

# 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

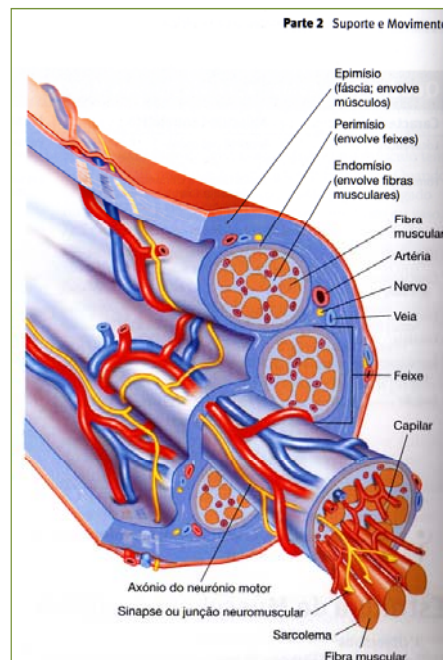
## Características gerais do funcionamento do músculo

### • Propriedades do músculo

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

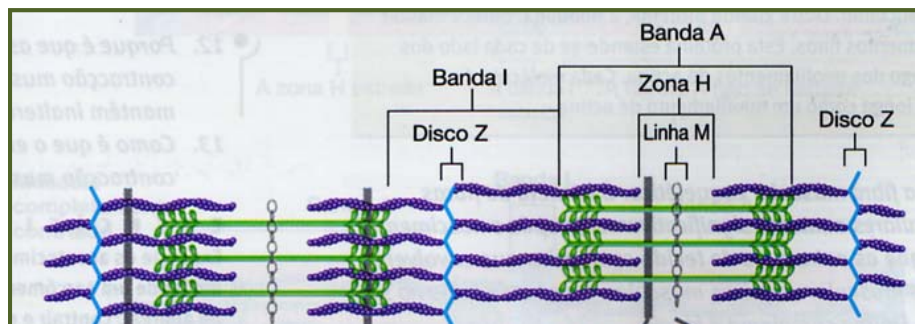
## Estrutura do músculo esquelético

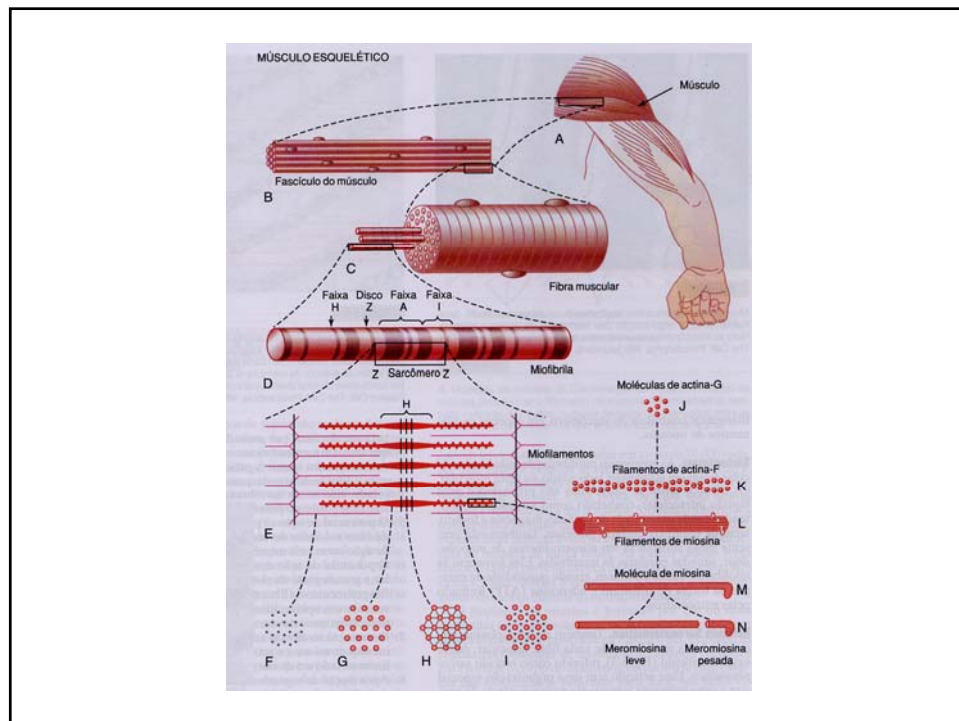
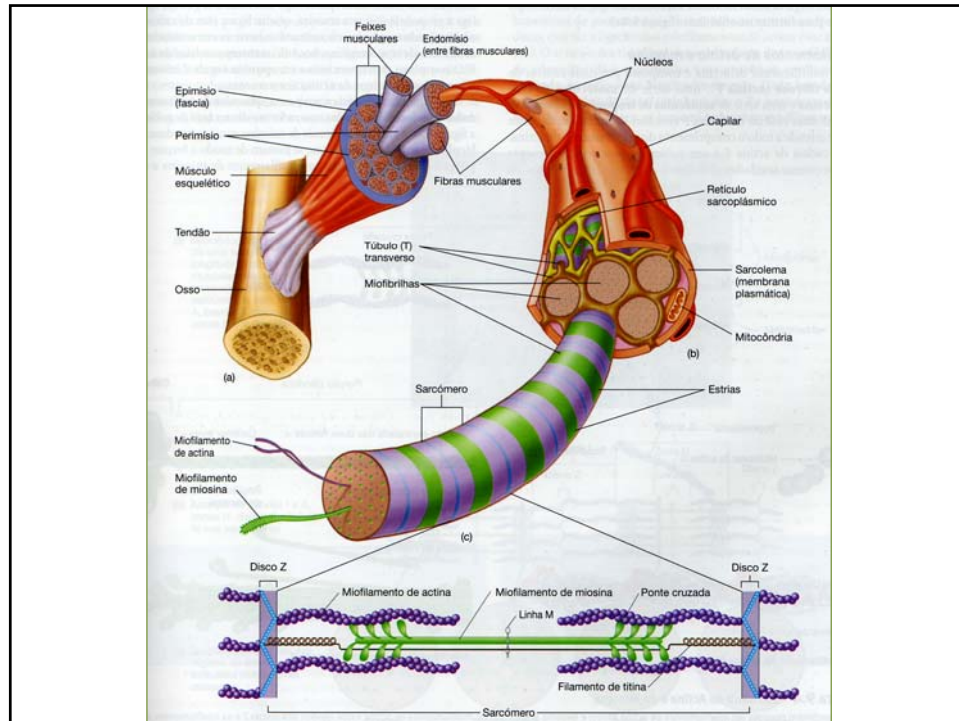
- Composto por fibras musculares - miofibrilhas – formadas a partir dos **mioblastos**,
- **Tecido conjuntivo**
  - **Sarcolema** (membrana celular)
  - **Epimísio** (Fáscia muscular)
  - **Perimísio**
  - **Endomísio**
- Nervos (neurónios motores – corpos celulares na Medula espinhal e tronco cerebral)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

