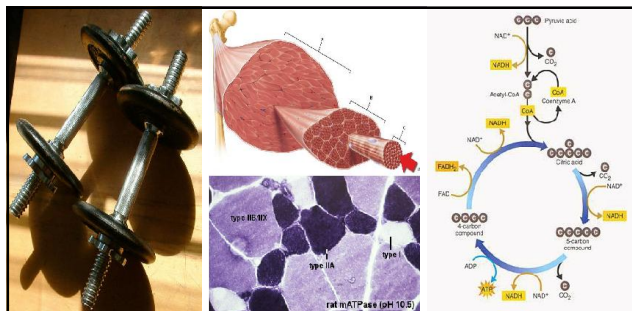




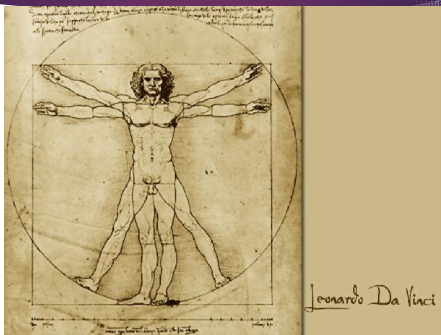
Fisiologia Neuromuscular e Metabolismo energético

Prof. Dr. Rafael Herling Lambertucci – Universidade Cruzeiro do Sul – São Paulo / SP

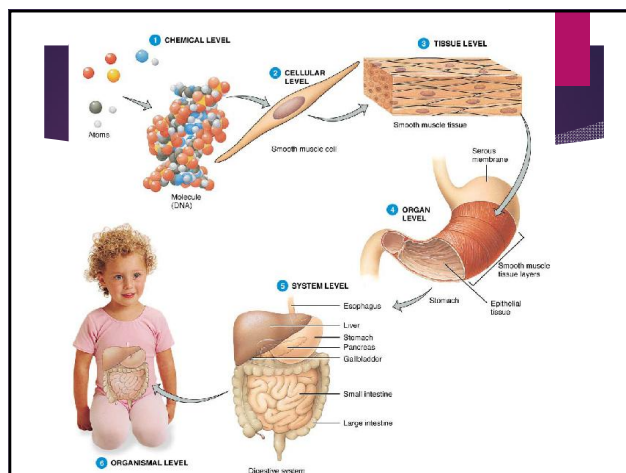
Ementa

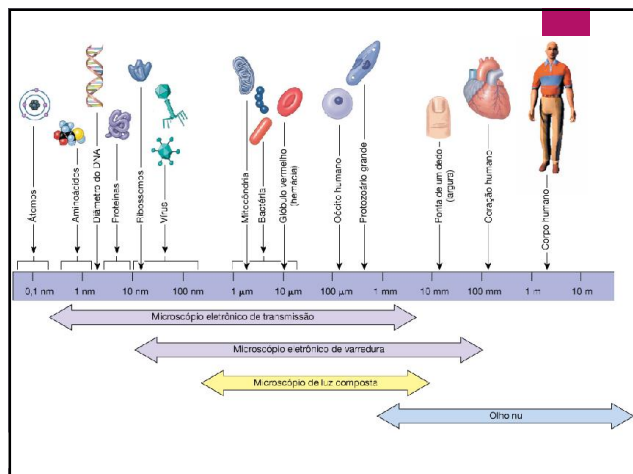
- Fisiologia da contração muscular (neuromuscular), tipos de contração e sua relação com o metabolismo energético, tipos de substratos energéticos, integração metabólica na oferta de energia, fadiga metabólica e a dinâmica corporal dos nutrientes essenciais e não essenciais ao organismo humano.

Corpo Humano



Leonardo Da Vinci





O que é necessário saber?

- ▶ Citologia;
- ▶ Histologia;
- ▶ Fisiologia;
- ▶ Bioquímica;
- ▶ Biologia molecular...

CITOLOGIA

Célula

- ▶ Denominação dada pela primeira vez em 1665 por Robert Hook;
- ▶ Utilizou o termo para descrever "pequenos buracos" que ele visualizava em uma cortiça;
- ▶ Trata-se da unidade estrutural e funcional básica e viva do corpo;
- ▶ Compostas por 5 substâncias básicas: água, eletrólitos (íons), proteínas, lipídios, carboidratos.

Água

- ▶ Principal componente celular;
- ▶ Muitas espécies químicas são dissolvidas ou ficam suspensas nela;
- ▶ Aprox. 70-85% do volume celular (exceto adipócitos).

Íons

- ▶ Inorgânicos;
- ▶ Necessários para o controle de diversas funções celulares.

Proteínas

- ▶ Substância mais abundante após a água (10-20%);
- ▶ Possui funções estruturais (citoesqueleto) e funcionais (transportadores e enzimas).

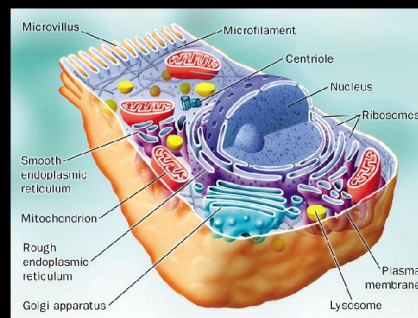
Lipídios

- ▶ Aprox. 2% da massa celular (fosfolipídios e colesterol);
- ▶ Maior reserva de nutrientes;
- ▶ Células especializadas - adipócitos (até 95%).

Carboidratos

- ▶ Pequeno papel estrutural e grande papel na nutrição;
- ▶ Aprox. 1% massa celular (exceto músculo 3% e hepatócitos 6%);
- ▶ Glicose sempre presente no líquido extracelular.

Célula Generalizada



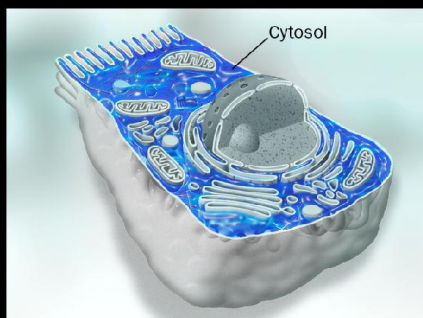
Células

- ▶ Podem ser divididas em 3 componentes principais:
 - Membrana plasmática;
 - Citosol;
 - Organelas.

Citosol (citoplasma)

- ▶ A porção espessa e semifluida do citoplasma é o citosol;
- ▶ Composto por aproximadamente 75 a 90 % de água;
- ▶ Local onde ocorre decomposição e síntese de substâncias de uso celular.

Citosol



Organelas

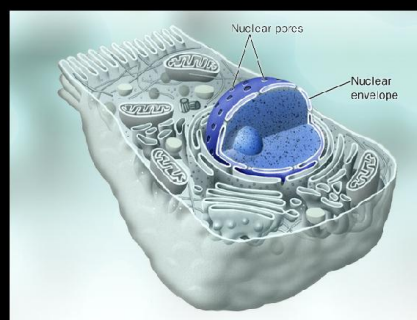
► “Pequenos órgãos” com características e papéis específicos no crescimento, na manutenção, no reparo e no controle celular;

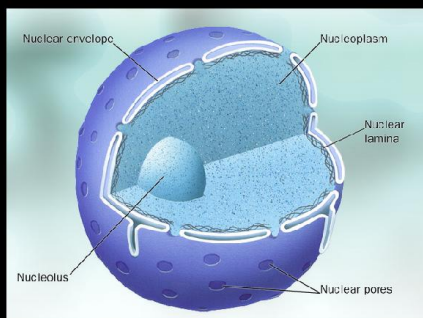
- Núcleo;
- Retículo Endoplasmático;
- Ribossomos;
- Complexo de Golgi;
- Lisossomos;
- Peroxissomos;
- Mitocôndrias;
- Citoesqueleto;
- Centrossomos e Centríolos.

Núcleo (centro de controle)

- *Nucleus* = cerne;
- Maior estrutura na célula;
- Contém os genes controlando assim as atividades celulares;
- Possui em seu interior o nucléolo, que é formado por proteínas, RNA e DNA.

Núcleo Celular



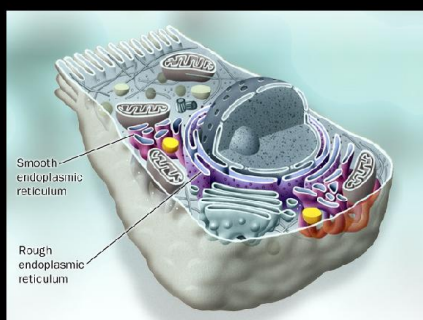


Retículo Endoplasmático

► Dividido em:

- Liso ou agranular (não possui ribossomos) → sintetiza substâncias lipídicas e desintoxica certas moléculas. Formam também fosfolípidios e colesterol (incorporam-se na membrana);
- Rugoso ou granular (presença de ribossomos) → sintetiza proteínas que serão secretadas.

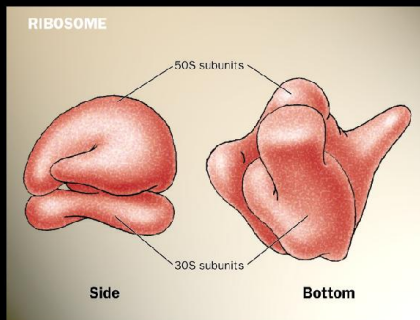
Retículo Endoplasmático



Ribossomos

- Grânulos minúsculos formados por RNA e proteínas;
- Estão espalhados no citosol ou ligados ao retículo endoplasmático;
- Sítio da síntese proteica.

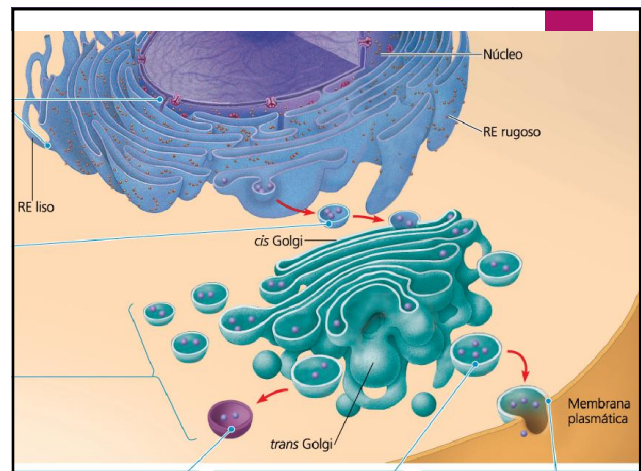
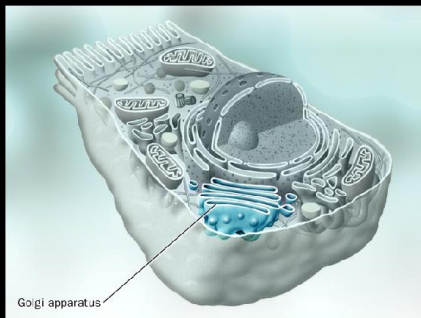
Ribossomo



Complexo de Golgi

- Sacos achatados (cisternas) empilhados como pratos nos quais o produto do RE continua sendo processado;
- Processa, seleciona, empacota e distribui, através de vesículas secretórias: proteínas, lipídios para inclusão na membrana, hormônios e lisossomos.

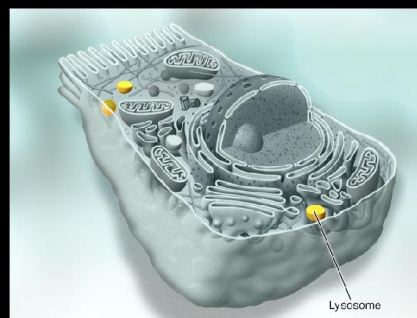
Complexo de Golgi



Lisossomos

- ▶ *lysis* (dissolução) + *soma* (corpo);
- ▶ Sacos delimitados por membrana formados a partir do complexo de Golgi;
- ▶ Contêm enzimas digestivas poderosas (hidrolases) que digerem estruturas celulares e corpos estranhos.

Lisossomos



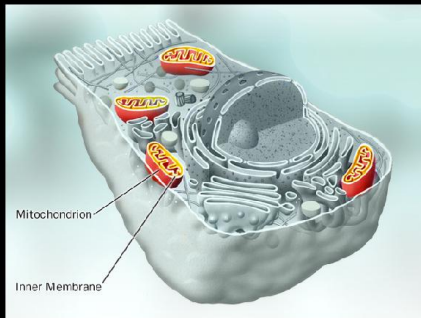
Peroxissomos

- ▶ Os peroxissomos contêm enzimas oxidativas com as quais oxidam determinadas moléculas orgânicas (álcool);
- ▶ Formados por auto-replicação ou pelo RE liso, e não via complexo de Golgi.

Mitocôndria (casa de força)

- ▶ *mitos* (fio) + *chondros* (grânulos);
- ▶ Pequenas estruturas arredondadas, ou em formato de bastão;
- ▶ Aparecem distribuídas no citoplasma;
- ▶ Possui duas membranas, chamadas de interna e externa;
- ▶ Na membrana interna ocorrem uma série de reações que acabam por gerar ATP.

Mitocôndria



Citoesqueleto

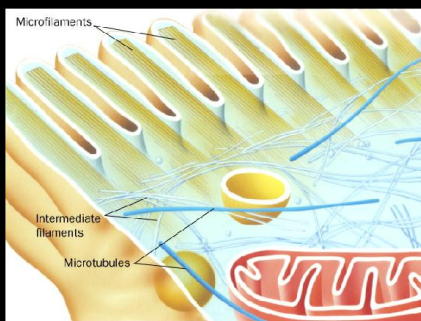
► Constituído por microfilamentos, microtúbulos e filamentos intermediários;

- Microfilamentos: Envolvidas na contração das células musculares, proporcionam suporte e forma e auxiliam no movimento celular e intracelular;

- Microtúbulos: Proporcionam suporte e forma, formam canais condutores intracelulares e auxiliam no movimento celular;

- Filamentos intermediários: proporcionam reforço estrutural em algumas células.

Citoesqueleto

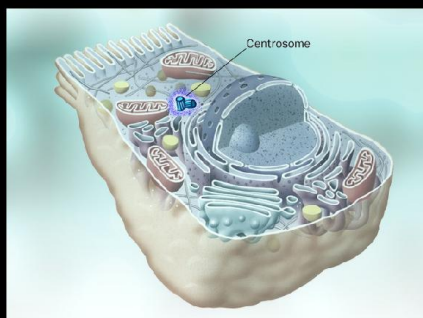


Centrossomo e centríolos

► Os centrossomos auxiliam na organização do fuso mitótico durante a divisão celular;

► Os centríolos formam e regeneram flagelos e cílios.

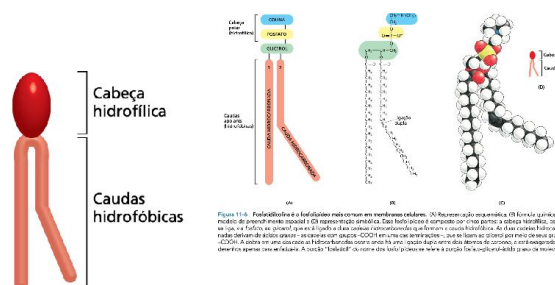
Centrossomo e centríolos



Membrana Plasmática

- Circunda a célula e é constituída por uma bicamada lipídica, por proteínas e carboidratos (55% proteínas, 25% fosfolipídios, 13% colesterol, 4% outros lipídios e 3% carboidratos).

Fosfolipídios (permeabilidade seletiva)



Colesterol

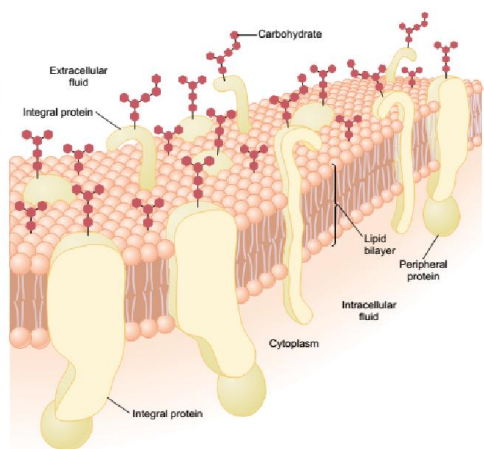
- ▶ Encontram-se dissolvidos na bicamada lipídica e controlam o grau de permeabilidade da membrana;
- ▶ Impermeável a substâncias hidrossolúveis (íons, glicose);
- ▶ Permeável a substâncias lipossolúveis (O₂, CO₂ e álcool).

Proteínas

- ▶ Proteínas diferentes estão encravadas na membrana (periféricas e integrais);
- Periféricas → atuam como moléculas de adesão celular ou enzimas;
- Integrais → carreadoras, canais (substâncias hidrossolúveis), receptores e enzimas.

Carboidratos

- ▶ Formam em conjunto com proteínas e lipídios algumas glicoproteínas e glicolipídios, respectivamente;
- ▶ Presentes na superfície externa celular e agem como receptores ou ligam-se entre si (diferentes células) ancoragem.



Membrana Plasmática

- ▶ Membrana limitante externa que separa as partes internas das células dos materiais extracelulares e do meio ambiente externo (porteiro);
- ▶ Formada por uma bicamada fosfolipídica e por proteínas (integrais ou periféricas).

Membrana Plasmática

► Funções:

1. Comunicação: Interage com outras células do corpo, células estranhas e várias substâncias químicas;
2. Manutenção de um gradiente eletroquímico;
3. Forma e proteção: Dá forma, delimita e protege o conteúdo interno das células;
4. Permeabilidade seletiva: Permite passagem de algumas substâncias e restringe a passagem de outras.

