

# Miofisiologia

Anatomia e fisiologia 2007/2008

## Funções do sistema muscular

- Movimento corporal (1)
- Manutenção da postura (1)
- Respiração (1)
- Produção de calor (1)
- Comunicação (1)
- Constrição de órgãos e vasos (3)
- Batimento cardíaco (2)

## Tipos de músculo

### 1. Esquelético

- Insere-se nos ossos
- Fibra muscular: célula longa e cilíndrica
- Múltiplos núcleos e periféricos
- Estriado
- Controlo voluntário e involuntário
- Não se contrai espontaneamente
- Funções: Movimento, postura corporal, respiração e calor

### 2. Cardíaco

### 3. Liso

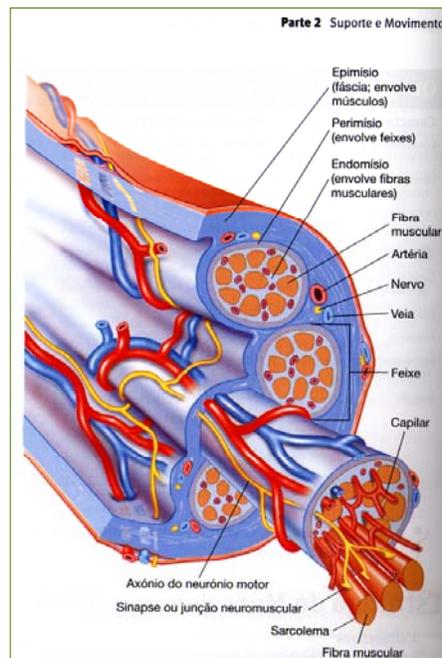
## Características gerais do funcionamento do músculo

### • Propriedades do músculo

- **Contractilidade**
  - Capacidade de contracção
- **Excitabilidade**
  - Responde a estímulos
- **Extensibilidade**
  - Pode ser estirado
- **Elasticidade**
  - Capacidade de voltar ao comprimento de repouso

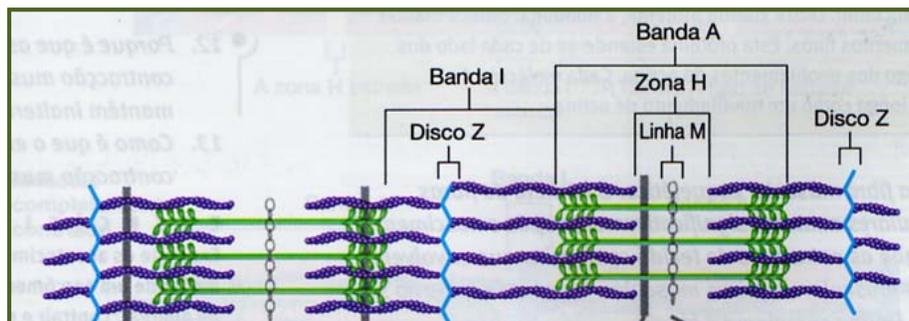
## Estrutura do músculo esquelético

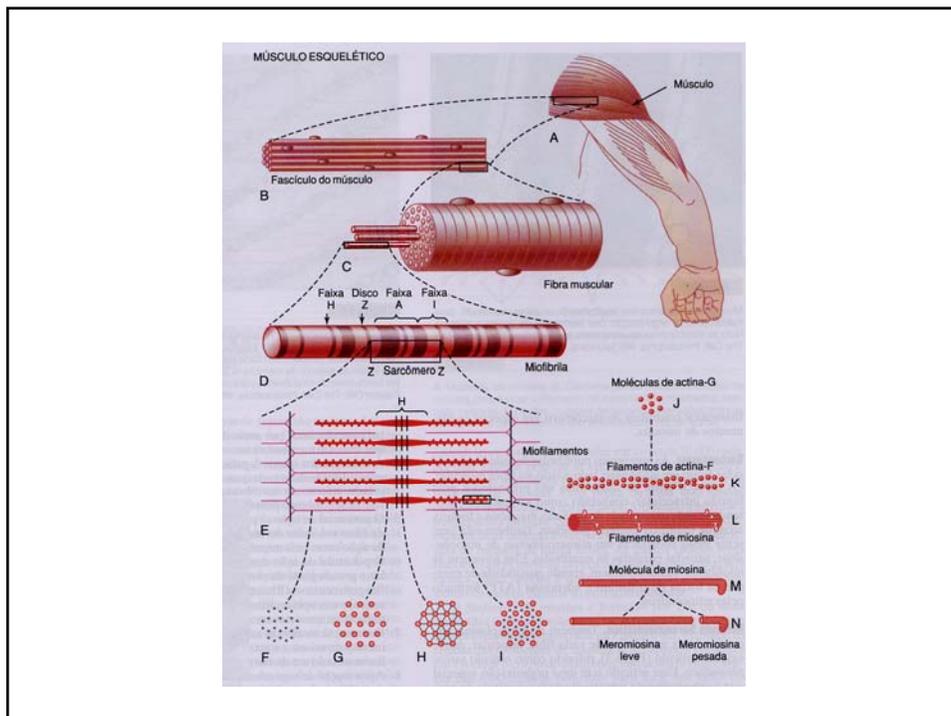
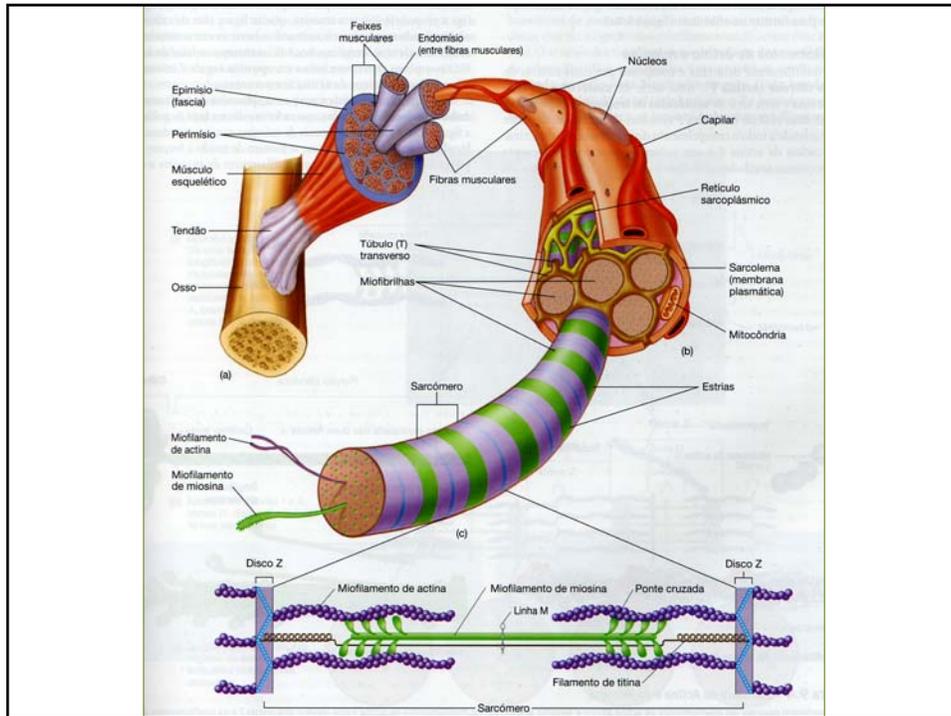
- Composto por fibras musculares - miofibrilhas – formadas a partir dos **mioblastos**,
- **Tecido conjuntivo**
  - Sarcolema (membrana celular)
  - Epimísio (Fáscia muscular)
  - Perimísio
  - Endomísio
- Nervos (neurónios motores – corpos celulares na Medula espinhal e tronco cerebral) – Sinapse ou junção neuromuscular
- Vasos