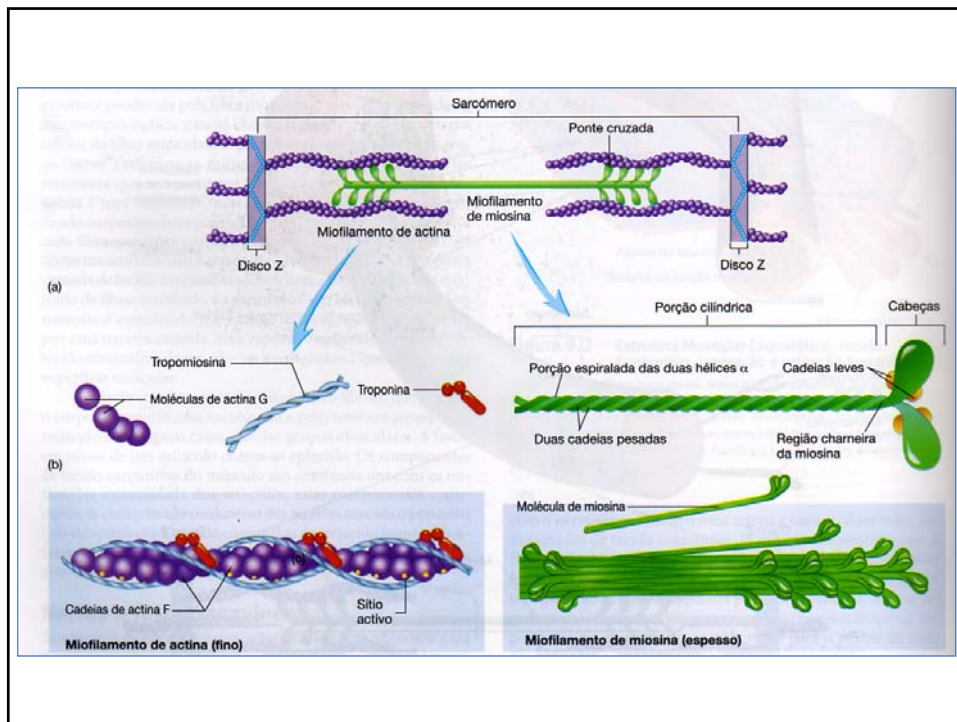


## Fibras musculares

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

Complexo responsável pela  
regulação contráctil

## Miofilamentos

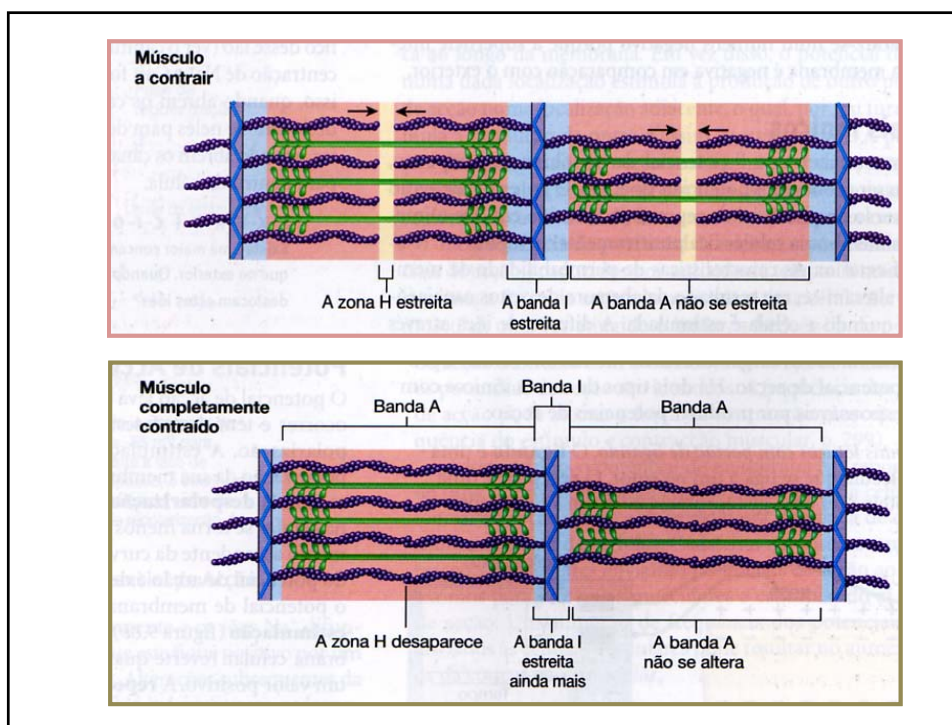
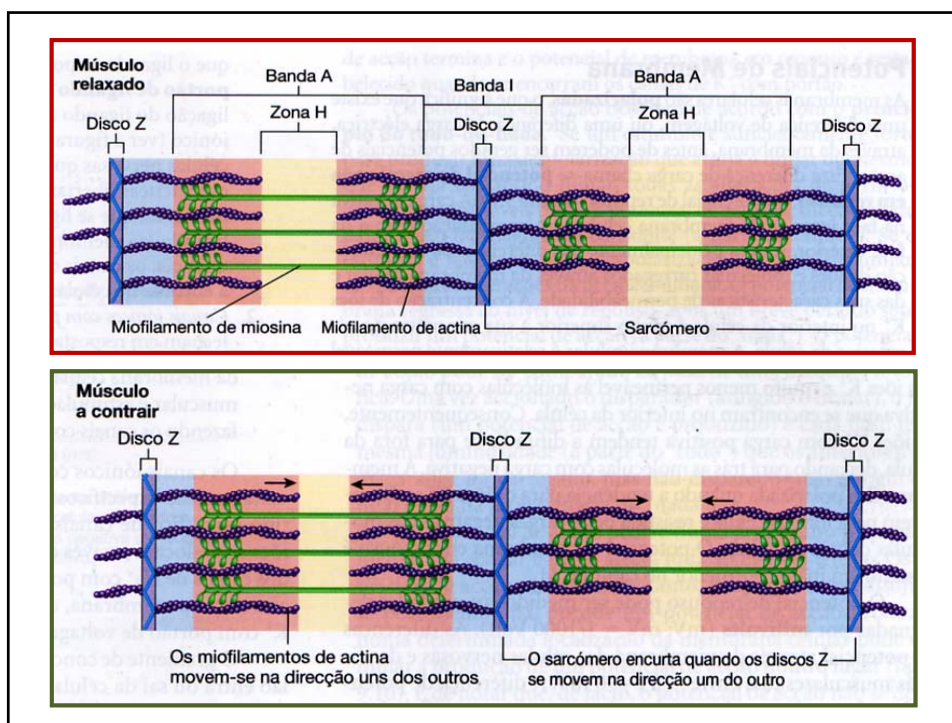
- **Miosina**

- 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

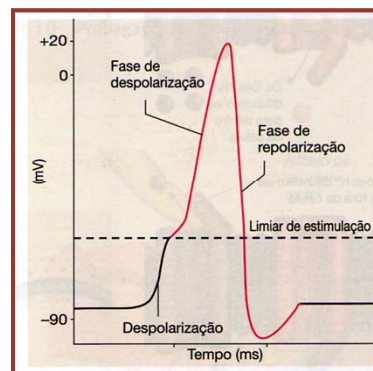
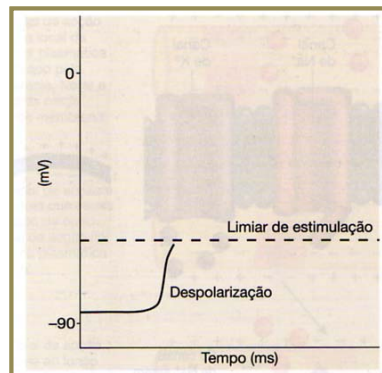
- Potenciais de acção
- Potenciais de membrana
  - Membranas polarizadas (PMR)
  - Concentração int vs ext (a membrana é permeável ao  $K^+$ )
    - Fica polarizada quando o  $K^+$  não pode continuar a sair

