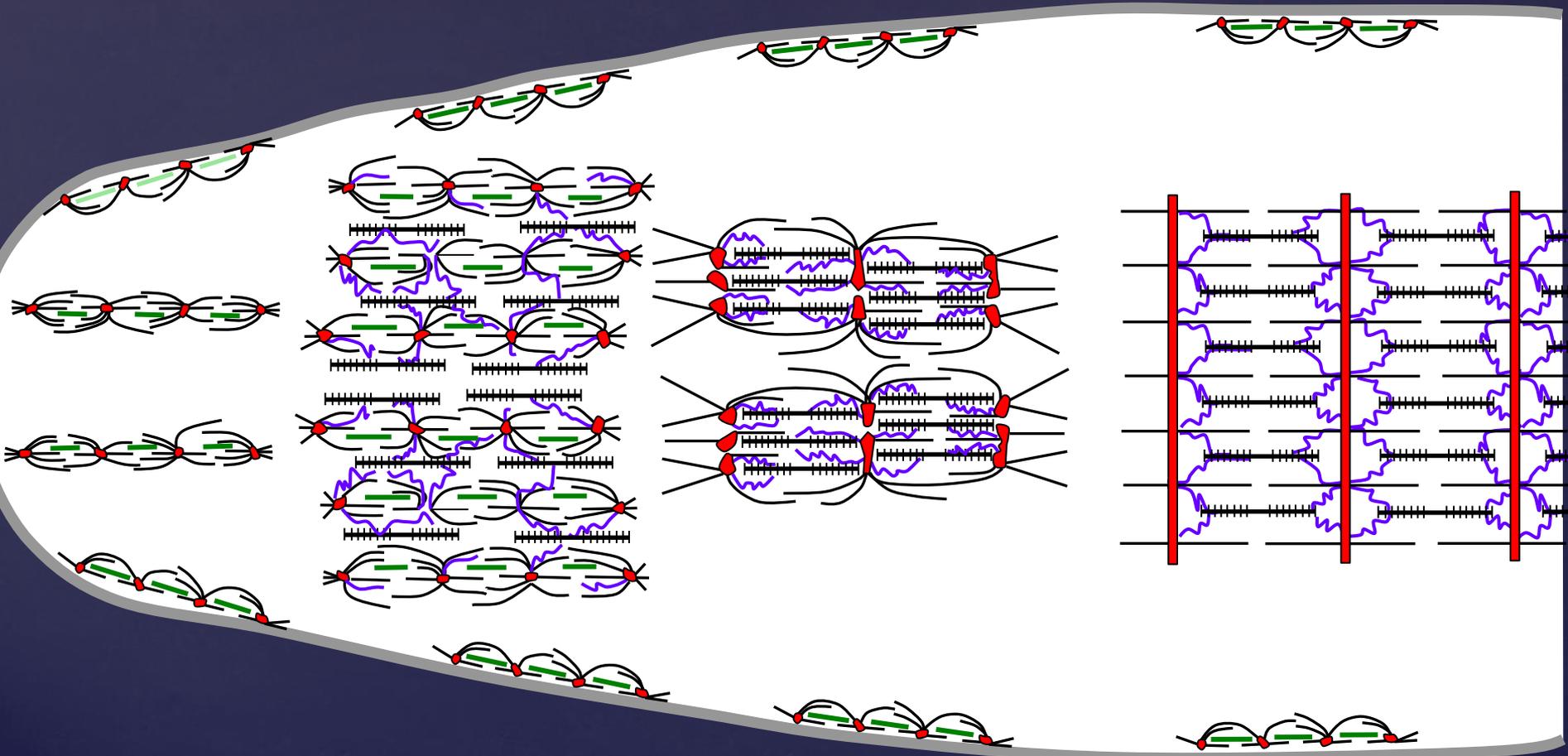


TABLE 3-2**Design Parameters of the Musculoskeletal System**

Parameter	Property Affected
Fiber length	Velocity or excursion
Fiber area	Fiber force
Physiologic cross-sectional area	Maximum muscle force and torque
Tendon length	Increased range, damping, and energy storage
Moment arm	Maximum torque
Tendon length/fiber length ratio	Relative stiffness of a muscle-tendon unit
Fiber length/moment arm ratio	Relative muscle-joint influence
Fiber type distribution	Muscle speed and endurance
Motor unit distribution	Relative muscle control

Arquitetura Muscular

- ✓ **Arquitetura Muscular:** arranjo das fibras musculares relativo ao eixo de geração de força;
- ✓ Área transversal, comprimento muscular, comprimento da fibra muscular, ângulo de inserção do músculo, razão do comprimento da fibra muscular e comprimento muscular.

