

FUNDAMENTOS DE BIOMECÂNICA

SUMÁRIO

| | | |
|---|---|----|
| INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA03 | volvimento | 35 |
| O que é Biomecânica.....03 | Distúrbios de crescimento..... | 37 |
| Aspectos históricos.....04 | Relatos da Literatura..... | 37 |
| Biomecânica Moderna.....06 | Mecanismos de lesão..... | 38 |
| Biomecânica no Brasil.....06 | Influência no envelhecimento..... | 39 |
| MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO07 | Efeitos crônicos do treinamento no tecido | |
| CINEMETRIA08 | ósseo..... | 40 |
| Cinematografia.....08 | ARTICULAÇÕES | 43 |
| Sistema optoeletrônico.....08 | LIGAMENTOS | 45 |
| Câmera digital.....09 | CARTILAGEM ARTICULAR | 48 |
| Aplicações da Cinemetria.....09 | MÚSCULO ESQUELÉTICO | 52 |
| DINAMOMETRIA10 | Mecanismos de contração muscular..... | 53 |
| Forças externas.....10 | Funções musculares..... | 54 |
| Forças externas VS lesões.....13 | Tensão no músculo esquelético..... | 56 |
| Força de reação do solo.....14 | Adaptação do músculo..... | 58 |
| Pressão.....16 | ALAVANCAS DO CORPO HUMANO | 61 |
| Aplicação de pressão.....18 | Geração de torque em função da variação | |
| Forças Internas.....19 | angular..... | 64 |
| Como estimar Força interna.....21 | Geração de torque em função da posição | |
| ELETROMIOGRAFIA25 | articular..... | 65 |
| Um caso de EMG no futebol e paradoxo do | Exemplos de exercícios..... | 67 |
| quadríceps.....29 | ANEXOS | 68 |
| INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS BI- | | |
| OMATERIAIS30 | | |
| OSSOS30 | | |
| Características histológicas.....30 | | |
| Características biomecânicas.....31 | | |
| Características do tecido ósseo em desen- | | |

INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA

O QUE É BIOMECÂNICA?

Ciência interdisciplinar que descreve e analisa o movimento humano e de animais, se utilizando de aplicações mecânicas, considerando as propriedades do sistema biológico. Estuda se as forças internas e externas, e seus efeitos nas estruturas biológicas.

Seu objetivo é a análise física do movimento dos sistemas biológicos levando em consideração as particularidades fisiológicas e anatômicas bem definidas.

Os objetivos da área são:

- Otimizar o rendimento
- Reduzir a sobrecarga

Áreas de aplicação:

- Biomecânica do esporte
 - análise da técnica do movimento
 - construção de equipamentos esportivos
- Clínica e reabilitação
- Movimento laboral
- Movimento cotidiano
- Instrumentação (instrumentos e métodos)
- Biomateriais

Em função de suas particularidades, as diversas expressões do movimento humano exigem a aplicação de procedimentos e técnicas de medida.

- Cinemetria

Determina *como* o movimento foi realizado, através de:

Deslocamento

Velocidade

Aceleração

- Dinamometria

Força de reação do solo

Pressão

Forças internas

- Eletromiografia

Músculos ativos

Intensidade e duração da ação muscular

Coordenação muscular

- Antropometria

Peso

Centro de massa

Centro de gravidade

Centro de volume

Propriedades inerciais

Aspectos históricos

- Aristóteles

- contribuições em diversas áreas do conhecimento:

- Mecânica, matemática, fisiologia, química, ética, etc.

- função da ciência: explicar a natureza utilizando a matemática como instrumento.

- alguns conceitos:

- coração é a fonte da inteligência

- todo movimento depende da ação de um agente motor

- o movimento muscular é o resultado da ação dos *pneumas* que são transmitidos do coração para o corpo.

- Galeno

- primeiro médico dedicado ao esporte: 4 anos de práticas médicas e nutricionais aos gladiadores.

- 500 tratados médicos: conhecimento acerca do corpo humano e seu movimento.

- *de moto muscularum*:

- estudo da estrutura muscular (tipo de contração: agonista e antagonista)

- nervos: transmissão do “espírito animal” do cérebro para os músculos, neurônios motores e sensoriais

- artérias são transportadoras de sangue.

- Leonardo da Vinci
 - análise mecânica das estruturas anatômicas
 - desenvolvimento da mecânica: paralelogramo de forças, atrito, fundamentos de ação e reação.
 - estudos anatômicos: arte e ciência: descrição de origem-inserção e posição de alguns músculos
 - alguns conceitos:
 - “força espiritual: energia que movimenta músculos e nervos que torna possível o movimentos.
 - descrição do vôo das aves: um corpo oferece tanta resistência do ar quanto o ar exerce sobre o corpo.

- Galileo
 - “*de animaliam Motibus*”
 - Biomecânica do salto humano, análise da marcha de cavalos e insetos, estrutura e função dos biomateriais e flutuação.
 - Fundamentos da mecânica que com a formulação das leis de Newton
 - Pai da Biomecânica (Ascenzi, 1993)

- Borelli
 - pela sua importância é tido como um dos pais da Biomecânica
 - “*de motu animalium*” (1680) - se utiliza de fisiologia e da física: saltos, corridas, vôos, deslocamento no meio líquido

- Etienne Jules Marey
 - quantificação de parâmetros relacionados à locomoção
 - pioneiro da cinematografia (cronociclo)
 - desenvolvimento de instrumentos para análise do movimento (equipamentos pneumáticos)

- Braune e Fischer
 - análise matemática 3D da marcha
 - antropometria : centro de gravidade e movimento dos segmentos do corpo

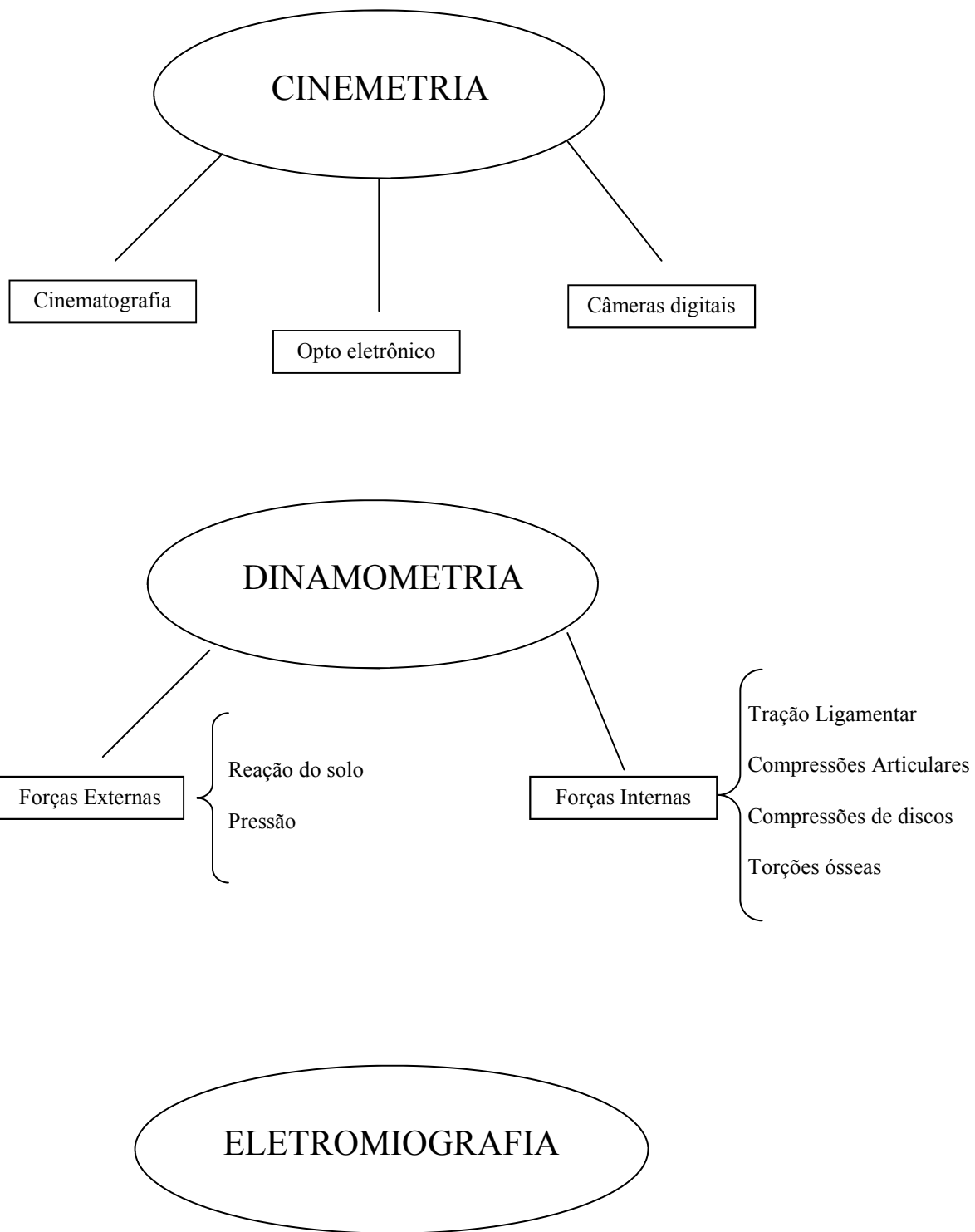
Biomecânica moderna

- 1960 - Leipzig (Alemanha)
 - 1º encontro internacional
 - tema: o papel da biomecânica na análise dos movimentos esportivos
- 1970 - Zurich (Suíça)
 - 1º seminário internacional de biomecânica
 - 200 participantes
 - temas: métodos de investigação, análise de movimentos laborais, esportivos e reabilitação
- 1968 - Journal of Biomechanics
- 1973 - Penn State University
 - IV seminário internacional de Biomecânica
 - Sociedade internacional de Biomecânica (ISB)
- 1983 - Fundação da International Society of Biomechanics in Sports

Biomecânica no Brasil

- 1989 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
 - 1º encontro de professores de Cinesiologia de Biomecânica
 - 100 participantes
 - tema: a Biomecânica no ensino e pesquisa
- 1992 - Universidade de São Paulo
 - IV Congresso Nacional de Biomecânica
 - Sociedade Brasileira de Biomecânica
 - anais com 332 páginas

Métodos de investigação



CINEMETRIA

A cinemetria é capaz de analisar a movimentação com acuidade suficiente, registrando as características cinemáticas da tarefa. Tais variáveis cinemáticas são mensuradas por filmagem através dos métodos descritos a seguir:

CINEMATOGRAFIA: Uso de câmeras cinematográficas onde o movimento é registrado em quadros individuais.

Vantagens do método:

- Flexibilidade: combinação de câmeras como desejado em 2D ou 3D;
- Precisão: ex: 3000Hz de frequência = 3000 quadros por segundo;
- Alta resolução: quanto maior o número de pontos, mais detalhes podem ser identificados;
- Livre de efeito retroativo: sem interferência do indivíduo ou do método no movimento analisado;
- Pode ser feito em ambiente externo: não é necessário “pendurar coisas” no indivíduo.