## 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

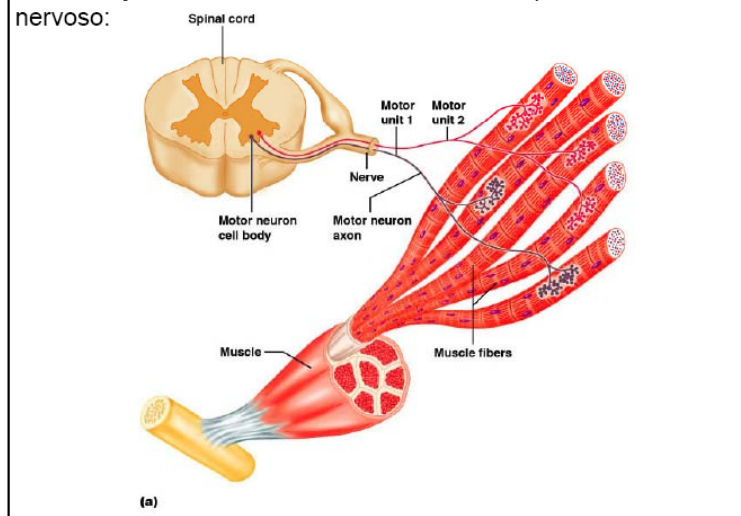
- **Despolarização**
- **Repolarização**
  - Planalto no músculo cardíaco
- Os locais activos do filamento de actina-miosina, em repouso estão inactivos
- Propagação ao longo da membrana (não se desloca, estimula outro PA – Dominó em queda)

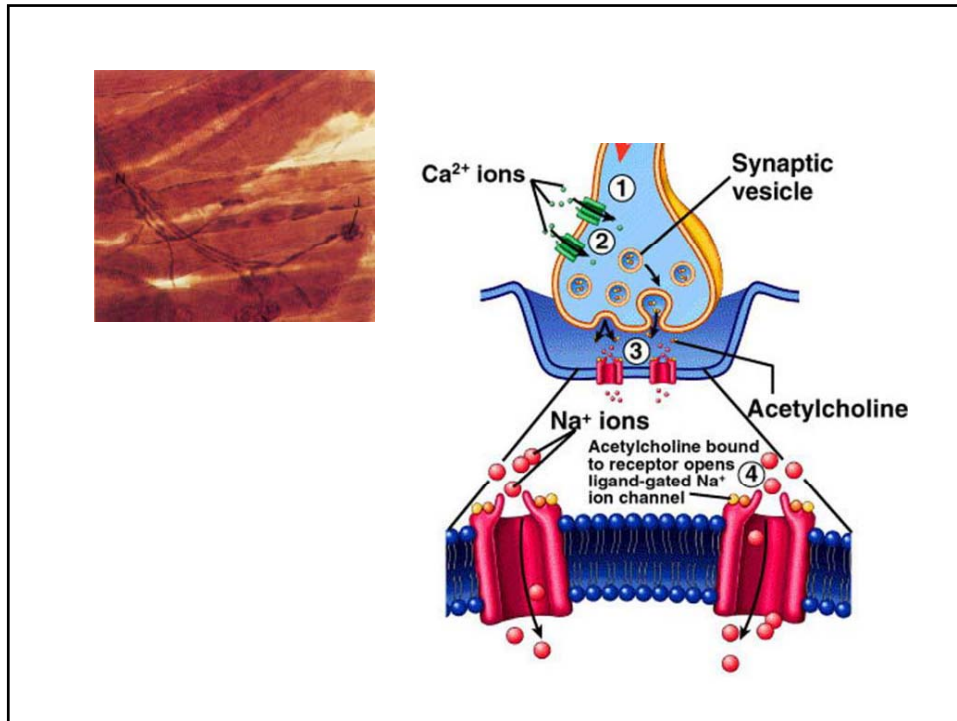


## Junção Neuromuscular

- 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

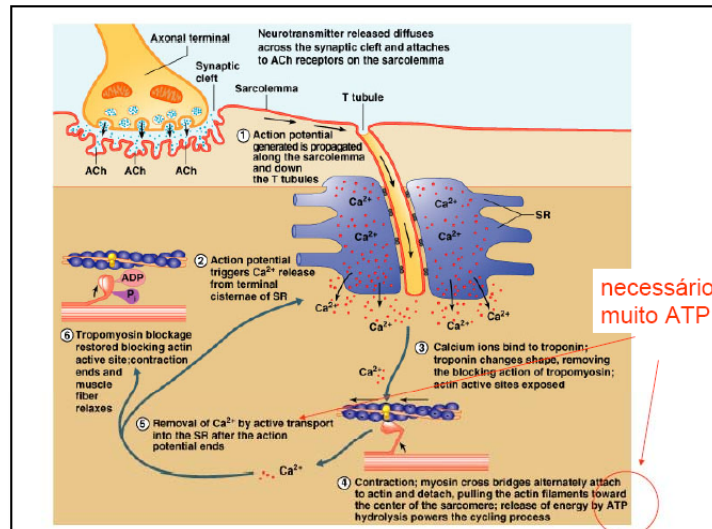
A contração muscular voluntária é controlada pelo sistema nervoso:





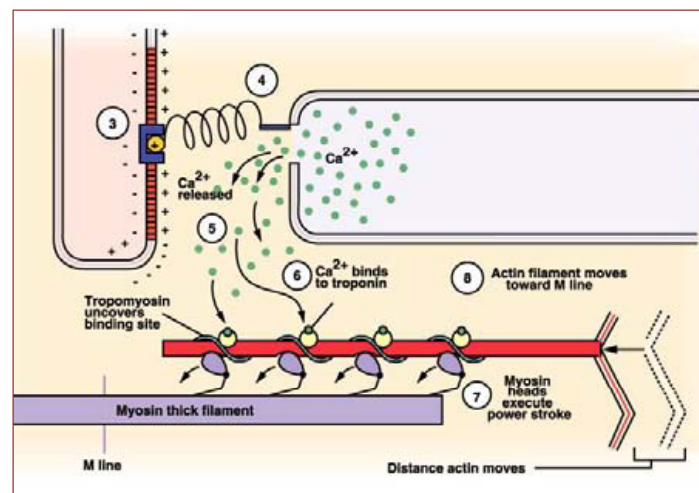
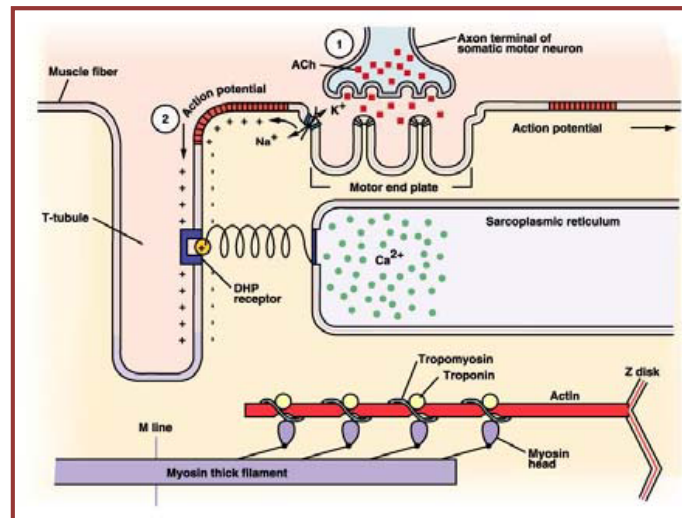
### Acoplamento Excitação - Contracção

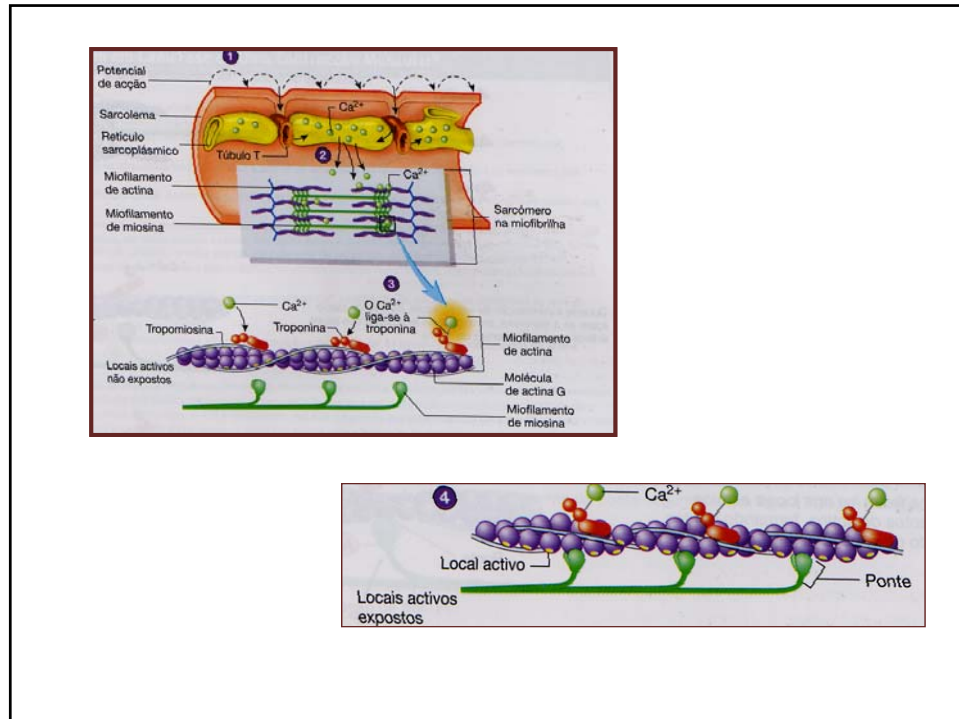
- Os PA propagam-se pela membrana e sistema de túbulos T, provocando a libertação de  $\text{Ca}^{+}$  do RS
- A contracção ocorre quando a actina e a miosina se ligam, a miosina muda de forma e a actina é traccionada para o lado da miosina



## Acoplamento Excitação - Contracção

- 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





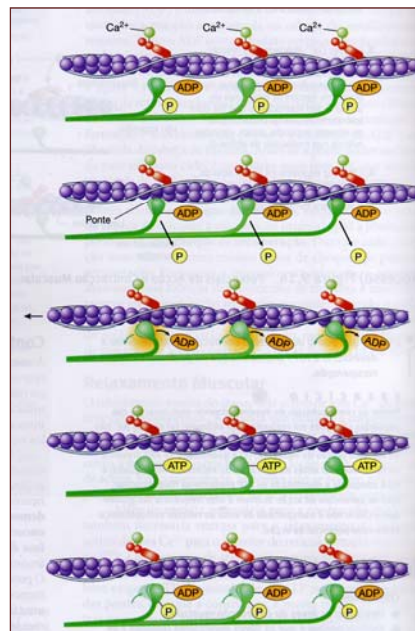
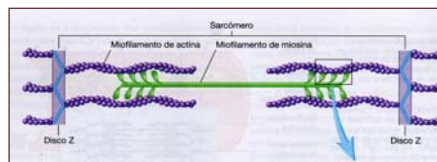
## Necessidades energéticas