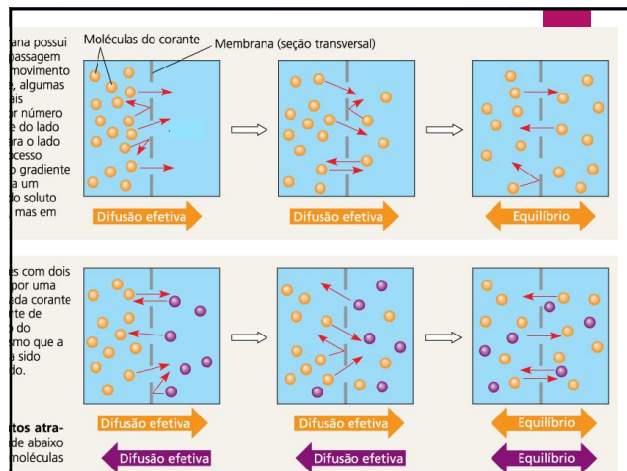
Transportes celulares

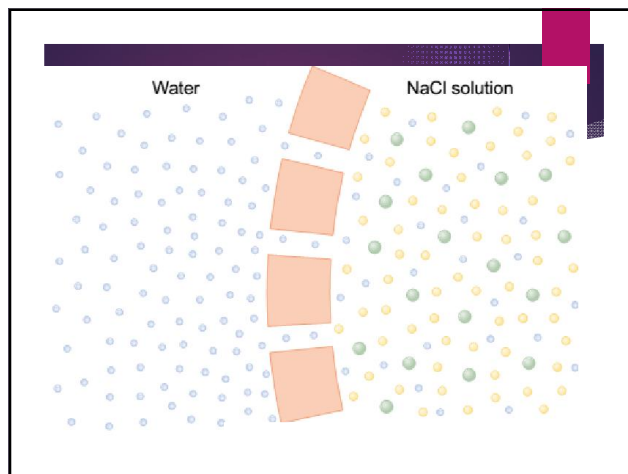
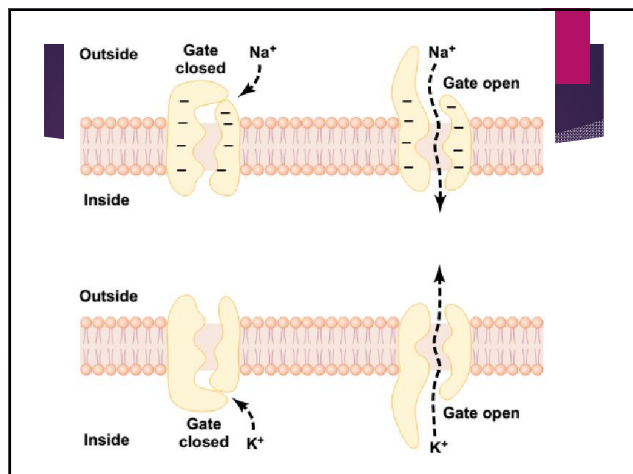
- Para uma célula viver, crescer e reproduzir ela deve obter nutrientes e outras substâncias do LEC;
- A maior parte dessas entram na célula por difusão ou transporte ativo.

Sem gasto de energia (transporte passivo)

► Difusão de substâncias:

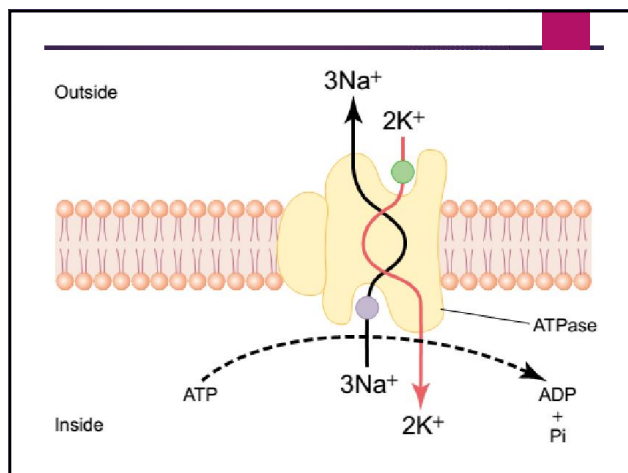
- Difusão simples;
- Difusão facilitada;
- Osmose.





Transportes com gasto de energia (ativo)

- ▶ As vezes torna-se necessário o transporte de substâncias de um local de menor [] para um de maior;
- ▶ Nesse caso os carreadores transportam substâncias contra seus gradientes elétricos e químicos;
- ▶ Essa forma de transporte, que requer energia, é conhecida como transporte ativo (ex.: íons, açúcares, e vários aa).



Potencias de membrana e de ação

Potencial de membrana

- Todas as células possuem membranas que apresentam um potencial elétrico;
- Formado pela diferença entre íons presentes no meio intra e extracelular (negativo dentro e positivo fora → aprox. - 90 mV);
- Alteração destes potenciais: controla funções celulares e transmite sinais.

Potencial de membrana

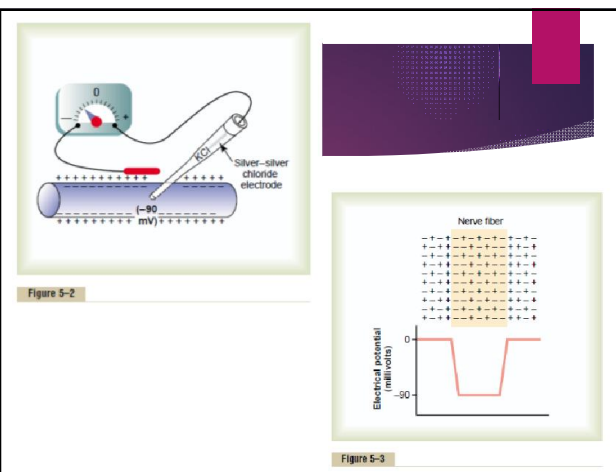
► Importante para:

- Células Nervosas: neurônios
 - Transmissão de sinais;
- Células Musculares: fibras musculares (Esquelético, Liso e Cardíaco)
 - Contração

	EXTRACELLULAR FLUID	INTRACELLULAR FLUID
Na ⁺	142 mEq/L	10 mEq/L
K ⁺	4 mEq/L	140 mEq/L
Ca ⁺⁺	2.4 mEq/L	0.0001 mEq/L
Mg ⁺⁺	1.2 mEq/L	56 mEq/L
Cl ⁻	103 mEq/L	4 mEq/L
HCO ₃ ⁻	26 mEq/L	10 mEq/L
Phosphates	4 mEq/L	75 mEq/L
SO ₄ ⁻	1 mEq/L	2 mEq/L
Glucose	90 mg/dl	0 to 20 mg/dl
Amino acids	30 mg/dl	200 mg/dl ?
Cholesterol	0.5 g/dl	2 to 95 g/dl
Phospholipids		
Neutral fat		
PO ₂	35 mm Hg	20 mm Hg ?
PCO ₂	46 mm Hg	50 mm Hg ?
pH	7.4	7.0
Proteins	2 g/dl (5 mEq/L)	16 g/dl (40 mEq/L)

Potencial de difusão

- ▶ A concentração de K^+ é maior no LIC → uma maior quantidade deste íon saia (carga positiva);
- ▶ Da mesma forma a concentração de Na^+ é maior no LEC → uma maior quantidade deste íon entra na célula.

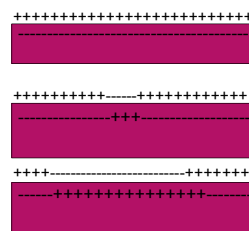


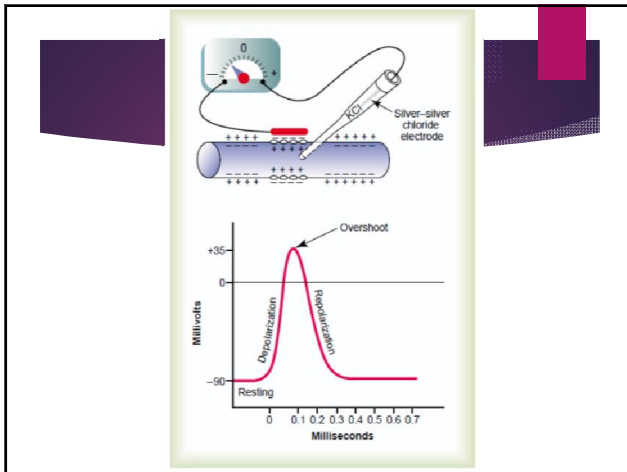
Potencial de Ação

- ▶ Forma de transmissão de sinais;
- ▶ Variações rápidas do potencial de membrana;
- ▶ Fluem rapidamente ao longo de toda membrana;
- ▶ Ocorre por variação do potencial negativo (repouso) para positivo (despolarização) e volta rapidamente para negativo (repolarização).

Propagação do potencial de ação

- ▶ Trafega até toda membrana ficar despolarizada.





Potencial de Ação

► Ocorre em 3 estágios:

- 1- Repouso;
- 2- Despolarização;
- 3- Repolarização.

1º Estágio: Repouso

- Membrana Polarizada;
- Repouso: - 90mV.

2º Estágio: Despolarização

- Membrana permeável aos íons Na^+ ;
- Fluxo intenso de Na^+ para o interior das células;
- Potencial negativo é rapidamente neutralizado.

3º Estágio: Repolarização

- ▶ Após décimos de milésimos de segundos, os canais de Na^+ se fecham e os de K^+ se abrem mais que o normal;
- ▶ Cessa a entrada de sódio nas células e ocorre rápida difusão de potássio para fora das células;
- ▶ Reestabelecimento do potencial negativo da membrana.

Inversão dos íons...

- ▶ Importância da bomba de Na^+ e K^+ !!!!

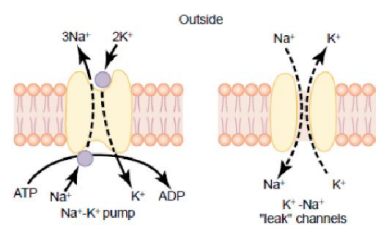


Figure 5-4

Transmissão de sinais nos troncos nervosos

Neurônio

- ▶ O SNC possui mais de 100 bilhões de neurônios;
- ▶ Se comunicam transmitindo sinais de axônio para dendritos;
- ▶ Se comunicam através de sinapses.

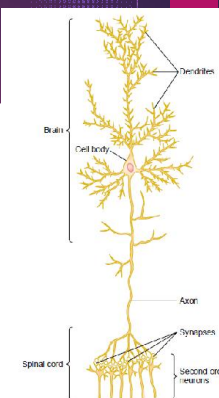
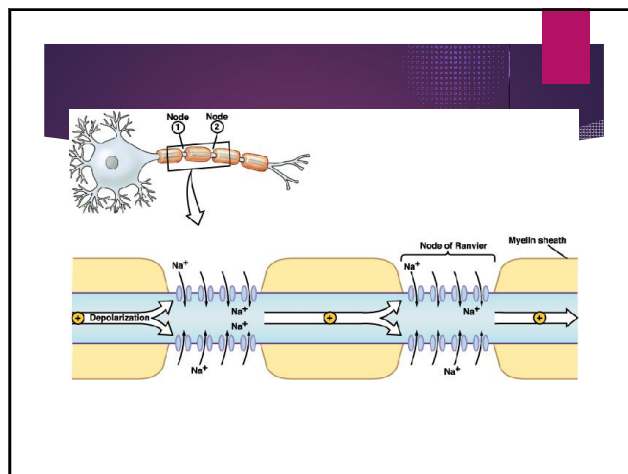
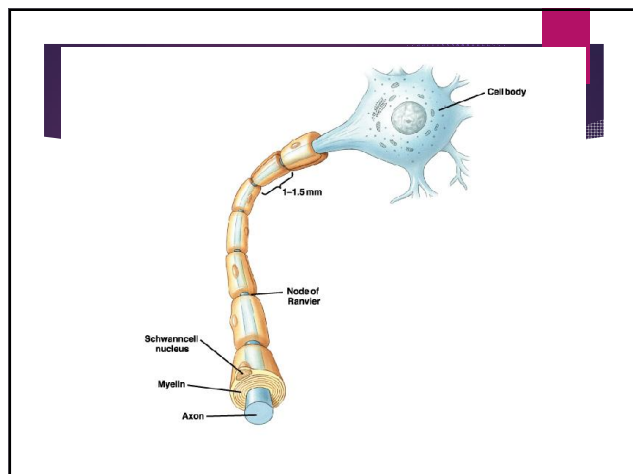
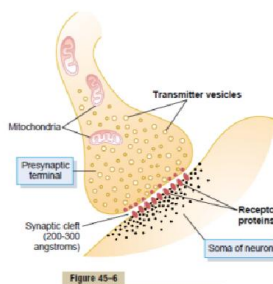


Figure 45-1



Sinapse

- ▶ Existem dois tipos (química e elétricas);
- ▶ As químicas são as principais em humanos;
- ▶ Um 1º neurônio (pré-sináptico) secreta na sinapse uma substância chamada neurotransmissor;
- ▶ Este vai atuar em receptores de membrana do neurônio seguinte (pós-sináptico).



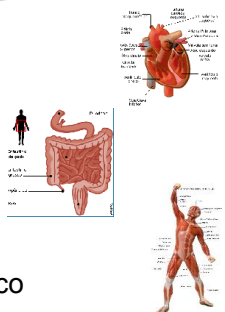
Sistema muscular esquelético

Tipos de tecido muscular

➤ Músculo Estriado Cardíaco

➤ Músculo Liso Visceral

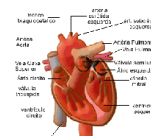
➤ Músculo Estriado Esquelético



Tipos de tecido muscular

➤ Músculo estriado cardíaco:

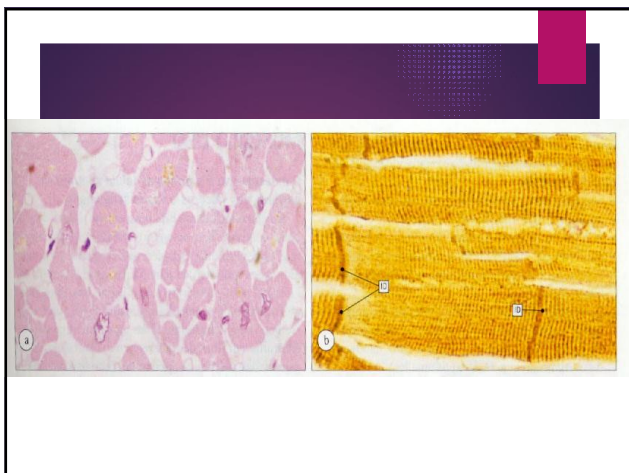
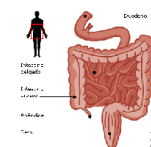
- Formado por células alongadas e ramificadas, que se unem por intermédio dos discos intercalares e apresentam estrias transversais. Apresentam contração involuntária, vigorosa e rítmica.

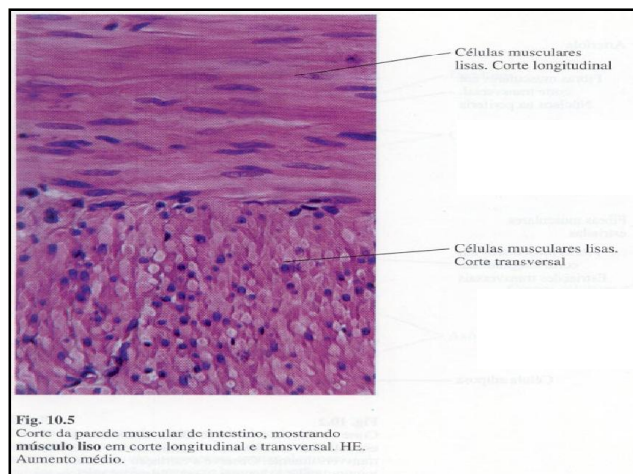


Tipos de tecido muscular

➤ Músculo liso:

- Formado por aglomerados de células fusiformes que não possuem estrias transversais. Seu processo de contração é lento e não está sujeito ao controle voluntário.

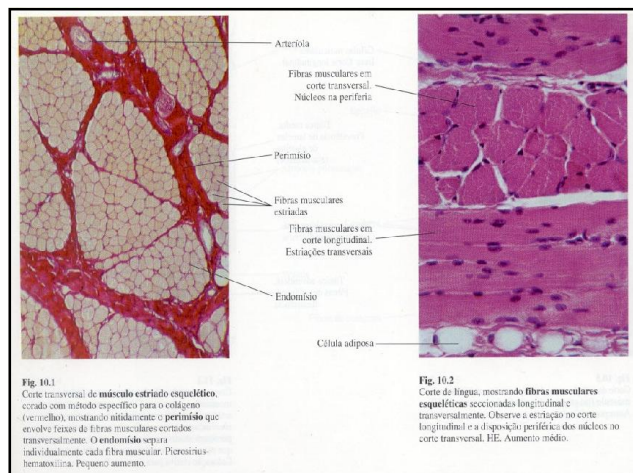




Tipos de tecido muscular

► Músculo estriado esquelético:

- Formado por feixes de células cilíndricas muito longas e multinucleadas, apresentam estriações transversais. Têm contração rápida, vigorosa e sujeito ao controle voluntário.



Músculo Estriado Esquelético

- O corpo humano possui mais de 400 músculos esqueléticos, representando 40 - 50% de todo peso corporal.