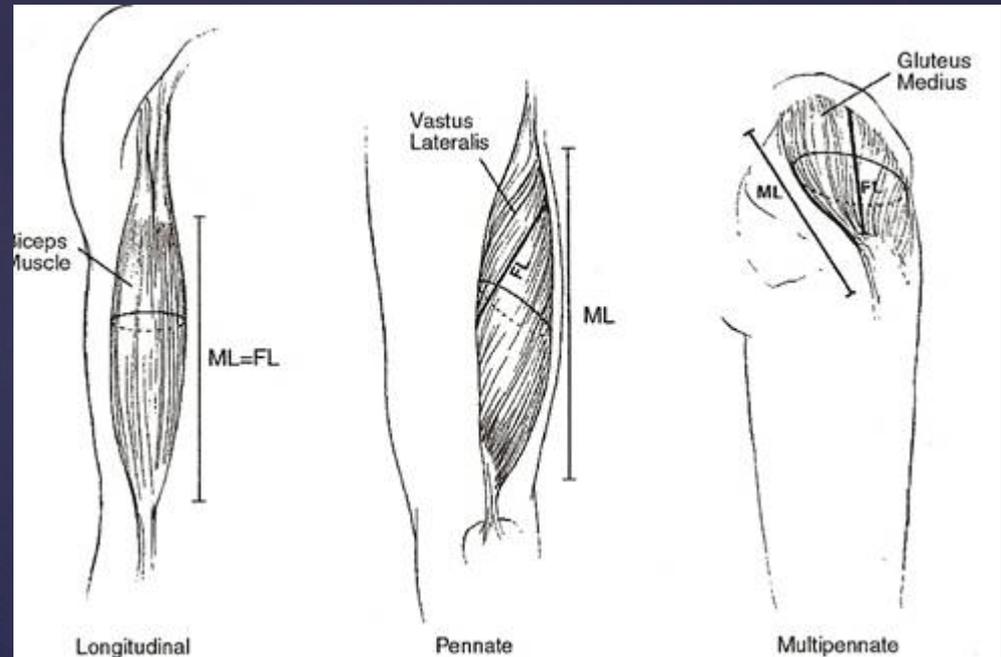


TABLE 1-3 Architectural Properties of the Human Arm and Forearm^{a,b}

Muscle	Muscle Mass (g)	Muscle Length (mm)	Fiber Length (mm)	Pennation Angle (°)	Cross-Sectional Area (cm ²)	FL/ML Ratio
BR (n=8)	16.6±2.8	175±8.3	121±8.3	2.4±.6	1.33±.22	.69±.062
PT (n=8)	15.9±1.7	130±4.7	36.4±1.3	9.6±.8	4.13±.52	.28±.012
PQ (n=8)	5.21±1.0	39.3±2.3	23.3±2.0	9.9±.3	2.07±.33	.58±.021
EDC I (n=8)	3.05±.45	114±3.4	56.9±3.6	3.1±.5	.52±.08	.49±.024
EDC M (n=5)	6.13±1.2	112±4.7	58.8±3.5	3.2±1.0	1.02±.20	.50±.014
EDC R (n=7)	4.70±.75	125±10.7	51.2±1.8	3.2±.54	.86±.13	.42±.023
EDC S (n=6)	2.23±.32	121±8.0	52.9±5.2	2.4±.7	.40±.06	.43±.029
EDQ (n=7)	3.81±.70	152±9.2	55.3±3.7	2.6±.6	.64±.10	.36±.012
EIP (n=6)	2.86±.61	105±6.6	48.4±2.3	6.3±.8	.56±.11	.46±.023
EPL (n=7)	4.54±.68	138±7.2	43.6±2.6	5.6±1.3	.98±.13	.31±.020
PL (n=6)	3.78±.82	134±11.5	52.3±3.1	3.5±1.2	.69±.17	.40±.032
FDS I(P) (n=6)	6.0±1.1	92.5±8.4	31.6±3.0	5.1±0.2	1.81±.83	.34±.022
FDS I(D) (n=9)	6.6±0.8	119±6.1	37.9±3.0	6.7±0.3	1.63±.22	.32±.013
FDS I(C) (n=6)	12.4±2.1	207±10.7	67.6±2.8	5.7±0.2	1.71±.28	.33±.025
FDS M (n=9)	16.3±2.2	183±11.5	60.8±3.9	6.9±0.7	2.53±.34	.34±.014
FDS R (n=9)	10.2±1.1	155±7.7	60.1±2.7	4.3±0.6	1.61±.18	.39±.023
FDS S (n=9)	1.8±0.3	103±6.3	42.4±2.2	4.9±0.7	0.40±.05	.42±.014
FDP I (n=9)	11.7±1.2	149±3.8	61.4±2.4	7.2±0.7	1.77±.16	.41±.018
FDP M (n=9)	16.3±1.7	200±8.2	68.4±2.7	5.7±0.3	2.23±.22	.34±.011
FDP R (n=9)	11.9±1.4	194±7.0	64.6±2.6	6.8±0.5	1.72±.18	.33±.009
FDP S (n=9)	13.7±1.5	150±4.7	60.7±3.9	7.8±0.9	2.20±.30	.40±.015
FPL (n=9)	10.0±1.1	168±10.0	45.1±2.1	6.9±0.2	2.08±.22	.24±.010

Lieber et al (1990). Architecture of select wrist flexor and extensor muscles. *Journal of Hand Surgery*, 15 A, 244-250

Arquitetura Muscular

- ✓ Os ângulos de inserção muscular normalmente estão entre 0° a 30° ;
- ✓ A razão do comprimento da fibra muscular e o comprimento muscular (FL/ML) está entre 0.2 a 0.6 = as fibras musculares orientadas mais longitudinalmente se estendem aproximadamente cerca de 60% do comprimento muscular.

Arquitetura Muscular

- ✓ Área Transversal Fisiológica: (PCSA- physiologic cross- sectional area): diretamente proporcional a máxima tensão máxima que pode ser gerada por um músculo. Representa a soma das áreas transversais de todas as fibras musculares dentro do músculo.

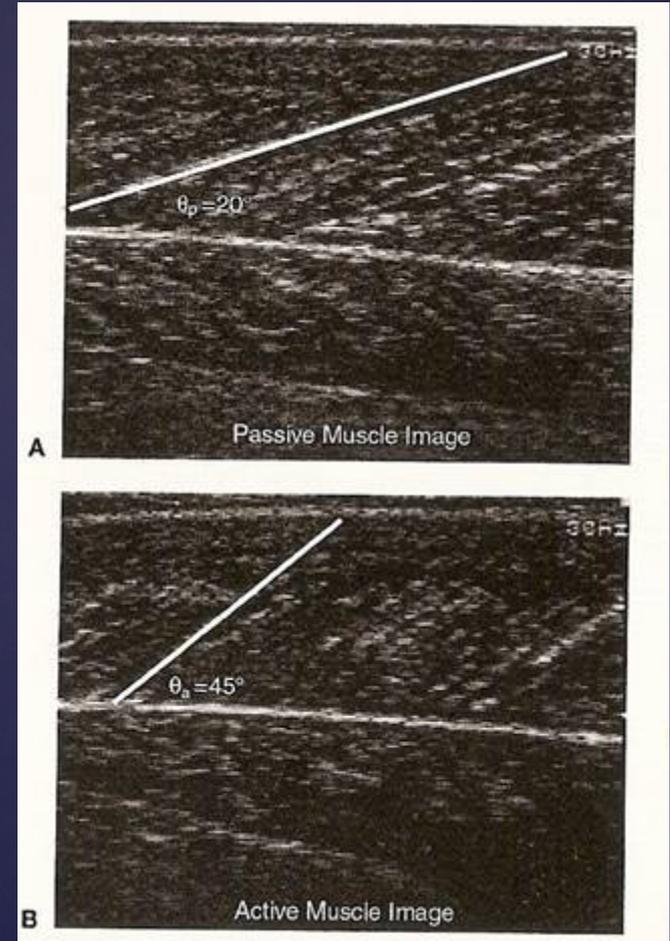
$$\text{PCSA (cm}^2\text{)} = \frac{\text{muscle mass (g).cosine } \theta}{\rho \text{ (g/cm}^3\text{).fiber length (cm)}}$$

ρ = densidade muscular

θ = ângulo de inserção muscular

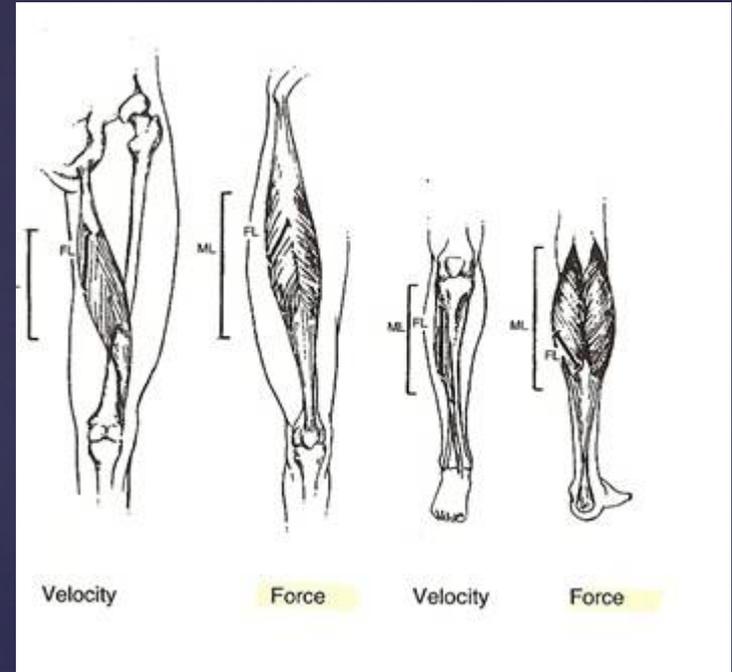
Arquitetura Muscular

- ✓ O ângulo de inserção do músculo é constante durante a contração muscular?