Desvantagens do método:

- Preço: o filme é muito caro para sustentar a câmera;
- Feedback lento: é exaustiva a análise de cada quadro;
- Necessidade de processar a imagem: precisa ser digitalizada;
- Necessidade de reconstruir tridimensionalmente a imagem.
-

SISTEMA OPTOELETRÔNICO: Os pontos recebem marcas ativas (fontes de luz) ou passivas (refletores de luz). As marcas são captadas por um receptor acoplado a um sistema e a câmera mostra o deslocamento de pontos e a coordenada é transferida para o computador.

Vantagens do método:

- Os softwares facilitam o tratamento dos dados.

Desvantagens do método:

- Efeito retroativo: os cabos impedem os movimentos de forma natural;
- Preço: é um sistema caro;
- Não pode ser feito em ambiente externo: tem que ser feito apenas em laboratório escuro.

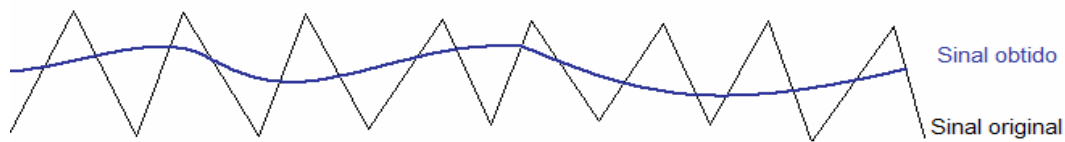
CÂMERA DIGITAL: Semelhante ao sistema opto-eletrônico. Coloca-se os pontos no indivíduo e o filma. Depois processa a informação no computador por dois caminhos:

- Software de reconhecimento automático ou
- Manualmente

Entretanto, nem sempre esse reconhecimento funciona e, além disso, a câmera digital tem baixa frequência (120 Hz, 240 Hz) para captar movimentos rápidos.

Teorema da amostragem: A taxa de aquisição deve ser pelo menos 2x maior do que a frequência do sinal.

No exemplo abaixo, a imagem obtida foi mais lenta do que a original:



APLICAÇÕES DA CINEMETRIA:

Exemplos:

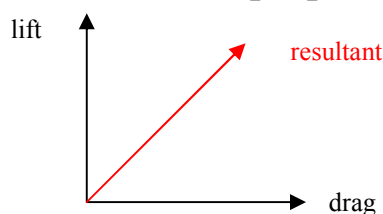
1º) Cinematografia para analisar salto triplo de atleta brasileiro e norte-americano. Notou-se maior angulação no joelho do brasileiro. Com a análise, percebemos que quanto mais rápido tocar o chão menos velocidade se perde e, sendo assim, é uma questão que pode interferir no desempenho do cidadão.

2º) Quais os parâmetros que regem a propulsão no meio líquido?

Na década de 70 pensava-se da seguinte maneira: “Eu empurro a água e ela me empurra”, era uso da força de reação. Um estudo de COUSILMAN em 1971 nos trouxe a descrição do padrão cinemático de nadadores no I Simpósio Internacional de Biomecânica da Natação. Observou deslocamentos médio-laterais e não retos.

Percebeu-se que:

$$F \text{ sustentação} + F \text{ arrasto} = F \text{ propulsiva}$$



Essa é, portanto, a chamada Teoria da Sustentação Propulsiva.

DINAMOMETRIA

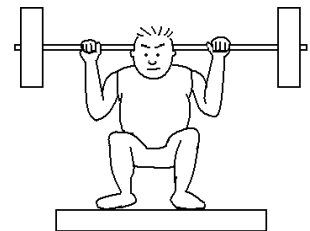
Medição de forças que produzem o movimento.

| |
|--|
| <p>Forças externas: Força de reação do solo Pressão</p> <p>Forças internas: Tração ligamentar Compressões articulares Compressões de discos Torções ósseas</p> |
|--|

FORÇAS EXTERNAS

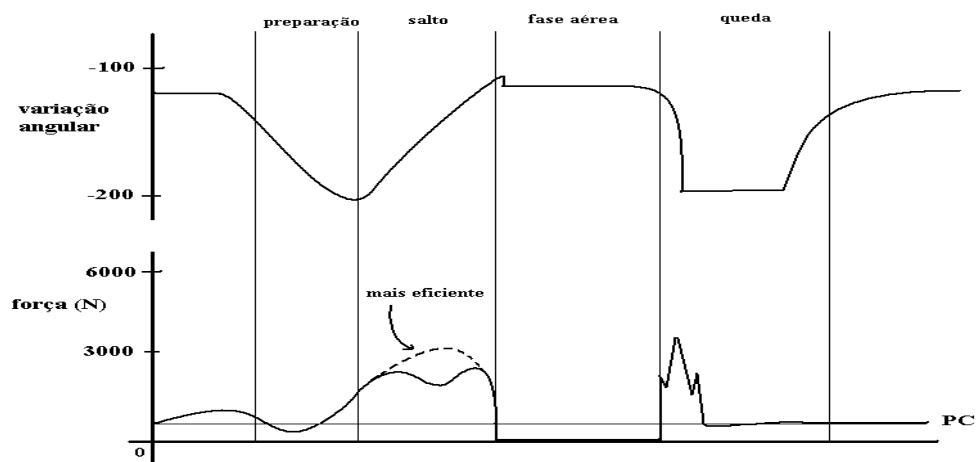
É fácil medir força externa, por exemplo, através de uma plataforma de pressão ou outro instrumento de interface. A mesma facilidade não ocorre com as forças internas como veremos a seguir, uma vez que estas combinam medição e cálculo.

- ** Para que estudar Força Externa?
- A determinação das forças nos ajuda a entender:
 - Desempenho
 - Mecanismos de sobrecarga (somatória de F_{ext} e F_{int})
 - Treinamento, aprendizagem e reabilitação



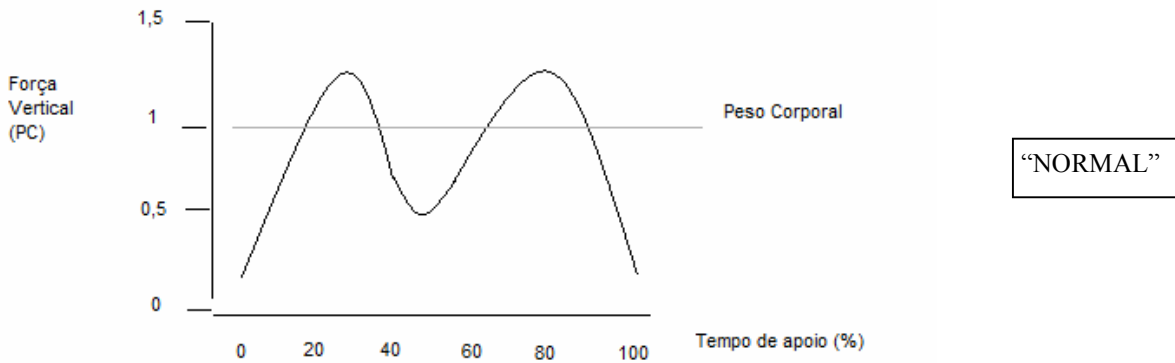
DESEMPENHO

Exemplo: Como entender os mecanismos que afetam o desempenho nos saltos?



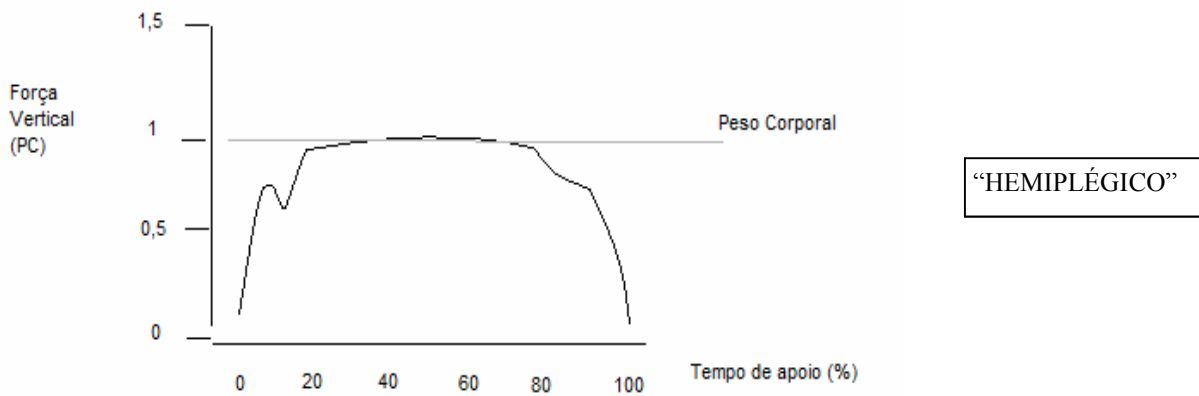
O indivíduo produziu mais força para frear do que para executar o movimento na propulsão. Descemos muito no movimento para acumular energia e com isso tem que desacelerar muito fortemente. Com o salto adequado junta a força correta com a técnica.

Segue abaixo outro exemplo na caminhada da pessoa “normal”:



“NORMAL”

O 1º pico é denominado **passivo**, quando o calcanhar toca o chão. O 2º pico é de **propulsão**.



“HEMIPLÉGICO”

Neste outro exemplo o indivíduo não consegue acelerar o próprio corpo com a força de propulsão e, além disso, seu movimento de entrada está incorreto. A marcha é característica de paralisia cerebral, com acionamento desorganizado dos músculos: produzem mais energia para usar menos.

Os gráficos são representações de dois mundos diferentes: um associado ao desempenho e um outro exemplo com marcha atípica que precisa ser melhorada.