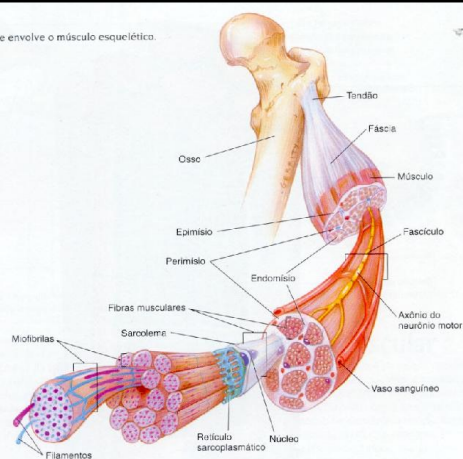
Funções do músculo esquelético

- 1 - Geração de força para locomoção;
- 2 - respiração;
- 3 - sustentação postural;
- 4 - produção de calor durante períodos de exposição ao frio.

Estrutura do músculo esquelético

- **Sarcolema:** membrana plasmática e um revestimento externo por uma fina camada de polissacarídeo que contém inúmeras e finas fibrilas colágenas;
- Na extremidade a camada superficial se funde com uma fibra tendinosa.

Figura 8.1
Tecido conjuntivo que envolve o músculo esquelético.



Estrutura do músculo esquelético

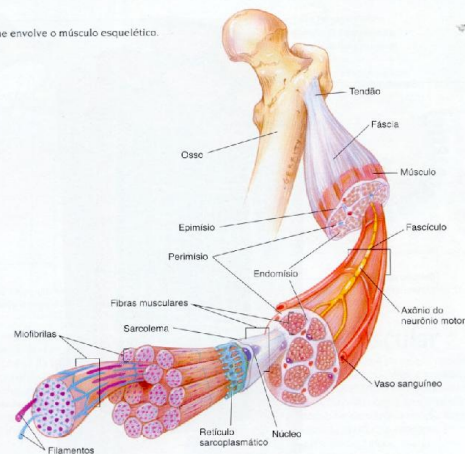
- Todos os músculos esqueléticos são constituídos por inúmeros fascículos;
- Cada um destes fascículos são formados por inúmeras fibras (células);
- Cada fibra é constituída por unidades sucessivamente menores → miofibrilas;
- Cada miofibrila é formada por cerca de 1500 filamentos de miosina e 3000 filamentos de actina → grandes proteínas responsáveis pela contração muscular.

Estrutura do músculo esquelético

- ▶ Contém envoltórios de tecido conjuntivo:
 - Endomísio:** envolve cada fibra muscular;
 - Perimísio:** envolve um feixe de fibras musculares (fascículo);
 - Epimísio:** circunda todo o músculo;
- ▶ **Tendões:** Formados pelo afinilamento e mistura das camadas envoltórias de tecido conjuntivo, unem as extremidades dos músculos à cobertura mais externa do esqueleto (o periósteo).

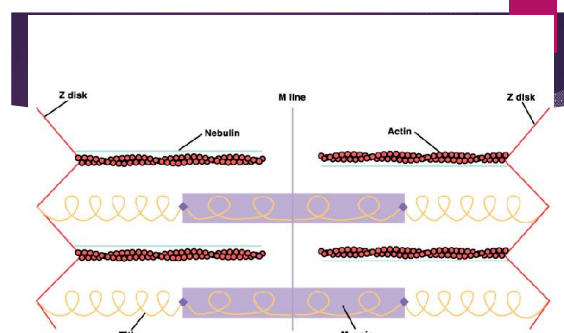
Figura 8.1

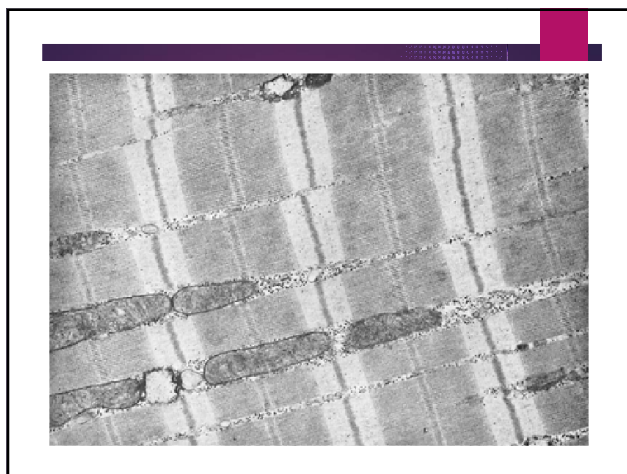
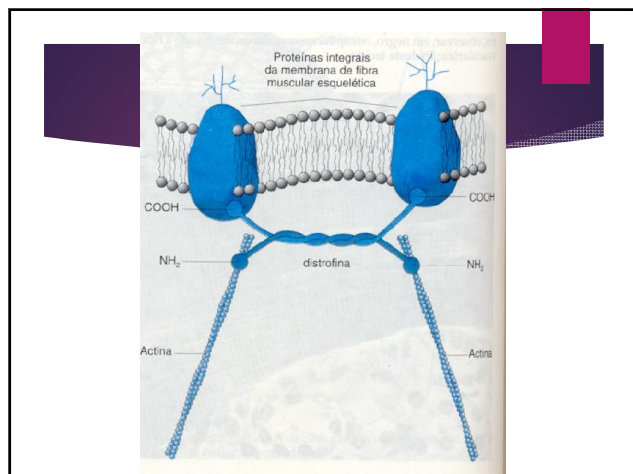
Tecido conjuntivo que envolve o músculo esquelético.



Miofibrilas

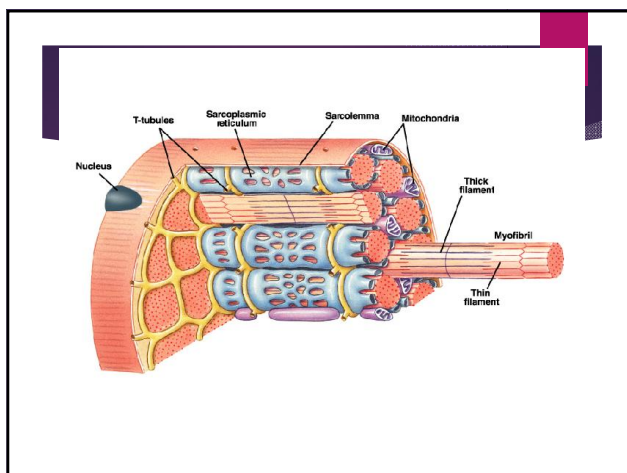
- ▶ Extremidade dos filamentos de actina e miosina fixam-se ao denominado disco Z;
- ▶ **Disco Z** – filamentos que passam transversalmente através da miofibrila e de uma miofibrila para outra;
- ▶ **Distrofina:** proteína de um complexo de glicoproteínas (integradas) que fixa a actina ao sarcolema;
- ▶ **Titina:** responsável por fixar e estabilizar a miosina;
- ▶ **Sarcômero:** a porção da miofibrila localizada entre dois discos Z.





Sarcoplasma

- ▶ Citoplasma do músculo esquelético;
- ▶ Possui muito K^+ , magnésio, fosfato e diversas enzimas;
- ▶ Rico em mitocôndrias (paralelo as miofibrilas - ATP);
- ▶ Retículo sarcoplasmático.

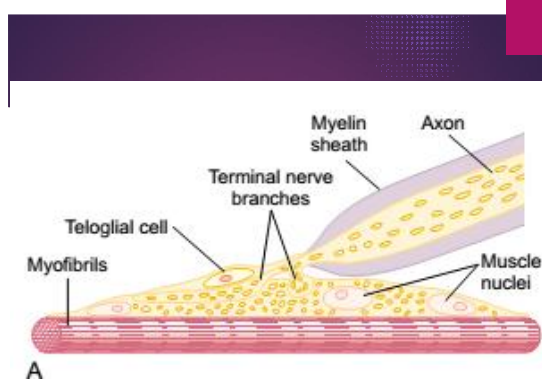


Contração muscular

Excitação do músculo esquelético

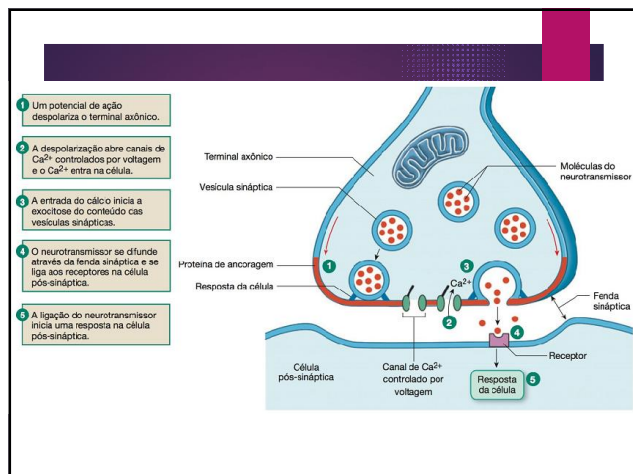
► Junção neuromuscular:

- Transmissão de impulsos dos nervos às fibras musculares;
- Fibras musculares inervadas por grandes fibras nervosas mielinizadas.



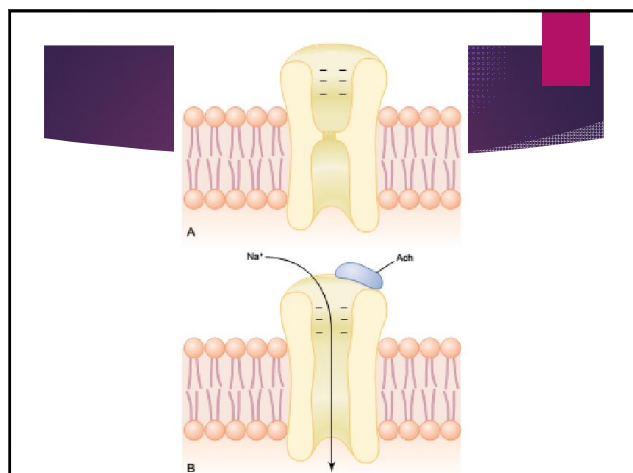
Junção neuromuscular - axônios

- Potencial de ação propaga pelo terminal ocorre a abertura de canais de cálcio voltagem dependente (Ca^{2+} entra na célula);
- Acetilcolina armazenada nas vesículas sinápticas é secretada nas fendas;
- Receptores específicos de acetilcolina na membrana pós sináptica a reconhecem.



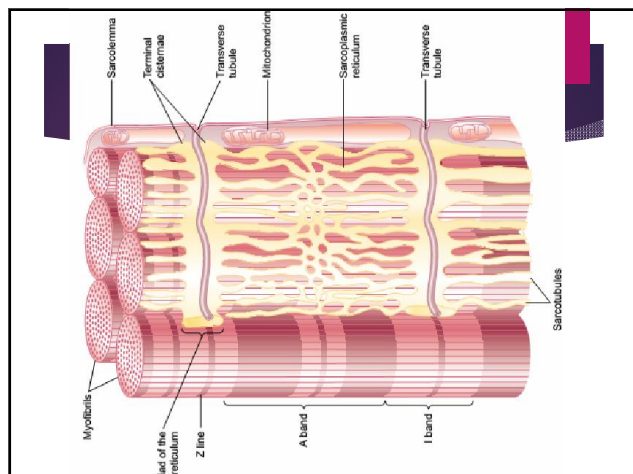
Junção neuromuscular - músculo

- Ligação de acetilcolina no receptor → abertura do canal;
- Entrada de todos íons positivos, principalmente Na^+ ;
- Inicia o potencial de ação que propaga por toda a membrana muscular, acarretando na contração;
- A acetilcolina é removida pela ação de acetilcolinesterases, impedindo a re-excitação.



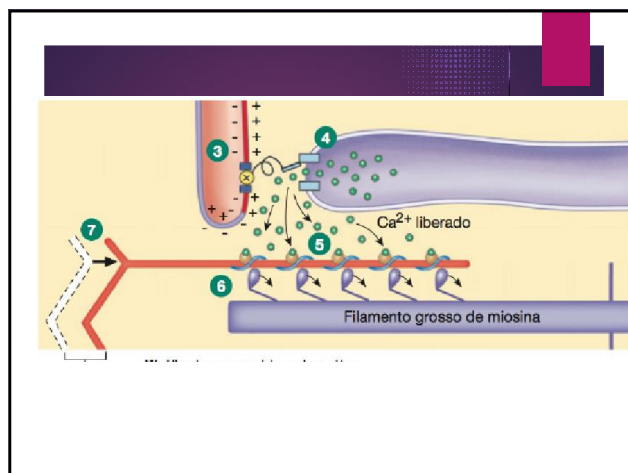
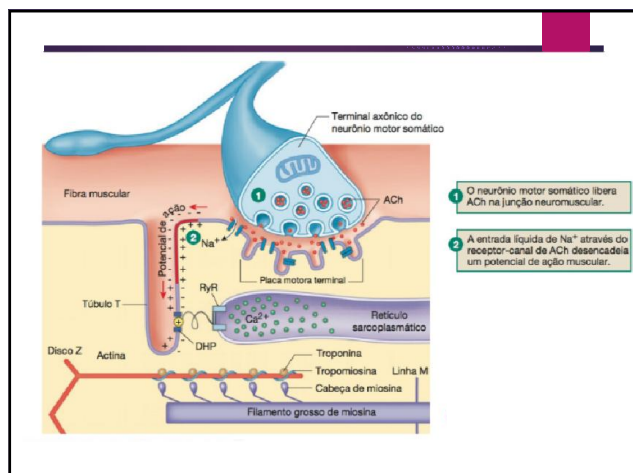
Importância dos Túbulos T

- Túbulos T circundam as miofibrilas;
- Penetram por toda espessura da fibra;
- Originam-se da membrana celular;
- Prolongamentos internos da membrana celular;
- Há propagação do potencial de membrana pelo túbulo T, levando a contração muscular.

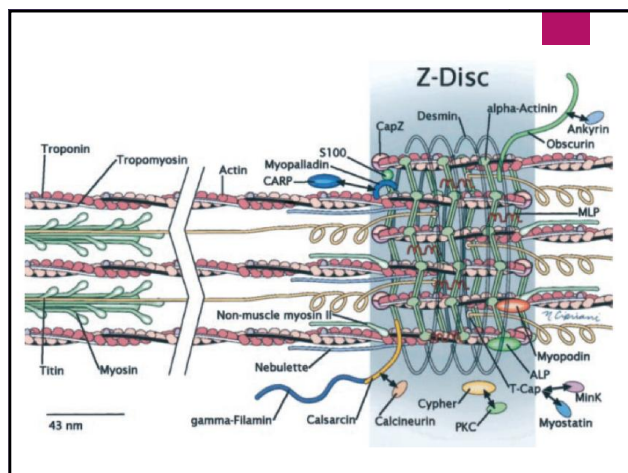
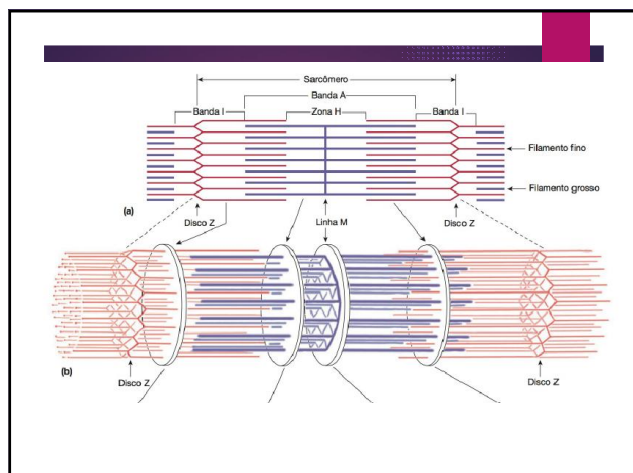
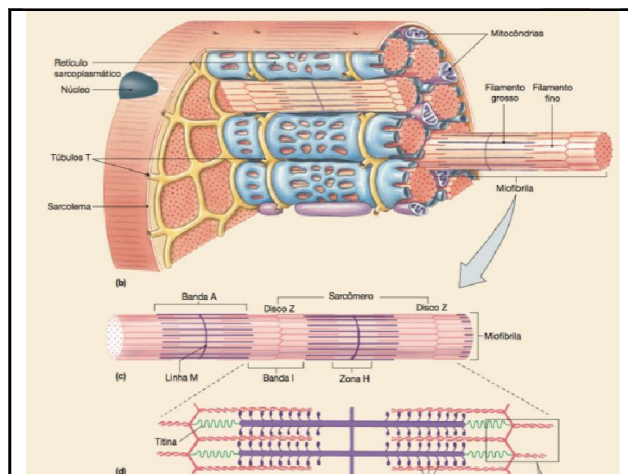


Potencial de ação muscular

- ▶ Potencial de ação nos túbulos T leva a liberação de cálcio do retículo sarcoplasmático;
- ▶ O cálcio é indispensável para que ocorra o processo de contração muscular → miofibrilas;
- ▶ Finalizada a contração, canais de cálcio no retículo sarcoplasmático (SERCA), bombeiam este íon de volta para o interior destas organelas.



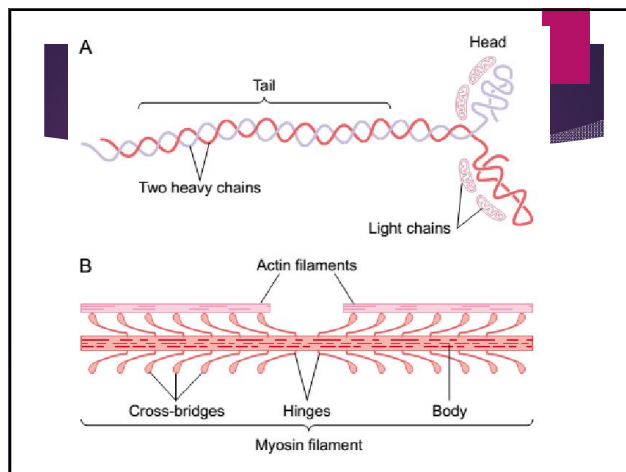
Organização e ação das miofibrilas na contração muscular



Filamentos de Miosina

→ Possui 2 estruturas importantes:

- ▶ **Cauda** da molécula de miosina → 2 cadeias pesadas que se enrolam em forma de hélice. Forma também o braço;
- ▶ Na extremidade, cada uma dessas moléculas se dobra formando a **cabeça** da miosina.