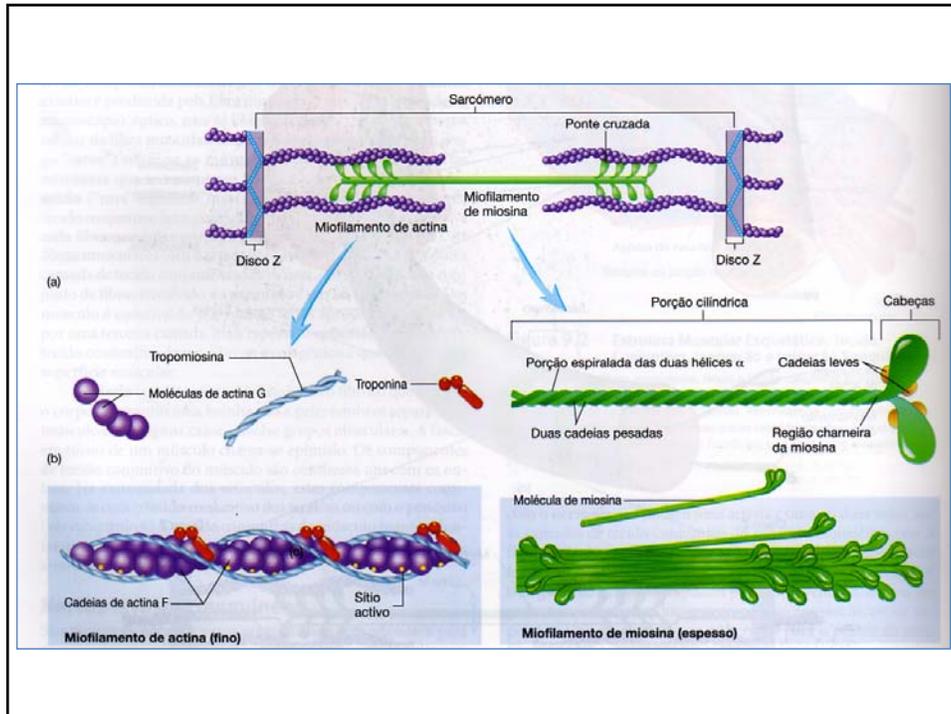


## Fibras musculares

- Fibras musculares **mantêm-se constantes** ao longo do tempo
- Aspecto estriado
- **Sarcoplasma** – citoplasma sem as **miofibrilhas** (miofilamentos proteicos de actina e miosina)
- Retículo sarcoplasmático – muito abundante nas fibras de contracção muito rápida
- **Sarcomeros** – unidades organizadas, (de Z a Z) suportadas pela Titina (banda I tem um disco Z)







## Miofilamentos

- **Actina**

- 2 cadeias de actina fibrosa (actina F)

- Monómeros de actina globular (actina G)

- Tropomiosina

- Troponina

Complexo responsável pela  
regulação contráctil

- 3 sub-unidades (Troponina I, T, C)

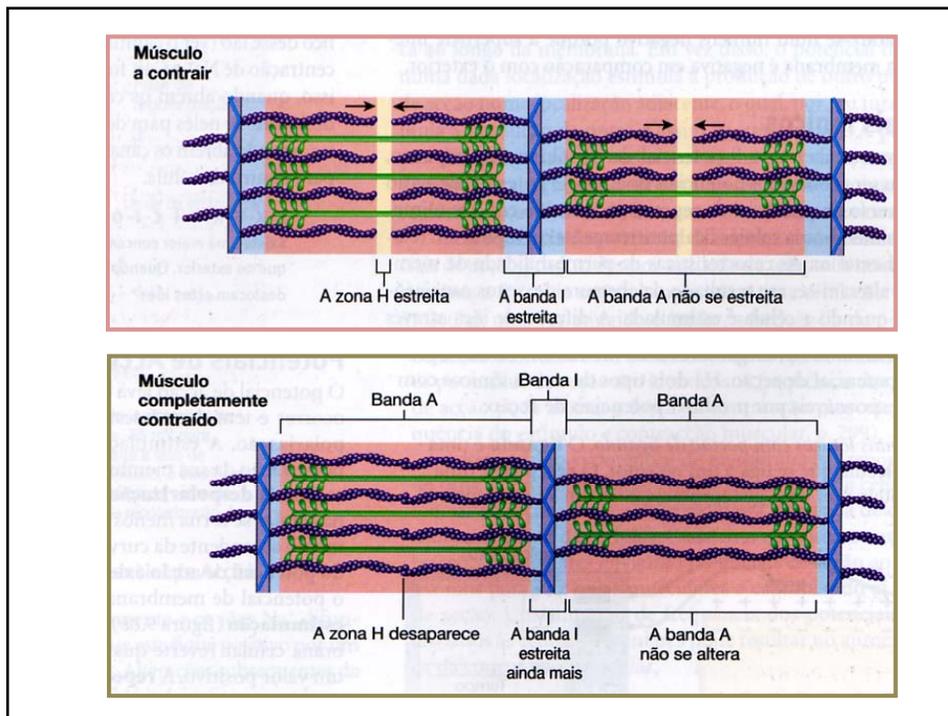
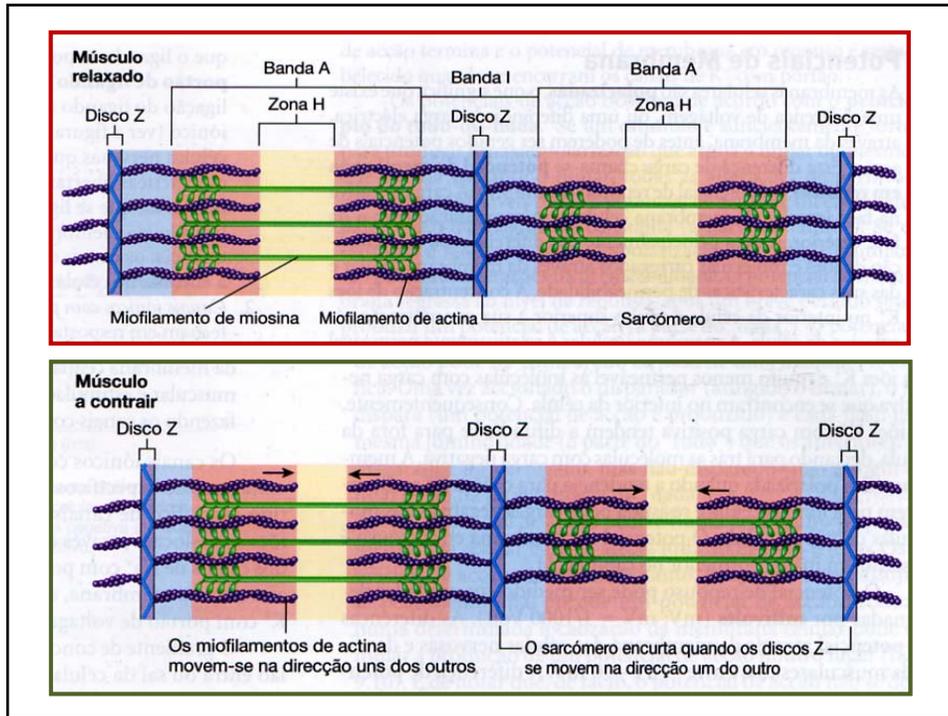
## Miofilamentos