SOBRECARGA

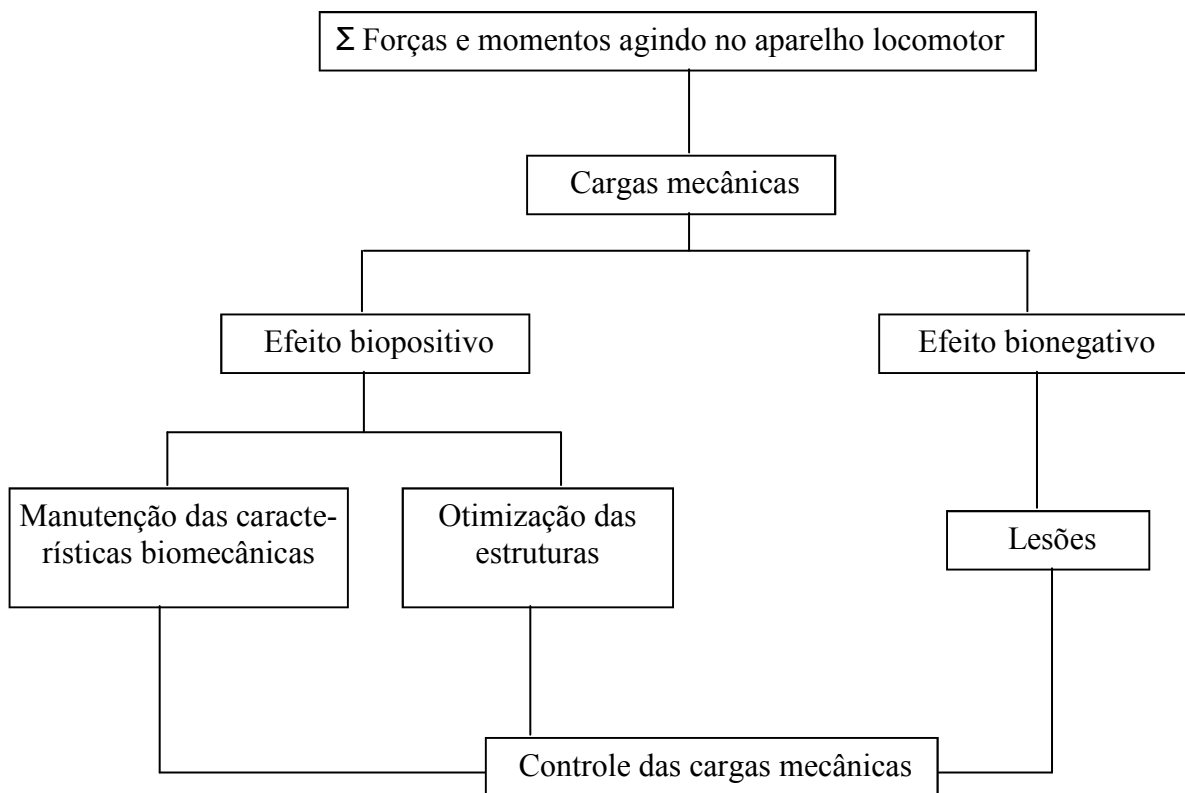
Associa-se a lesões, muito freqüentes na atividade física e que podem provocar o afastamento do treinamento e também abreviar a carreira esportiva.

*** Por que nos lesionamos?*

O leigo toma a lesão como uma fatalidade, como algo comum para determinada atividade. Na verdade, a lesão é causada pela **somatória das forças** impostas às estruturas biológicas.

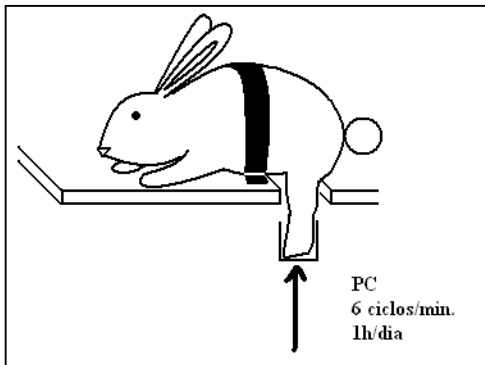
O melhor seria evitar as atividades que geram impacto, pois quanto menor o “impacto” melhor: caso de esportes na água como a hidroginástica, corrida na água, etc. No entanto, em idosos o impacto é necessário para a massa óssea no caso de osteoporose. A osteopenia é a fase que antecede a osteoporose principalmente em mulheres mais novas com cerca de 30 anos.

Com carga adequada ossos, músculos e ligamentos funcionam bem. No entanto, com carga excessiva, a força extrapola o aparelho locomotor podendo causar fraturas.



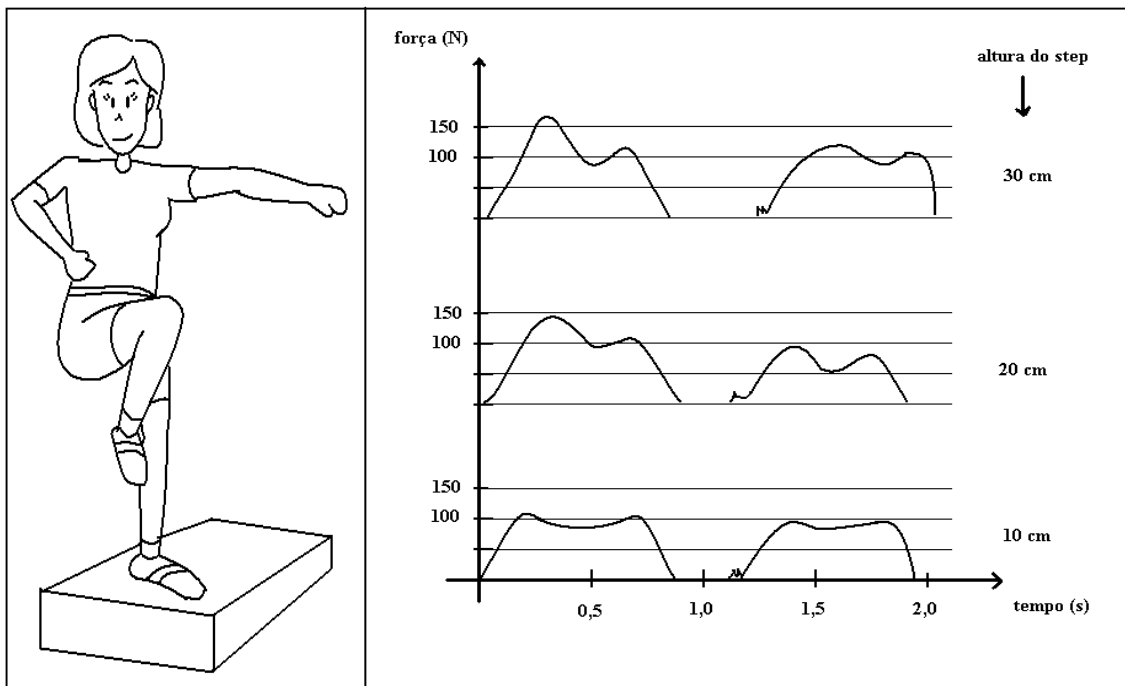
FORÇAS EXTERNAS VS LESÕES:

Experimentos:



A) RADIN El all (1982) pegou coelhos e imobilizou uma de suas patas para aplicar forças de 1x seu peso corporal durante 6 ciclos/min (1h/dia). Os animais tinham redução de glicosaminoglicanos, precursores do ATP (indício de osteoartrose); há muitos na cartilagem onde forma o gel colóide. Além dessa redução ocorreram também fraturas trabeculares e calcificação do ligamento colateral. Logo, precisamos conhecer a carga para controlá-la.

B) A aula de *step* melhora muito a condição cardiovascular, entretanto muitos a consideram como atividade de alto impacto. Será que isso é ruim? No *step* a magnitude da força de descida é cerca de 1,5 PC (uma vez e meia o peso corporal). Há medições do movimento humano que geram 22 PC, como é o caso do salto triplo. Logo, no *step* não há tanto impacto assim como dizem.

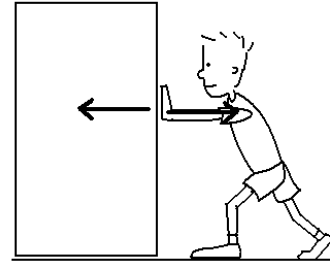


CARACTERÍSTICAS DAS VARIÁVEIS

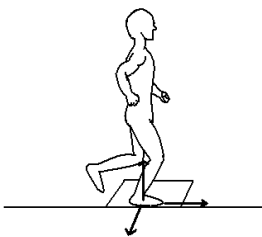
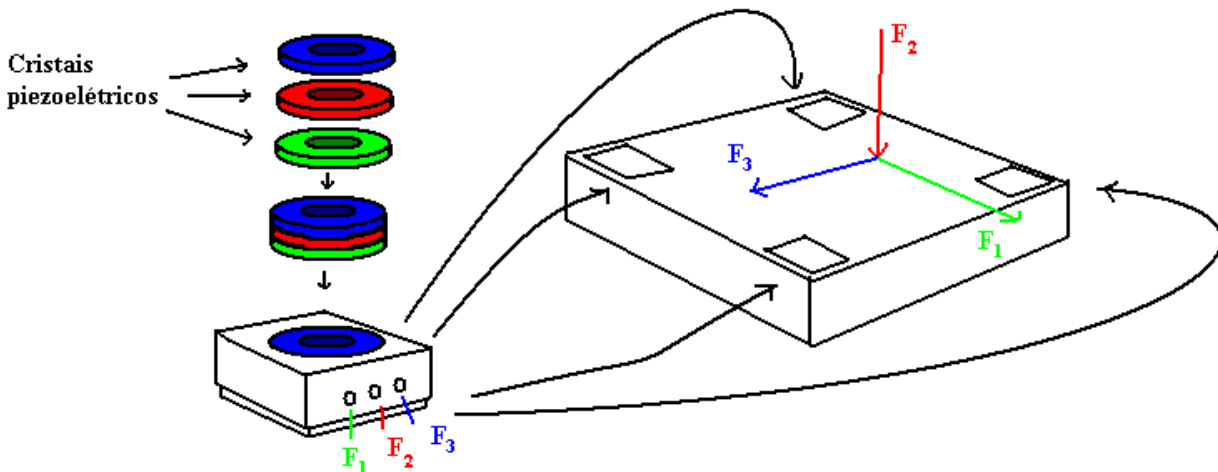
1) FORÇA DE REAÇÃO DO SOLO

É de acordo com a 3ª Lei de Newton: “Você aplica força no chão e ele aplica em você.” É de mesma magnitude em sentido oposto.

AÇÃO - igual
REAÇÃO - oposta



****Como mensurar a Força de reação do solo?**
Por plataforma de força.



A desvantagem do método é estar fixa no solo e possuir efeito retroativo, pois o indivíduo muitas vezes acaba olhando para a plataforma durante a execução do movimento com receio de pisar fora dela.

Há uma unidade de medição em cada canto da plataforma: são os transdutores de força, que podem ser:

- **piezoelétricos:** pressão elétrica. Cristais mudam sua configuração e seu comportamento elétrico. É possível acompanhar as mais sensíveis variações de força, até mesmo a força da frequência cardíaca. Apesar da alta fidelidade, a desvantagem do sistema é o alto preço.
- **Strain-gauges:** há transdutores também com célula de deformação, sendo menos rápida do que a primeira plataforma.

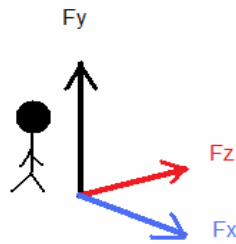
**** Nos cristais pizoelétricos, por que usar 3 pares de sensores?**

Com o uso de 3 pares de sensores é possível mensurar as 3 componentes da Força de Reação do Solo, classificadas de acordo com o Sistema de Referência em:

F_y = Força Vertical

F_x = Força Horizontal Antero-posterior

F_z = Força médio-lateral



A F_z é sempre muito pequena no movimento humano, a não ser em movimentos específicos de deslocamento lateral. São os músculos e os ligamentos os responsáveis pelo controle dessa força.

Hoje, as plataformas de força emitem sinal para um módulo que o amplifica. Esse módulo de amplificação e condicionamento junta a informação de 4 sensores. O sinal que sai do amplificador é analógico e precisa ser convertido em digital na placa mãe (conversor analógico-digital).