Arquitetura Muscular

- ✓ **Quadriceps e Flexores Plantares** são músculos de produção de força baseados na sua pequena razão entre comprimento de fibra muscular e comprimento muscular (fibras curtas), grande PCSA e ângulos de inserção altos.
- ✓ **Isquiotibiais e Dorsiflexores** são músculos desenhados para grandes excursões e velocidade baseados na sua grande razão entre comprimento de fibra muscular e comprimento muscular e pequena PCSA.



- Força é proporcional a PCSA e velocidade é proporcional ao comprimento muscular.

Arquitetura Muscular

- ✓ Os músculos extensores anti-gravitários tem “design” para produção de força, enquanto que os flexores para grandes excursões.
- ✓ 2 pontos importantes: PCSA (proporção da máxima força muscular) e o comprimento da fibra muscular (proporcional a máxima excursão muscular)

Tipos de Fibras Musculares

- ✓ Fibras glicolíticas de contração rápida (GR) ou fibras brancas de contração rápida (tipo II);
- ✓ Fibras glicolíticas oxidativas de contração rápida (GOR) ou fibras vermelhas de contração rápida (tipo IIA);
- ✓ Fibras oxidativas de contração lenta (OL) ou fibras vermelhas de contração lenta (tipo I).

Quadro 3-1. CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS DOS MÚSCULOS ESQUELÉTICOS

	<i>Glicolítica de Contração Rápida (GR)*</i>	<i>Glicolítica Oxidativa de Contração Rápida (GOR)†</i>	<i>Oxidativa de Contração Lenta (OL)‡</i>
Diâmetro	Grande	Intermediário	Pequeno
Cor do músculo	Branca	Vermelha	Vermelha
Capilaridade	Esparsa	Densa	Densa
Conteúdo de mioglobina	Baixo	Rápido	Elevado
Velocidade de contração	Rápida	Rápida	Lenta
Velocidade de fadiga	Rápida	Intermediária	Lenta
Dimensões da unidade motora	Grande	Intermediária a grande	Pequena
Velocidade de condução axonal	Rápida	Rápida	Lenta

*As fibras GR também são conhecidas como fibras brancas de rápida contração ou fibras de rápida contração.

†As fibras GOR também são conhecidas como fibras intermediárias ou fibras vermelhas de contração rápida.

‡As fibras OL são também conhecidas como fibras de contração lenta ou fibras vermelhas de contração lenta.

Tipos de Fibras Musculares

TABLE 2-2^a Fiber Type Classification Schemes

Basis for Scheme	Fiber Type Spectrum			Authors
Metabolic	S0	FOG	FG	Peter et al., 1972
Morphology and physiology	Slow red	Fast white	Fast white	Ranvier, 1873
Z-line width	Red	Intermediate	White	Gauthier, 1969
Histochemistry	III	II	I	Romanul, 1964
Histochemistry	Type 1	Type 2A	Type 2B	Brooke and Kaiser, 1972
Immunohistochemistry	Type 1	Types 2A and 2X	Type 2B	Schiaffino et al., 1989

^a S0; slow oxidative
 FOG; fast oxidative glycolytic
 FG; fast glycolytic

TABLE 2-7 Differences between Fiber Types

Parameter	S0	FOG	FG
T/SR system quantity	Little	Much	Much
Z-disk width	Wide	Intermediate	Narrow
Contractile speed	Slow	Fast	Fast
Mitochondrial density	High	Moderate	Low
Lipid droplets	Many	Few	None
Glycogen granules	Few	Many	Many
Endurance	High	Moderate	Low

Fatores que contribuem para a eficácia da contração muscular – Tipos de ação muscular

- ✓ **Contração Concêntrica:** o músculo ativamente encurta. Descreve contrações com encurtamento do músculo, a força gerada pelo músculo é sempre menor do que a máxima.
- ✓ **Contração Excêntrica:** músculo ativado em alongamento; a tensão absoluta independe da velocidade de encurtamento. Contração fisiológica comum.
- ✓ **Contração Isométrica:** contração durante a qual o comprimento do músculo não muda.

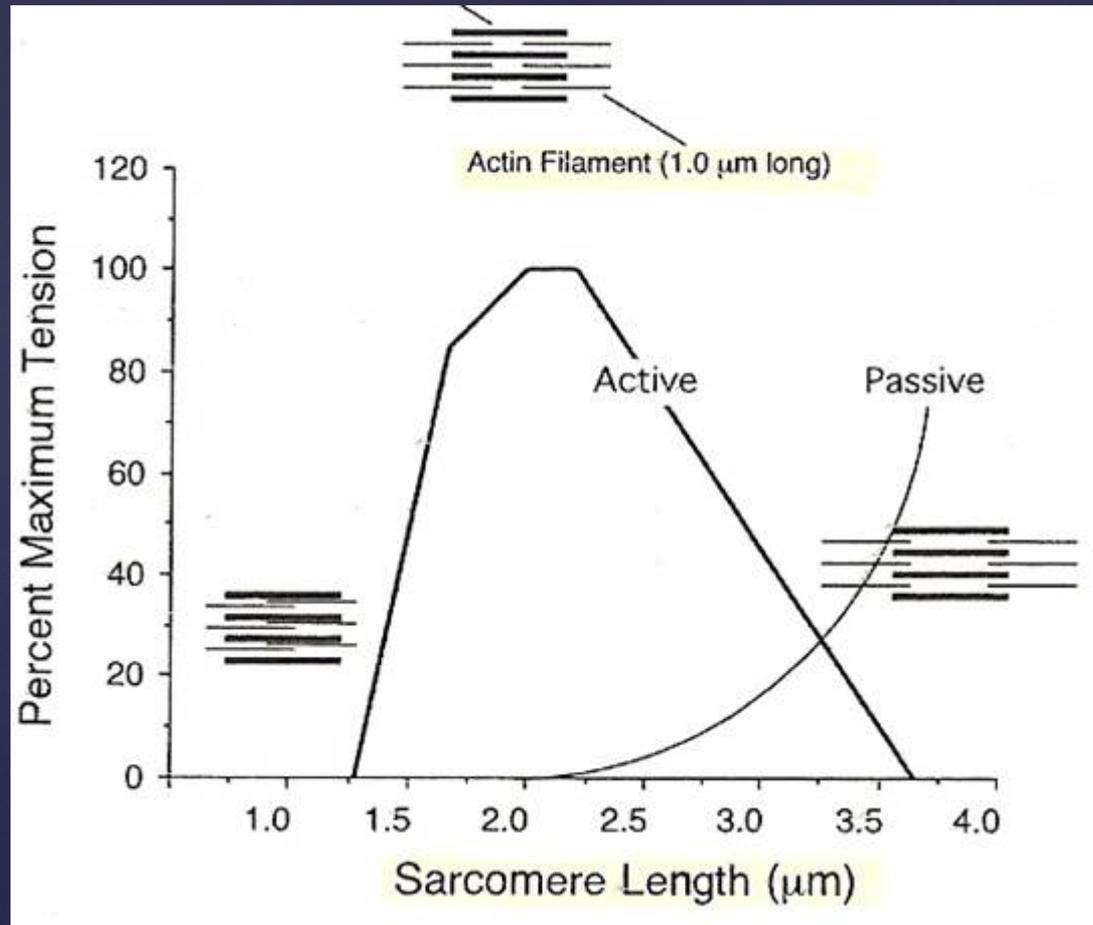
Características Mecânicas das Unidades Músculo-Tendão