- **Miosina**

- 2 moléculas cadeias pesadas
- 2 cabeças – (4 moléculas de cadeias leves)
  1. Podem-se ligar a centros activos de actina formando as **pontes cruzadas**
  2. A cabeça liga-se à porção cilíndrica por um “colo” que se pode **dobrar e estreitar** durante a contracção
  3. Cabeças com **actividade ATPase**

## Teoria dos filamentos deslizantes

- Os filamentos de actina e miosina não mudam de comprimento durante a contracção
  - Deslizam uns sobre os outros levando ao encurtamento dos sarcómeros
  - A **banda I e a zona H** diminuem durante a contracção
  - A **banda A** mantém o comprimento constante



## Fisiologia das fibras musculares esqueléticas

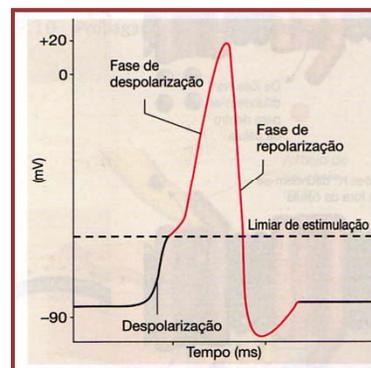
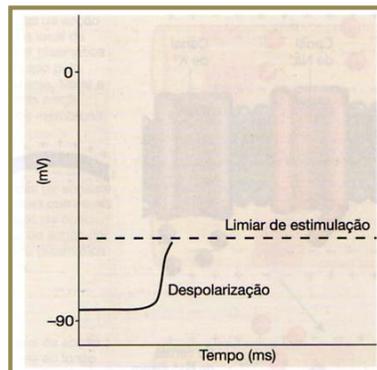
- Potenciais de acção
- Potenciais de membrana
  - Membranas polarizadas (PMR)
  - Concentração int vs ext (a membrana é permeável ao K<sup>+</sup>)
    - Fica polarizada quando o K<sup>+</sup> não pode continuar a sair

## Canais iónicos

- Canais iónicos com portão de ligando
  - Neurotransmissores
- Canais iónicos com portão de voltagem
  - O gradiente determina a direcção do ião

## Potenciais de acção

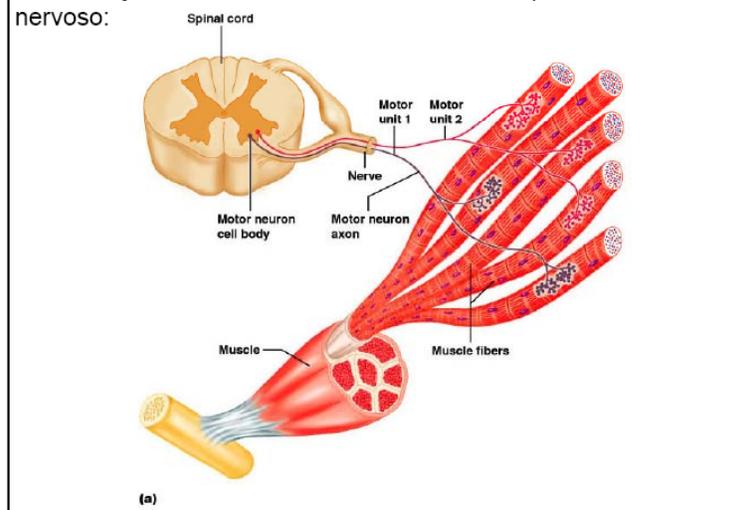
- **Despolarização**
- **Repolarização**
  - Planalto no músculo cardíaco
- Os locais activos do filamento de actina-miosina, em repouso estão inactivos
- Propagação ao longo da membrana (não se desloca, estimula outro PA – Dominó em queda)

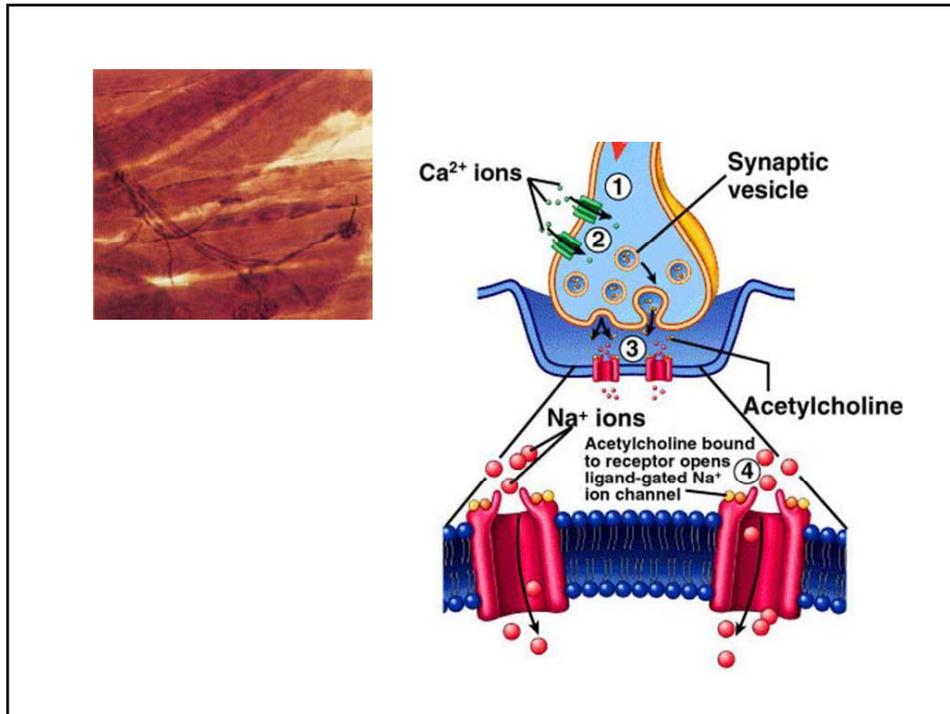


## Junção Neuromuscular

- Interface nervo-músculo
- O **terminal sináptico** do neurónio motor está separado da fibra muscular pela **fenda sináptica**
  - Liberta **Ach**, que se liga a receptores específicos do sarcolema, despoletando o PA
  - **Acetilcolinesterase** interrompe a acção da Ach

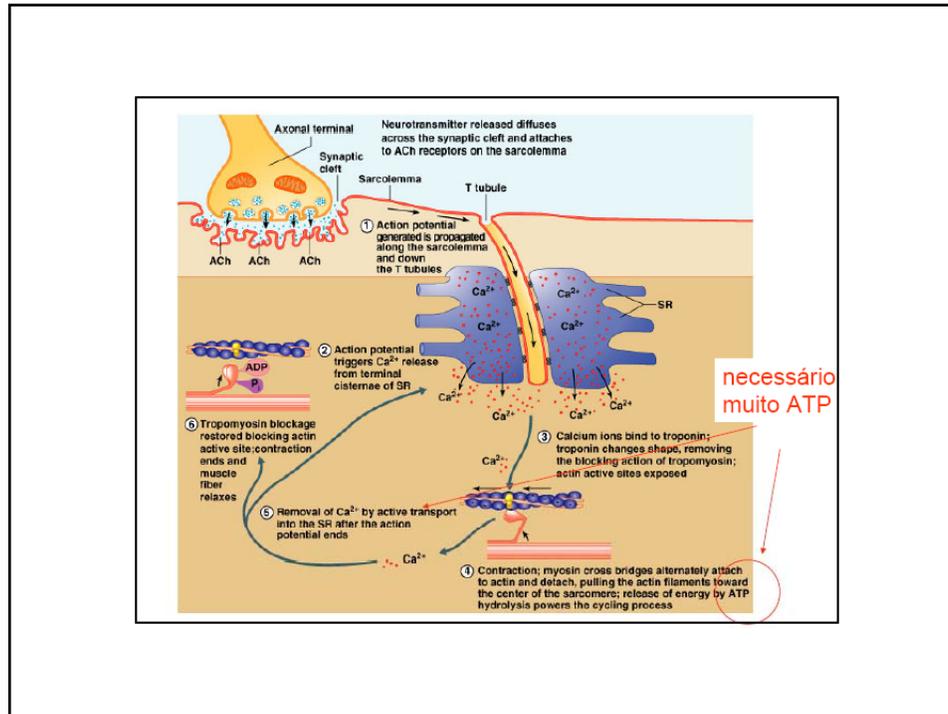
A contração muscular voluntária é controlada pelo sistema nervoso:





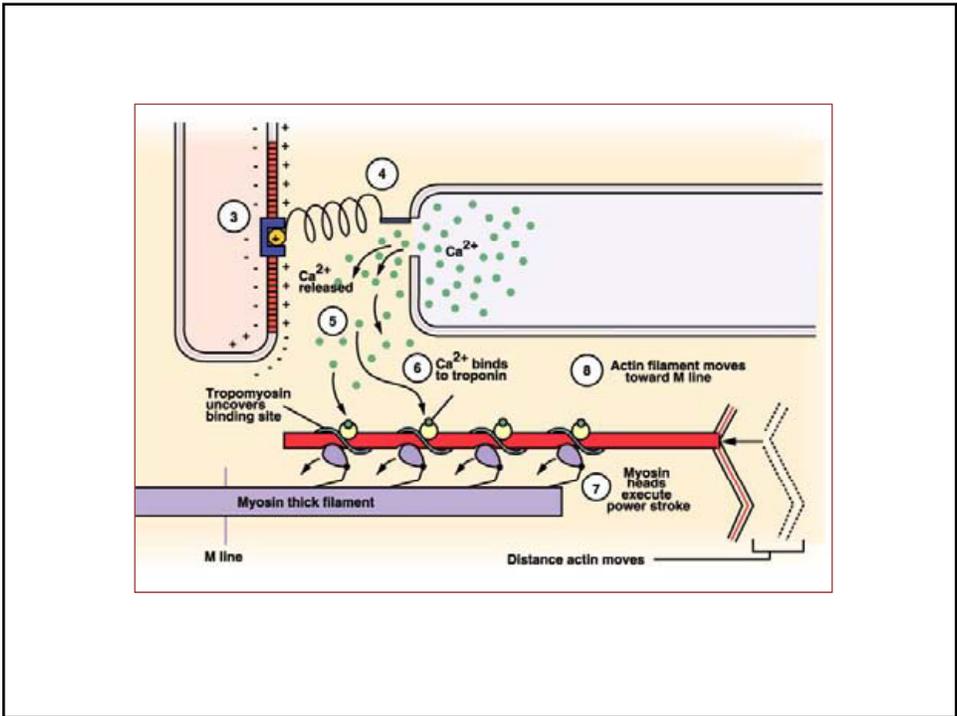
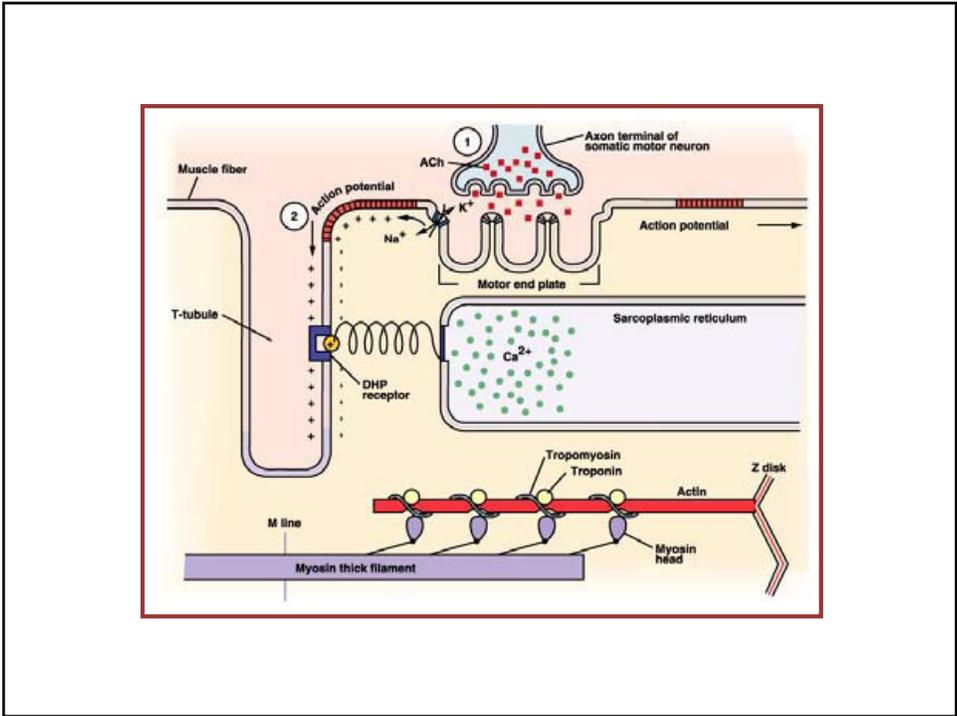
### Acoplamento Excitação - Contração

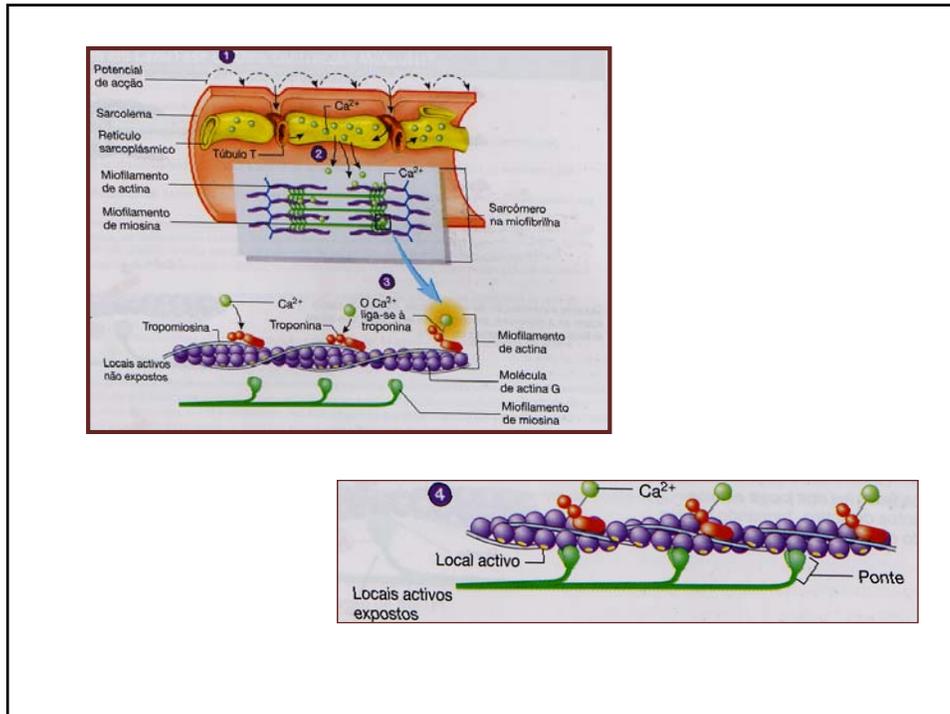
- Os PA propagam-se pela membrana e sistema de túbulos T, provocando a libertação de  $\text{Ca}^{+}$  do RS
- A contração ocorre quando a actina e a miosina se ligam, a miosina muda de forma e a actina é traccionada para o lado da miosina



