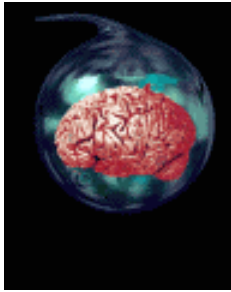


BIOMECÂNICA

CONSIDERAÇÕES BIOMECÂNICAS SOBRE O SISTEMA NEUROMOTOR

– Parte II –

Prof. Dr. Matheus M. Gomes



Sistema Muscular

– Sumário –

- ✓ **Receptores Sensoriais.**
 - **Fuso Muscular;**
 - **Órgão Tendinoso de Golgi;**
 - **Outros receptores.**

- ✓ **Efeito do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas.**
 - **Flexibilidade;**
 - **Força;**
 - **Treinamento Pliométrico.**

- ✓ **Bibliografia Consultada.**

Receptores Sensoriais

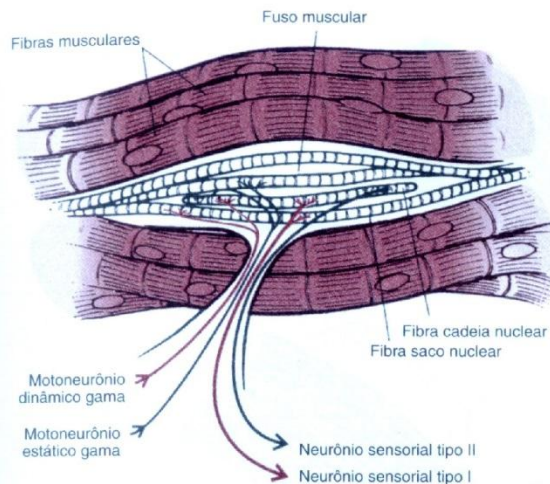
Fuso Muscular:

- Localiza-se em cápsulas tecido conjuntivo dentro do músculo, envolvido por fibras musculares e paralelo a estas fibras.
- Possui fibras musculares (**INTRAFUSAIS**) e filamentos de actina e miosina que podem se contrair.
- Fornecem informações sobre alteração no comprimento muscular.
- **Função básica:** responder à distensão do músculo e iniciar contração muscular para reduzir esta distensão.

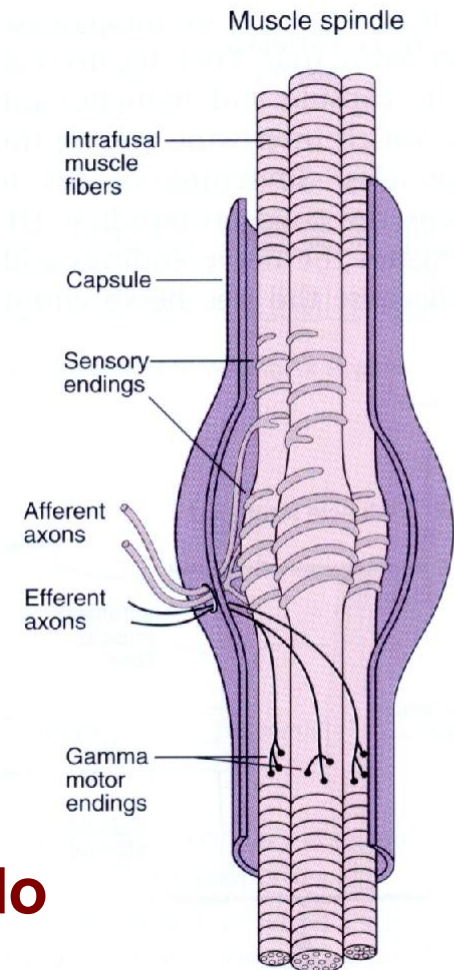
Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

Capacidade de identificar, responder e controlar as mudanças no comprimento do músculo.



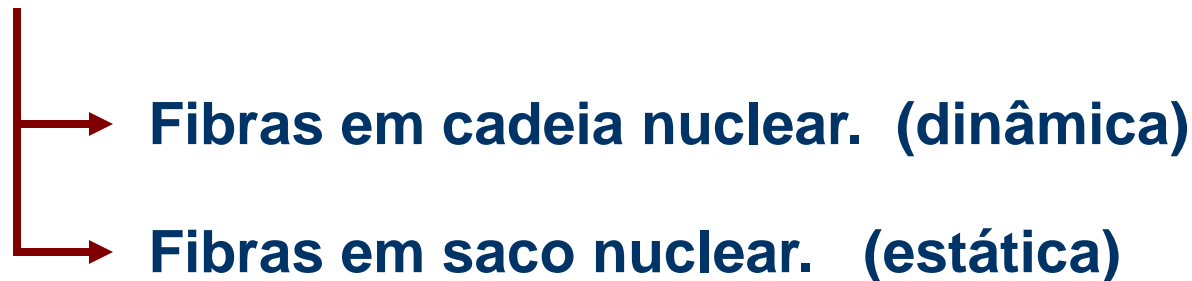
Importante para regulação do movimento e da postura.



Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

- O número de fusos musculares varia de músculo para músculo. ↑ Densidade nos músculos do pescoço e das mãos
- O número de fibras por fuso pode chegar a 12 fibras intrafusais.
- Dois tipos diferentes de fibras musculares são encontradas dentro dos fusos.



Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

- Região Polar

- Extremidades das fibras intrafusais.
- Contem filamentos de actina e miosina e, portanto, podem se contrair para auxiliar no controle do movimento.

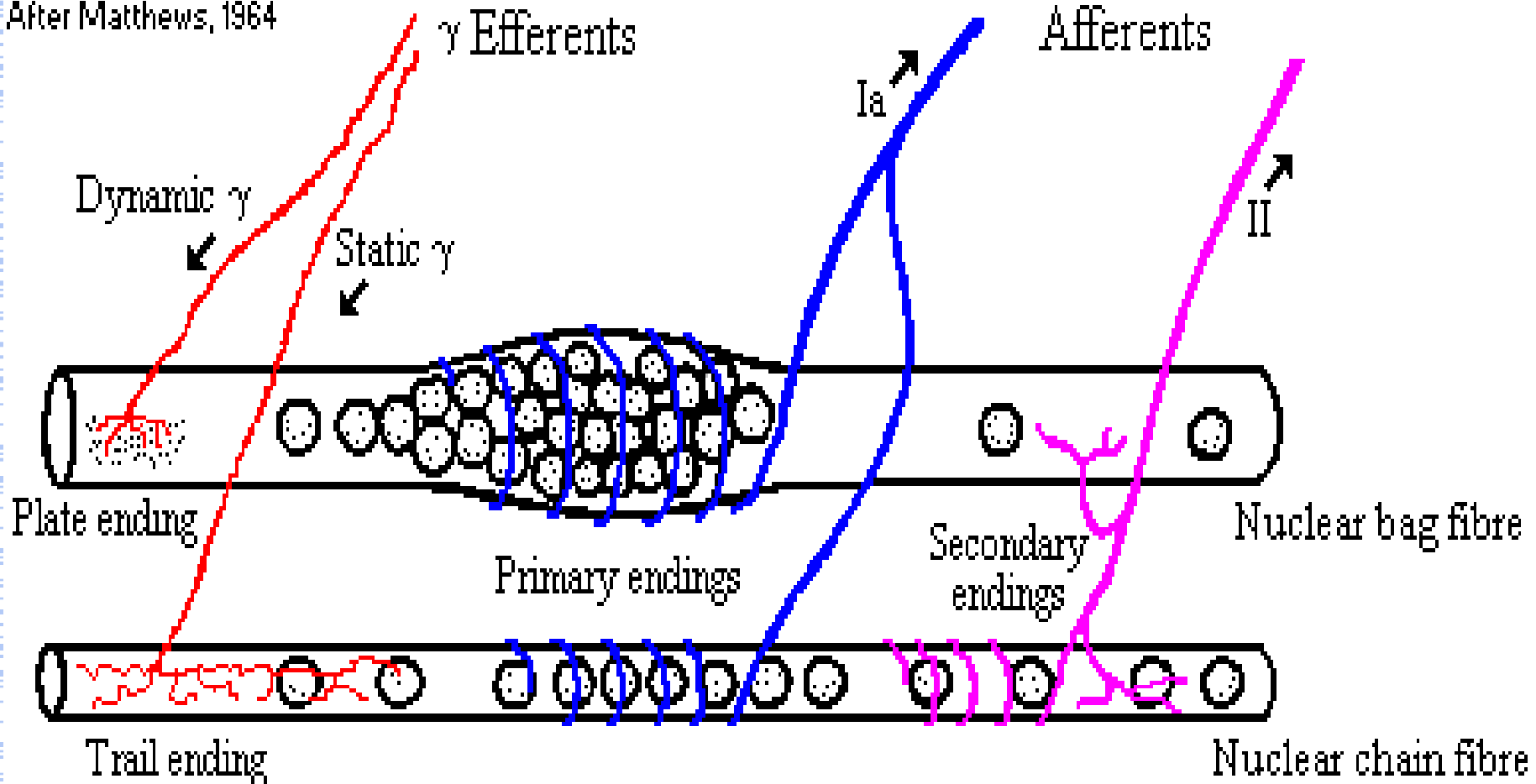
- Região Equatorial

- Região central das fibras intrafusais.
- Não contem filamentos de actina e miosina.
- Contem terminações nervosas aferentes que respondem ao estiramento das fibras intrafusais.

Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

After Matthews, 1964



Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

- Neurônios Sensoriais Aferentes Primários do Tipo Ia
 - Terminações espiraladas.
 - Sensíveis ao alongamento e à **velocidade de alongamento.**
 - Limiar de ativação mais baixo.
 - Frequência de disparo mais alta.
 - Velocidade de transmissão maior (120 m/s).

Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

- Neurônios Sensoriais Aferentes Primários do Tipo Ia
 - Quando há pausa no alongamento, há diminuição na frequência de disparo.
 - Informação vai a medula, cerebelo e córtex sensorial.
 - Reflexo miotático (estiramento muscular).
 - Conexões destes neurônios causam inibição do antagonista e ativação de outros agonistas (accessórios).

Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

- Neurônios Sensoriais Aferentes Primários do Tipo II
 - Terminações em trepadeira.
 - Sensíveis **somente ao alongamento**.
 - Limiar de ativação mais alto.
 - Frequência de disparo mais baixa.
 - Velocidade de transmissão menor (20 a 60 m/s).

Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

- Neurônios Sensoriais Aferentes Primários do Tipo II
 - Informa sobre o comprimento real do músculo pois impulsos não diminuem quando o músculo é mantido em posição estacionária.
 - Respostas aumentam com aumento do comprimento do músculo.

Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

Inervação das Fibras Intrafusais

– Motoneurônio Gama –

- Inervam os miofilamentos nas extremidades das fibras (Região Polar).
- Ativadas pelos centros superiores do SNC.
- Proporcionam o mecanismo destinado a manter o fuso em funcionamento máximo para todos os comprimentos do músculo. Com isso altera a resposta do fuso.

Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

Inervação das Fibras Intrafusais

– Motoneurônio Gama –

- Não permite que o disparo do fuso cesse quando o músculo está encurtado.
- Cria contração nas pontas das fibras do fuso da mesma maneira que faria um alongamento externo do músculo (reajuste do fuso muscular).

Receptores Sensoriais

Fuso Muscular:

Inervação das Fibras Intrafusais

– Motoneurônio Gama –

- **Ativa as fibras intrafusais, regulando seu comprimento e sua sensibilidade, independente do comprimento global do músculo.**
 - ↳ **Este mecanismo prepara o fuso para outras ações de alongamento que possam ocorrer, mesmo que o músculo esteja contraído. Isto permite monitorar continuamente o comprimento do músculo.**
- **Soma-se aos impulsos das vias alfa, altera o ganho e aumenta o potencial para ativação completa do músculos pelas vias alfa.**

Receptores Sensoriais

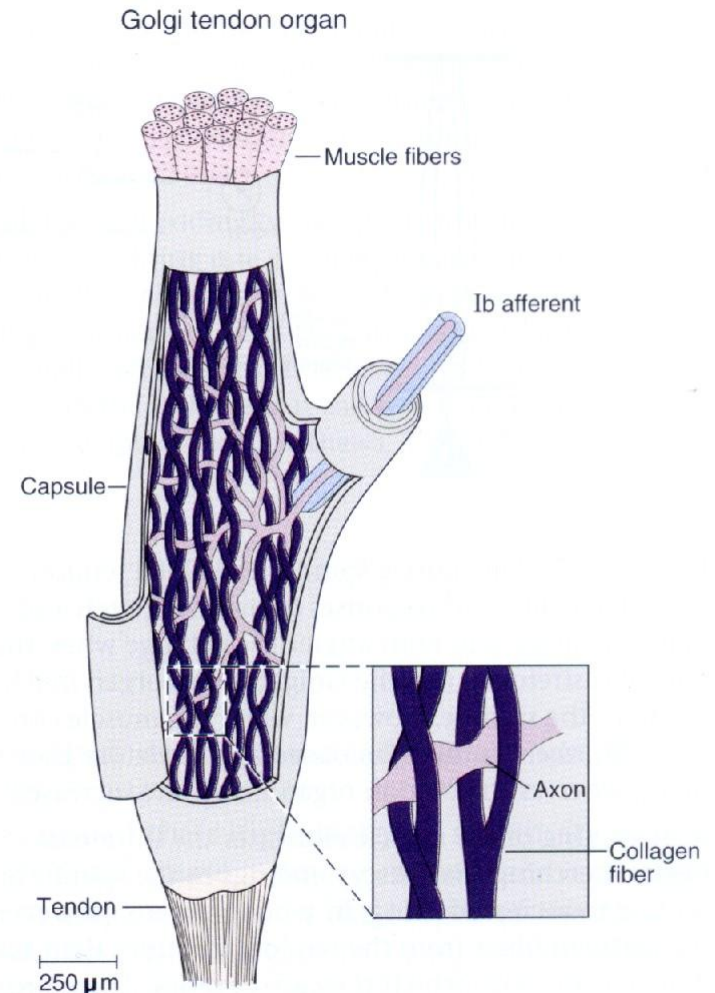
Órgão Tendinoso de Golgi:

- Localiza-se próximo à junção musculotendíneas e fica em série entre as fibras musculares e seu ponto de ligação.
- Fornecem informações sobre as alterações na tensão gerada pelo músculo ativo.
- Função básica: responder à tensão gerada pelo músculo durante contrações ou alongamentos musculares e, por meio de ativação reflexa, estimular o relaxamento do músculo.

Receptores Sensoriais

Órgão Tendinoso de Golgi:

Protege o músculo, seu envoltório de tecido conjuntivo e os ossos contra possíveis lesões induzidas por uma carga excessiva.



Receptores Sensoriais

Órgão Tendinoso de Golgi:

- Não possuem motoneurônios, apenas neurônios sensoriais.
- Neurônios Sensoriais Aferentes Primários do Tipo Ib
 - Sensíveis à compressão do tecido colágeno causada por um alongamento ou contração muscular.
 - Cria impulso nervoso proporcional à quantidade de deformação.

Receptores Sensoriais

Órgão Tendinoso de Golgi:

- Neurônios Sensoriais Aferentes Primários do Tipo Ib
 - Limiar mais baixo quando há contração do que quando há alongamento.
 - Velocidade de transmissão maior (igual ao neurônio aferente primário tipo Ia – 120 m/s).

Receptores Sensoriais

Órgão Tendinoso de Golgi:

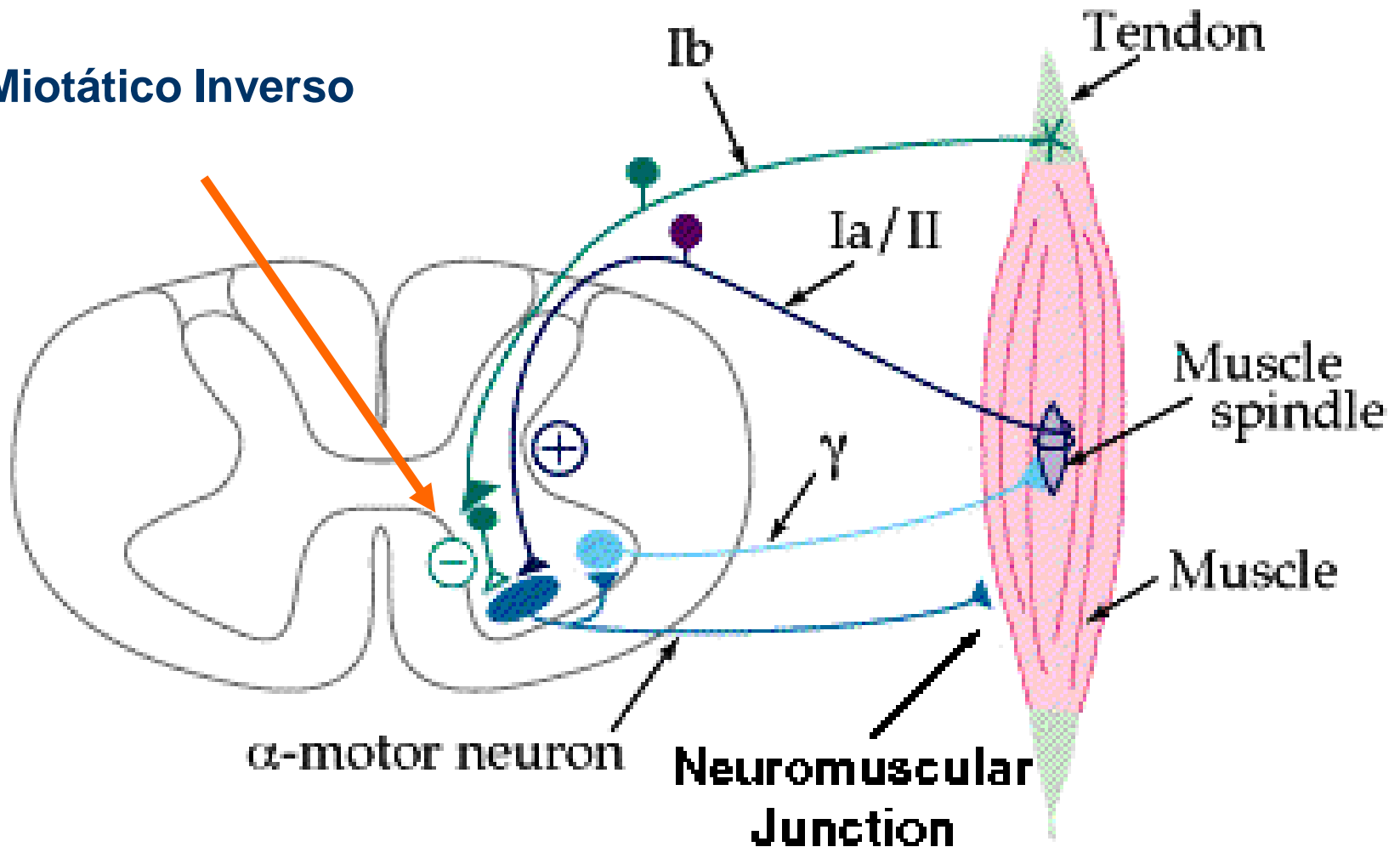
- Reflexo de Estiramento Inverso

- Quando estimulados por tensão excessiva, os receptores dos OTGs conduzem seus sinais rapidamente para medula a fim de desencadear uma inibição reflexa dos músculos por ele inervados.
- OTGs funcionam como um mecanismo protetor que impede uma aplicação de tensão excessiva do músculo sobre os ossos.

Exceção para situações extremas.

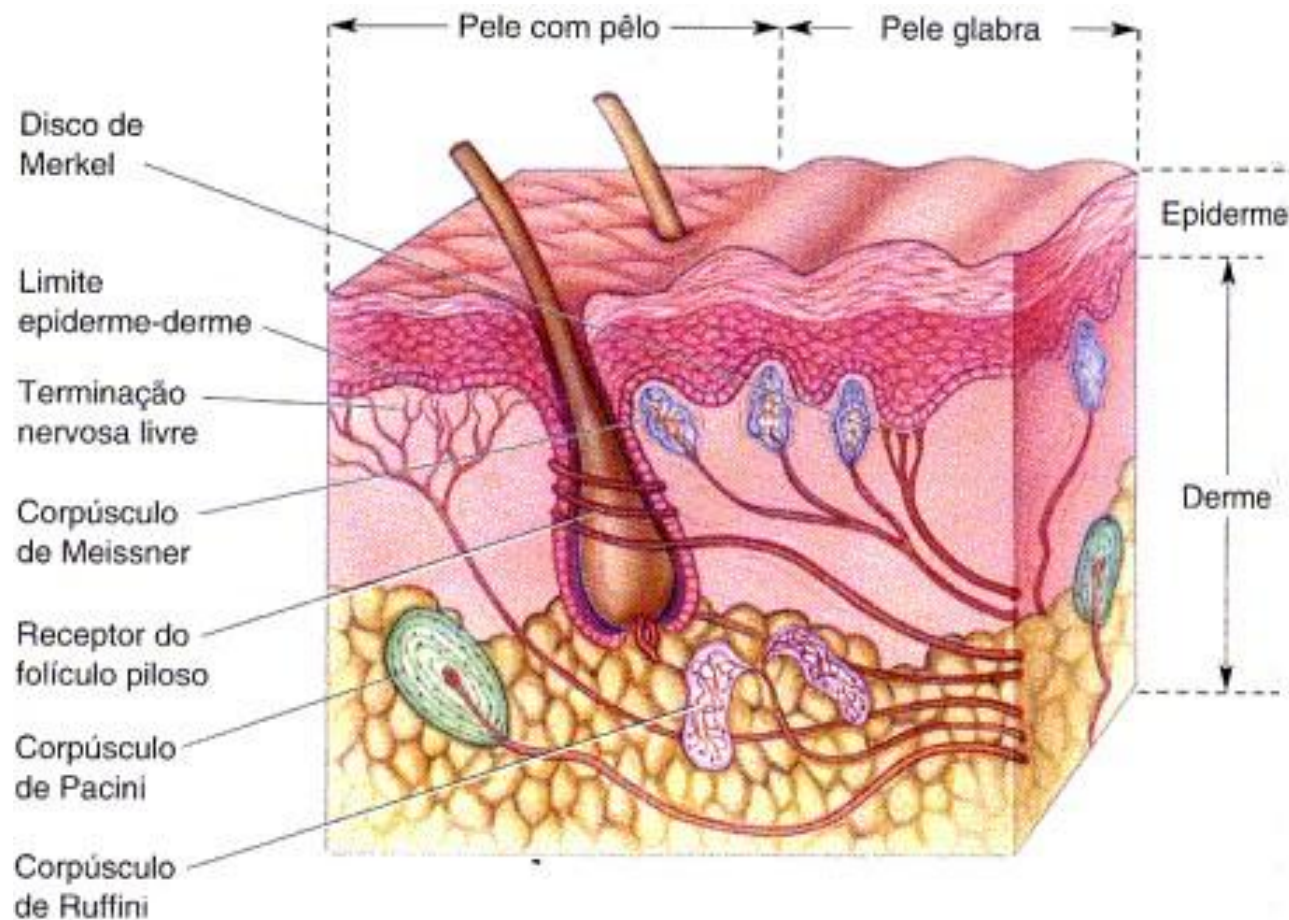
Circuitaria do arco reflexo

Miotático Inverso



Receptores Sensoriais

Outros Receptores:



Receptores Sensoriais

Outros Receptores:

- Terminações de Ruffini:

- Localizam-se na cápsula articular e nas camadas profundas da pele.
- Respondem à mudança na posição articular e à velocidade do movimento articular.

- Mecanorreceptores Ligamentares:

- Localizam-se nos ligamentos.
- Informam sobre o grau de distensão ou alongamento do ligamento.

Receptores Sensoriais

Outros Receptores:

- Corpúsculos de Paccini:
 - Localizam-se na cápsula articular e nas camadas profundas da pele.
 - Respondem à mudança na pressão exercida por agentes externos ou pelos músculos sobre as articulações.
 - Respondem à vibração na pele.
- Nociceptores:
 - Localizam-se em todos os tipos de tecidos.
 - Fornecem informação de dor causada por alguma lesão tecidual.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Adaptações Neurais com o Treinamento de Flexibilidade:

- A flexibilidade pode ser influenciada por diversos fatores:
 - Estrutura articular (tamanho, formato);
 - Tecidos moles (músculos, tendões, gordura) ao redor da articulação;
 - Extensibilidade dos ligamentos, dos CEP e CES dos músculos.
 - Fatores Neurológicos.



Principais Fatores

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Restrições Neurológicas ao Alongamento Muscular:

- Fuso Muscular:

- Neurônio sensorial Tipo Ia inicia o reflexo de estiramento quando o músculo é alongado, o que aumenta a resistência do músculo ao alongamento;
- Sua resposta é proporcional à velocidade de alongamento;

Portanto, para minimizar os efeitos restritivos...

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Restrições Neurológicas ao Alongamento Muscular:

- Fuso Muscular:

- Quando o alongamento está completo (máxima ADM), os neurônios sensoriais Tipo Ia reduzem a frequência de disparo e reduzem o nível de ativação dos motoneurônios; Os do Tipo II continuam disparando.



Conseqüentemente, reduz a resistência dos músculos ao alongamento.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Restrições Neurológicas ao Alongamento Muscular:

- Órgão Tendinoso de Golgi:

- Neurônio sensorial Tipo Ib inicia o reflexo de estiramento inverso.
- Dependendo do tipo de alongamento, ele pode ter diferentes efeitos:

Se alongamento provocado por contração muscular...

Se alongamento passivo...

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Restrições Neurológicas ao Alongamento Muscular:

- Portanto:

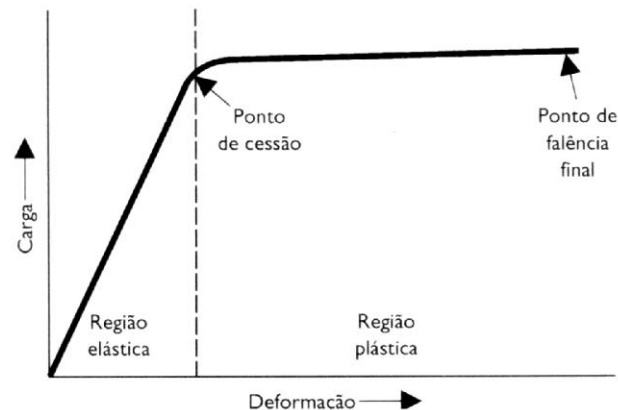
Para que o treinamento de flexibilidade tenha um resultado efetivo, é necessário:

- Inibir a atuação dos fusos musculares – fibra tipo I
- Possibilitar a atuação dos OTGs

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Restrições Estruturais ao Alongamento Muscular:

- Restrição primária ao alongamento é encontrada no tecido conjuntivo elástico e tendões dentro e ao redor do músculo.
- Curva Estresse – Deformação X Alongamento



Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Restrições Estruturais ao Alongamento Muscular:

- Curva Estresse – Deformação **X** Alongamento
- Para haver mudanças permanentes no comprimento do tecido elástico o alongamento deve levar a deformações plásticas nestes tecidos.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Restrições Estruturais ao Alongamento Muscular:

- Curva Estresse – Deformação **X** Alongamento
 - Alongamento por tempo reduzido (5–10s) leva apenas a deformações elásticas que têm efeito a curto prazo.
 - ↳ Diminuição da rigidez do músculo possibilitando movimentos mais efetivos.
 - Alongamento por tempo extenso ($\geq 30s$) na posição terminal da articulação leva a mudanças plásticas que são permanentes.
 - ↳ Aumento do comprimento dos tecidos elásticos.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Restrições Estruturais ao Alongamento Muscular:

- Curva Estresse – Deformação **X** Alongamento
 - Treinamento de flexibilidade deve ser precedido por atividades que aqueçam os músculos.
 - Treinamento de flexibilidade não deve ser realizado antes de treinamento de força ou de qualquer outra atividade vigorosa pois:

Reduz capacidade do músculo gerar força.