****Evolução dos métodos de medição**

- FENN (1930): Aplicava-se o Princípio da deformação, como se fosse uma mola.
- KISTLER (modelo 9285): Superfície transparente; registra parâmetros cinemáticos de apoio.
- KISTLER (modelo 9253): Suporta até 100m de profundidade. Pode ser montada em ambiente externo e mantida lá; produzida só por encomenda. Características:
 - Superfície robusta;
 - Submergível;
 - Ambientes sujos (medições com animais);
 - Ambientes externos;
 - Meio líquido.
- KISTLER (modelo 9286): É portátil e serve apenas para marcha em velocidade baixa; não serve para avaliar movimentos rápidos.
- SISTEMA GAITWAY KISTLER: Esteira com duas plataformas piezoelétricas. Essa plataforma possui a limitação de medir apenas força vertical e não as outras 2 forças, F_x e F_z .

Exemplo de aplicação com plataforma de força:

**** Qual a influência da joelheira no controle de cargas externas?**

No experimento realizado, observou-se como o indivíduo cai com e sem joelheira na plataforma de força. Notou-se apenas 100N de diferença, quase insignificante, pois a massa e a aceleração são as mesmas. No entanto, o uso de joelheiras aumentou a superfície de contato e com isso há alteração de pressão.

| | ESQUERDO | DIREITO |
|----------------------|--------------------|--------------------|
| COM JOELHEIRA | 70 cm ² | 75 cm ² |
| SEM JOELHEIRA | 15 cm ² | 12 cm ² |
| | | |
| SEM JOELHEIRA | 467 KPA | 994 KPA |
| COM JOELHEIRA | 161 KPA | 1339 KPA |

2) PRESSÃO

$$P = \frac{F}{A} \quad (\text{Pa ou KPa})$$

A pressão não é sinônimo de força e sim como esta é distribuída em determinada área.

****Quais as conseqüências de descontrole de pressão?**

- Alterações na pele (calo, bolha, formigamento — alta pressão);
- Alterações ósseas (pressão concentrada em determinadas regiões);
- Alterações articulares;
- Alterações posturais (na posição sentado recebe-se grande pressão na região glútea);
- Alterações Somato-sensoriais (mecanoreceptores medem a pressão; se o sujeito não sente dor, pode ter maiores prejuízos).

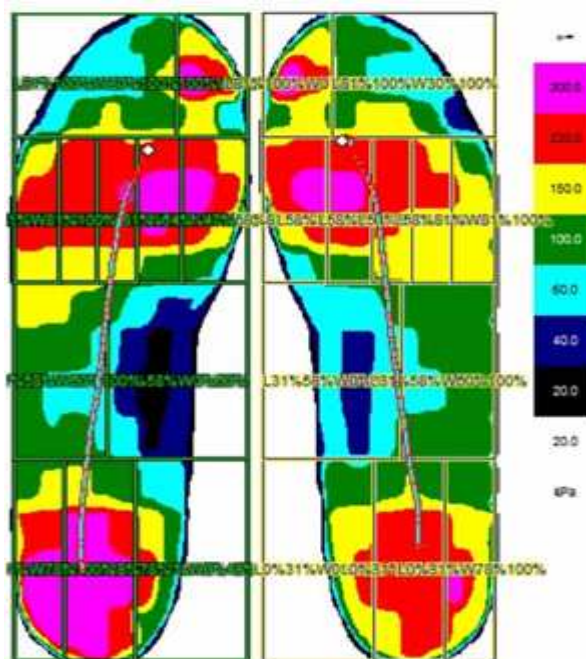
****Como mensurar a Pressão?**

Poderíamos medir pressão usando uma plataforma de força, sabendo-se a área do pé. Entretanto, há diferentes pressões no pé. Por isso usamos então os métodos descritos a seguir:

- **Plataforma de pressão:** Há vários sensores dispostos na superfície. As melhores plataformas são alemãs, da NOVEL. São portáteis e não precisam estar fixas no solo. Daria para medir força em uma plataforma de pressão, mas o contrário não ocorre.
- **Palmilhas sensorizadas:** São do tamanho dos pés e medem a pressão de cada ponto. A informação vai para uma unidade de controle localizada na cintura e pode ser armazenada. Um par de palmilha custa por volta de 1000 euros; são também fabricadas pela NOVEL.
- **Sensores especiais: (Pliance NOVEL):** São tapetes acoplados a determinadas estruturas, como por exemplo assentos de cadeiras de rodas. Os cadeirantes recebem a pressão mas não a percebem mais e com isso estão sujeitos a escaras, o que destrói a pele, o tecido, podendo infeccionar e trazer também problemas circulatórios. Mensurando a pressão na região glútea, observa-se maior elevação nessa região e desse modo é possível intervir.

**** Qual a característica do sinal obtido?**

Há um sistema de cores, do azul ao vermelho, para a elevação da pressão. É possível extrair aspectos quantitativos e qualitativos do movimento.



No movimento do andar, o calcâneo é o primeiro a tocar o solo. Sua área é pequena e por isso a pressão é grande.

No médio pé a pressão começa a cair.

Com o pé inteiro no chão, a pressão concentra-se no ante-pé.

Na finalização do apoio há alta pressão na região do hálux.

Aplicação de pressão:

1) Análise do movimento:

Atletas de basquete sofrem muitos traumas na região do ante-pé devido ao movimento de aterrissagem após o lance, onde não pisam no solo com o calcâneo primeiramente, diferente da ação normal de andar.

Grande pressão é encontrada no movimento de ponta do balé. No médio pé há alta pressão pela flexão do pé; no ante-pé essa pressão é ainda maior. O balé não apresenta impacto alto, mas a pressão é alta, o que acarreta danos semelhantes.

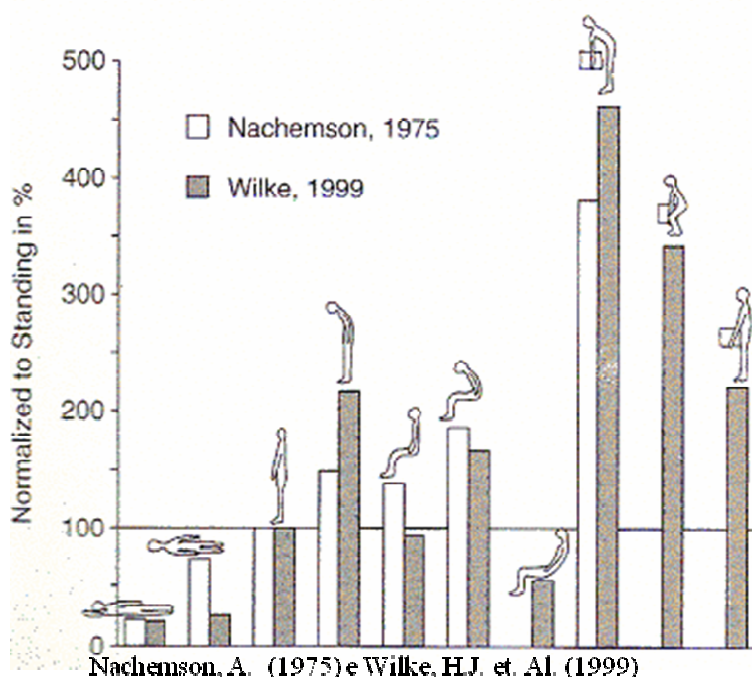
2) Equipamentos esportivos:

Houve grande evolução na área de calçados de um tempo para cá. Para o futebol, por exemplo, nota-se maior pressão no bordo medial do ante-pé e percebe-se também que o sujeito quase não toca o chão com o calcanhar. Com essas informações equipamentos e treinamentos adequados puderam ser prescritos. A nova trava da chuteira em “dente de tubarão” ajuda a distribuir melhor a pressão.

O atleta de salto triplo tem grande pressão no médio-pé quando comparado a um corredor.

Distribuição de pressão plantar em função do tipo de calçado: A palmilha do calçado, dependendo de como é feita, interfere na pressão. Uma palmilha anatômica seria ideal e uma reta seria semelhante ao andar descalço. Em calçados sociais há grande pressão concentrada em todas as regiões do pé.

3) Aplicações na ergonomia:



Por que sentimos dores na coluna? Um dos fatores é o mobiliário, que interfere nos ajustes posturais sentado. A pressão é concentrada na tuberosidade isquiática e a coluna é a responsável pelo reajuste da posição, o que pode causar os desvios posturais.

A angulação adequada no encosto seria de 110 a 120°, e não de 90° como ouvimos comumente.

A pressão glútea é também analisada em motoristas, para evitar mudanças na posição e até acidentes.

4) Situações patológicas:

É o que ocorre com diabéticos neuropatas, por exemplo, quanto à formação de calos devido à alta pressão. São as mais altas pressões do movimento humano; o indivíduo não sente e por isso não percebe a formação de calos e escaras. Por esse motivo, muitos diabéticos neuropatas sofrem amputação do hálux. Para evitar isso, há sapatos especiais para diabéticos.

3) FORÇAS INTERNAS

São forças geradas pelas próprias estruturas biológicas.

A força vertical externa atravessa o aparelho locomotor, fazendo com que os músculos contraíam com esse vetor de força, sensibilizando também as articulações e os ligamentos.

As forças internas são:

{ Vertical
ântero-posterior
Médio-lateral

Verifica-se a sobrecarga recebida por cada segmento, por exemplo, a força no tendão patelar, na articulação do joelho, do tornozelo, entre outros. Ajudam a interpretar o movimento humano.

*** Para que mensurar as forças internas?*

Para a identificação de parâmetros dinâmicos que afetam:

- desempenho
- Sobrecarga
- Estratégias

DESEMPENHO:

Ex: levantamento olímpico, com “arranco” e “arremesso”.

Um estudo procurou comparar meio arranco e arranco completo. Em parâmetros cinemáticos os dados foram iguais, assim como a força de reação do solo. No entanto, para a articulação do joelho, o torque (força muscular na articulação) quando positivo a tendência era de extensão e quando negativo havia tendência de flexão.

Comparando os arranques, observamos diferentes comportamentos e diferentes movimentos. Para o meio arranque há maior flexão e também maior extensão na articulação do joelho. Com base nisso montamos estratégias de treinamento.

$$\text{Momento} = \text{Força Muscular} \times \text{braço de alavanca}$$

****Quais são os fatores que afetam a força interna?**

Força de reação do solo

Força peso

Força muscular

Compressão

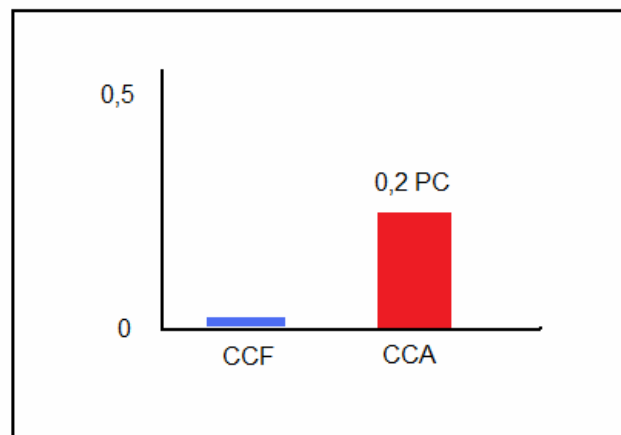
Inércia

SOBRECARGA:

Ex.: Lesão no ligamento cruzado anterior (LCA) do joelho.