## Acoplamento Excitação - Contração

- O  $\text{Ca}^{2+}$  difunde-se para os miofilamentos e liga-se à troponina, o que **mobiliza a tropomiosina** e expõe a actina à miosina
- O relaxamento dá-se quando o  $\text{Ca}^{2+}$  é captado pelo RS, o ATP liga-se à miosina e a tropomiosina regressa à posição inibitória





## Necessidades energéticas

- Para cada ciclo de formação, movimento e libertação de uma ponte actina-miosina, é necessária uma molécula de ATP
  - O ATP é necessário para o transporte do  $Ca^{+}$  para o RS e para manter a sua concentração normal através da membrana celular



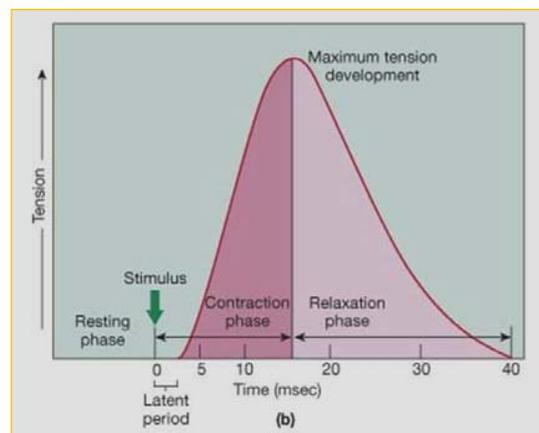
## Fisiologia do músculo esquelético

- **Contração muscular**

- Encurtamento de fibra muscular única ou de todo o músculo em resposta a um estímulo

- **Inclui:**

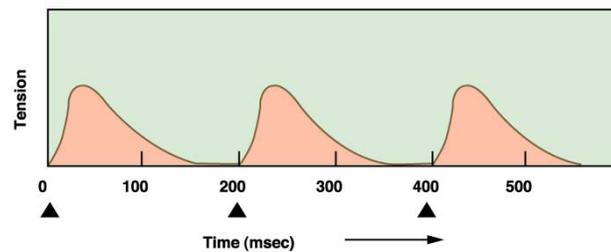
- **Fase de latência** – período de tempo entre a aplicação do estímulo e o início da contração
    - **Fase de encurtamento** – ocorre a contração
    - **Fase de relaxação** – ocorre o relaxamento



## Intensidade do estímulo e contracção muscular

- Uma fibra muscular contrai-se com força constante a em resposta a um PA (**Lei do tudo ou nada**) - *Limiar*
- *Sublimiar* – não produz PA
- *Supra limiar* = Limiar
- Para o músculo no seu todo, um estímulo crescente causa o recrutamento de mais unidades motoras, variando a resposta da força de contracção (**somação de múltiplas unidades motoras**)

(a) Single twitches



## Intensidade do estímulo e contracção muscular

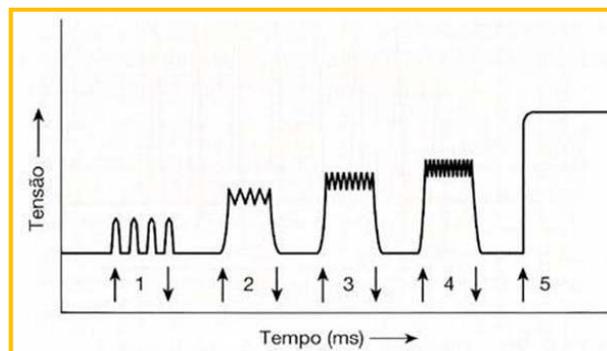
- **Unidade motora**
  - Responde como uma fibra muscular
- **Músculo no geral**
  - Reage de forma gradual aos estímulos
  - A força de contracção depende das concentrações iónicas e das unidades motoras recrutadas

## Intensidade do estímulo e contracção muscular

- **Unidade motora**
  - Menos abundantes nos músculos de actividades finas
  - Mais abundante nos músculos que executam acções poderosas

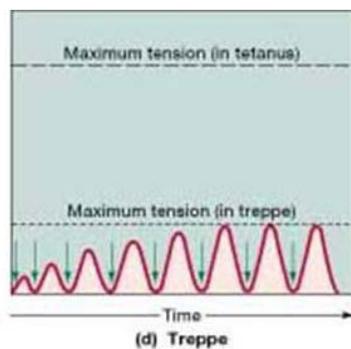
## Frequência do estímulo e contracção muscular

- Sem período refractário
- Um estímulo de frequência crescente **umenta a força de contracção** (somação de múltiplas ondas: 1 a 5)
- Relaxamento completo entre contracções(1)
- **Tetania incompleta** (2 a 4) – é o relaxamento parcial entre as contracções e **tetania completa** (5) é a ausência de relaxamento entre as contracções



## Frequência do estímulo e contracção muscular

- **A força de contracção** de todo um músculo aumenta com:
  - Aumento da frequência de estimulação
  - Concentração crescente de  $\text{Ca}^+$  em torno das miofibrilhas
  - Estiramento completo dos elementos musculares elásticos

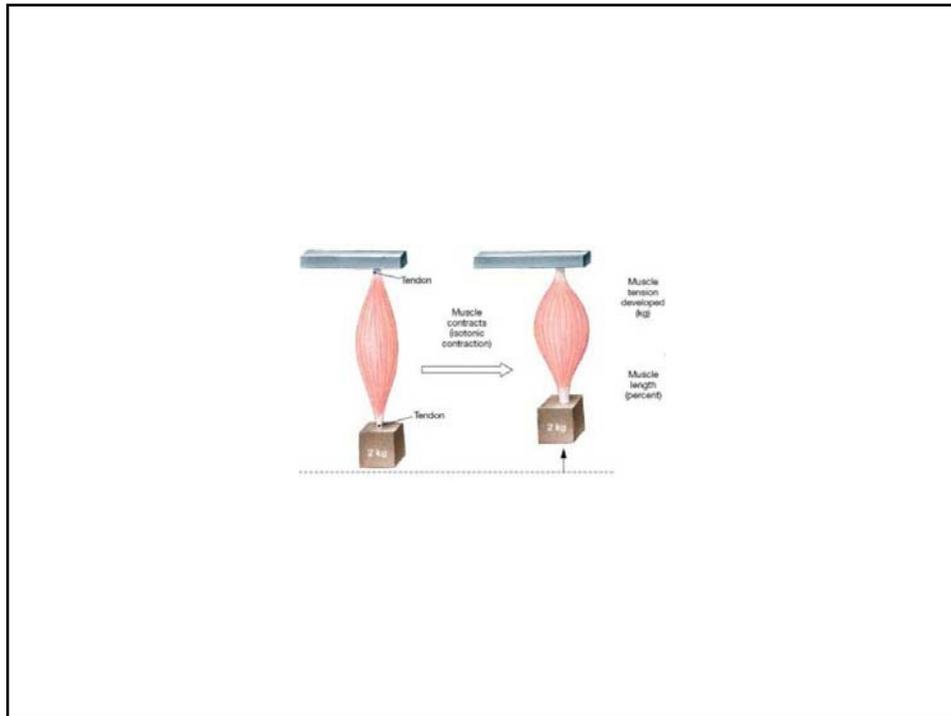


## Frequência do estímulo e contracção muscular

- O fenómeno da ascensão em degraus (Treppe) é o aumento da força de contracção durante as primeiras contracções de um músculo em repouso