O número real de pontes de cruzamento depende:

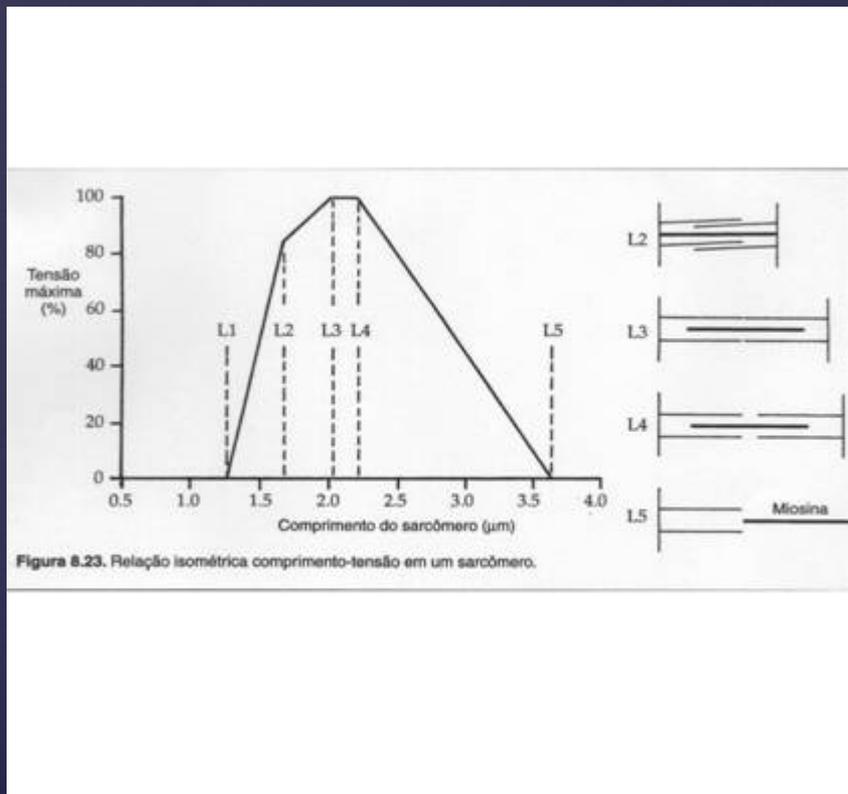
- ✓ 1. Grau de interdigitação entre os filamentos de actina e miosina;
- ✓ 2. O nível de estimulação (ativação) aplicado ao sarcômero. Quanto maior a estimulação maior o número de pontes de cruzamento.



Relação comprimento-tensão: contração muscular isométrica

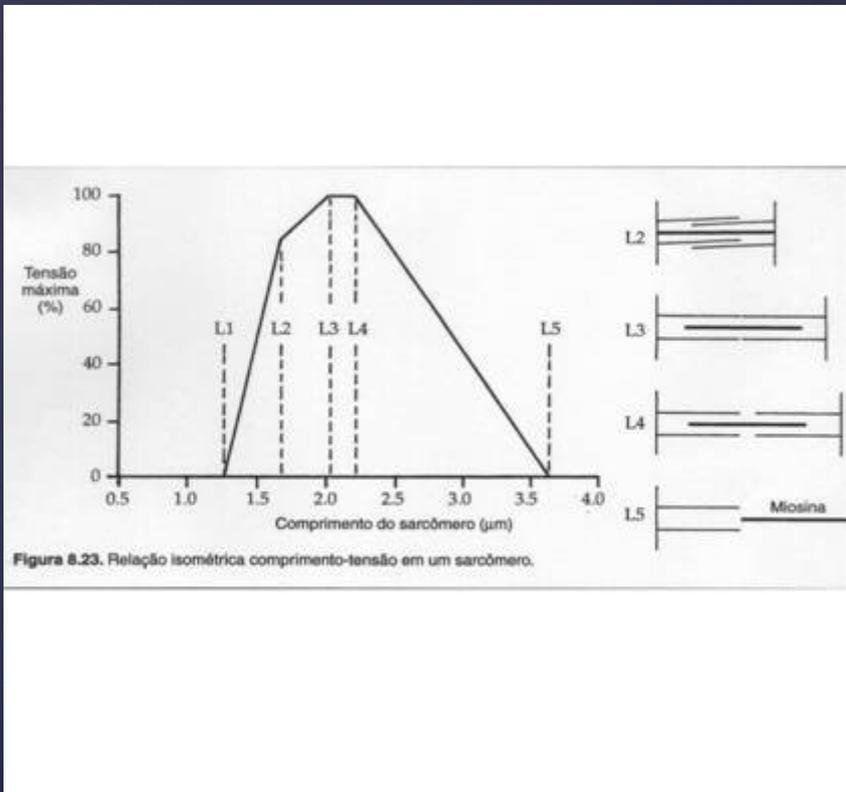


Relação isométrica comprimento-tensão em um sarcômero



- ✓ L3-L2 - encurtamento do sarcômero, a actina sobrepõem-se entre si = queda progressiva da tensão;
- ✓ L2 - miosina limita-se ao disco Z.
- ✓ L1 - nenhuma ponte de cruzamento pode ser formada = nenhuma tensão é gerada.