Hoje é procurado fortalecer o músculo no período pré-operatório. Para isso utilizam-se de mesa flexora e extensora (cadeia cinética aberta —pés livres), leg press e agachamento (cadeia cinética fechada — pés apoiados).

****Para essa situação, o correto seria utilizar cadeia cinética aberta (CCA) ou fechada (CCF)?** Depende da quantidade de força aplicada.



Solicitações mecânicas no LCA

Na CCA o estresse é maior. Se fosse para não ter carga no ligamento, exercícios de agachamento e leg press poderiam ser indicados.

Algumas questões:

**** Até que ponto posso flexionar os joelhos?**

A cartilagem do joelho entre a patela e o fêmur recebe grande força.

No leg press, 90° já passou do pico máximo, que é de 80°. Para reduzir a compressão, trabalha-se com ângulo mais baixo. Passado o período de adaptação, o ângulo pode ser aumentado, como por exemplo, observamos no levantamento de peso. O melhor ângulo varia de sujeito para sujeito.

**** Qual é a sobrecarga aplicada na coluna no dia-a-dia?**

Se o sujeito passa cerca de 8 horas sentado, a compressão na coluna é maior do que em pé (ver pág. 17). Por essa razão é recomendado levantar a cada 2 horas. Encostos que declinam diminuem a compressão da coluna.

**** Como obter essas informações?**

Procedimento para medição de forças internas (Komi):

- transdutor de força em forma de “E”, fivela;
- Fibra ótica

Modelos animais possuem diferente estrutura mecânica, o que torna inviável sua utilização para análise de força interna em seres humanos. Há estudos de tendão isolado e não em movimento. Hoje, apesar do domínio da técnica, medir é um procedimento muito invasivo.

Como estimar força interna:

| | | |
|-----------------|--------|---------|
| Método direto | —————> | medição |
| Método indireto | —————> | cálculo |

A eletromiografia não pode ser utilizada na determinação de forças internas porque mede a tensão elétrica e o ligamento, por exemplo, não apresenta isso.

Para o cálculo, usamos a *identificação* e a *mensuração*, no processo denominado **Dinâmica Reversa**.

Variáveis a serem consideradas na dinâmica reversa:

- Dinâmicas: força de reação do solo
- Cinemáticas: posição da articulação no movimento
- Antropométricas: peso do sujeito

PROBLEMA: são muitas variáveis e incógnitas (ex: força de tração do ligamento, força de compressão na articulação).

**** Como calcular tantas variáveis?**

São diversos músculos agonistas, antagonistas e estabilizadores.

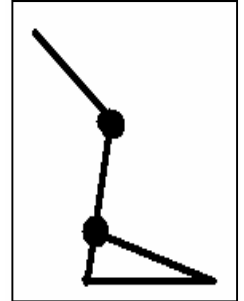
São muitas e complexas articulações, ligamentos, tendões, cartilagens, discos, etc.

SOLUÇÃO: Utilizamos um modelo.

É a simplificação do aparelho locomotor, limitando o número de incógnitas. É a representação das estruturas essenciais, mas de forma que não descaracterize a realidade.

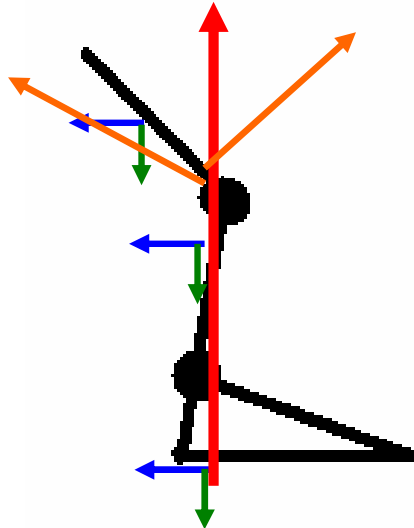
Julga-se o que não é determinante no estudo e simplifica.

Por exemplo, substituir a tíbia e a fíbula por apenas uma barra rígida, o que não afeta no cálculo das forças internas.



Medidas:

- Força de reação do solo (*plataforma de força*)
- Peso do sujeito
- Inércia (*modelo antropométrico*)
- Localização dos pontos (*cinemetria*)
- Força muscular



Exemplo de equação matemática:

$$\Sigma F = R + Mf - mfg + mfr - Gf = 0$$

→ → → → →

Compressão
Da articul.

Força de
reação

Força
muscular

Força
peso

Ínércia

Força de
compressão

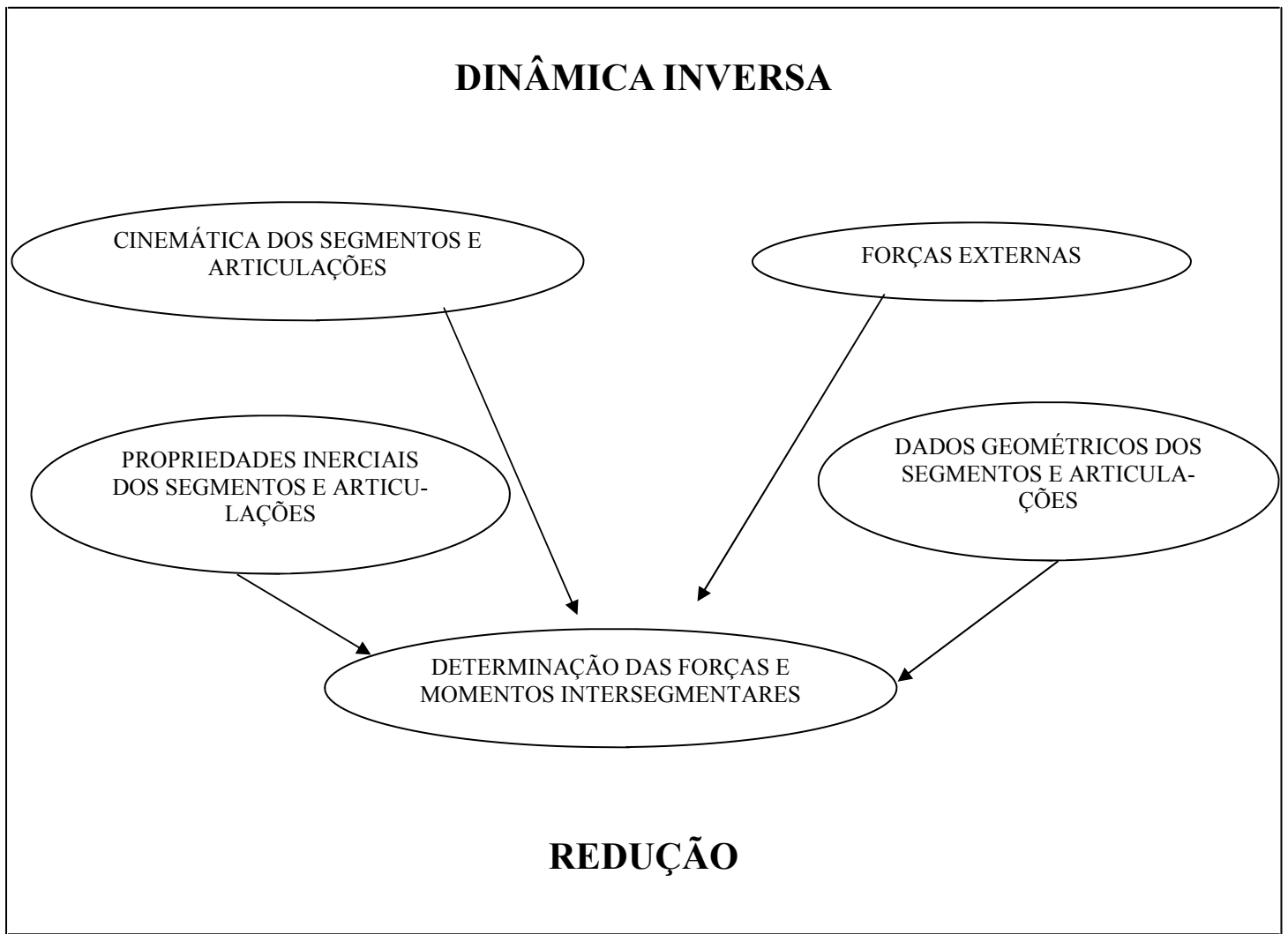
Mede-se o que é possível e o resto chamamos de incógnita.

No joelho, desconsidera-se os ligamentos e os meniscos, simplificando-se os modelos.

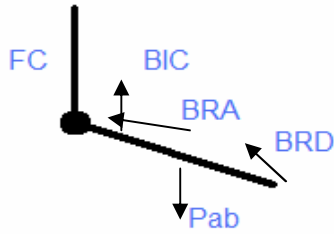
Variáveis:

- Força de reação do solo (vertical - LCA e LCP - e horizontal)
- Força peso (perna, pé, coxa - modelo antropométrico de cadáveres)
- Inércia (perna, pé)
- Força muscular (momento extensor e flexor)
- INCÓGNITAS (compressão horizontal e vertical)
- Posição das articulações.

$$\Sigma F = FR_x (Y_j - P_{Ax}) + FR_y (x_j - P_{Ay}) + I_{xpp} (Y_j - Y_{cg}) + I_{ypp} (x_{cg} - X_j) - P_{pp} (x_{cg} - X_j) + IR_{pp} + I_{xp} (Y_j - Y_{cg}) + I_{yp} (X_j - X_{cg}) - P_p (X_{cg} - X_j) + IR_p = 0$$



No cotovelo:



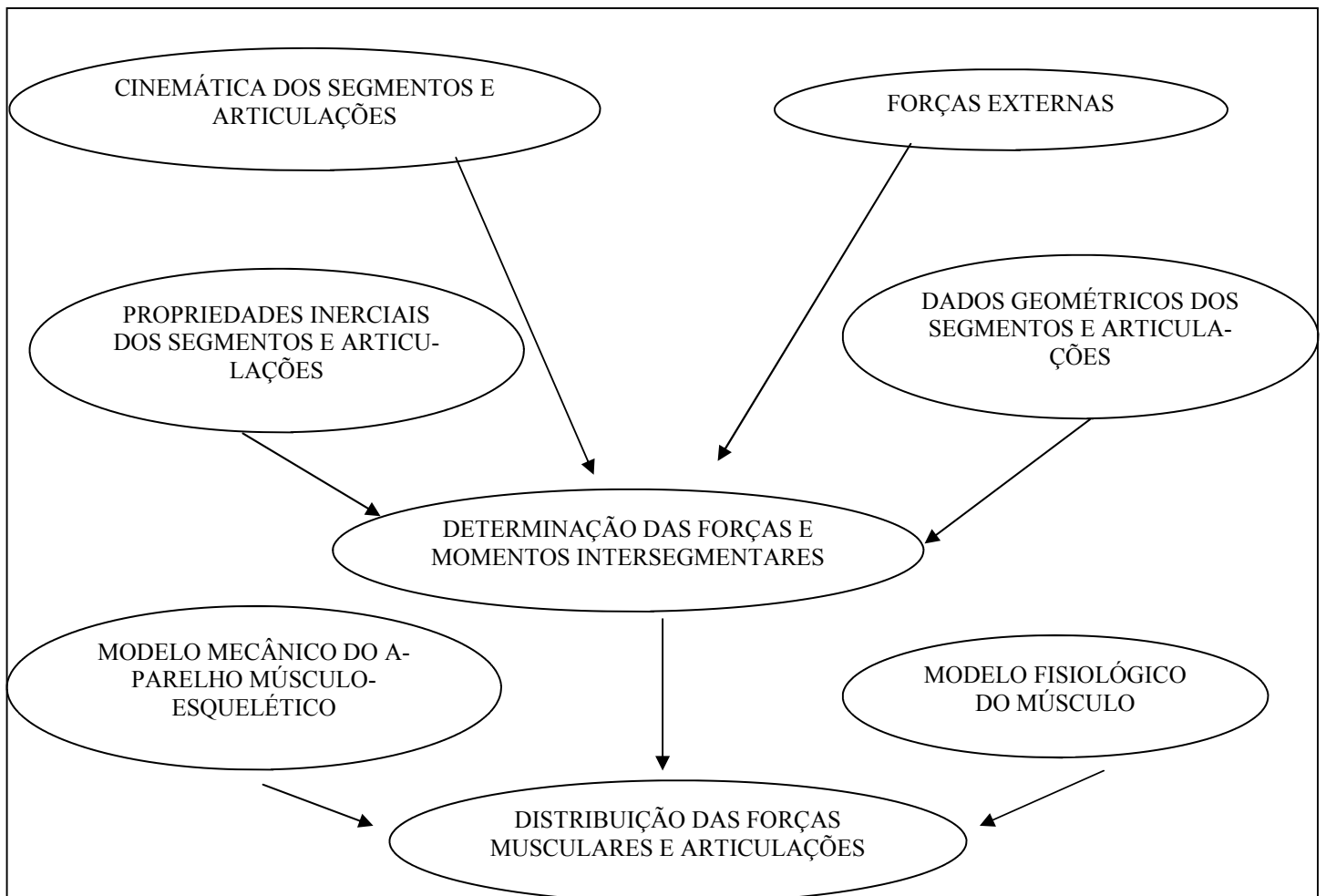
FC = força de compressão
 BIC = bíceps
 BRA = braquial
 BRD = braquiorradial
 P = peso

$$\Sigma F = 0 \leftrightarrow FBIC + FBRA - FC - Pab = 0$$

$$\Sigma M = 0 \leftrightarrow MBIC + MBRA + MBRD - Pab = 0$$

Ocorre **INDERERMINÂNCIA MATEMÁTICA**, onde o número de incógnitas supera o número de equações.

Estimamos a força dos 3 músculos a partir do tamanho do ventre (de 70 a 90 N por cm²). É um dado assumido, mas verdadeiro (**TÉCNICA DA OTIMIZAÇÃO**).



ELETROMIOGRAFIA

A eletromiografia (EMG) estuda a atividade muscular a partir do estímulo elétrico e da somatória dos potenciais de ação. A informação obtida é semelhante a do eletrocardiograma.

Usa-se eletrodos de ouro ou prata. São colocados no ventre dos músculos. Uma unidade é presa na cintura e a informação é enviada para o computador através de um cabo ou de um rádio.

Pode-se analisar tanto o movimento quanto o exercício.

“A eletromiografia é uma técnica sedutora, pois permite acesso aos mecanismos eletrofisiológicos envolvidos na contração muscular e na produção do movimento”.

(De Luca, 97).

O eletromiógrafo é um dos aparelhos mais baratos na Biomecânica. Custa cerca de U\$S 7.000, 00.

A eletromiografia é fácil de usar e também fácil de abusar.

Os erros mais comuns na EMG são:

- músculos com gordura sobreposta;
- Músculos profundos.

Leva-se então o eletrodo até o músculo por EMG de agulha ou de fio.

Para a EMG de superfície é necessário raspar o pelo para diminuir a impedância e impedir que a gordura atrapalhe na análise.

A propagação do estímulo elétrico é captada melhor em determinada região, não quer dizer que outras regiões do músculo não estejam também ativadas. Para o músculo não há um lugar certo para a colocação do eletrodo, mas há um consenso com base na anatomia muscular.

Usa-se também a técnica do **ponto motor**, fácil de ser localizado através de eletroestimulação para detectar a contração mais intensa.

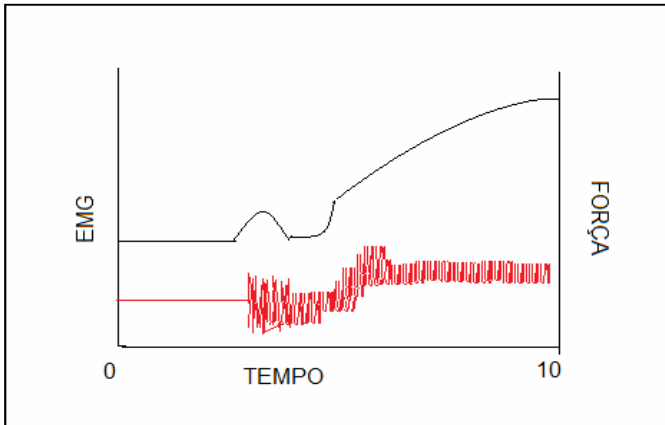
Com hipertrofia perde-se a referência do ponto correto. A eletroestimulação permite encontrá-lo facilmente. Sua desvantagem é ser trabalhosa e dar choque no indivíduo.

Para músculos internos coloca-se também por um mapa anatômico ou então no ponto motor, mais difícil de se achar. Um raio-X mostra a localização do eletrodo. Aplica-se um estímulo elétrico no fio para observar a contração muscular.

O eletrodo capta a somatória dos potenciais de ação

****Eletromiografia tem relação com força?**

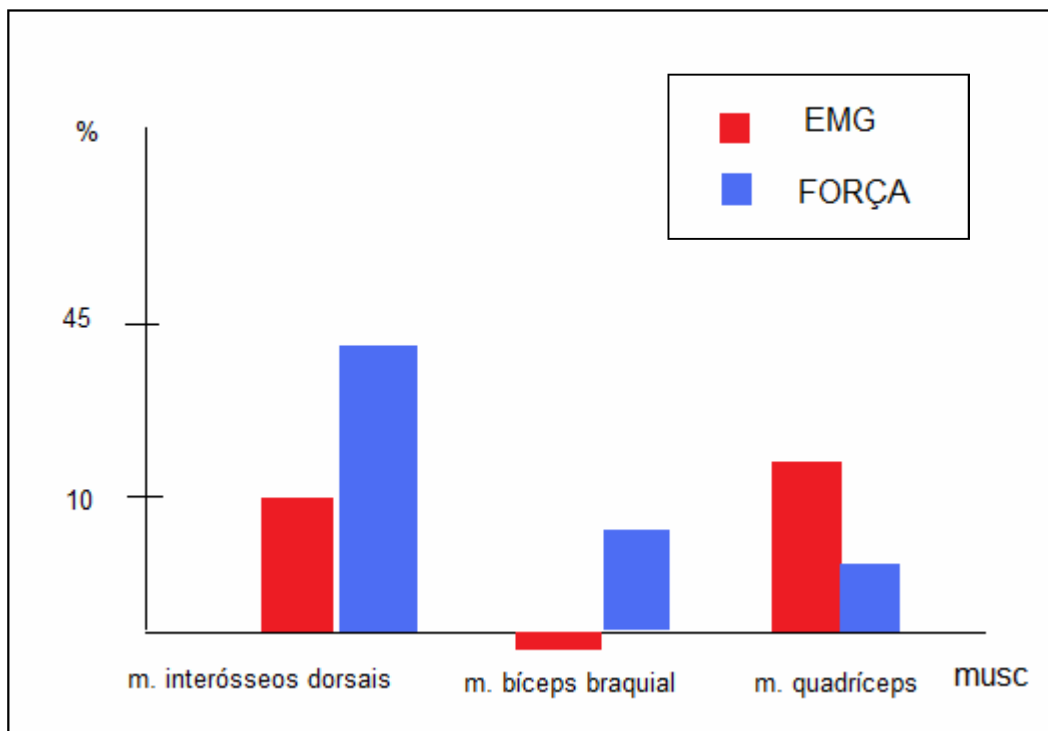
Há sim determinada relação, mas não é tão simples assim.



Há aumento de força junto com o sinal elétrico. Se usasse a eletromiografia para falar de força poderia dizer que no fim ela estabilizou, o que de fato não ocorreu.

Portanto, há sim relação entre as duas variáveis, mas devemos tomar cuidado ao avaliar.

Em outro exemplo: EMG X FORÇA



O músculo, trabalhando 80%, foi da quantidade que poderia ser gerada e não da força aplicada.

ERROS:

- 1– Subestimar ou superestimar o músculo. Na força, muitos músculos a provocam e não apenas um.
- 2– O braço de alavanca é também importante para a vantagem mecânica

O eletrodo capta uma amostra do músculo, e não ele inteiro. É o “volume de detecção”. A força pode ter sido igual, mas o sinal eletromiográfico é diferente.

Em contração isométrica a tendência é ativar todas as fibras de uma vez, por isso é um problema a menos na análise eletromiográfica relacionada à força.

A eletromiografia é um sinal delicado sujeito a muitas fontes de **interferência**, como:

- Tipo de eletrodo
- Volume de detecção
- Filtro espacial
- Ponto motor
- pH muscular - fadiga
- ...

O sinal eletromiográfico é tratado matematicamente, procurando excluir interferências. É realizado após a tarefa

O **sinal original** é o mais bruto e o pior de ser analisado. Há muita interferência com a ação muscular.

O sinal não era tratado na década de 1980. Com o tratamento, o sinal fica **retificado**, onde se torna positivo, rebatendo-se os valores. Há 2 meios matemáticos para isso:

- meia onda exclui-se os valores negativos
- Onda cheia: rebate-se os valores

Facilita a visualização dos pulsos. Esta é uma vantagem.

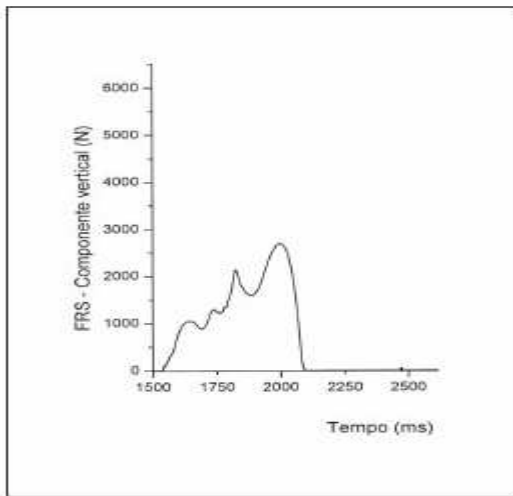
Como problemática, há ação do ruído. O eletrodo capta também grande interferência, como de campos magnéticos (geladeiras, telefones celulares, etc.). Muito sinal externo é captado pela EMG, assim como sinal interno também. Por exemplo, interferência dos músculos vasto lateral e vasto medial na análise do reto femoral.