- 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  $\text{Ca}^{+}$  para o RS e para manter a sua concentração normal através da membrana celular



## Relaxamento muscular

- Os iões de  $\text{Ca}^{2+}$  são transportados para o RS *ativamente*
  - Os iões difundem-se a partir da troponina, evitando a formação de mais pontes
- O  $\text{Na}^{+}$  e o  $\text{K}^{+}$  também são repostos nos seus locais fisiológicos *ativamente*



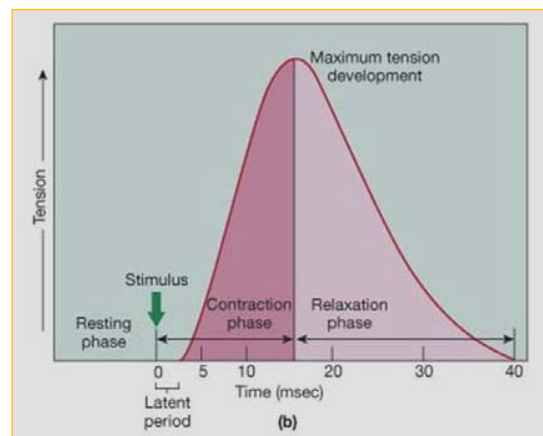
## Fisiologia do músculo esquelético

- **Contracção muscular**

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

- **Inclui:**

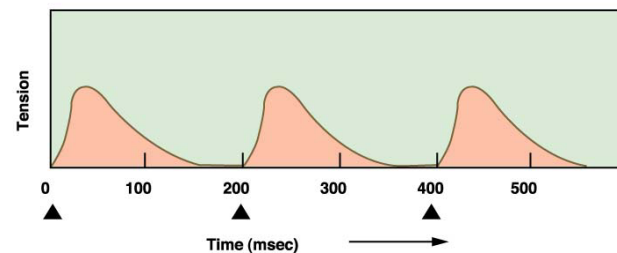
- **Fase de latência** – período de tempo entre a aplicação do estímulo e o início da contracção
    - **Fase de encurtamento** – ocorre a contracção
    - **Fase de relaxação** – ocorre o relaxamento



## 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

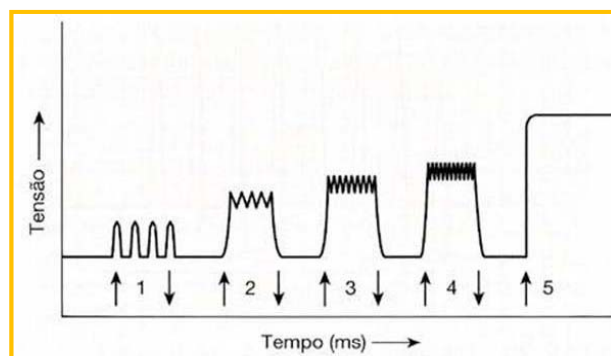
- **Unidade motora**
  - Responde como uma fibra muscular
- **Músculo no geral**
  - Reage de forma gradual aos estímulos
  - A força de contracção depende das concentrações iónicas e das unidades motoras recrutadas

## Intensidade do estímulo e contracção muscular

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

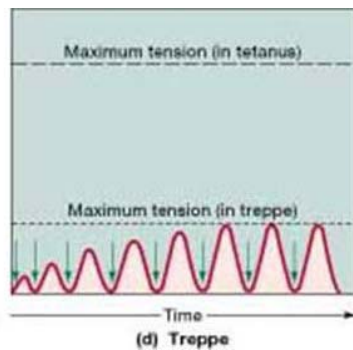
## Frequência do estímulo e contracção muscular

- Sem período refractário
- Um estímulo de frequência crescente **aumenta 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



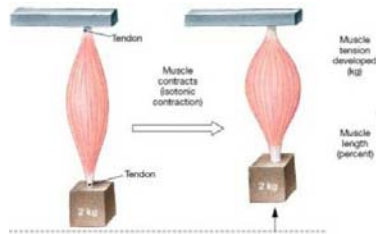
## Frequência do estímulo e contracção muscular

- 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

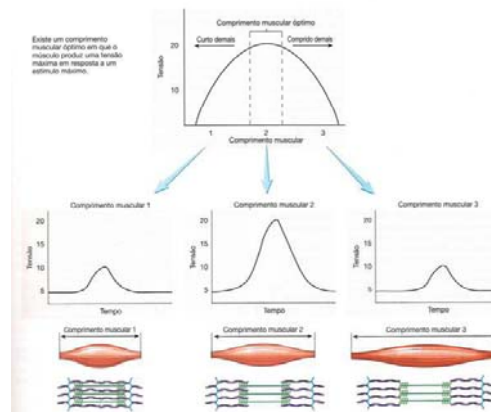




- **Contrações assíncronas** das unidades motoras produzem contrações musculares suaves e uniformes