Reduz capacidade de responder a sobrecarga

↳ Lesões de estruturas articulares e músculos

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Tipos de Treinamento de Flexibilidade:

- **Alongamento Ativo X Alongamento Passivo**
 - **Ativo**: Causado pela contração dos músculos contrários ao músculo que está sendo alongado. Tem o efeito limitador do OTG, que inibe a contração maior deste músculo.
 - **Passivo**: Envolve o uso de forças externas (gravitacional, aplicada por outro segmento, por outro companheiro) para movimentar um segmento corporal até o final da ADM.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Tipos de Treinamento de Flexibilidade:

- Alongamento Ativo X Alongamento Passivo

Vantagens:

- **Ativo:** Exercita os músculos utilizados para desenvolver força para o alongamento.
- **Passivo:** Possibilita um movimento articular muito maior que o conseguido pelo alongamento ativo.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Tipos de Treinamento de Flexibilidade:

- Alongamento Balístico X Alongamento Estático
 - **Balístico**: É uma série de alongamentos rápido e repetitivos até ou além da ADM.
 - **Estático**: Tem um movimento lento e, quando a posição articular desejada é alcançada, ela é mantida por cerca de 30–60s.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Tipos de Treinamento de Flexibilidade:

- Alongamento Balístico X Alongamento Estático

Mecanismo:

- **Balístico**: Ativa o reflexo de estiramento que resulta em imediata tensão no músculo que está sendo alongado.



Por ir além da ADM, há maior risco de lesão.

- **Estático**: Há tempo suficiente para que os impulsos dos OTGs sejam maiores que os dos Fusos, o que causa maior relaxamento do músculo alongado e diminuição da resistência.



Para melhora da flexibilidade...

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Tipos de Treinamento de Flexibilidade:

- **Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva**
 - Também conhecido como **Método 3S – Scientific Stretching Sports.**
 - Envolve padrões de contração e relaxamento alternados do músculo que será alongado.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

- **Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva**

Existem 3 técnicas de FNP:

1. Alongamento tipo manter contrapor e relaxar:

Músculo é alongado ao máximo, realiza contração isométrica máxima, relaxa e é alongado além do comprimento original.

2. Alongamento com contração do agonista:

Músculo é alongado ao máximo, agonista contrai auxiliando o alongamento iniciado por outra pessoa.

3. Alongamento manter contrapor e relaxar com contração do agonista:

Músculo é alongado ao máximo, realiza contração isométrica máxima, relaxa, é alongado além do comprimento original e, neste momento, agonista contrai auxiliando o alongamento.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Tipos de Treinamento de Flexibilidade:

- **Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva**

- **Aumenta a ADM devido a redução dos impulsos aferentes do fuso muscular do Tipo Ia.**

O fuso é recalibrado a cada ciclo devido ao aumento dos impulsos aferentes dos OTGs que relaxam os músculos que estão sendo alongados.

- **Técnica utilizada por atletas e em indivíduos com flexibilidade limitada.**

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Adaptações Neurais com o Treinamento de Força:

- Ocorrem nas primeiras semanas do treinamento;
Hipertrofia X Adaptação neural
- **Aprendizagem do movimento:**
 - Aumento do número de UMs recrutadas e sincronização para gerar grandes quantidades de força;
 - Melhoria na coordenação da ativação das UMs no caso de atividades que não exigem força máxima;
 - Menor co-ativação dos antagonistas em função de uma maior inibição dos antagonistas por parte dos centros superiores do SNC. Esta co-ativação diminui a capacidade do agonista executar força máxima.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