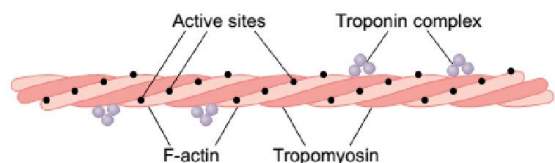


Filamentos de actina (actina F)

- ▶ Bases se inserem nos discos Z;
- ▶ Possuem sítios ativos (locais ativos) que se interagem com a miosina;
- ▶ Constituído por: **actina**, **tropomiosina** e **troponina**.

Tropomiosina e Troponina

- ▶ **Tropomiosina**: se enrolam formando espirais ao redor das actinas;
- Repouso → estão sobre os sítios ativos não havendo portanto atração entre os filamentos de actina e miosina;
- ▶ **Troponina**: presa à tropomiosina e une-a à actina. Composta por 3 unidades de proteína:
 - Troponina I: grande afinidade com actina;
 - Troponina T: afinidade com Tropomiosina;
 - Troponina C: afinidade com cálcio.

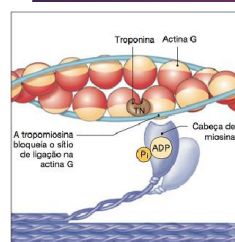


Interação entre os filamentos

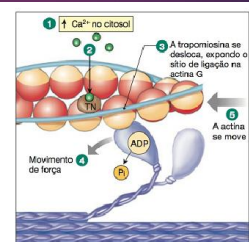
- **Relaxado:** sítios ativos da actina são inibidos pelo complexo Tropomiosina-Troponina;
- **Contração:** o complexo Tropomiosina-Troponina se desloca deixando os sítios ativos livres para interação.

Interação entre os filamentos

- Os sítios ativos da actina e as pontes cruzadas da miosina possuem grande afinidade de ligação;
- Repouso: forças inibidas → tropomiosina;
- Potencial de ação se propaga → liberação de cálcio pelo retículo sarcoplasmático;
- O cálcio se liga à troponina C, que altera sua conformação, puxando a tropomiosina → libera os sítios ativos.

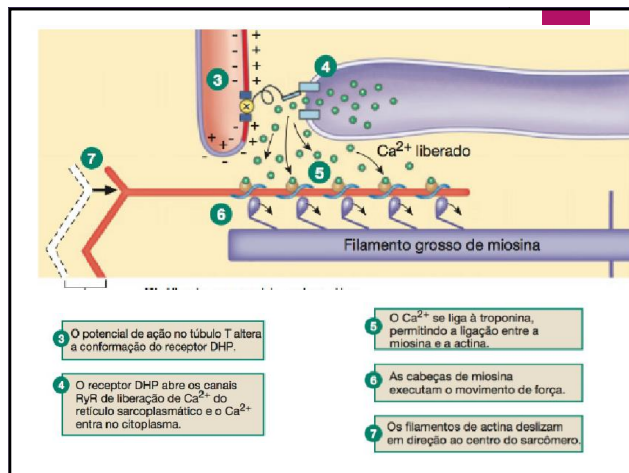
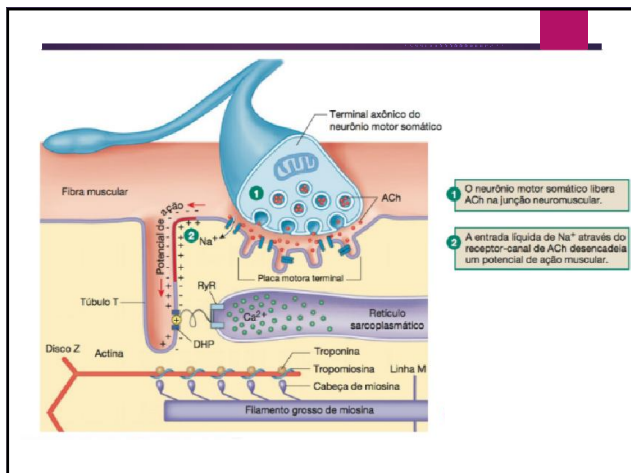
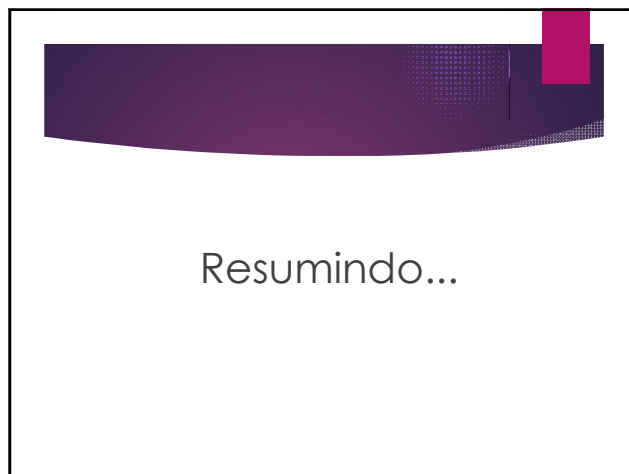
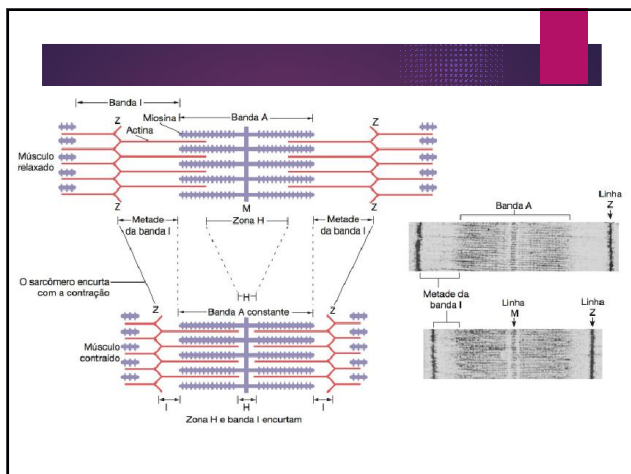


(a) Estado relaxado. Cabeça de miosina engatilhada.



(b) Início da contração.

- 1 Os níveis de Ca^{2+} aumentam no citosol.
- 2 O Ca^{2+} se liga à troponina (TN).
- 3 O complexo troponina- Ca^{2+} afasta a tropomiosina do sítio de ligação da miosina na actina G.
- 4 A miosina se liga à actina e completa o movimento de força.
- 5 O filamento de actina se move.



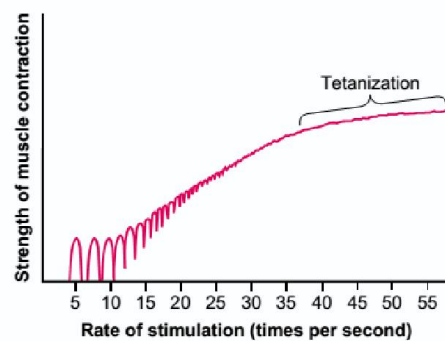
Princípio do Tudo-ou-Nada

- ▶ Se o estímulo é forte o suficiente para desencadear um potencial de ação no motoneurônio, todas as fibras musculares que participam da unidade motora são estimuladas para se contraírem sincronicamente;
- ▶ Não existe uma contração forte ou fraca de uma unidade motora, o impulso é ou não suficiente para provocar uma contração.

Como é feita a gradação da força?

Somação de força

- ▶ **Somação de múltiplas fibras:** aumento do número de unidades motoras que contraem, com excitação de pequenas UM primeiro;
- ▶ **Somação de frequência:** aumenta a frequência de contração;
- ▶ **Tetanização:** contrações tão rápidas que chegam a se fundir, estado contrátil pleno.

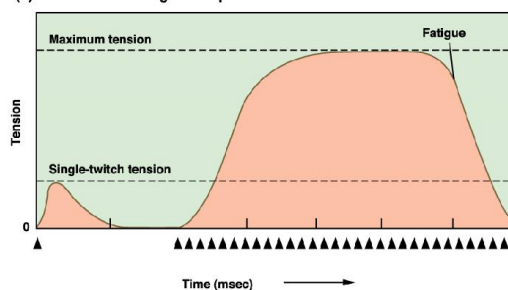


Tétano



Pintura de Sir Charles Bell, 1809

(d) Summation leading to complete tetanus



Tipos de contração

- ▶ Contração Concêntrica: o músculo se encurta e traciona outra estrutura, como um tendão, reduzindo o ângulo de uma articulação. Ex: Trazer um livro que estava sobre a mesa ao encontro da cabeça;
- ▶ Contração Excêntrica: quando aumenta o comprimento total do músculo durante a contração. Ex: idem anterior, porém quando recolocamos o livro sobre mesa;
- ▶ Contração Isométrica: servem para estabilizar as articulações enquanto outras são movidas. Gera tensão muscular sem realizar movimentos. É responsável pela postura e sustentação de objetos em posição fixa. Ex: idem anterior, porém quando o livro é sustentado em abdução de 90°.

Contração muscular
demanda energia?

De que forma?

Energética da contração muscular

- Necessidade de muito ATP;
- Utilizado para o deslocamento da actina;
- Energia para bombear cálcio para o interior do ret. sarcoplasmático após contração;
- Energia para bomba Na^+/K^+ manter ambiente iônico;
- Estoque suficiente para 2 segundos de contração.

Comprimento muscular e força de contração

- Existe um grau de distensão ideal para a contração máxima da musculatura;
- É importante sempre haver um grau de sobreposição dos filamentos de actina e miosina;
- Se encurtada, a força de contração é reduzida;
- Se hiperestendida, a força de contração pode ser próxima de zero.

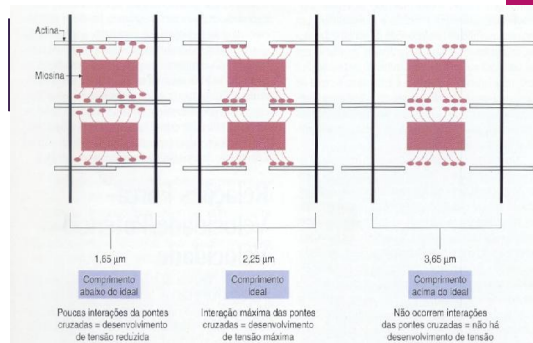
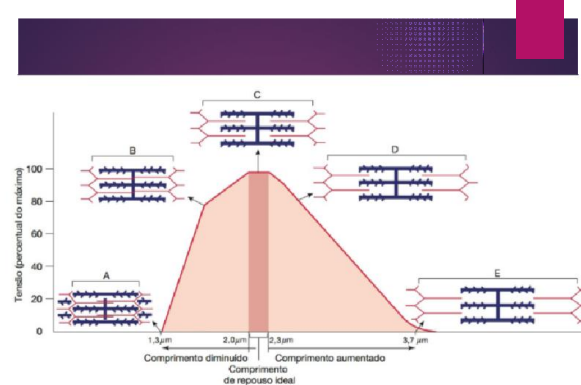


Figura 8.17

Relações comprimento – tensão do músculo esquelético. Há um comprimento ideal do músculo, o qual produz uma força máxima quando estimulado. Os comprimentos acima ou abaixo do ideal acarretam redução da quantidade de força quando estimulados.



O que é importante fazer antes de iniciar uma atividade física? Por quê?

Aquecimento é necessário?

- ▶ Aumento na velocidade de condução do PA no músculo;
- ▶ Maior vasodilatação: maior aporte de oxigênio e nutrientes p/ o músculo;
- ▶ **Diminuição** da Rigidez Muscular (Passiva):
 - Rigidez causada pelas ligações de actina e miosina durante o repouso.
 - Exercício leve quebra um pouco dessas ligações;
 - ATP é necessário para a quebra das ligações.

Cochrane Database Syst Rev. 2011 Jul 6;(7):CD004677.

Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise.

Herbert RD, de Noor DM, Kummen SJ

Musculoskeletal Division, The George Institute for Global Health, PO Box M201, Missenden Road, Camperdown, Sydney, Australia, NWS 2050.

Abstract

BACKGROUND: Many people stretch before or after engaging in athletic activity. Usually the purpose is to reduce risk of injury, reduce soreness after exercise, or enhance athletic performance. This is an update of a Cochrane review first published in 2007.

OBJECTIVES: The aim of this review was to determine effects of stretching before or after exercise on the development of delayed-onset muscle soreness.

SEARCH STRATEGY: We searched the Cochrane Bone, Joint and Muscle Trauma Group Specialised Register (to 10 August 2005), the Cochrane Central Register of Controlled Trials (2010, Issue 1), MEDLINE (1966 to 8th February 2010), EMBASE (1988 to 8th February 2010), CINAHL (1982 to 23rd February 2010), SPORTDiscus (1949 to 8th February 2010), PEDro (to 15th February 2010) and reference lists of articles.

SELECTION CRITERIA: Eligible studies were randomised or quasi-randomised studies of any pre-exercise or post-exercise stretching technique designed to prevent or treat delayed-onset muscle soreness (DOMS). For the studies to be included, the stretching had to be conducted soon before or soon after exercise and muscle soreness had to be assessed.

DATA COLLECTION AND ANALYSIS: Risk of bias was assessed using The Cochrane Collaboration's 'Risk of bias' tool and quality of evidence was assessed using GRADE. Estimates of effects of stretching were converted to a common 100-point scale. Outcomes were pooled in fixed-effect meta-analyses.

MAIN RESULTS: Twelve studies were included in the review. This update incorporated two new studies. One of the new trials was a large field-based trial that included 2377 participants, 1220 of whom were allocated stretching. All other 11 studies were small, with between 10 and 30 participants receiving the stretch condition. Ten studies were laboratory-based and other two were field-based. All studies were exposed to either a moderate or high risk of bias. The quality of evidence was low to moderate. There was a high degree of consistency of results across studies. The pooled estimate showed that pre-exercise stretching reduced soreness at one day after exercise by, on average, half a point on a 100-point scale (mean difference -0.52, 95% CI -11.30 to 10.26; 3 studies). Post-exercise stretching reduced soreness at one day after exercise by, on average, one point on a 100-point scale (mean difference -1.04, 95% CI -6.88 to 4.79; 4 studies). Similar effects were evident between half a day and three days after exercise. One large study showed that stretching before and after exercise reduced peak soreness over a one week period by, on average, four points on a 100-point scale (mean difference -3.89, 95% CI -5.17 to -2.13). This effect, though statistically significant, is very small.

AUTHORS' CONCLUSIONS: The evidence from randomised studies suggests that muscle stretching, whether conducted before, after, or before and after exercise, does not produce clinically important reductions in delayed-onset muscle soreness in healthy adults.

Med Sci Sports Exerc. 2014 Mar;46(3):586-93. doi: 10.1261/mss.00000000000000136.

Effects of dynamic stretching on strength, muscle imbalance, and muscle activation.

Costello PE, Herda TJ, Herrick AS, Cramer JT

Author information

Abstract

PURPOSE: This study aimed to examine the acute effects of dynamic stretching on concentric leg extension and flexion peak torque, eccentric leg flexion peak torque, and the conventional and functional hamstring:quadriceps (H:Q) ratios.

METHODS: Twenty-one women (mean $\pm$ SD) age = 20.6 $\pm$ 2.1 yr, body mass = 64.5 $\pm$ 9.5 kg, height = 164.7 $\pm$ 6.5 cm) performed maximal voluntary isometric leg extension, flexion, and eccentric hamstring muscle actions at the angular velocities of 60°/s and 180°/s before and after a bout of dynamic hamstring and quadriceps stretching as well as a control condition.

RESULTS: Leg flexion peak torque decreased under both stretch (mean $\pm$ SD for 60°/s = 75.6 $\pm$ 4.3 to 77.4 $\pm$ 3.7 N m, 180°/s = 63.4 $\pm$ 3.7 to 66.1 $\pm$ 3.1 N m) and stretching (60°/s = 73.1 $\pm$ 3.9 to 65.8 $\pm$ 3.3 N m, 180°/s = 61.2 $\pm$ 3.3 to 54.7 $\pm$ 2.6 N m) conditions, whereas eccentric hamstring peak torque decreased only after the stretching (60°/s = 87.3 $\pm$ 5.1 to 73.3 $\pm$ 3.6 N m, 180°/s = 89.2 $\pm$ 4.4 to 77.0 $\pm$ 3.4 N m) intervention ($P \leq 0.05$).

Stretching also caused a decrease in conventional H:Q (60°/s = 0.58 $\pm$ 0.02 to 0.54 $\pm$ 0.02, 180°/s = 0.67 $\pm$ 0.02 to 0.57 $\pm$ 0.03) and functional H:Q ratios (60°/s = 0.59 $\pm$ 0.02 to 0.56 $\pm$ 0.03, 180°/s = 1.08 $\pm$ 0.06 to 0.66 $\pm$ 0.03) ($P \leq 0.05$).

CONCLUSIONS: Because dynamic stretching reduced concentric and eccentric hamstring strength as well as the conventional and functional H:Q ratios, fitness and allied-health professionals may need to be cautious when recommending dynamic rather than static stretching to maintain muscle force.