Para separar isso, há o controle de ruído para limitar essas perturbações de modo matemático. São os **filtros digitais**. Ex:

- Filtros “Notch”: rejeita-se os sinais de 60 Hz (rede doméstica) e mantém sinais maiores e menores que esse.
- Filtros passa-banda: determina uma banda de frequência a ser mantida (“passada”). Ex.: entre 20 e 500Hz.
- Filtros passa-alta: passa (mantém) sinais de alta frequência - raros na biomecânica
- Filtros passa baixa: passa (mantém) sinais de baixa frequência.
- Amplificador: atua como um “filtro”.

-eletrodo passivo —————> amplifica sinal (muito perturbado)
 -eletrodo ativo —————> amplificação diferencial

O tratamento do sinal eletromiográfico leva quase um ano para ser tratado e dica como esse:



É o chamado **envoltório linear**.

Outras possibilidades de tratamento:

- Análise espectral: determinação do espectro não em função do tempo, mas em função da frequência. Usa-se para achar ruído e para interpretar a ação muscular (músculos de fibra lenta ou rápida). A fadiga é estudada na eletromiografia.
- Root mean square (RMS): mostra a intensidade da ação muscular.
- * soma dos quadrados na EMG
- * cálculo da raiz quadrada da média obtida
- Integral: em função do tempo

Não podemos comparar os músculos. É preciso normalizar o sinal.

Estabelece-se um parâmetro de comparação entre diferentes sujeitos, músculos, dias, medidas. Não se normaliza pelo peso do sujeito como na FR do solo (duas vezes o peso corporal).

Há normalização pela força máxima, contração voluntária máxima

Existem várias possibilidades:

- Média do sinal
- Pico do sinal - grande variabilidade
- Contração voluntária máxima - a mais usada

Se o sinal não for normalizado não podemos comparar diferentes músculos.

Outros caminhos:

Ressonância magnética: mostra a parte mais ativa do músculo. É um processo muito caro que varia de R\$ 800 a 1000. É feito pré e pós, sem praticidade no experimento.

A correlação da EMG com a Ressonância é de 0.8.

UM CASO DE EMG NO FUTEBOL E PARADOXO DO QUADRÍCEPS

****Como elaborar um treino para jogadores de futebol?**

Devemos observar quais os grupamentos musculares devem ser treinados e como eles devem ser treinados. São aspectos fundamentais para a melhora do desempenho.

Há, pelo menos, 47 músculos que participam dessa tarefa. Os que mais participam são os vastos lateral e medial.

Os músculos flexores têm atividade mais alta no fim do chute. Então o semitendinoso e o semimembranoso contribuem para o ajuste de precisão e para a desaceleração.

O movimento do quadríceps é altamente potente. São os isquiotibiais que brecam o movimento para impedir o deslocamento do joelho.

- quadríceps → contração concêntrica ← agonista
- Isquiotibiais → contração excêntrica ← antagonista

O antagonista é acionado por reflexo. O Sistema Nervoso Central envia o sinal para contrair com intensidade semelhante a do quadríceps e se os isquiotibiais estiverem enfraquecidos pode ocorrer lesão muscular.

Os músculos tibial e gastrocnêmio mantêm o pé rígido na hora do chute. É preciso realizar trabalho isométrico.

O exercício mais utilizado para fortalecimento nem sempre é o correto. Usa-se muito cadeia cinética aberta, mas exercícios de agachamento e leg press seriam estratégias melhores para jogadores de futebol.

Na corrida:

Grupamentos musculares ativos na frenagem e na propulsão.

Os movimentos de joelho são de flexão e de extensão. A primeira fase do quadríceps é excêntrica e a segunda concêntrica (essa informação é o que geralmente dizem). Sabemos hoje que o quadríceps não trabalha na fase de extensão do joelho na corrida, sendo o “paradoxo do quadríceps”, observado através da eletromiografia.

A análise cinesiológica apenas é muito imprecisa e por isso é necessário o uso da eletromiografia para ter certeza das ativações musculares durante o movimento.

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS BIOMATERIAIS

É necessário entender o funcionamento do aparelho locomotor.
 Descrição do comportamento mecânico de:

{
 Tecido ósseo
 Cartilagem
 Tendão
 Ligamentos
 Discos
 Meniscos
 Músculos

OSSOS

Características histológicas

- Matriz inorgânica: cristais de Cálcio (sais de hidroxiapatita)
- Matriz orgânica: colágeno (95%), substância fundamental amorfa (5%)
- Células: osteoblastos, osteoclastos e osteócitos

Há sinalizadores hormonais pós-estresse mecânico relacionados à síntese de osso, ou seja, fabricação da matriz orgânica do osso. O cálcio se consolida na matriz de colágeno e aí se forma o osso.

Há momentos na vida do ser humano em que o **osteoblasto** tem maior atividade; é o caso do crescimento ósseo na puberdade, por exemplo. Após a puberdade, a atividade osteoblástica continua por stress mecânico e fratura.

Não é qualquer atividade mecânica que gera crescimento ósseo. A hidrogenástica, por exemplo, não favorece esse ganho.

O osso passa por 2 momentos:

- 1) crescimento (com período para acabar);
- 2) Remodelagem (ganho ou perda de massa óssea) - exercício ou fratura

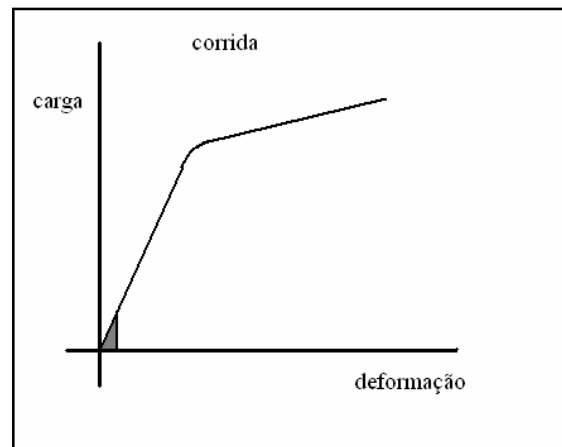
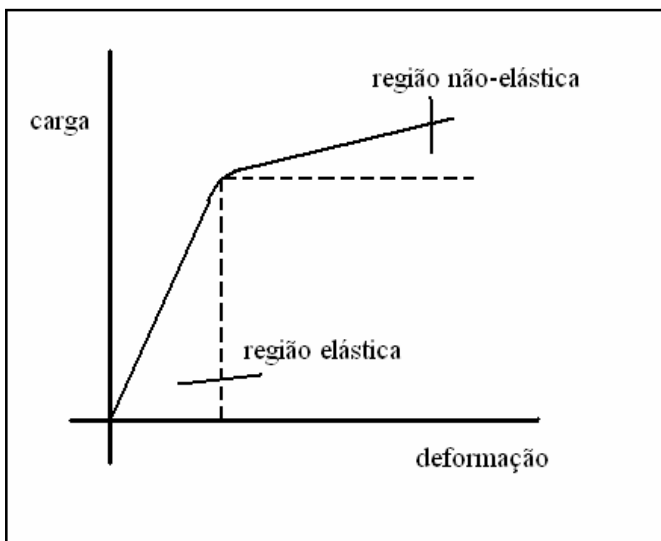
O **osteócito**: mantém a estrutura óssea. Por produzir matriz demais, acaba se retendo em seu interior. Forma ramificações na matriz, garantindo o metabolismo do osso.

O **osteoclasto**: é bem maior que o osteoblasto. Sua função é de reabsorção e destruição da matriz óssea a partir de ação enzimática. A matriz inorgânica é lançada na circulação e em seguida é excretada, podendo acarretar problemas renais.

Para estimular o osteoclasto, basta retirar o stress mecânico do osso. Nas fraturas há, após consolidação do calo ósseo, alta atividade osteoclástica. Conforme a velhice vem chegando, mudanças hormonais provocam também a perda de massa óssea. Tais mudanças hormonais não ocorrem apenas no envelhecimento; é o caso de mulheres no período pós-menopausa.

Características biomecânicas

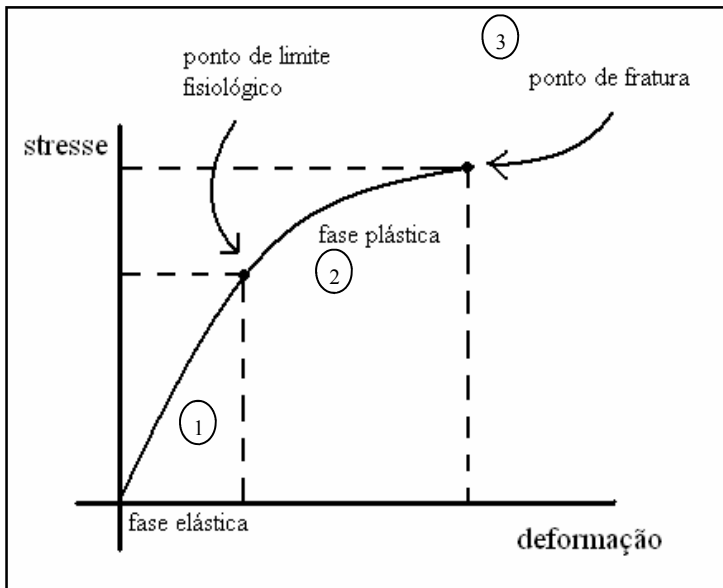
- Testes mecânicos
 - in vitro (máquina de solicitação mecânica universal)
 - erros: ausência de músculos, cartilagem e outras estruturas
- Parâmetros analisados
 - estresse: carga/área (N/m^2) = Pressão
 - deformação: proporção do comprimento original (%)
 - energia: área sobre curva do gráfico (carga x deformação)
 - módulo de elasticidade: estresse/deformação



Observa-se o quanto de carga o osso pode suportar antes de entrar em falência. O osso tem limite fisiológico (sem danos) e limite final (até o que pode de fato suportar).

É possível calcular a área demarcada, resultando na energia acumulada pelo sistema.

Comportamento mecânico do tecido ósseo



Fase elástica

- rigidez: com muito estresse, há pouca deformação.
- deformação reversível.

Fase plástica

- perda da rigidez: com pouco estresse, há grande deformação.
- deformação não reversível.

1) Zona elástica: o osso sofre grande deformação quando exposto à sobrecarga. Ele absorve energia mecânica para evitar falência (como ocorre nas arquibancadas dos estádios). A deformação ocorre na matriz orgânica; muita carga precisa ser aplicada para pouca deformação. Em ligamentos, observa-se o contrário: grande deformação com pouca carga.

O osso se acomoda à carga aplicada para evitar fraturas. Retirada a carga há reversibilidade, voltando às características iniciais.

2) Zona plástica: há grande deformação com pouca carga. O osso perde capacidade de suporte, com grandes microfraturas e perda de rigidez.

3) Ponto de fratura: O osso não volta mais à sua posição inicial na fase 2, por isso a fase é plástica, com prejuízo no funcionamento do osso.