Relação isométrica comprimento-tensão em um sarcômero



- ✓ L5 - sarcômero estendido quando não há interdigitação entre actina e miosina = nenhuma tensão é gerada;
- ✓ L4 - foi formado o número máximo de pontes de cruzamento = tensão máxima

Relação isométrica comprimento-tensão em uma unidade músculo-tendão

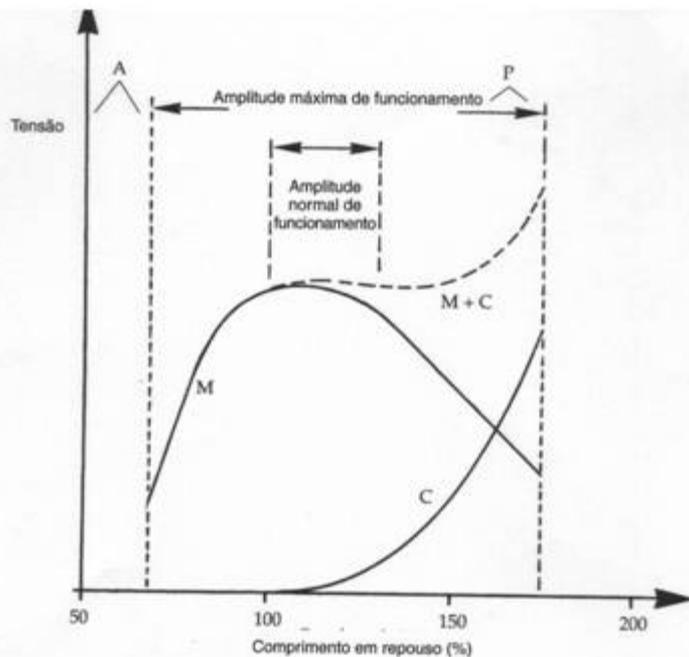
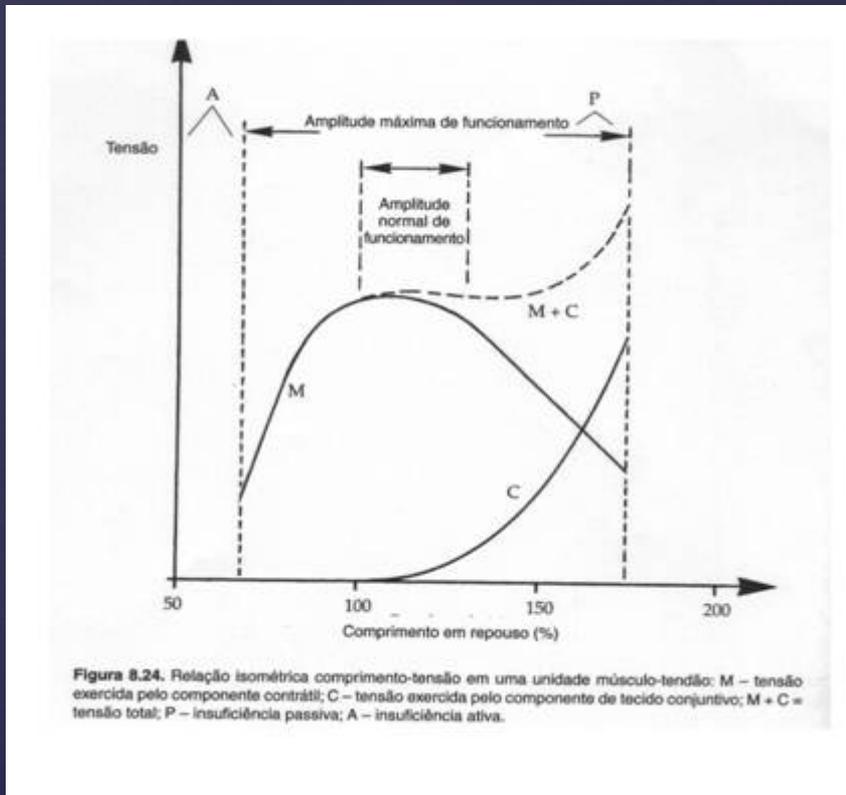


Figura 8.24. Relação isométrica comprimento-tensão em uma unidade músculo-tendão: M – tensão exercida pelo componente contrátil; C – tensão exercida pelo componente de tecido conjuntivo; M + C = tensão total; P – insuficiência passiva; A – insuficiência ativa.

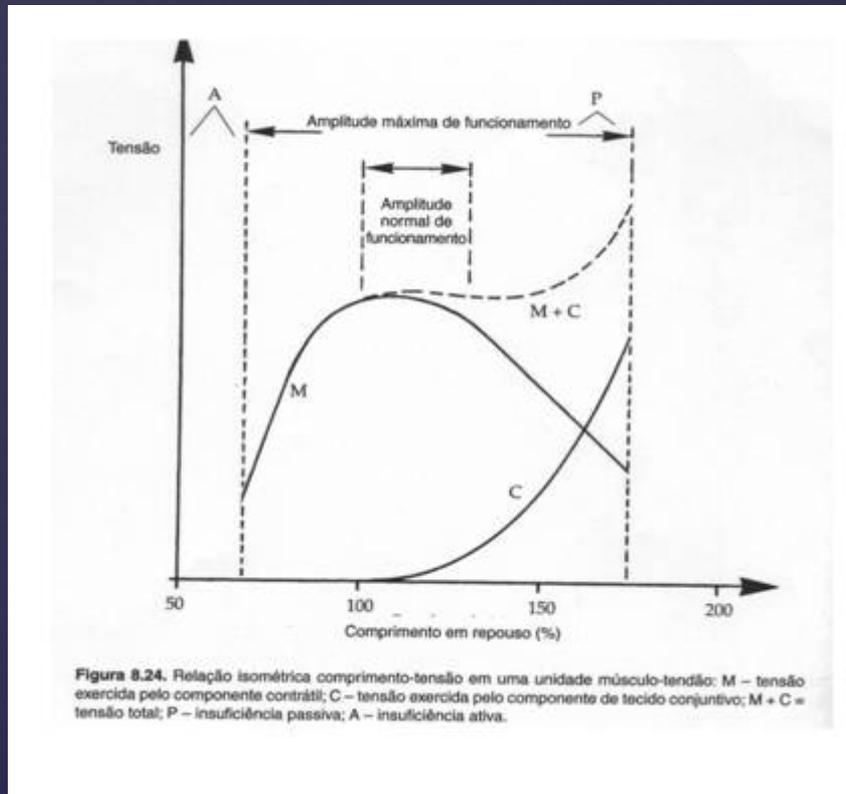
“A tensão produzida por uma unidade músculo-tendão será a soma da tensão produzida pelo componente contrátil (músculo) e a tensão passiva exercida pelos componentes do tecido conjuntivo.”