Scand J Med Sci Sports. 2012 Feb 8; doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01444.x. [Epub ahead of print]

Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review.

Simic L, Sarabon N, Markovic G.
Motor Control and Human Performance Laboratory, School of Kinesiology, University of Zagreb, Zagreb, Croatia.

Abstract
We applied a meta-analytical approach to derive a robust estimate of the acute effects of pre-exercise static stretching (SS) on strength, power, and explosive muscular performance. A computerized search of articles published between 1966 and December 2010 was performed using PubMed, SCOPUS, and Web of Science databases. A total of 104 studies yielding 51 data points for strength, 12 data points for power, and 57 data points for explosive performance met our inclusion criteria. The pooled estimate of the acute effects of SS on strength, power, and explosive performance, expressed in standardized units as well as in percentages, were -0.10 (95% confidence interval (CI): -0.15 to -0.04), -0.04 (95% CI: -0.16 to 0.08), and -0.03 (95% CI: -0.07 to 0.01), or -5.4% (95% CI: -8.6% to -4.2%), -1.9% (95% CI: -4.0% to 0.2%), and -2.0% (95% CI: -2.8% to -1.3%). These effects were not related to subject's age, gender, or fitness level; however, they were more pronounced in isometric vs dynamic tests, and were related to the total duration of stretch, with the smallest negative acute effects being observed with stretch duration of ≤45 s. We conclude that the usage of SS as the sole activity during warm-up routine should generally be avoided.

Caimbras?

► Banana tem potássio...



ORIGINAL ARTICLE

Serum electrolyte concentrations and hydration status are not associated with exercise associated muscle cramping (EAMC) in distance runners

M P Schwellnus, J Nicol, R Laubscher, T D Noakes

Br J Sports Med 2004;38:488-492. doi: 10.1136/bjsm.2003.007021

Variable	Cramp group (n = 21)	Control group (n = 22)
Age (years)	36.6 (7.7)	42.4 (7.5)
Weight (kg)	77.7 (11.3)	72.8 (8.4)
Finishing time (min)	309.0 (41.3)	304.3 (35.5)

Values are mean (SD).

Distância da prova → 56 Km

Category	Subcategory	Percentage
Muscle group	Quadriceps	38%
	Hamstring	48%
	Gastrocnemius	14%
	Other	5%
Race distance when cramp started	<28 km	0%
	28 to 42 km	33%
	>42 km	67%
Duration of cramping episode	<30 s	38%
	30 to 120 s	38%
	>120 s	24%
Number of recurring episodes	0	10%
	1-2	19%
	3-4	38%
	>4	33%
Cramping severity	Mild	43%
	Moderate/severe	57%
Relieving factors	Stretching	52%
	Massage	24%
	Slowing race pace	76%

Table 3 Values for pre-race, immediate post-race, and 60 minute post-race serum sodium, potassium, total calcium, and total magnesium concentrations, serum osmolality, plasma glucose concentration, plasma proteins, packed cell volume, and haemoglobin results for the cramp and control groups, expressed as mean (SD) and median (1st and 3rd quartiles)

Variable	Pre-race		Immediate post-race		60 min post-race	
	Cramp (n=21)	Control (n=22)	Cramp (n=21)	Control (n=21)	Cramp (n=13)	Control (n=16)
Mean (SD)						
Sodium (mmol/l)	139.2 (2.1)	139.3 (2.0)	139.8 (3.1)*	142.3 (2.1)*	140.3 (1.9)	141.7 (1.7)
Potassium (mmol/l)	4.5 (0.4)	4.4 (0.4)	4.9 (0.6)	4.7 (0.5)	4.7 (0.3)	4.6 (0.3)
Calcium (mmol/l)	2.2 (0.1)	2.2 (0.1)	2.3 (0.2)	2.3 (0.1)	2.2 (0.3)	2.2 (0.2)
Magnesium (mmol/l)	0.81 (0.1)	0.83 (0.1)	0.73 (0.1)*	0.67 (0.1)*	0.75 (0.1)	0.73 (0.1)
Osmolality (mmol/kg)	284 (5)	282 (4)	280 (6)	284 (12)	284 (7)	283 (8)
Glucose (mmol/l)	6.3 (3.1)	6.1 (1.1)	6.3 (1.9)	6.5 (2.2)	6.3 (1.0)	6.5 (1.1)
Plasma proteins (g/l)	73.5 (5.3)	72.7 (5.9)	76.4 (5.2)	73.7 (13.5)		
PCV (%)	40.0 (4.0)	42.0 (4.0)	40.0 (3.0)	40.0 (3.0)		
Haemoglobin (g/dl)	15.5 (1.1)	15.5 (0.8)	15.7 (1.0)	15.5 (3.2)		

Table 4 Per cent change (pre-race to post-race) in body weight, blood volume, plasma volume, and red cell volume during the race for the cramp and control groups

Variable	Cramp group (n=21)	Control group (n=22)
Change in body weight (%)	-2.9 (1.2)	-3.6 (1.2)
Change in blood volume (%)	-1.3 (5.5)	-3.7 (4.0)
Change in plasma volume (%)	0.2 (6.3)	-0.7 (8.6)
Change in red cell volume (%)	-2.1 (16.2)	-8.3 (12.6)

Values are mean (SD).

Conclusions

The results of our study do not support the common hypotheses that EAMC is associated with either changes in serum electrolyte concentrations or changes in hydration status following ultra-distance running. An alternative hypothesis to explain the aetiology of EAMC must therefore be sought.

Exercise-Associated Muscle Cramps: Causes, Treatment, and Prevention

Kevin G. Miller, PhD, ATC, CSCS,*† Marcus S. Stone, PhD, ATC,‡ Kellie C. Huxel, PhD, ATC,* and Jeffrey E. Edwards, PhD†

ineffective, and intravenous fluid may provide a faster delivery for athletes suffering from acute EAMC.²⁶ It is interesting that stretching the affected muscle almost immediately relieves EAMC²⁸ and yet has no effect on the fluid conditions of the body.

Overall, the dehydration-electrolyte imbalance theory has

(eg, exertional hyponatremia, heat stroke).

The neuromuscular theory of EAMC proposes that muscle overload and neuromuscular fatigue cause an imbalance between excitatory impulses from muscle spindles and inhibitory impulses from Golgi tendon organs (GTOs). These localized EAMC tend to occur when the muscle is contracting in an already-shortened position.²⁸ The reduced tension in the

Muscle Cramps during Exercise — Is It Fatigue or Electrolyte Deficit?

Curr. Sports Med. Rep., Vol. 7, No. 4,

Michael F. Bergeron

pp. S50–S55, 2008.

National Institute for Youth Sports & Health at Sanford, Sanford USD Medical Center, Sioux Falls, SD

regards to the separate etiologies.

The information presented here supports the contention that there are two primary categories of exercise-associated muscle cramps — those related to muscle overload and fatigue and those skeletal muscle cramps associated with a sweat-induced sodium deficit (exertional heat cramps).

While the muscle fatigue hypothesis (4,50) is a reasonable hypothesis, it is not a reasonable hypothesis. The muscle fatigue hypothesis suggests that such a scenario can prompt an excitatory alteration (increase) in muscle spindle afferent activity and a concomitant decrease in Golgi tendon organ inhibition leading to abnormal α motor neuron control and sustained α motor neuron activity (19,34,49,50). That is, the neural mechanisms designed to inhibit muscle contraction, in response to muscle tension detected by the Golgi tendon organ, are disrupted or depressed. At the same time, enhanced excitatory activity from the muscle spindle triggers an intense and sustained involuntary muscle contraction that is unopposed by Golgi tendon organ control. Notably, shortened muscles with sustained contraction may

Receptores Musculares

- ▶ Para que o Sistema Nervoso possa controlar os movimentos de maneira adequada, ele deve receber uma retroalimentação sensorial contínua do músculo que está contraindo. Essa retroalimentação sensorial inclui:
 1. Informações referentes à tensão desenvolvida pelo músculo (Órgão tendinoso de Golgi);
 2. Uma avaliação do comprimento muscular (Fuso Muscular).

FUSO MUSCULAR

- Funciona como detector do comprimento muscular;
- São encontrados em grandes quantidades em todos os músculos, principalmente os que requerem graus mais refinado de controle.

FUSO MUSCULAR

- São compostas por várias células musculares finas (fibras intrafusais), circundadas por uma bainha de tecido conjuntivo e é disposto paralelamente às fibras musculares;
- Sua função é auxiliar na regulação do movimento e na manutenção da postura.

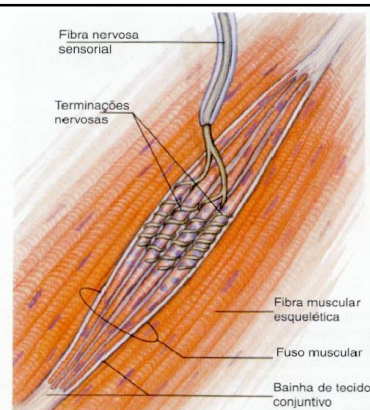


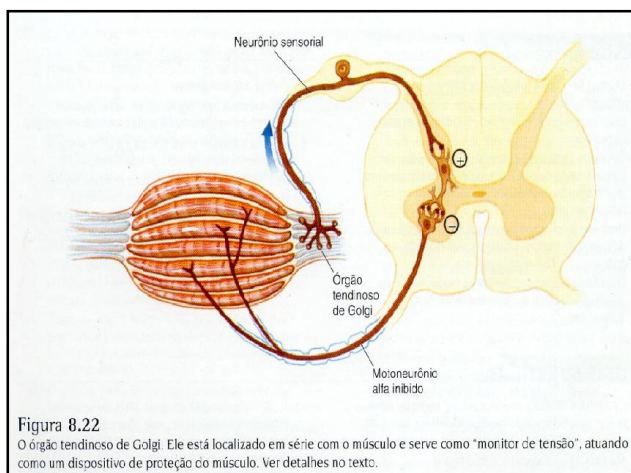
Figura 8.21
Estrutura do fuso muscular e sua localização no músculo esquelético.

Órgão tendinoso de Golgi

- ▶ Monitoram continuamente a tensão produzida pela contração muscular;
- ▶ Localizam-se no tendão e estão em série com as fibras;
- ▶ Sua função é servir como um "dispositivo de segurança".

Órgão tendinoso de Golgi

- ▶ Ajuda a impedir a força excessiva durante a contração muscular;
- ▶ É provável que ele tenha um importante papel na realização de atividades de força;
- ▶ O treinamento de força promove uma redução gradual das influências inibitórias dele.



Fadiga Muscular

- ▶ Fadiga muscular é a diminuição da capacidade do músculo em desenvolver força máxima e/ou manter determinado nível de força.
 - ▶ Músculo fatigado não consegue gerar força suficiente para realizar movimentos de forma adequada.
- ▶ Caracterizada por:
 - ▶ Redução na força
 - ▶ Redução na velocidade de encurtamento
 - ▶ Aumento do intervalo entre potenciais de ação



Fadiga Muscular

- ▶ Depende do:
 - ▶ Tipo, duração e intensidade do exercício.
 - ▶ Tipo de fibras musculares recrutadas.
 - ▶ Nível de treino do indivíduo.
 - ▶ Condições ambientais de realização do exercício.



Origem da Fadiga Muscular

- ▶ Fadiga Central
 - ▶ Sistema Nervoso Central (SNC)
 - ▶ Diminuição da intensidade/número de impulso nervoso vindo do SNC e enviados aos MNs
 - ▶ Motoneurônios
 - ▶ Redução no estoque de Ach nos MNs
- ▶ Fadiga Periférica
 - ▶ Sistema Muscular



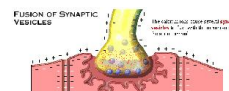
Fadiga Central

- ▶ Motivação: vontade e quantidade de esforço dispendido na execução da tarefa.
 - ▶ A motivação pode ser uma das causas de fadiga.
 - ▶ Força pode ser mantida elevada por mais tempo se uma fonte externa (eletroestimulador) gera o impulso elétrico para desencadear contração muscular.
 - ▶ A falta de motivação resulta num impulso central inadequado para os MNs.



Fadiga Central

- ▶ Propagação Neuromuscular
 - ▶ Processos envolvidos na conversão de um PA do axônio do MN para um PA no sarcolema.
 - ▶ PA não é transmitido para todos os ramos dos axônios dos MN.
 - ▶ Redução na [] de Ach
 - ▶ Diminuição da excitabilidade da membrana pós-sináptica (sarcolema).



Fadiga Periférica

- ▶ Fatores que afetam a ciclagem das pontes transversas entre actina e miosina são:
 - ▶ Redução no ritmo de liberação e, principalmente, captação de cálcio intracelular pelo retículo sarcoplasmático;
 - ▶ Redução da afinidade pelo cálcio da troponina-tropomiosina para poder ocorrer a ligação entre actina e miosina;
 - ▶ Reduções no suprimento de energia ao músculo (ATP).

Fadiga periférica – Fluxo sanguíneo

- ▶ Durante a atividade física o fluxo sanguíneo nos músculos exercitados deve aumentar para:
 - ▶ Suprimento de substrato energético
 - ▶ Remoção de metabólitos
 - ▶ Dissipação de calor
- ▶ Porém, ...
 - ▶ Quando um músculo está ativo aumenta a pressão intramuscular que ...
 - ▶ Comprime os vasos sanguíneos e diminui ...
- ▶ Ocorre mais durante contrações isométricas sustentadas
 - ▶ Força acima dos 15% do máximo

Tipos de fibras muscular

Tipos de fibras musculares

- ▶ Em humanos são encontradas 3 tipos principais de fibras:

Tipo I	}	Contração lenta
Tipo IIa		
Tipo IIb/x		
- ▶ Encontradas também algumas denominadas híbridas.

Tipos de fibras musculares

► Tipo I (vermelhas)

- Alto número de mioglobina;
- Alto número de mitocôndrias;
- Grande quantidade de enzimas oxidativas;
- Baixa velocidade da enzima ATPase;
- Mais resistente à fadiga.

Tipos de fibras musculares

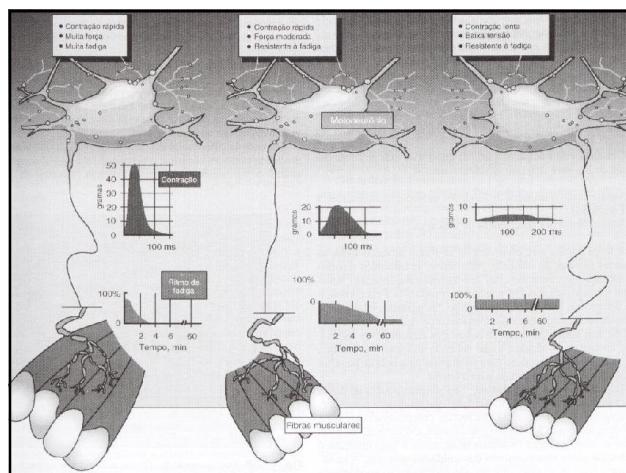
► Tipo IIb/x (brancas)

- Menor número de mioglobina;
- Poucas mitocôndrias;
- Possui mais enzimas glicolíticas;
- Alta velocidade da enzima ATPase;
- Menos resistente à fadiga.

Tipos de fibras musculares

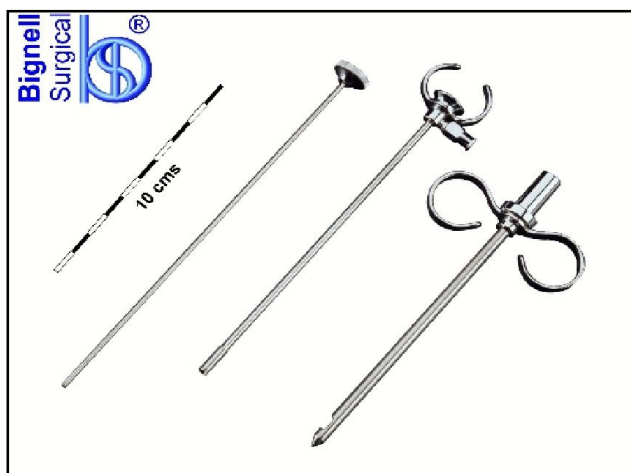
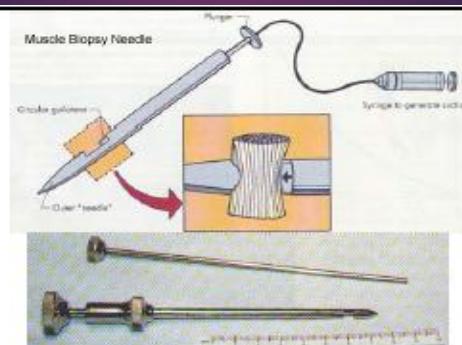
► Tipo IIa (avermelhada)

- Conhecida como intermediária por apresentar quantidades de mioglobinas e mitocôndrias, número e velocidade de enzimas e resistência à fadiga entre a Tipo I e a tipo IIb/x.



Distribuição dos tipos de fibras em diferentes esportistas deve ser igual?

Biopsia muscular



Biopsia muscular



Tabela 8.2 Composição Típica da Fibra Muscular dos Atletas de Elite Representando Diferentes Esportes e dos Não-Atletas

Esporte	% de Fibras Lentas (Tipo I)	% de Fibras Rápidas (Tipos IIb e IIa)
Corredores de distância	70–80	20–30
Corredores de curta distância	25–30	70–75
Halterofilistas	45–55	45–55
Não atletas	47–53	47–53

Plasticidade Muscular

- ▶ É a capacidade do músculo de se alterar, adaptando-se a diversos tipos de estímulos.