## Cumprimento vs tensão

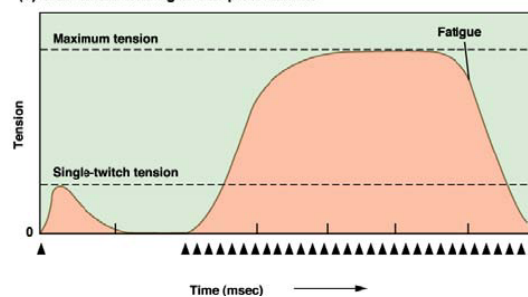
- O músculo contrai-se com força inferior à máxima se o seu comprimento inicial for **mais curto** ou **mais longo** que o óptimo
  - Importância dos abdominais curtos...



## 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*

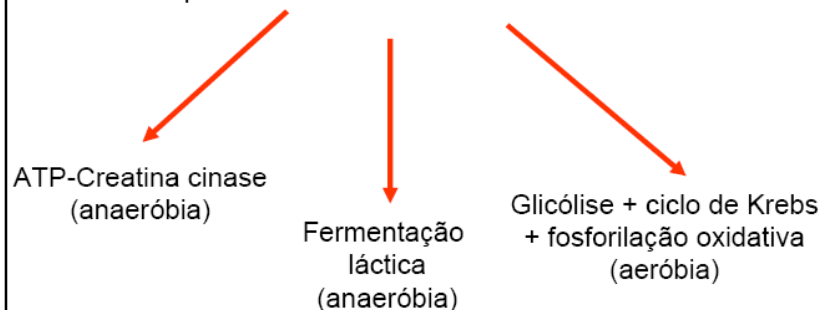
- Falta de energia no músculo
- As pontes previamente formadas não se podem libertar

- *Rigor mortis*

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

### De onde vem a energia necessária para a contracção 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:

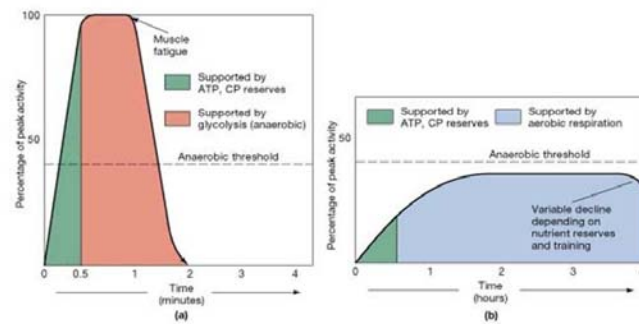
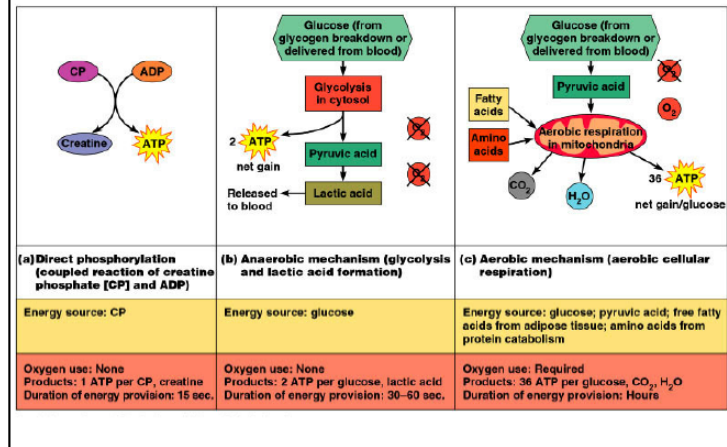


## Fontes de energia

- 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

➤ Como variam os tipos de metabolismo com a duração do exercício?



• **FIGURE 10-18 Muscular Performance and Endurance.** (a) At peak levels of activity, skeletal muscles rely primarily on glycolysis for ATP production, with associated lactic acid production. Initial burst activity is supported by ATP and CP reserves. Muscles operating at peak levels fatigue rapidly. (b) Muscular activity can continue for extended periods when ATP demands are kept below the anaerobic threshold.

### Produção de calor

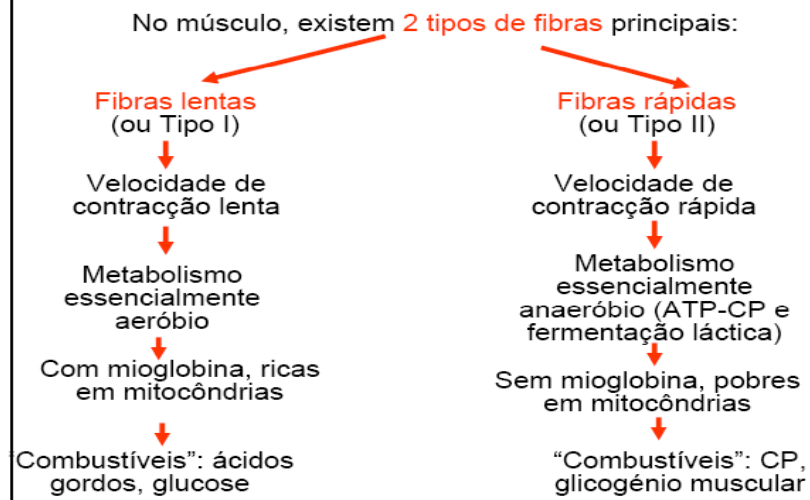
- O calor é produzido como subproduto das reacções químicas nos músculos
- Os calafrios produzem calor que mantém a temperatura corporal