Relação isométrica comprimento-tensão em uma unidade músculo-tendão



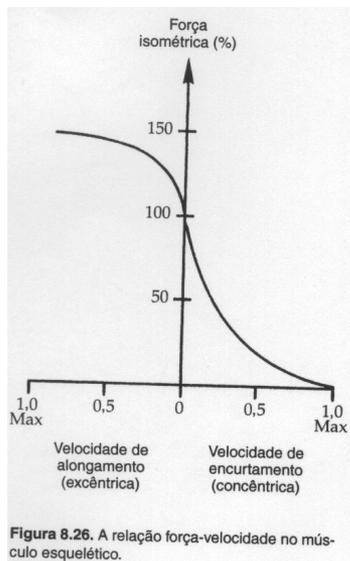
- ✓ Quanto mais curta a unidade músculo tendão, menor a tensão gerada. A tensão tende a reduzir-se a zero quando a unidade encurta a aprox. 60% de seu comprimento em repouso.
- ✓ Quando uma unidade músculo tendão contrai-se em um estado muito curto; gerando uma força pequena, tem-se um estado conhecido como *insuficiência ativa*.

Relação isométrica comprimento-tensão em uma unidade músculo-tendão



- ✓ Quando uma unidade músculo tendão alonga-se além do comprimento de repouso; diminui a tensão produzida pelo componente contrátil e ocorre o aumento gradual na quantidade de tensão passiva tem-se um estado conhecido como *insuficiência passiva*.

Relação força-velocidade em uma unidade músculo-tendão



- ✓ A velocidade de uma contração de encurtamento (contração concêntrica) depende de quanta força o músculo precisa produzir para mover a carga externa = quanto maior for a força, menor será a velocidade de encurtamento.
- ✓ Um músculo pode encurtar em velocidade máxima quando a carga externa nele for zero.

Relação força-velocidade

- ✓ Relação força-velocidade: contração muscular isotônica, esta relação descreve a força gerada por um músculo em função da velocidade sobre condições de carga constante (condições isotônicas);
- ✓ Questão Clínica: Como você pode ter músculos fortes pela equação força-velocidade?
- ✓ Resposta: Mantenha velocidades baixas para o fortalecimento muscular
“ KEEP VELOCITY LOW FOR STRENGTHENING ”



Relação força-velocidade em uma unidade músculo-tendão

- ✓ A força produzida por um músculo (contração excêntrica) depende da velocidade de alongamento e da carga externa. Quanto maior a carga, maior será a velocidade de alongamento.
- ✓ Quanto maior a velocidade de alongamento, maior o efeito do reflexo de estiramento; maior a força produzida pelo músculo.



TABLE 2-1**Relative Muscle Force at Various Muscle Velocities**

Relative Force	Velocity
100% P_o	0% V_{max}
95% P_o	1% V_{max}
90% P_o	2.2% V_{max}
75% P_o	6.3% V_{max}
50% P_o	16.6% V_{max}
25% P_o	37.5% V_{max}
10% P_o	64.3% V_{max}
5% P_o	79.1% V_{max}
0% P_o	100% V_{max}

Contrações Concêntricas

Relação comprimento - força-velocidade

- ✓ Se a velocidade muscular é alta, a força será baixa não importa o comprimento;
- ✓ Em altas velocidades, o comprimento não é importante;
- ✓ Em velocidades concêntricas baixas, o comprimento muscular torna-se um importante modulador;
- ✓ Nas velocidades excêntricas, a velocidade muscular domina o comprimento como um determinante da força;

Efeitos da imobilização no sistema musculoesquelético

Sistema Muscular

- ✓ Diminuição do comprimento muscular;
- ✓ Queda na resistência muscular;
- ✓ Fraqueza e Atrofia Muscular;
- ✓ Comprometimento da coordenação;
- ✓ Alterações da densidade vascular da junção miotendínea;
- ✓ Resistência à insulina.



- ✓ Williams e Goldspink analisaram o músculo sóleo de ratos imobilizados em encurtamento e alongamento no período de um dia a quatro semanas. Observaram que, diferente da posição encurtada, a posição de alongamento não resultou em mudanças no tecido conjuntivo. Estes autores concluíram que as alterações musculares decorrentes da imobilização são dependentes da posição da **imobilização da articulação sendo a posição de encurtamento a que provoca maiores prejuízos na função muscular.**
- ✓ Entretanto, Lapier et al. observaram que o músculo extensor longo dos dedos de ratos imobilizados na posição de encurtamento e alongamento por três **semanas apresentou aumento significativo de TC em ambas as posições, quando comparado ao grupo controle.**
- ✓ Da mesma maneira que a posição de alongamento e/ou encurtamento acarretam prejuízos ao músculo, a posição **neutra de imobilização também favorece a proliferação de TC**, fato evidenciado no estudo de Silva et al., que verificaram aumento de 200% no músculo sóleo imobilizado por sete dias.

Efeitos da imobilização no sistema musculoesquelético

Qual a variável que estaria relacionada ao acúmulo de TC no músculo imobilizado: a posição de imobilização ou a falta de atividade contrátil?

✓ Pesquisado os efeitos da eletroestimulação no músculo sóleo imobilizado de coelhos por sete dias. Os autores observaram que o grupo imobilizado em encurtamento e eletroestimulado apresentaram redução dos sarcômeros em série, porém, não apresentaram mudanças na constituição de TC. Desse modo, pode-se concluir que a atividade contrátil limita a proliferação de TC em músculos imobilizados;

✓ Esses resultados foram posteriormente reforçados por pesquisadores que investigaram os efeitos da imobilização com e sem o uso da eletroestimulação no músculo tibial anterior de coelhos e concluíram que ela foi eficiente em prevenir a proliferação de TC no grupo que foi imobilizado e eletroestimulado. Baseado nestes dados, sugere-se a realização de contrações isométricas ou até mesmo da estimulação elétrica durante a imobilização, uma vez que a posição de encurtamento resulta em falta de alongamento e atividade contrátil. Esses procedimentos levam à diminuição da proliferação de TC, o que traz benefícios durante o processo de reabilitação.

Efeitos da imobilização sobre o tecido conjuntivo muscular

- ✓ Lapier *et al*, observou que o músculo extensor longo dos dedos de ratos imobilizados na posição de encurtamento e alongamento por 3s, apresentou aumento significativo de tec. conjuntivo em ambas as posições quando comparado ao grupo controle.

(Lapier *et al*, J Appl Physiol 1995; 78 (3):1065-69)

- ✓ Acúmulo de tecido conjuntivo no músculo imobilizado: posição de imobilização ou falta de atividade contrátil ?

Efeitos da imobilização no músculo

- ✓ Redução no número de sarcômeros e aumento no comprimento destes;
- ✓ Aumento na quantidade de perimísio e espessamento do endomísio;
- ✓ Aumento na relação de concentração do colágeno com aumento na relação entre o tecido conjuntivo e a fibra muscular;
- ✓ Perda de peso e atrofia.