(PETTE & STARON 2001. *Histochem. Cell Biol.*)

- ▶ Esta adaptabilidade deve-se à habilidade das fibras musculares transcrever diferentes isoformas de proteínas contráteis.

(WRIGHT et al. 1997. *J. Appl. Physiol.*)

Plasticidade Muscular

- ▶ Vários fatores induzem uma transição de tipos de fibras puras, e esses fatores dependem principalmente da qualidade, intensidade e duração dos estímulos;
- ▶ De um modo geral o aumento da atividade neuromuscular gera transições de "FAST – SLOW" e a diminuição da atividade neuromuscular gera transições de "SLOW - FAST".

(PETTE, 2002. *Can. J. Appl. Physiol.*)

The adaptive potential of skeletal muscle fibers.

ARTICLE in CANADIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY = REVUE CANADIENNE DE PHYSIOLOGIE APPLIQUÉE · SEPTEMBER 2002

INCREASED NEUROMUSCULAR ACTIVITY / OVERLOADING
e.g., exercise, low-frequency stimulation, myotonia, stretch

fast $\longleftrightarrow$ slow

DECREASED NEUROMUSCULAR ACTIVITY / UNLOADING
e.g., denervation, spinalization, immobilization, tenotomy, microgravity, hindlimb suspension

Figure 3. Schematic representation of reversible fiber type transitions in muscles of small mammals in response to altered neuromuscular activity.

Alterações de fibras

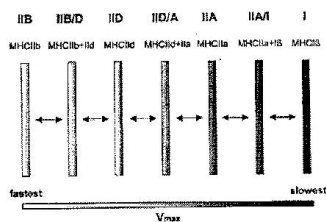


Figure 12. Simplified scheme of fast-to-slow and slow-to-fast fiber type transitions within a continuum of pure and hybrid fiber types where type IIB and type I represent the fastest and slowest phenotypes, respectively.

"Desuso"

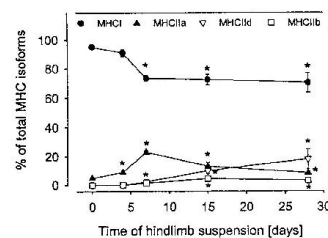
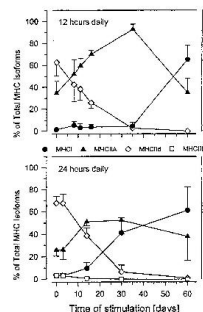


Figure 5. Time-dependent changes in relative concentrations of the major electrophoretically separated MHC isoforms in rat soleus muscles unweighted for various time periods. Values are means $\pm$ SD, $n = 5-7$ for each time point. With permission from Stevens et al., 1999b.

Eletroestimulação (12 e 24 h)



J Physiol 570.3 (2008) pp 611–627

Skeletal muscle hypertrophy and structure and function of skeletal muscle fibres in male body builders

Giuseppe D'Antona¹, Francesca Lanfranconi², Maria Antonietta Pellegrino¹, Lorenza Brocca¹, Raffaella Adams¹, Rosetta Rossi¹, Giorgio Moro³, Danilo Miotto², Monica Canepari¹ and Roberto Bottinelli^{1,4}

¹Department of Experimental Medicine, Human Physiology Unit, University of Pavia, Pavia, Italy

²Department of Sciences and Biomedical Technologies, University of Milano, Milano, Italy

³Fondazione Salvatore Maugeri (IRCCS), Scientific Institute of Pavia, Pavia, Italy

⁴Interuniversity Institute of Muscle, University of Pavia, Pavia, Italy

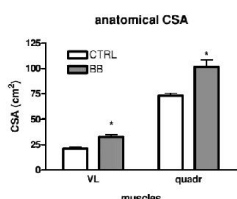
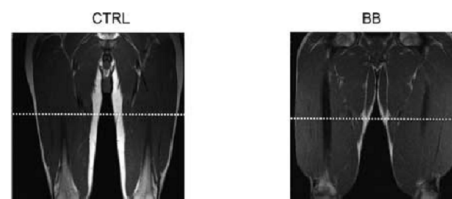
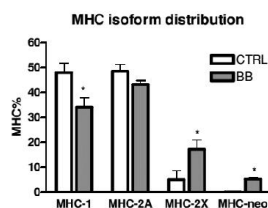


Figure 3. Mean values ($\pm$ S.E.M.) of the anatomical cross-sectional area (ACSA) of the vastus lateralis (VL) and quadriceps (quadr) muscles of control subjects (CTRL) and body builders (BB).

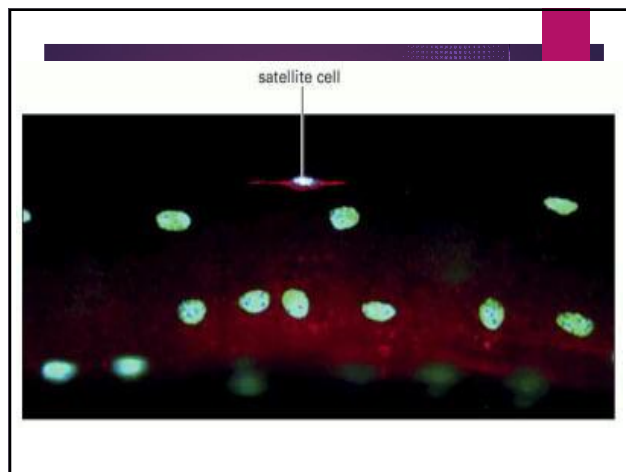


Regeneração muscular



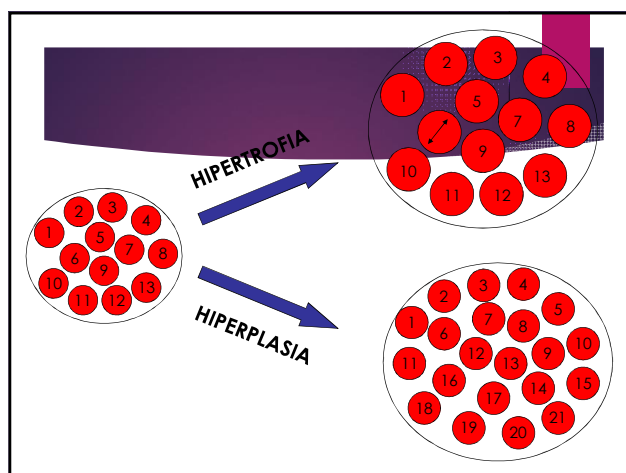
Remodelagem muscular

- ▶ O músculo liso, em caso de lesão, se regenera facilmente por divisão mitótica das células que permanecerem viáveis;
- ▶ O músculo cardíaco não se regenera. Nas lesões, as partes destruídas são invadidas por fibroblastos que produzem fibras colágenas, formando uma cicatriz de tecido conjuntivo denso;
- ▶ O músculo esquelético se regenera pela ativação de células satélites, que após lesão são ativadas e se proliferam fundindo às fibras musculares.



Hipertrofia x hiperplasia

- ▶ **Hipertrofia:**
 - aumento no número dos filamentos de actina e miosina → aumento da força;
 - quando músculos são alongados, até comprimento superior ao normal, pode haver acréscimo de sarcômeros nas extremidades das fibras (inverso pode ocorrer);
- ▶ **Hiperplasia:** aumento no número real de fibras, divisão linear de fibras (muito contraditório).



Atrofia

- **Atrofia:** músculo deixa de ser utilizado;
- Decomposição de proteínas contráteis, mais rápido que a hipertrofia;
- Encurtamento do músculo;
- Desnervação muscular;
- Se a inervação retorna, volta a plena função em 3 meses;
- 1 a 2 anos, fibras destruídas e substituídas por tecidos fibroso e adiposo.

EFEITOS DA MIOSTATINA

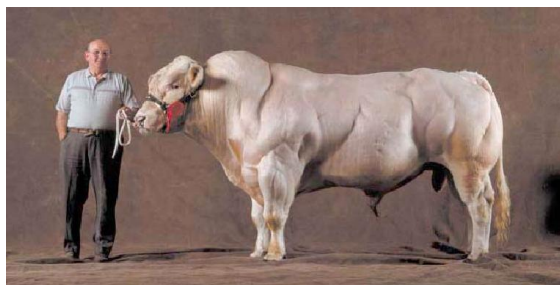
Mstn +/+



Belgian blue



Belgian blue

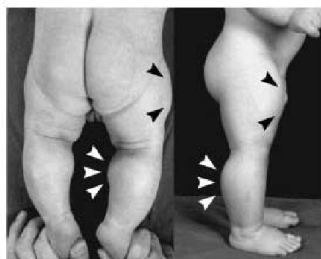


Ocorre naturalmente em humanos?

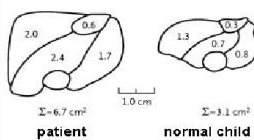


Sim!!!!

A

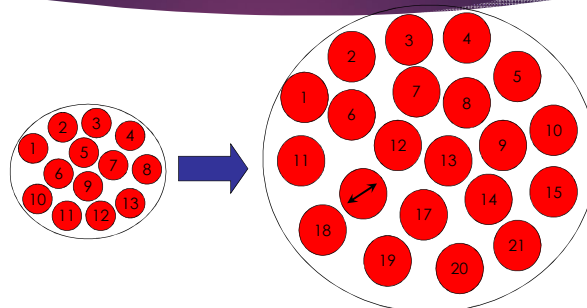


Neonate 7 Months



Schuelke, et al. Myostatin Mutation Associated with Gross Muscle Hypertrophy in a Child. *New England Journal Medicine* 2004; 350:2682-2688.

Miostatina = hiperplasia + hipertrofia



Treinamento de força induz hipertrofia muscular? E hiperplasia?

Skeletal muscle fiber hyperplasia

Med. Sci. Sports Exerc. Vol. 25, No. 12, pp. 1333-1345, 1993.

JOSE ANTONIO and WILLIAM J. GONYEA

*Department of Cell Biology and Neurosciences,
University of Texas Southwestern Medical Center,
Dallas, TX 75235-9039*

TABLE 1. Quantitative evidence supporting muscle fiber hyperplasia—total fiber number determined histologically or after nitric acid digestion.

Reference	Overload Protocol/ Treatment Duration	Subject	Muscle	Fiber Counting Technique	Muscle Mass	Mean Fiber Area	Fiber Number
Vaughn and Goldspink (71)	Tenotomy/208 d	Mouse	Soleus	Histologic cross- sections	46% increase	5% increase	10-33% increase
Sola et al. (64)	Chronic stretch/ 42-56 d	Chicken	ALD	Histologic cross- sections	120-180% increase	130% increase	16% increase
Alway et al. (4)	Chronic stretch/30 d	Quail	ALD	Nitric acid digestion and histologic cross-sections	172% increase	57% increase	52-74% increase
Alway (6)	Chronic stretch/30 d	Quail	ALD	Nitric acid digestion	150% increase	50% increase	44% increase
Alway et al. (5)	Chronic stretch/7 d	Quail	ALD	Nitric acid digestion	64% increase	29% increase	27% increase
Antonio and Gonyea (8)	Progressive intermittent/ stretch 37 d	Quail	ALD	Histologic cross- sections	319% increase	36% increase	82% increase
Gonyea (33)	Weight lifting/238 d	Cat	FCR	Histologic cross- sections	16-44% increase	11% increase	20% increase
Gonyea et al. (35)	Weight lifting/707 d	Cat	FCR	Nitric acid digestion	11% increase	NM	9% increase
Ho et al. (38)	Weight lifting/58 d	Rat	Adductor longus	Histologic cross- section	14% increase	21% decrease	12% increase
Tamaki et al. (66)	Weight lifting/84 d	Rat	Plantaris	Nitric acid digestion	1.5% increase	NM	14% increase
Sjostrom et al. (52)	Left-right lower ex- tremities (acciden- tal death)	Human	TA	Histologic cross- section	NM	no difference	10% increase (left > right)

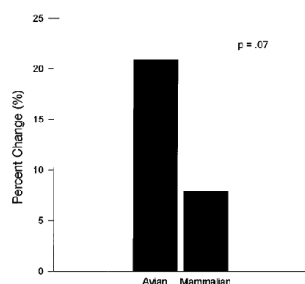
ALD, anterior latissimus dorsi; FCR, flexor carpi radialis; TA, tibialis anterior; NM, not measured.

Mechanical overload and skeletal muscle fiber hyperplasia: a meta-analysis

J. Appl. Physiol. 81(4): 1584-1588, 1996.

GEORGE KELLEY

Department of Physical Education, Northern Illinois University, DeKalb, Illinois 60115-2854



POINT/COUNTERPOINT

© National Strength & Conditioning Association
Volume 22, Number 2, pages 28-29

Skeletal Muscle Fiber Hyperplasia: Why It Can or Cannot Occur in Humans



Lee E. Brown
Column Editor

plasia can occur under every condition of tension overload? Of course not. In fact, it is the human data that is the most intriguing. For instance, numerous investigations have found bodybuilders to possess muscle fibers that are the same size as untrained controls. Yet these bodybuilders possess a greater absolute muscle mass. Some scientists have suggested

fibers. If this were true, then the intense training over years and decades performed by elite bodybuilders has resulted in average-sized muscle fibers. Thus you are left to conclude that some bodybuilders are born with many muscle fibers of below-average size, and training merely brings them to an average size. This explanation borders on the absurd. In-

plausible and scientifically defensible that the larger muscle mass seen in elite bodybuilders and strength-power athletes is primarily due to muscle fiber hypertrophy, and also to fiber hyperplasia. Thus the critical question is not whether muscle fiber hyperplasia occurs, but under what conditions can it occur. Nonetheless, scientific evidence demonstrates clearly

Como é obtida a hipertrofia?

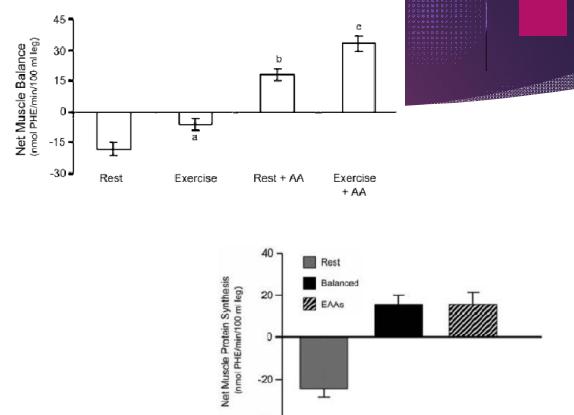
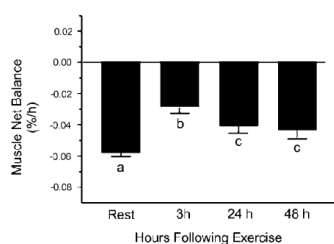
Depende somente do treinamento?

Skeletal Muscle Protein Metabolism and Resistance Exercise¹⁻³

Robert R. Wolfe⁴

Department of Surgery, The University of Texas Medical Branch and Metabolism Unit, Shriners Burns Hospital, Galveston, TX

J. Nutr. 136: 525S-528S, 2006.



Treinamento concomitante...

Você indicaria?

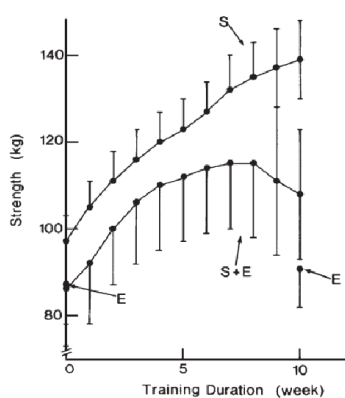
Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1980;45(2-3):255-63.

Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance.

Hickson RC

Abstract

The purpose of this study was to determine how individuals adapt to a combination of strength and endurance training as compared to the adaptations produced by either strength or endurance training separately. There were three exercise groups: a strength group (S) that exercised 30-40 min, day⁻¹, 5 days, week⁻¹, and endurance group (E) that exercised 43 min, day⁻¹, 6 days, week⁻¹, and an S and E group that performed the same daily exercise regimens as the S and E groups. After 10 weeks of training, VO₂max increased approx. 25% when measured during bicycle exercise and 20% when measured during treadmill exercise in both E- and S- and E- groups. No increase in VO₂max was observed in the S- group. There was a consistent rate of development of leg-strength by the S group throughout the training, whereas the E group did not show any appreciable gains in strength. The rate of strength improvement by the S and E group was similar to the S group for the first 7 weeks of training, but subsequently leveled off and declined during the 9th and 10th weeks. These findings demonstrate that a simultaneously training for S and E will result in a reduced capacity to develop strength, but will not affect the magnitude of increase in VO₂max.



Med Sci Sports Exerc, 2006 Nov;38(11):1995-70.