## Tipos de contracção muscular

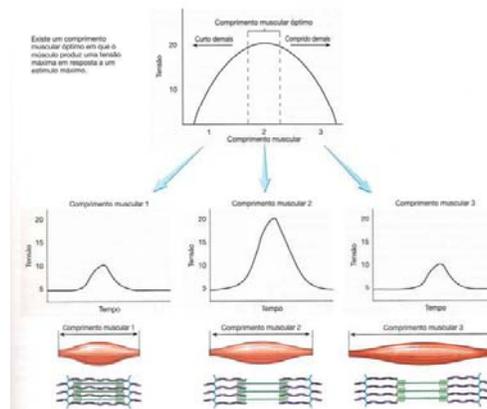
- **Tónus muscular**
  - Manutenção de tensão uniforme por longo período de tempo.
- **Contracção isométrica**
  - Altera a tensão, mas não o comprimento do músculo (ex. postura)
- **Contracção isotónica**
  - Altera o comprimento, mas não a tensão muscular (ex. acenar)
- **As contracções concêntricas**
  - Levam os músculos a encurtar e a tensão a aumentar.
- **As contracções excêntricas**
  - Aumentam o comprimento dos músculos, diminuindo gradualmente a tensão



- **Contrações assíncronas** das unidades motoras produzem contrações musculares suaves e uniformes

## Cumprimento vs tensão

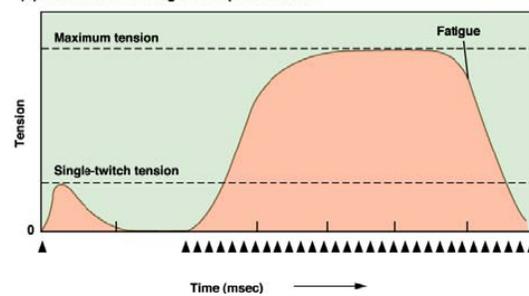
- O músculo contrai-se com força inferior à máxima se o seu comprimento inicial for **mais curto** ou **mais longo** que o óptimo
  - Importância dos abdominais curtos...



## Fadiga

- Diminuição da capacidade de efectuar trabalho;
- Tipos de fadiga:
  - Psicológica (causa psicogénea)
  - Muscular (depleção do ATP nos músculos)
  - Sináptica (depleção de acetilcolina na junção neuromuscular)

(d) Summation leading to complete tetanus



## Contractura fisiológica e “*Rigor mortis*”

- *Contractura fisiológica*

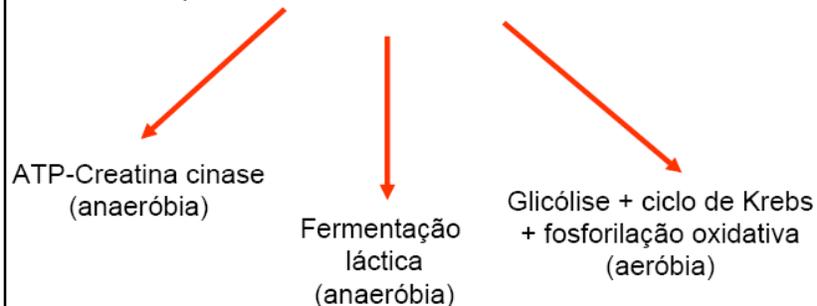
- Falta de energia no músculo
- As pontes previamente formadas não se podem libertar

- *Rigor mortis*

- A produção de ATP cessa, não havendo possibilidade de desfazer as ligações das pontes previamente formadas
- A contração cessa aquando da degeneração dos tecidos

### De onde vem a energia necessária para a contração muscular?

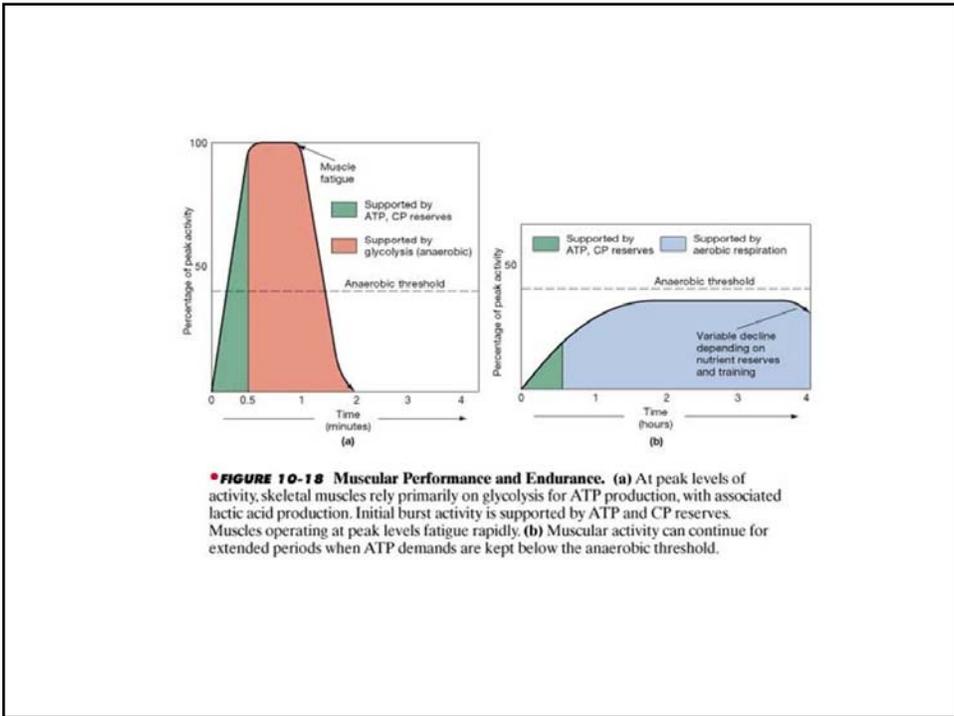
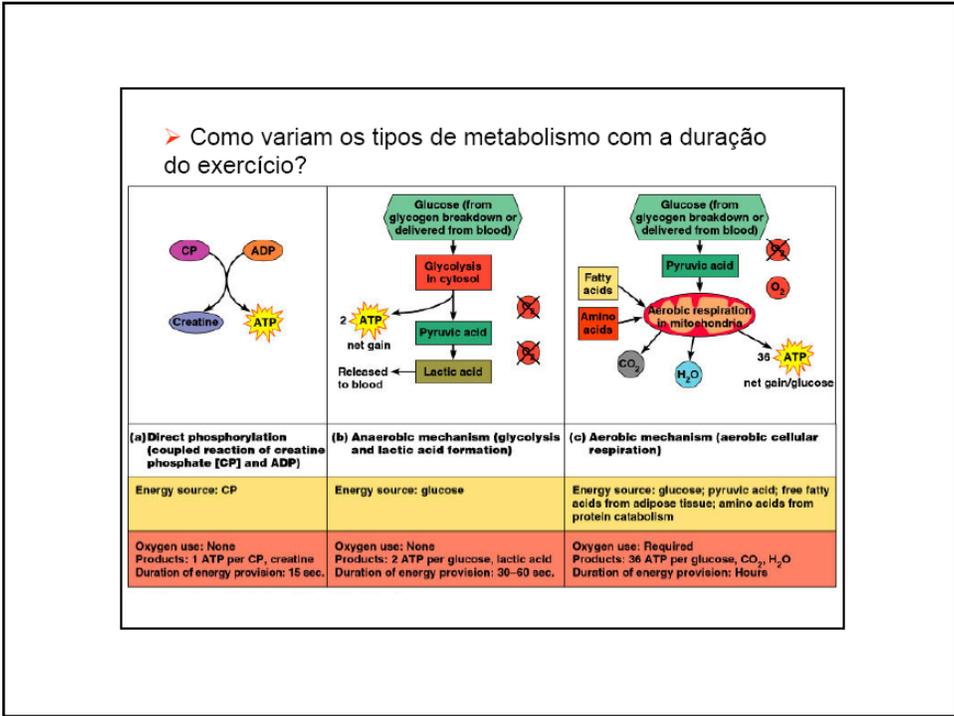
A duração e a intensidade do exercício determinam o tipo de combustível que o organismo escolhe. Obtenção de ATP a partir de 3 vias:



## Fontes de energia

- A energia para a contracção muscular provém do ATP
- O ATP pode ser sintetizado por reacção com a creatina fosfato e usado para assegurar energia durante o exercício intenso por curtos períodos de tempo:
- $\text{ADP} + \text{Creatina fosfato} \rightarrow \text{Creatina} + \text{ATP}$  (Termina rapidamente)
- **Respiração anaeróbica:**
  - Proporciona energia por curto período de tempo durante o exercício intenso
  - Produz ATP menos eficiente mas mais rapidamente que a respiração aeróbica
  - Glucose produz 2 ATP e ácido láctico
  - Limitado pela depleção de Glucose e creatina Fosfato e deposição de ácido láctico

- **Respiração aeróbica:**
  - Produz ATP eficiente mas lentamente (usa Glucose, ác. gordos e aa)
  - Glucose e  $\text{O}_2$  produz 38 ATP,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$
  - O ácido pirúvico é metabolizado por reacções químicas nas mitocôndrias
  - Produz energia para a contracção muscular em situações de repouso ou durante exercícios de longa duração



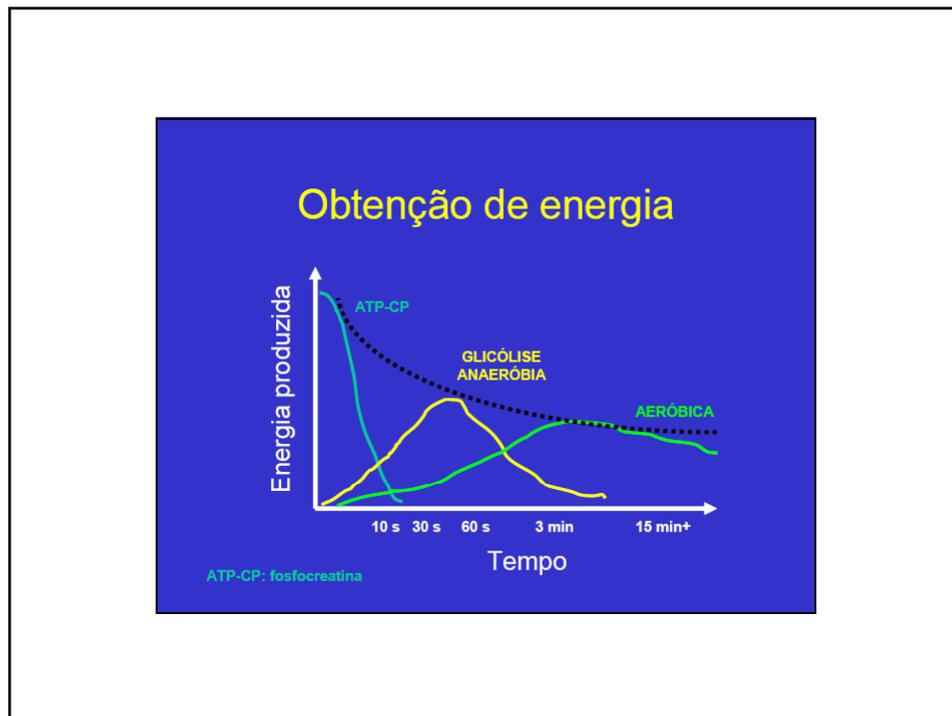
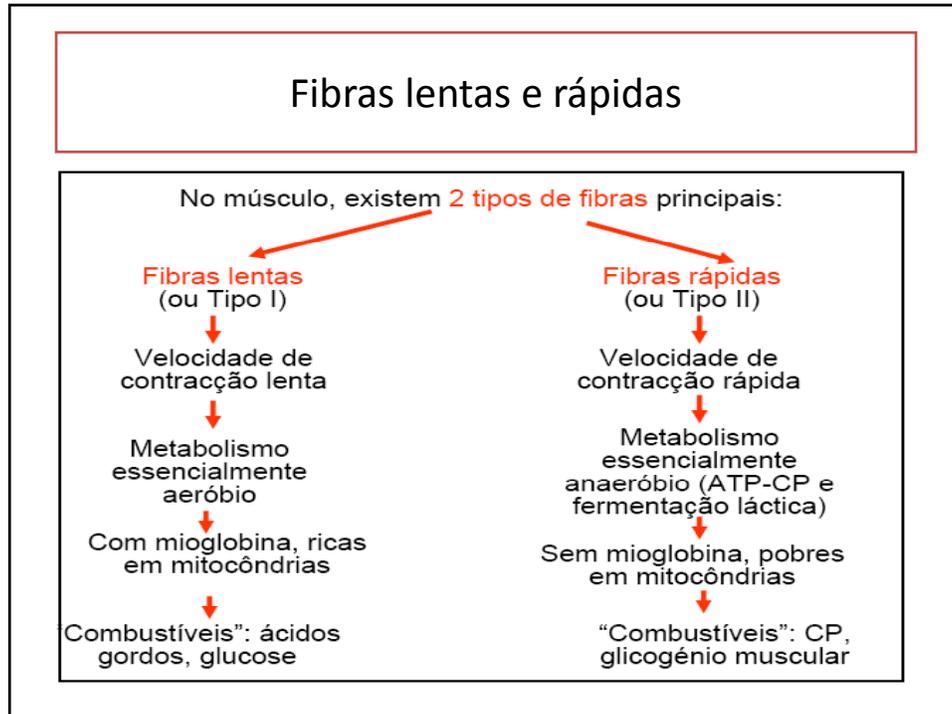
## Produção de calor