Adaptação do Músculo Esquelético

- ✓ a) o músculo se adapta a alterações de seu comprimento, através da regulação do número de sarcômeros em série;
- ✓ b) a posição (encurtada ou alongada) em que o músculo é mantido é um fator determinante na regulação do número de sarcômeros em série (diminuindo ou aumentando, respectivamente).

Adaptação do Músculo Esquelético

- ✓ c) o grau de atrofia muscular observada durante a imobilização depende da posição de imobilização e é maior no grupo encurtado;
- ✓ d) a posição de alongamento, além de impedir o encurtamento e a atrofia muscular, ativa a síntese protéica e a adição de sarcômeros em série.

Efeitos da imobilização sobre o tecido conjuntivo muscular

- ✓ Aumento do tecido conjuntivo principalmente no perimísio, resultando em uma rápida rigidez muscular na 1 semana pós imobilização.

(Willians & Goldspink, J.Anat 1978; 127 (Pt3):459-68)

- ✓ Fibras colágenas podem aumentar a formação de ligação cruzada anormal, o que resulta em perda de estabilidade e aumento na rigidez tecidual.

(Mcdonough, J Orthop sports Phys Ther 1981; 3(1):2-5)

Efeitos da imobilização sobre o tecido conjuntivo muscular

- ✓ A mobilização (estresse mecânico), é um recurso eficiente para remodelamento, uma vez que promove alinhamento mais funcional das fibras colágenas, minimizando o surgimento de aderências no tecido cicatricial após lesão muscular ou período de imobilização.

(Venojarvi *et al* Pathophysiology 2004; 11(1):17-22)

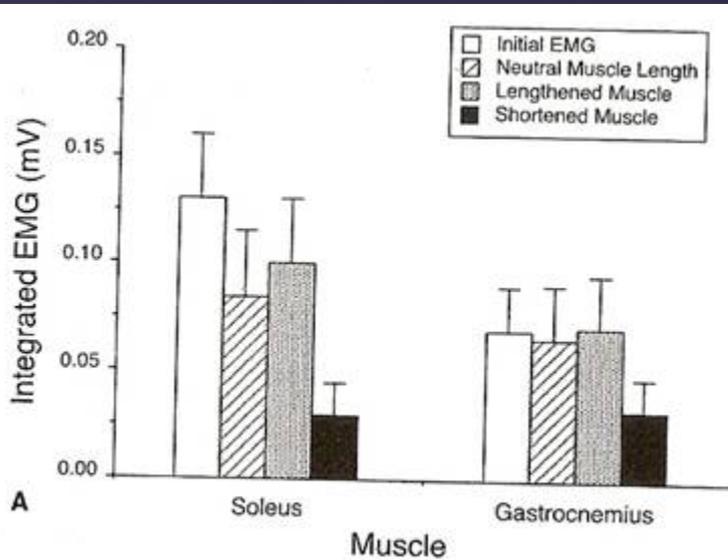
- ✓ O acúmulo de tecido conjuntivo pode ser prevenido por alongamento passivo, exercício ativo e eletroestimulação.

(Williams , Ann Rheum Dis 1988; 47(12):1014-16)

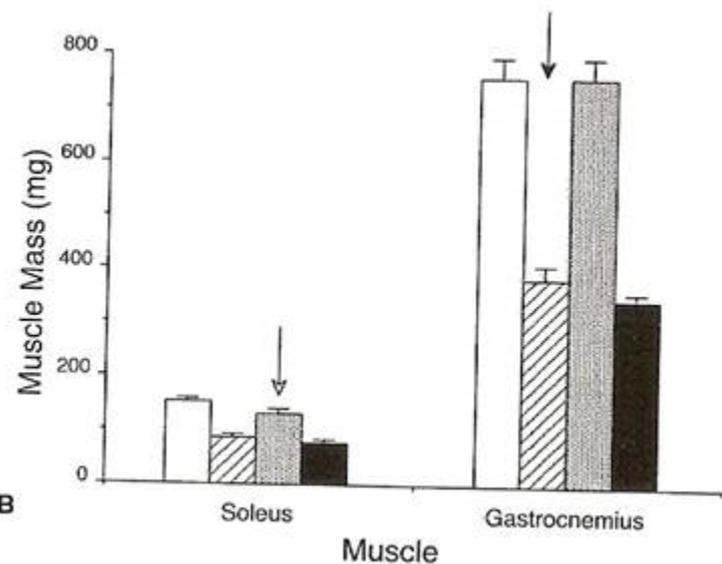
Efeitos da imobilização sobre o tecido conjuntivo muscular

- ✓ Williams avaliou os efeitos do alongamento no músculo sóleo de ratos imobilizados na posição de encurtamento por 10 dias. A cada 2 dias a imobilização era removida e o músculo passivamente alongado por 15 min. O alongamento manteve a amplitude normal da articulação bem como preveniu a proliferação de tecido conjuntivo.

(Williams , Ann Rheum Dis 1988; 47(12):1014-16)



A



B

FIGURE 5-2. (A) Change in EMG activity from the rat soleus and medial gastrocnemius immobilized in the different positions denoted by different shading patterns. **(B)** Change in muscle mass from the rat soleus and medial gastrocnemius immobilized in different positions. Note that EMG changes are not paralleled by mass changes (arrows). (Data from: Fournier, M., Roy, R.R., Perham, H., Simard, C.P., Edgerton, V.R. (1983). Is limb immobilization a model of muscle disuse? *Experimental Neurology*, 80, 147-156.)

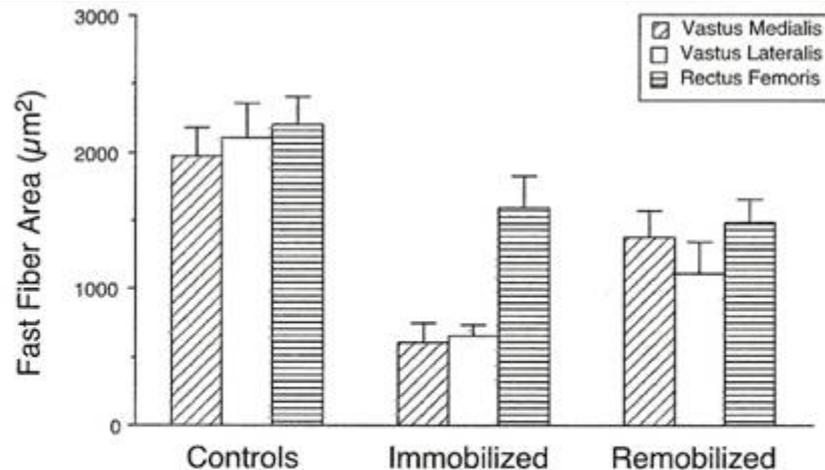
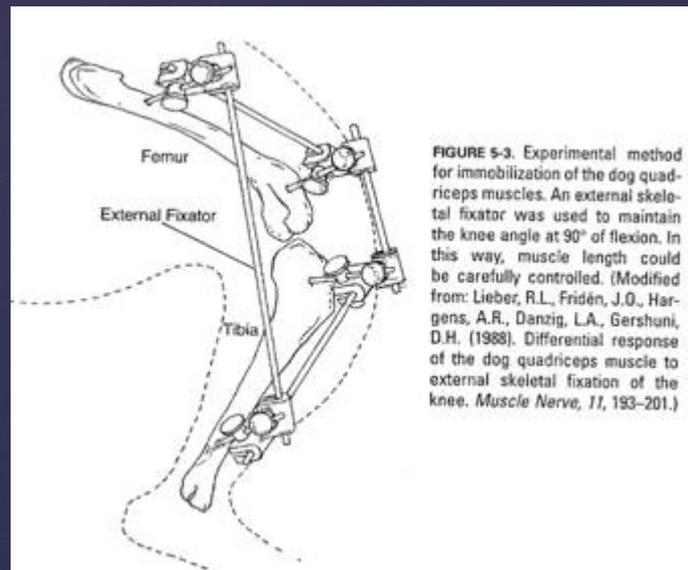