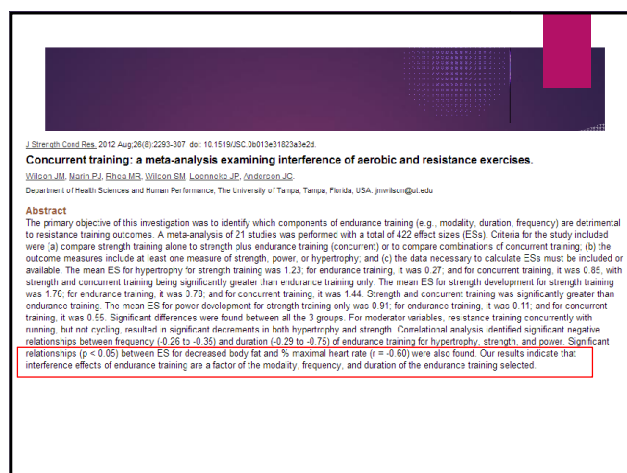
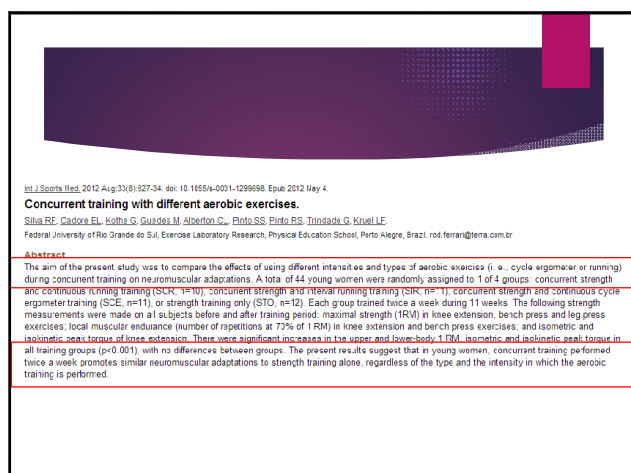
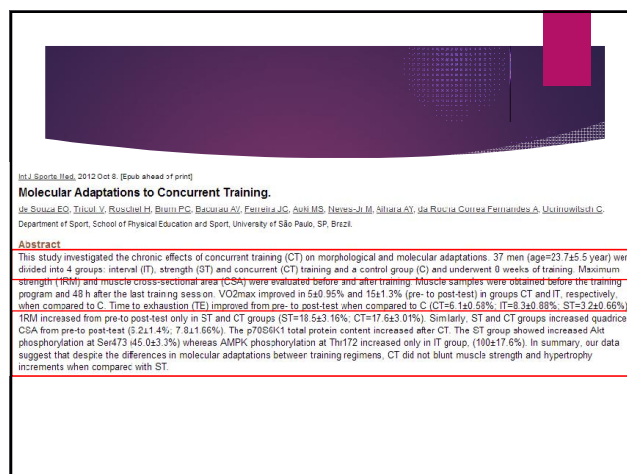
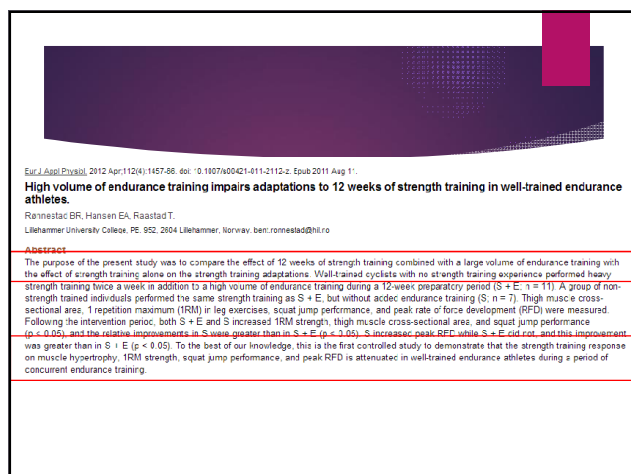
Concurrent strength and endurance training: from molecules to man.

Nader GA

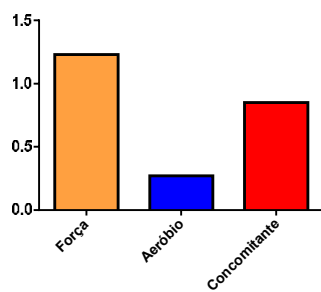
Research Center for Genetic Medicine, Children's National Medical Center, Washington, DC 20010, USA. gnader@cnmcresearch.org

Abstract

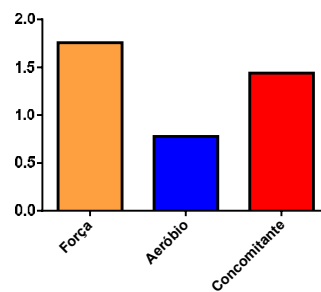
Strength and endurance training produce widely diversified adaptations, with little overlap between them. Strength training typically results in increases in muscle mass and muscle strength. In contrast, endurance training induces increases in maximal oxygen uptake and metabolic adaptations that lead to an increased exercise capacity. In many sports, a combination of strength and endurance training is required to improve performance, but in some situations when strength and endurance training are performed simultaneously, a potential interference in strength development takes place, making such a combination seemingly incompatible. The phenomenon of concurrent training, or simultaneously training for strength and endurance, was first described in the scientific literature in 1980 by Robert C. Hickson, and although work that followed provided evidence for and against it, the interference effect seems to hold true in specific situations. At the molecular level, there seems to be an explanation for the interference of strength development during concurrent training: it is now clear that different forms of exercise induce antagonistic intracellular signaling mechanisms that, in turn, could have a negative impact on the muscle's adaptive response to this particular form of training. That is, activation of AMPK by endurance exercises may inhibit signaling to the protein-synthesis machinery by inhibiting the activity of mTOR and its downstream targets. The purpose of this review is to briefly describe the problem of concurrent strength and endurance training and to examine new data highlighting potential molecular mechanisms that may help explain the inhibition of strength development when strength and endurance training are performed simultaneously.



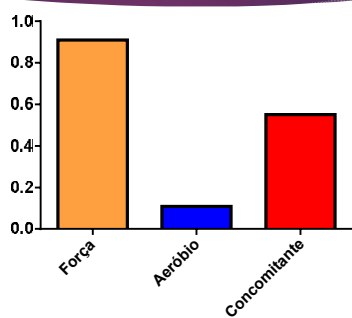
Hipertrofia



Força

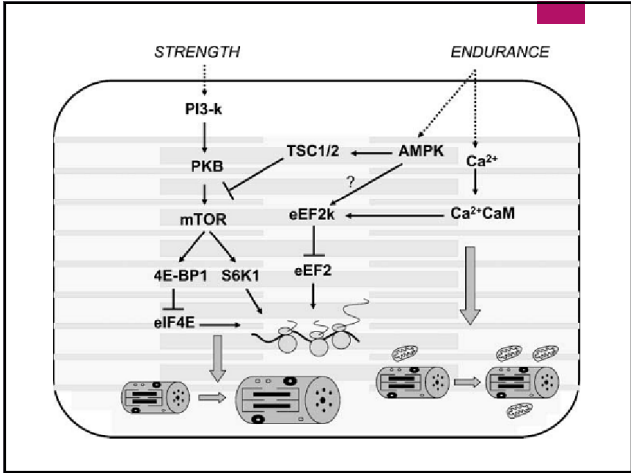


Potência



Quais mecanismos?

- ▶ Componente neural;
- ▶ Baixo conteúdo de glicogênio;
- ▶ Alterações no tipo de fibras;
- ▶ Overtraining;
- ▶ Turnover proteico.



Cell
PRESS

Cell Metabolism 17, February 5, 2013

Cell Metabolism
Review

Exercise Metabolism and the Molecular Regulation of Skeletal Muscle Adaptation

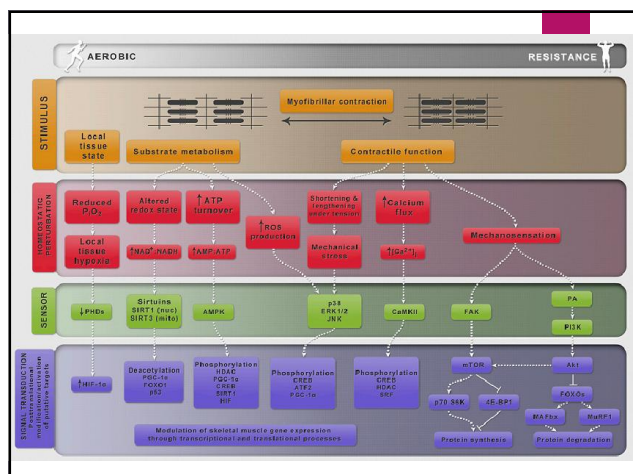
Brendan Egan^{1,2} and Julieen R. Zierath^{1,3,4,*}
¹Institute for Sport and Health, School of Public Health, Physiotherapy and Population Sciences, University College Dublin, Belfield, Dublin 4, Ireland
²Department of Molecular Medicine and Surgery
³Department of Physiology and Pharmacology, Section of Integrative Physiology
Karolinska Institute, Stockholm SE-171 77, Sweden
⁴Norri-Narrisk Foundation Center for Basic Metabolic Research, Faculty of Health Sciences, University of Copenhagen, Copenhagen DK-2200, Denmark

Table 2. Adaptations and Health Benefits of Aerobic Compared to Resistance Exercise

	Aerobic	Resistance
Skeletal Muscle Morphology and Exercise Performance		
Muscle hypertrophy	↔	↑ ↑ ↑
Muscle strength and power	↔ ↓	↑ ↑ ↑
Muscle fiber size	↔ ↑	↑ ↑ ↑
Neural adaptations	↔ ↑	↑ ↑ ↑
Anaerobic capacity	↑	↑ ↑
Myofibrillar protein synthesis	↔ ↑	↑ ↑ ↑
Mitochondrial protein synthesis	↑ ↑	↔ ↑
Lactate tolerance	↑ ↑	↔ ↑
Capillarisation	↑ ↑	↔
Mitochondrial density and oxidative function	↑ ↑ ↑	↔ ↑
Endurance capacity	↑ ↑ ↑	↔ ↑

Table 2. Adaptations and Health Benefits of Aerobic Compared to Resistance Exercise

	Aerobic	Resistance
Whole-Body and Metabolic Health		
Bone mineral density	↑ ↑	↑ ↑
Body composition		
Percent body fat	↓ ↓	↓
Lean body mass	↔	↑ ↑
Glucose metabolism		
Resting insulin levels	↓	↓
Insulin response to glucose challenge	↓ ↓	↓ ↓
Insulin sensitivity	↑ ↑	↑ ↑
Inflammatory markers	↓ ↓	↓
Resting heart rate	↓ ↓	↔
Stroke volume, resting and maximal	↑ ↑	↔
Blood pressure at rest		
Systolic	↔ ↓	↔
Diastolic	↔ ↓	↔ ↓
Cardiovascular risk profile	↓ ↓ ↓	↓
Basal metabolic rate	↑	↑ ↑
Flexibility	↑	↑
Posture	↔	↑
Ability in activities of daily living	↔ ↑	↑ ↑



Metabolismo celular (bioenergética)

Energia

- Bioenergética: capacidade de extrair energia dos macronutrientes e transferir para a contração muscular, ativação de neurônios ...

Metabolismo - Subdivisões

- **Catabolismo**
 - Processos de biodegradação, com liberação de calor e energia livre.
- **Anabolismo**
 - Processos de biossíntese, que requerem adição de energia e precursores específicos.

Metabolismo Basal

- Consumo calórico corporal no estado de repouso absoluto, ou seja, em ausência de atividade muscular, não dormindo, no período pós-absorvitivo e com temperatura ambiente confortável.

Metabolismo de Atividade

- Produção e consumo de energia, para manutenção das funções do organismo durante a realização de uma atividade física, bem como durante a recuperação da mesma, até que o indivíduo encontre-se novamente no estado basal (WEST, 1989).

Requerimento Energético

- Em corrida e natação de velocidade, o requerimento energético pode ser até **120** vezes maior que em repouso;
- Em exercícios contínuos menos intensos, a demanda energética aumenta cerca de **20 a 30** vezes acima dos valores de repouso.

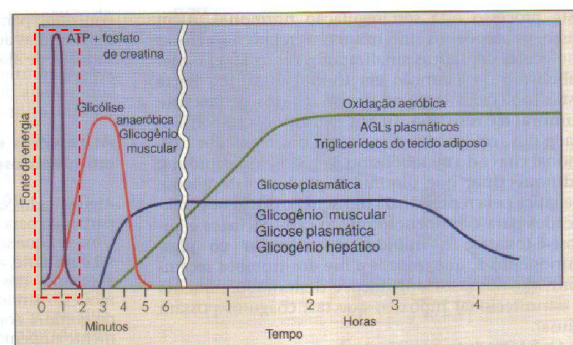
(McARDLE et al, 1998).

Trifosfato de adenosina- ATP

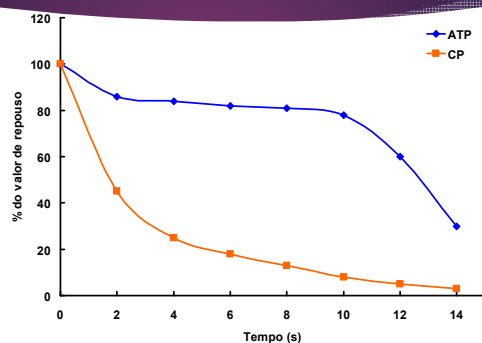
- Energia armazenada no organismo -
- Substratos energéticos:
 - 1) carboidratos;
 - 2) lipídios;
 - 3) proteínas.

Rendimento Energético

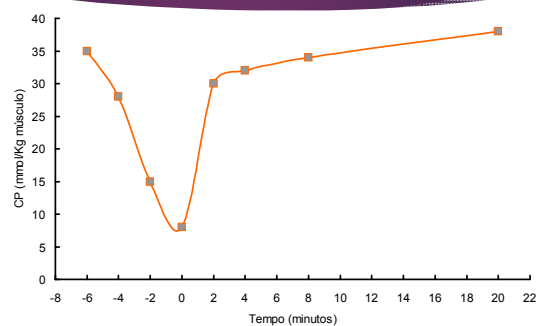
1 ATP / CP



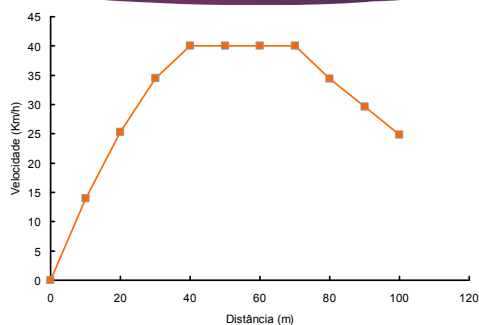
ATP-CP esforço máximo de 14 segundos



Exercício e Recuperação



100 metros rasos



SISTEMA CREATINA-FOSFATO

➤ VANTAGENS:

- 1) Disponibilidade imediata de energia;
- 2) Mantém [ATP] constante nos primeiros segundos de atividade;
- 3) Não requer oxigênio;

➤ DESVANTAGEM:

Estoque limitado – depleção rápida: 3-15 s.

Suplementação...

Br J Sports Med, 1996 Sep 30(3):222-5.

Effect of creatine on aerobic and anaerobic metabolism in skeletal muscle in swimmers.

Thompson CH¹, Kemp GJ, Sanderson AL, Dixon RM, Shires P, Taylor DJ, Radda GK.

© Author information

Abstract

OBJECTIVE: To examine the effect of a relatively low dose of creatine on skeletal muscle metabolism and oxygen supply in a group of training athletes.

METHODS: ³¹P magnetic resonance and near-infrared spectroscopy were used to study calf muscle metabolism in a group of 10 female members of a university swimming team. Studies were performed before and after a six week period of training during which they took either 2 g creatine daily or placebo. Calf muscle metabolism and creatine/choline ratios were studied in resting muscle, during plantar flexion exercise (10-15 min), and during recovery from exercise.

RESULTS: There was no effect of creatine on metabolite ratios at rest or on metabolism during exercise and recovery from exercise. Muscle oxygen supply and exercise performance were not improved by creatine if compared to placebo treated subjects.

CONCLUSIONS: Oral creatine supplementation at 2 g daily has no effect on muscle creatine concentration, muscle oxygen supply or muscle aerobic or anaerobic metabolism during endurance exercise.