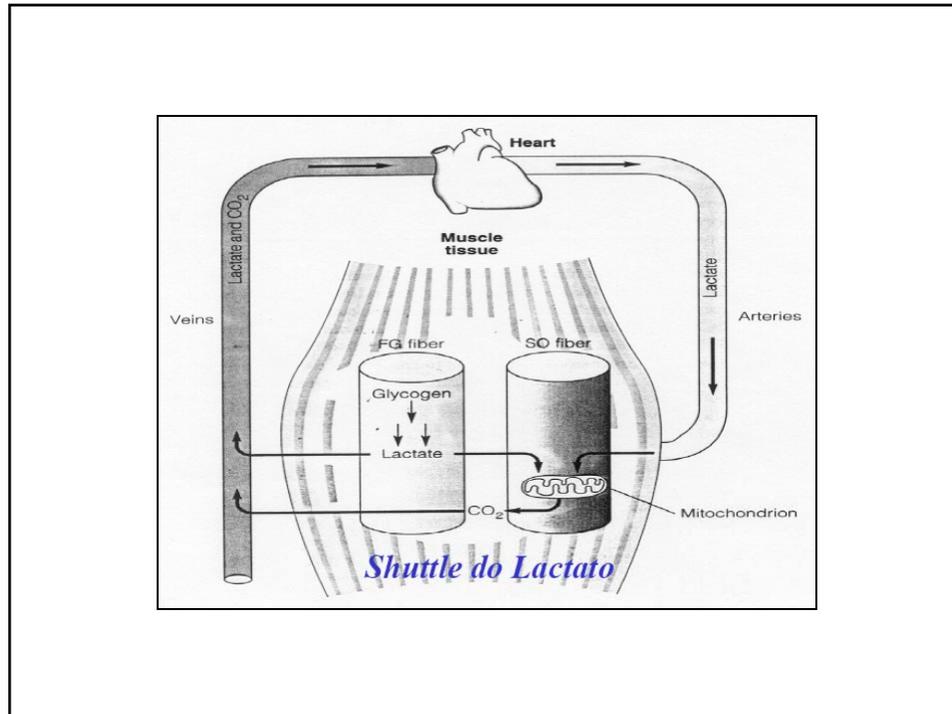
- O calor é produzido como subproduto das reacções químicas nos músculos
- Os calafrios produzem calor que mantém a temperatura corporal

## Carência de oxigénio

- Após a respiração anaeróbica, a respiração aeróbica é superior à normal, **restaurando os níveis de creatina fosfato** e convertendo o ácido láctico em glucose

## Fibras lentas e rápidas



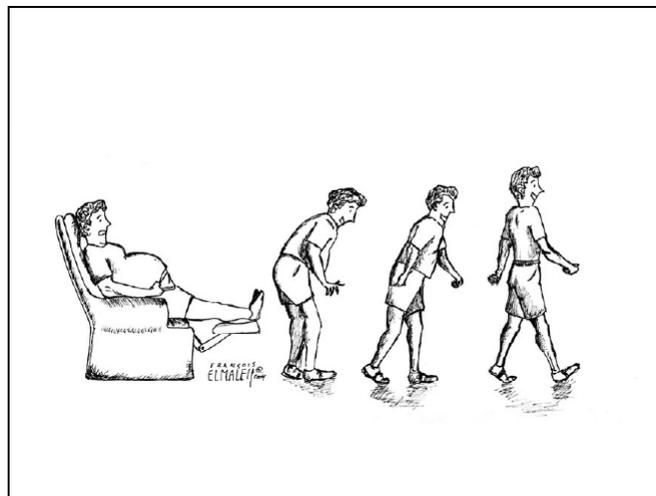


## Efeitos do exercício

- O aumento (**hipertrofia**) ou diminuição (**atrofia**) das dimensões dos músculos resultam da alteração do tamanho das fibras musculares
- **O exercício anaeróbico** desenvolve as fibras fatigáveis de contração rápida.
- **O exercício aeróbico** desenvolve as fibras de contração lenta e transforma as fibras fatigáveis de contração rápida em fibras de contração rápida resistentes à fadiga

## Efeitos do exercício

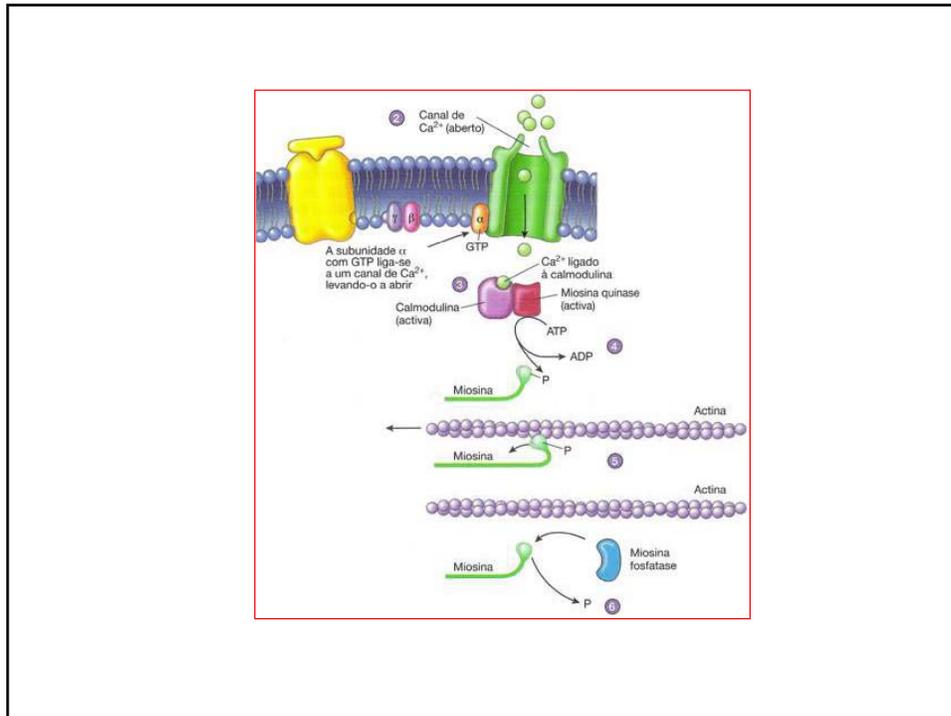
- Alterações metabólicas do músculo
  - Aumento da sensibilidade à insulina
  - Aumento da actividade lipoproteína lipase
  - Maior actividade das enzimas oxidativas mitocondriais (ciclo de Krebs)
  - Aumento da actividade do glicogénio sintetase





## Musculo liso

- As células musculares lisas são fusiformes, com núcleo único
- Têm miofilamentos de actina e miosina, mas não são estriadas
- O retículo sarcoplasmático é pouco desenvolvido e as cavernas podem funcionar como um sistema de túbulos T



## Contração do músculo liso

- A despolarização do sarcolema leva à libertação de neurotransmissor ou dá-se a ligação de hormona ao receptor, o que activa um mecanismo de proteína G

## Contração do músculo liso

- Os íons cálcio entram na célula para iniciar a contração; a calmodulina liga-se ao  $\text{Ca}^+$  e activa a miosina cinase, que transfere um grupo fosfato do ATP para a miosina
- Quando grupos fosfatos estão ligados à miosina ocorre a formação de pontes

## Propriedades do músculo liso

- Pode contrair-se auto-ritmicamente em resposta ao estiramento ou quando estimulado pelos sistemas nervoso e endócrino
- Mantém dimensão uniforme durante longos períodos de tempo
- Força de contração mantém-se mais ou menos constante, apesar das mudanças no comprimento do músculo
- Não desenvolve carência de oxigénio

## Tipos de músculo liso

- **Visceral**
  - Contrain lentamente, tem junções sinápticas (funcionando como unidade única) e pode ser auto-rítmico
- **Multiunitário**
  - Contrain rapidamente e funciona de modo independente

## Músculo cardíaco

- Localiza-se no coração
- Fibra muscular: cilíndrica e ramificada (comp.100-500  $\mu\text{m}$ ,  $\varnothing$ 100-200 $\mu\text{m}$ );
- Estriado
- Núcleo único
- Unido por discos intercalares (sincício funcional)
- Controlo involuntário
- Contrain espontaneamente
- Funções: Bombeamento do sangue
- Auto rítmico

Bom ano 2008