FIGURE 5-6. Graph of fast fiber area from control, immobilized, and remobilized dog quadriceps muscles. Note that the magnitude of atrophy was muscle specific. Upon remobilization, muscles returned to parity. (From Lieber, R.L., Fridén, J.O., Hargens, A.R., Danzig, L.A., Gershuni, D.H. (1988). Differential response of the dog quadriceps muscle to external skeletal fixation of the knee. *Muscle Nerve*, 11, 193-201 and Lieber, R.L., McKee-Woodburn, T., Fridén, J., Gershuni, D.H. (1989). Recovery of the dog quadriceps after ten weeks of immobilization followed by four weeks of remobilization. *Journal of Orthopaedic Research*, 7, 408-412.)

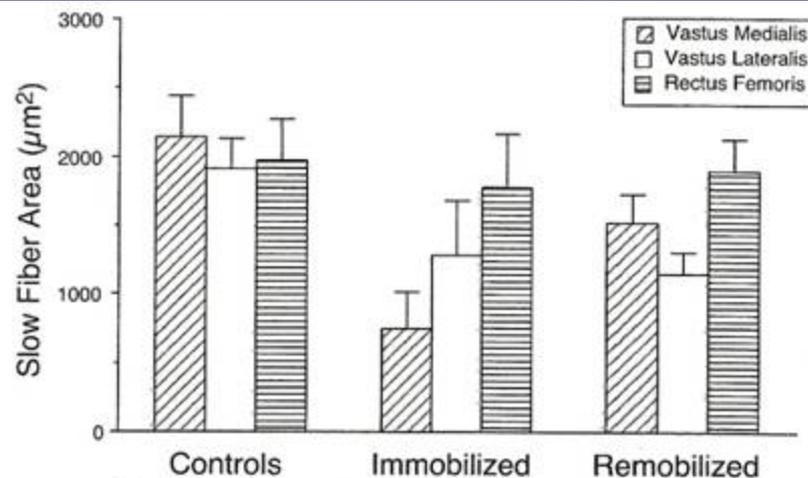
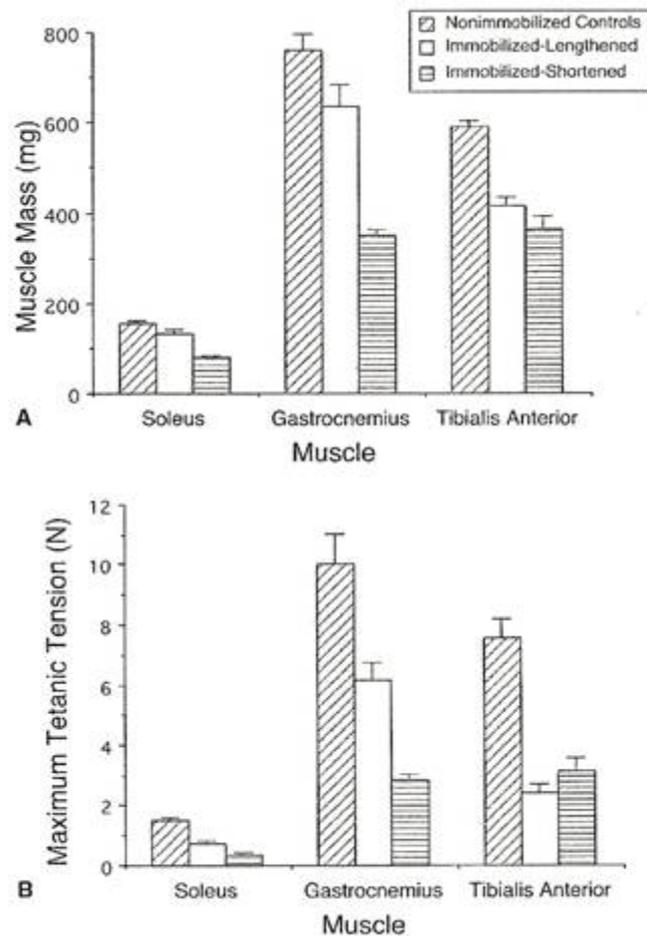


FIGURE 5-7. Graph of slow fiber area from control, immobilized, and remobilized dog quadriceps muscles. (From Lieber, R.L., Fridén, J.O., Hargens, A.R., Danzig, L.A., Gershuni, D.H. (1988). Differential response of the dog quadriceps muscle to external skeletal fixation of the knee. *Muscle Nerve*, 11, 193-201 and Lieber, R.L., McKee-Woodburn, T., Fridén, J., Gershuni, D.H. (1989). Recovery of the dog quadriceps after ten weeks of immobilization followed by four weeks of remobilization. *Journal of Orthopaedic Research*, 7, 408-412.)

FIGURE 5-8. (A) Muscle mass and (B) P_o from normal and immobilized rat skeletal muscles. Note that mass and P_o changes are not uniquely correlated. Mass is thus a poor predictor of muscle tension. Note also that immobilization in a lengthened position spares the muscle of mass and tension losses which accompany immobilization in the shortened position. (Data from: Simard, C.P., Spector, S.A., Edgerton, V.R. (1982). Contractile properties of rat hindlimb muscles immobilized at different lengths. *Experimental Neurology*, 77, 467-482.)



Referências Bibliográficas

1) Akeson WH, Amiel D. Effects of immobilization on joints. *Clinical Orthop. Rel. Research*, 1987: **219** (june); 28-37.

2) Booth FW. Physiologic and biochemical effects of immobilization on muscle. *Clin . Orthop. Relad. Res*, 1987:**219** (june); 15-20.

3) Lieber, R.L. Skeletal Muscle Structure and Function. Baltimore: Williams & Wilkins, 2002.

4) Watkins, J. Estrutura e função do sistema musculoesquelético. Porto Alegre: Artmed Editora, 2001.