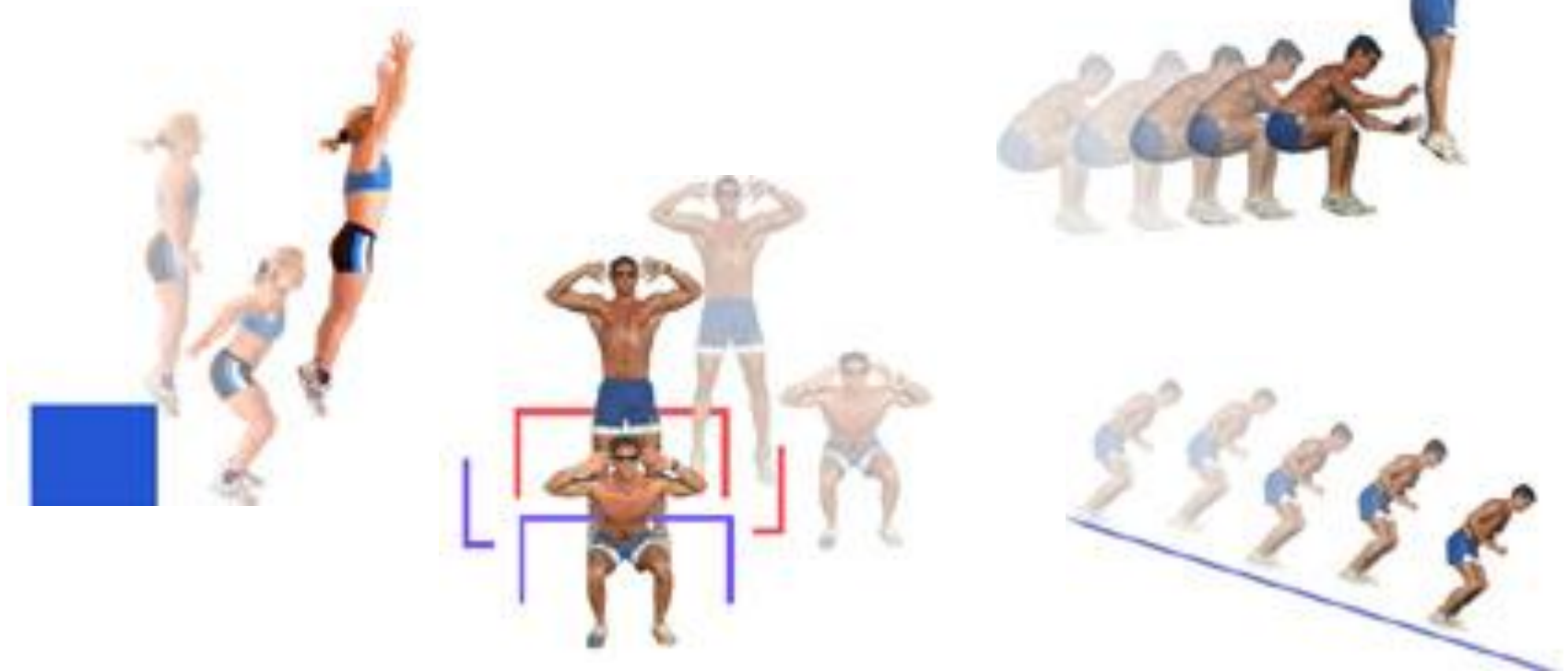
Treinamento Pliométrico:

- **Objetivo:** Aumentar a potência muscular por meio de uma seqüência excêntrica – concêntrica de contração muscular;
- Consiste em alongar rapidamente e imediatamente contrair o músculo concêntricamente. Isto é facilitado pelo reflexo de estiramento em função da atuação dos fusos (20–25%).
- Restituição de energia elástica é conseguida com o alongamento do músculo (70 a 75%).

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Treinamento Pliométrico:

- Exemplos de Pliométricos:



Membros Inferiores

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Treinamento Pliométrico:

- Exemplos de Pliométricos:



**Membros
Superiores**

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Treinamento Pliométrico:

- Considerações Importantes:
 - Exercícios devem ser específicos para determinado esporte.
 - Deve ser cuidadosamente aplicado.
 - Deve ser aplicado em pessoas com boa condição física.
 - Saltos em profundidade devem ser aplicados apenas em atletas com excelente preparo atlético.

Efeitos do Treinamento nas Aferências e Eferências Neurológicas

Treinamento Pliométrico:

- Considerações Importantes:

- Não deve ser realizado em dias consecutivos pois exigem muito dos músculos e articulações.
- Não deve ser realizado em atletas em estado de fadiga. Deve haver tempo para recuperação completa entre as séries.
- Tênis e piso devem absorver os choques.
- Realizar aquecimento antes dos exercícios pliométricos.

Bibliografia Consultada

- HALL, S.J. **Biomecânica básica**. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.
- HAMILL, J.; KNUTZEN, K.M. **Bases biomecânicas do movimento humano**. São Paulo: Manole, 1999.
- BEAR, F. M.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociência: desvendando o sistema nervosos**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

NETFIT. **Plyometrics**. Disponível em:
<<http://www.netfit.co.uk/plyometrics-web.htm>>. Acesso em: 13 mar 2006.