Amino Acids (2012) 43:519–529

DOI 10.1007/s00726-011-1132-7

INVITED REVIEW

In sickness and in health: the widespread application of creatine supplementation

Bruno Guslano · Hamilton Reachel ·
Antonio Herbert Lancha, Jr. ·
Charles E. Brightbill · Eric S. Rawson

Variable	Effect
----------	--------

ATP-PCr system (<30 s)

Arm ergometry

↔

Bicycle ergometry

↑

Isokinetic torque production

↑

Isometric force production

↑

Isotonic strength

↑

Jumping

↑

Sprint running

↑

Speed skating

↑

Swimming

↑

Glycolysis (30–150 s)

Bicycle ergometry

↑

Isokinetic torque production

↔

Isometric force production

↑

Isotonic strength

↑

Jumping

↔

Kayaking

↔

Sprint running

↔

Swimming

↔

Oxidative phosphorylation (>150 s)

Bicycle ergometry

↑

Isokinetic torque production

↔

Isotonic strength

↔

Kayaking

↔

Sprint running

↔

Swimming

↔/↓

Rowing

↔

Table 2 Longitudinal prospective studies examining the effects of Cr supplementation on kidney function in healthy humans

Authors	Sample	Sample's characteristics	Supplementation protocol	Kidney function markers	Harmful to kidney function?
Poortmans et al. (1997)	5	Healthy males	20 g/d for 5 d	Cr, CrCl, microalbuminuria, proteinuria	No
Poortmans and Francaux (1999)	94*	Athletes	From 2 to 30 g/d, from 10 months to 5 years	Cr, CrCl, Chab, CICr	No
Robinson et al. (2011)	48	Male and females, resistance trained or not	3 g/d for 1 week + 20 g/d for 8 weeks	Cr, urea, sodium and potassium	No
Kuider et al. (2003)	98	American football players	~ 5 g/d for 21 months	Cr, CrCl	No
Poortmans et al. (2005)	20	Healthy males	21 g/d for 14 d	CrCl, Cr, microalbuminuria	No*
Gualano et al. (2008)	14	Healthy males undergoing aerobic training	~ 10 g/d for 3 months	Cistatine-C, Cr	No
Gualano et al. (2010b)	1	Healthy male with one single kidney	20 g/d for 1 week + 5 g/d for 3 weeks	EDTA-clearance, Cr, microalbuminuria, proteinuria, sodium and potassium, urea	No
Neves-Jr. et al. (2011b)	13	Postmenopausal women	20 g/d for 1 week + 5 g/d for 11 weeks	EDTA-clearance, Cr, microalbuminuria, proteinuria, sodium and potassium, urea	No

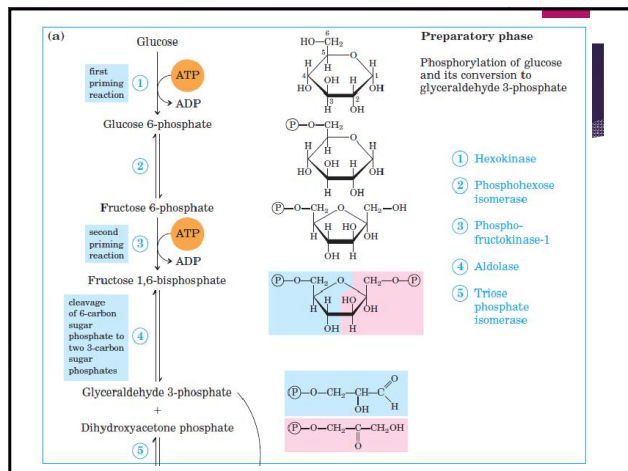
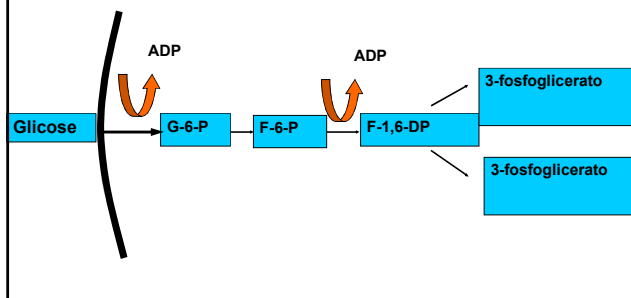
Table 3 Case reports linking creatine supplementation to renal dysfunction

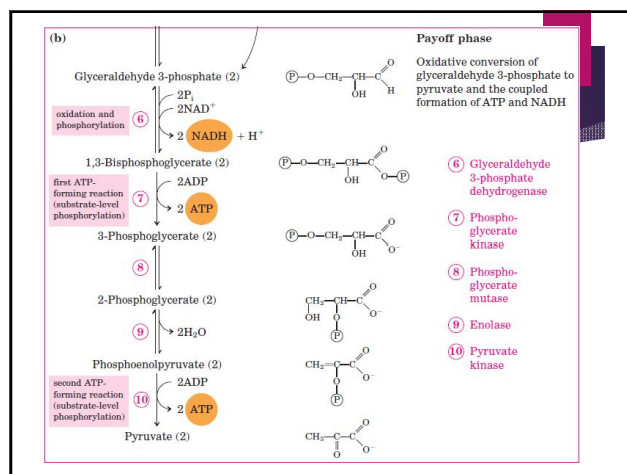
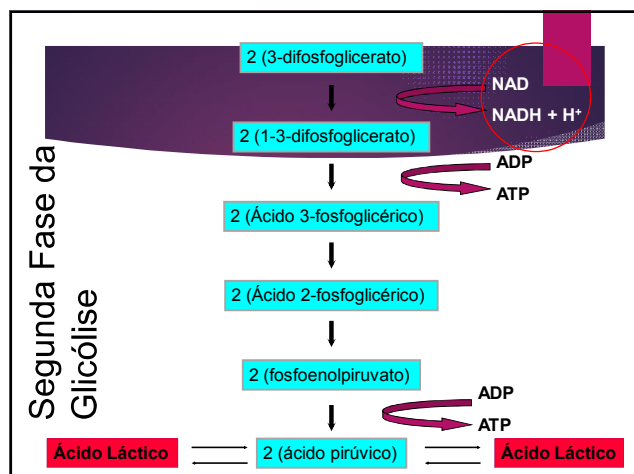
Authors	Patient	Self reported supplementation protocol	Self reported use of other drugs or supplements?	Pre existing renal disease?
Kiehl et al. (1998)	19-year American football player	10 g/d for 3 months	Albuterol	No
Pritchard and Kalra (1998)	25-year male recreational soccer player	5 g/d for 1 week + 2 g/d for 7 weeks	Cyclosporine	Nephritic syndrome
Koshy et al. (1999)	20-year healthy male	5 g/d for 4 weeks	Not reported	No
Barisic et al. (2002)	18-year male with MELAS syndrome	20 g/d for 12 d + 5g/d for 28 months	Not reported	CKD
Reval et al. (2003)	22-year male bodybuilder	200 g/d (chronic use)	Metandione	No
Thorsteinsdottir et al. (2006)	24-year male recreational bodybuilder	15 g/week for 6 weeks	17 types of dietary supplements	No

CKD chronic kidney disease, MELAS mitochondrial myopathy, encephalopathy, lactic acidosis, and stroke

Glicólise anaeróbia (lática)

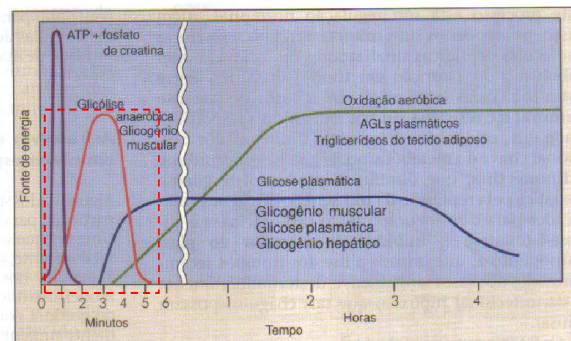
Primeira fase da glicólise





Rendimento Energético

2 ATP / Glicose



GLICÓLISE

> VANTAGENS:

- 1) Sistema rápido de produção de ATP;
- 2) Não requer oxigênio;

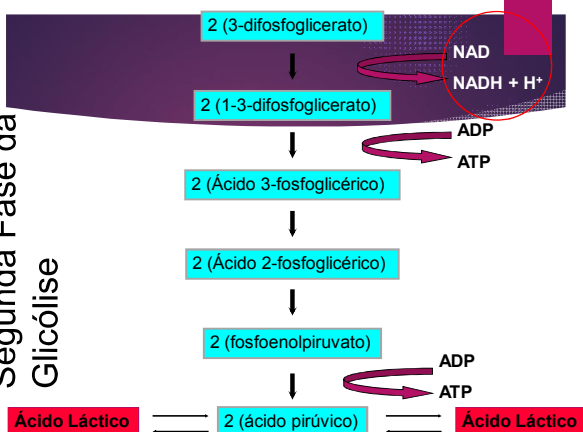
> DESVANTAGEM:

- 1) Baixa eficiência de produção de ATP
 - 2 ATP/glicose
 - 3 ATP/glicogênio
- 2) Mantém atividade muscular por períodos curtos (seg a min);
- 3) Gera ácido láctico (produto final da glicólise) (podendo aumentar em até 25 x);
 - ácido láctico: leva à acidez muscular e plasmática
 - inibe a atividade de enzimas
 - inibe ligação do cálcio às miofibrilas

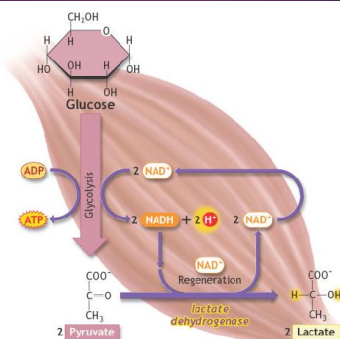
Resumindo...
lactato (ácido
láctico) é um vilão.

Certo?

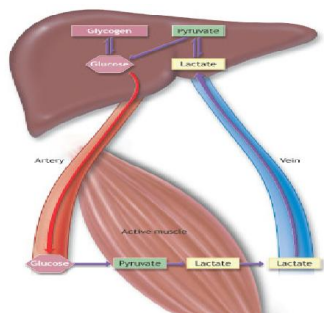
Segunda Fase da Glicólise



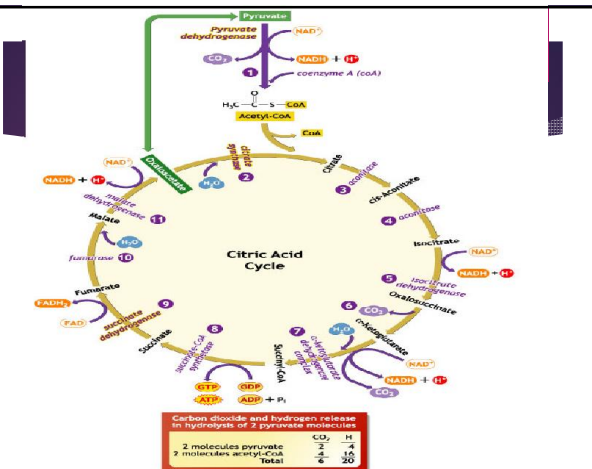
Importância da formação



Utilização do lactato



Metabolismo aeróbico



Ciclo de Krebs

RESULTADO DO CICLO DE KREBS:

- 1) Produção de NADH
- 2) Produção de FADH₂
- 3) Produção de GTP

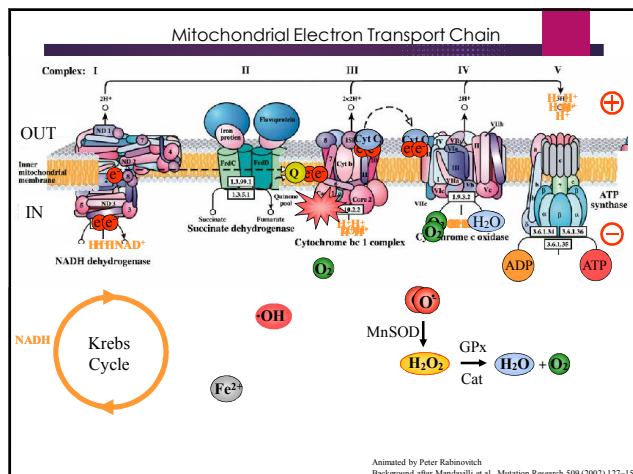
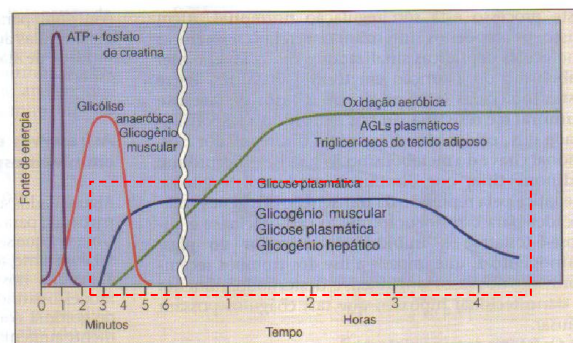


Tabela 3.1 Produção Aeróbica de ATP a Partir da Degradação de uma Molécula de Glicose

Processo Metabólico	Produtos de Alta Energia	ATP a Partir da Fosforilação Oxidativa	Subtotal de ATP
Glicólise	2 ATP 2 NADH	— 6	2 (total se anaeróbico) 8 (se aeróbico)
Ácido pirúvico em acetil-CoA	2 NADH	6	14
Ciclo de Krebs	2 GTP 6 NADH 2 FADH	— 18 4	16 34 38
			Total: 38 ATP

Rendimento Energético

38 ATP / Glicose



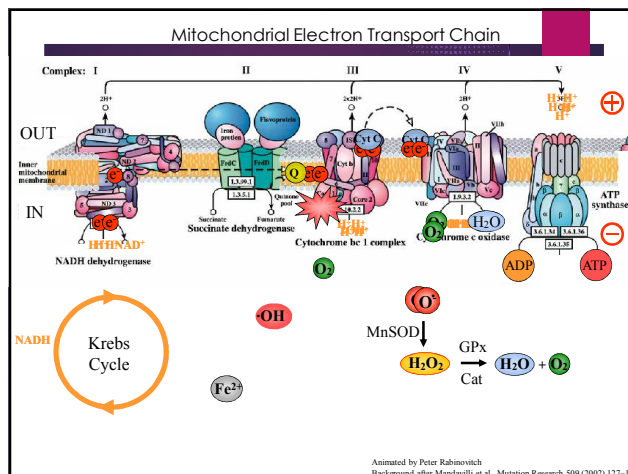
CICLO DE KREBS E FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA

➤ VANTAGENS:

- 1) Alta eficiência: 38/39 ATPs por glicose/glicogênio;
- 2) Duradoura: até várias horas;

➤ DESVANTAGEM:

- 1) Mais lenta que os demais sistemas;
- 2) Requer oxigênio.



Compr Physiol. 2011 April ; 1(2): 941-969. doi:10.1002/cphy.c100054.

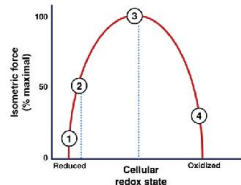
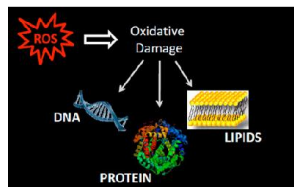
REACTIVE OXYGEN SPECIES: IMPACT ON SKELETAL MUSCLE

Scott K. Powers¹, Li Li Ji², Andreas N. Kavazis¹, and Malcolm J. Jackson³

¹Department of Applied Physiology and Kinesiology, University of Florida, Gainesville, Florida

²Department of Kinesiology, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin

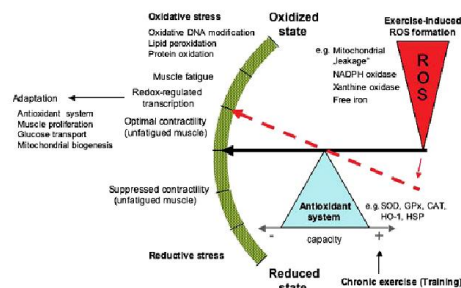
³Institute of Ageing and Chronic Disease, University of Liverpool, Liverpool, UK



Response and adaptation of skeletal muscle to exercise--the role of reactive oxygen species.

ARTICLE IN FRONTIERS IN BIOSCIENCE - FEBRUARY 2007

Impact Factor: 4.25 • DOI: 10.2741/2431 • Source: PubMed



Oxidação de Lipídios

Metabolismo de Lipídios

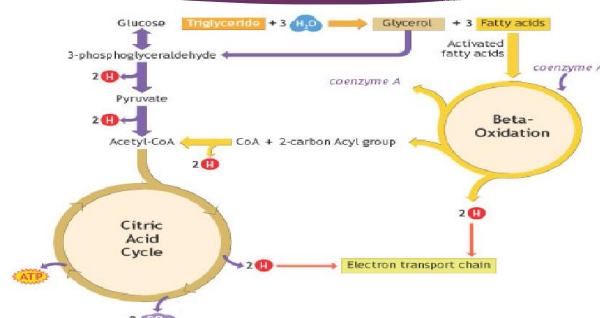
- ▶ Mais abundante fonte corporal de energia potencial;
- ▶ Fontes para o catabolismo de gorduras:
 - Triacilgliceróis dentro das fibras musculares próximo das mitocôndrias;
 - Triacilgliceróis nas lipoproteínas;
 - Ácidos graxos livres do tecido adiposo.

Lipólise

Lipase hormônio sensível



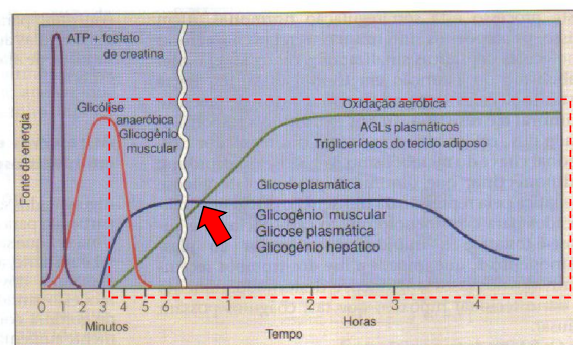
Beta oxidação



Saldo do metabolismo de gorduras

- ▶ Ácido graxo de 18 carbonos -> formadas 147 moléculas de ATP;
- ▶ Triacilglicerol- 3 ácidos graxos (3 x 147 ATP) + 1 glicerol (19 ATPs);

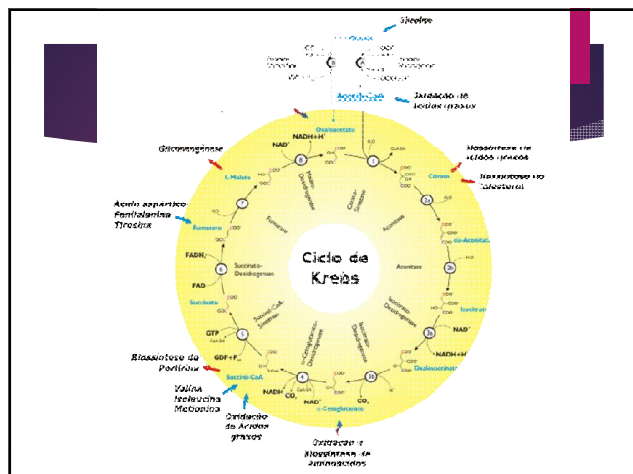
460 moléculas de ATP



Exercício físico em jejum.

Qual é o benefício?

“A gordura queima nas chamas do carboidrato”.



Metabolismo de proteínas

- Aminoácidos de cadeia ramificada: leucina, isoleucina, valina, glutamina, aspartato;



Desaminação
Transaminação

Fígado
Músculo
esquelético

Síntese de ATP
Síntese de novos aminoácidos