### Carência de oxigénio

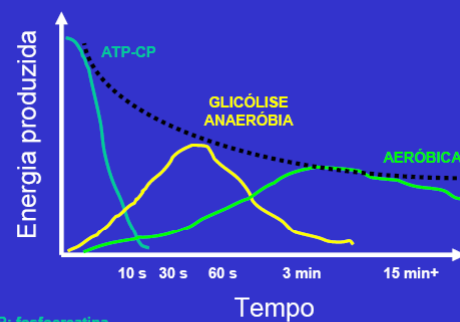
- Após a respiração anaeróbica, a respiração aeróbica é superior à normal, **restaurando os níveis de creatina fosfato** e convertendo o ácido láctico em glucose

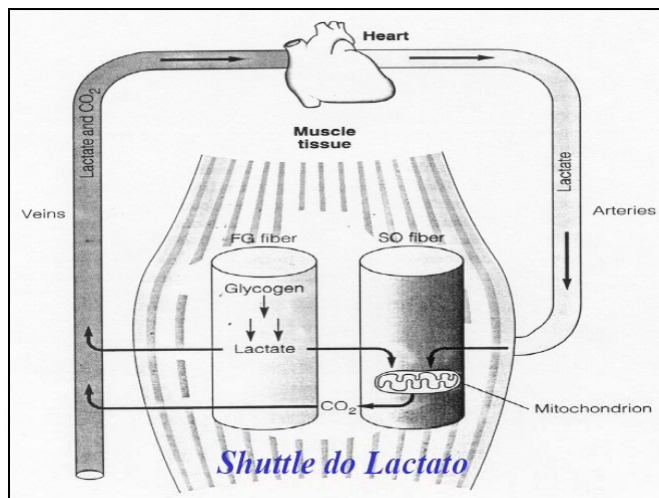


## Fibras lentas e rápidas



## Obtenção de energia



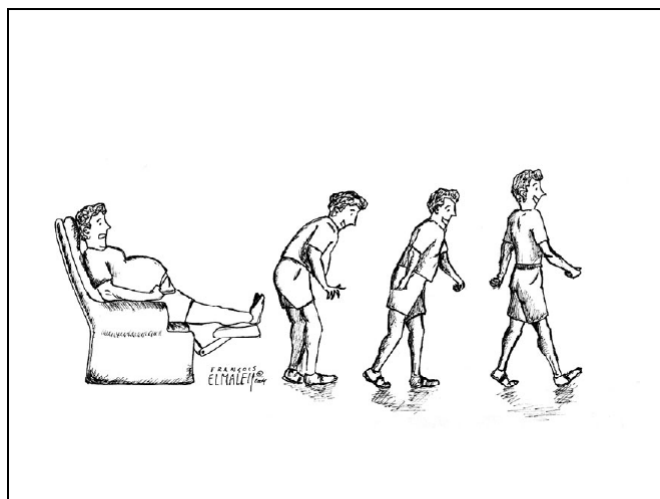


## Efeitos do exercício

- 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 contracção rápida.
- O **exercício aeróbico** desenvolve as fibras de contracção lenta e transforma as fibras fatigáveis de contracção rápida em fibras de contracção rápida resistentes à fadiga

## Efeitos do exercício

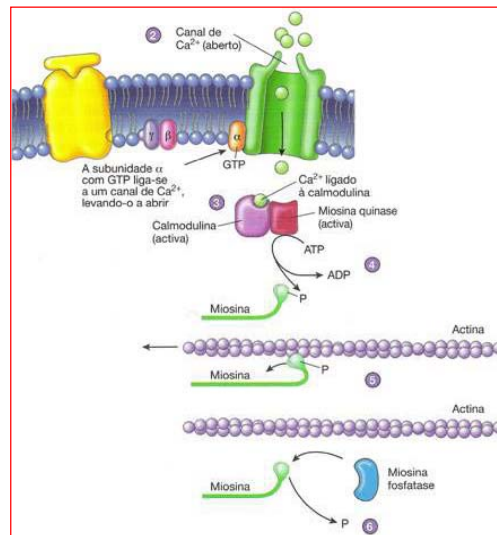
- Alterações metabólicas do músculo
  - Aumento da sensibilidade à insulina
  - Aumento da actividade lipoproteína lipase
  - Maior actividade das enzimas oxidativas mitocondriais (ciclo de Krebs)
  - Aumento da actividade do glicogénio sintetase





## 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**

- Contrai lentamente, tem junções sinápticas (funcionando como unidade única) e pode ser auto-rítmico

- **Multiunitário**

- Contrai 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
- Contrai espontaneamente
- Funções: Bombeamento do sangue
- Auto rítmico

Bom ano 2008