** Quanto utilizamos de nosso “potencial”?

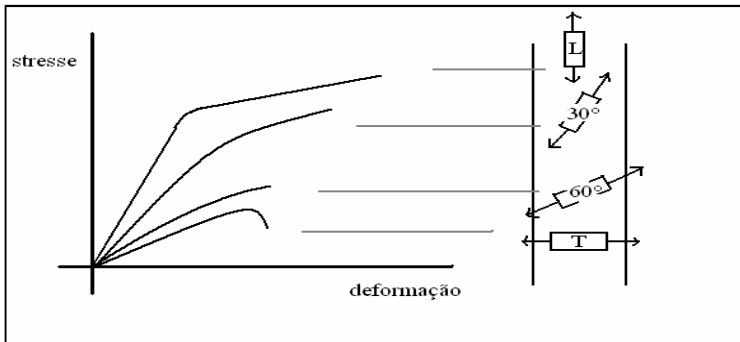
Em atividades cotidianas, a solicitação é inferior a 5%. É impossível destruir o osso em atividade física bem orientada. O limite é diferente em idosos e em pessoas treinadas, pois no primeiro caso a situação está muito perto do limite.

** Como explicar o número de lesões?

Lesões com microtraumas ocorrem em práticas comuns da atividade física. Grandes fraturas ocorrem em acidentes.

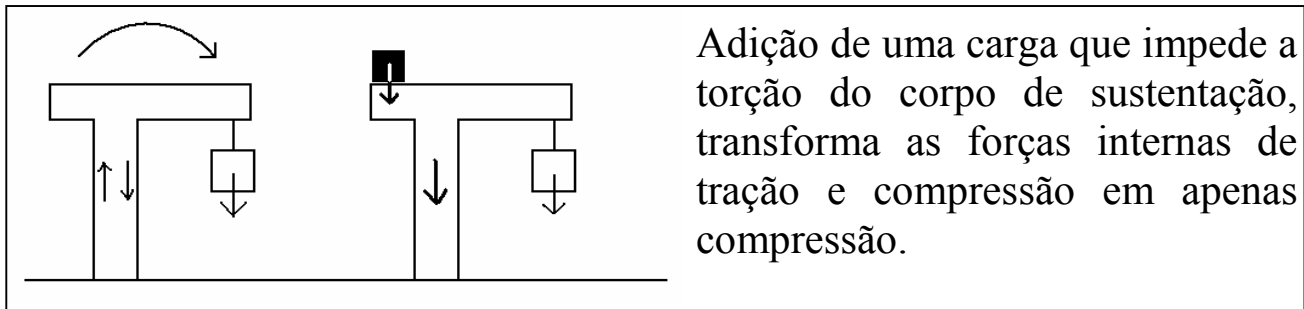
Outros fatores que afetam as respostas mecânicas dos ossos

• Geometria de aplicação



Comportamento Anisotrópico: Comportamento varia de acordo com a solicitação.

- Ação muscular



Adição de uma carga que impede a torção do corpo de sustentação, transforma as forças internas de tração e compressão em apenas compressão.

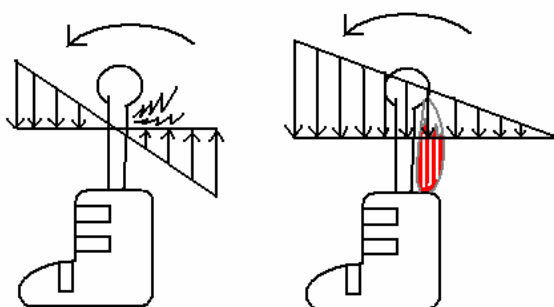
A mesma carga tem diferentes sentidos dependendo de seu ângulo. O osso é anisotrópico: reage de forma distinta.

Para sustentar flexão, o osso teria que ser tubular, quadrado.

O pior estímulo mecânico é o de flexão; o melhor é o de compressão. Trações podem também provocar traumas, como em ginastas, onde o tendão do tríceps sural pode se desgrudar.

A força no fêmur está angulada em flexão com a pelve. Por essa razão esse osso está sujeito a fraturas na terceira idade, especialmente na cabeça do fêmur. Solução possível: contra-inclinação para impedir flexão. Passa a ser esforço compressivo pois foi contrabalanceado com carga oposta; mecanicamente é o jeito de compensar.

No osso é a ação muscular que realiza a contra-inclinação, por exemplo, a musculatura glútea para a flexão do fêmur. Em estado de inércia com o pé fixo no solo e o corpo balançando para frente, o fêmur tende a flexionar e quem compensa isso é o tríceps sural. Por esse motivo é necessário o fortalecimento muscular.



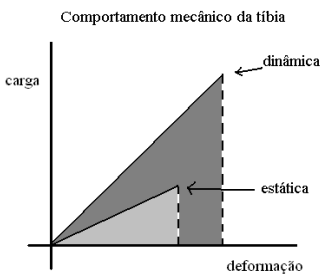
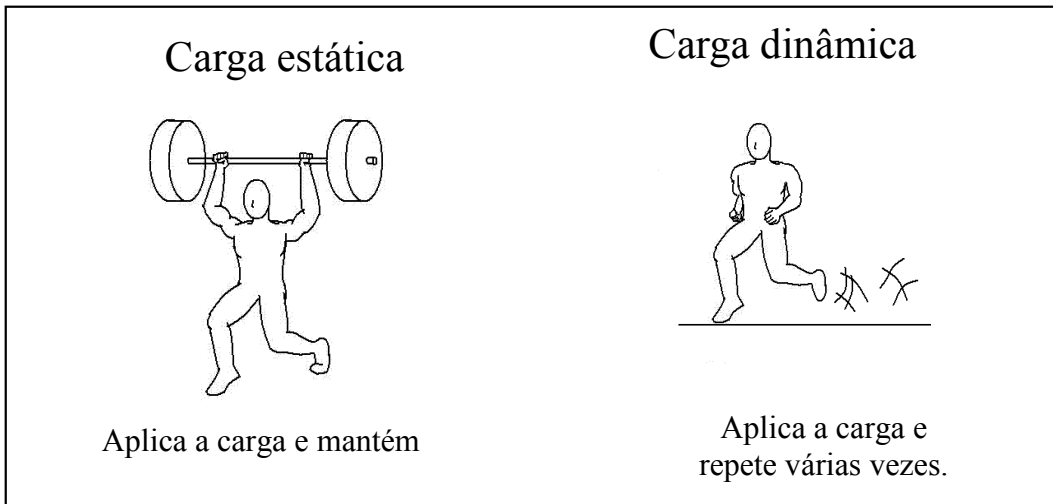
A geometria de aplicação pode ser atenuada pela ação muscular.

A importância da ação muscular

O músculo forte protege o osso na contra-inclinação. Pode proteger na compressão, tração, a todo momento. Serve para amortecimento e controle de choque.

Componentes elásticos musculares acumulam energia mecânica em contrações excêntricas, funcionam como amortecedores. O músculo alonga e, acumulando energia, impede que isso chegue no osso e também na cartilagem articular. A energia mecânica acumulada é devolvida depois na propulsão, com restituição e economia de energia.

Frequência de aplicação de carga



Carga dinâmica se mostrou melhor, com melhores adaptações

A alta frequência ajuda a remodelar o osso. Ele não é frágil e sim forte nessa frequência, como ocorre na maioria dos esportes. O osso “prefere” exercício dinâmico, isso devido a sua viscoelasticidade.

Viscoelasticidade

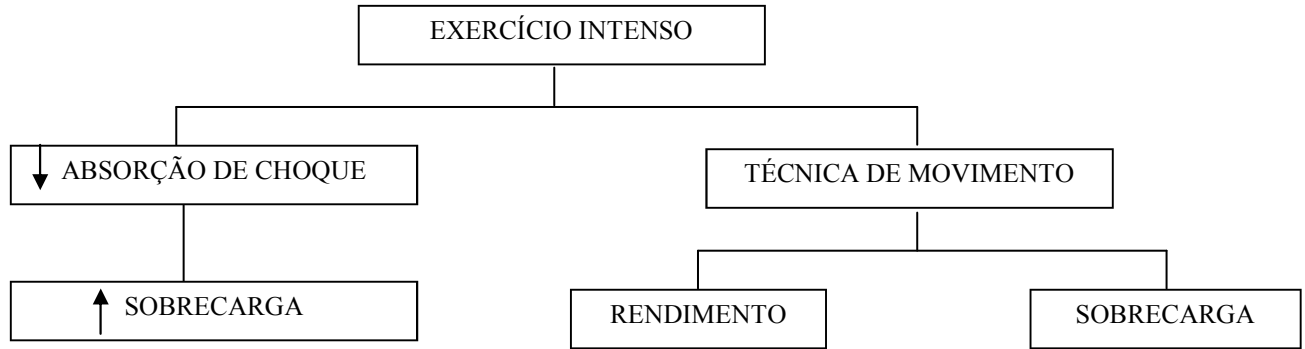
- Uma das características mais importantes do tecido biológico
- Característica entre um sólido elástico e líquido viscoso.
- Características: depende da taxa de aplicação.

Músculos e ligamentos são também viscoelásticos. Estímulos lentos e com pausa rompem mais facilmente essas estruturas.

A energia acumulada se dissipa em forma de calor.

Passando do limite a carga estática provoca pequenas fissuras sem deslocamento na baixa frequência. Já na alta frequência, há deslocamentos, provocando fragmentos ósseos.

Conseqüências da fadiga



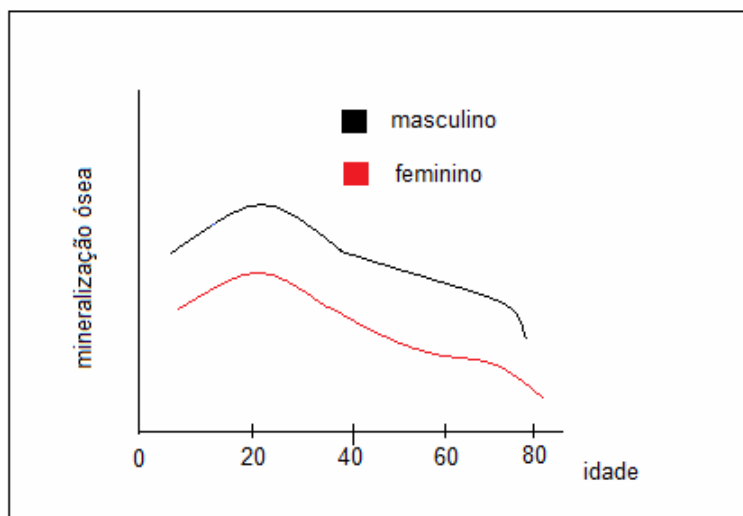
O músculo precisa então ser preparado para proteger o aparelho locomotor.

CARACTERÍSTICAS DO TECIDO ÓSSEO EM DESENVOLVIMENTO

***Quais são as conseqüências da aplicação de cargas excessivas no aparelho locomotor em desenvolvimento?*

O aparelho locomotor em desenvolvimento é diferente do aparelho locomotor do adulto. Os ossos em desenvolvimento ainda têm a estrutura responsável pelo seu crescimento, os discos epifisários, que contêm cartilagem e acabam sendo mais frágeis que os ossos e as articulações. Outra característica está relacionada com a proporção das matrizes orgânicas e inorgânicas. A deposição da matriz inorgânica é maior nos adultos com auge entre 25 e 30 anos, e os ossos das crianças tem mais matriz orgânica, caracterizando num osso mais flexível e com menor resistência a compressão.

Na criança, há maior atividade osteoblástica, responsável pela síntese de matriz orgânica que será mineralizada por ação hormonal.



Em adolescentes há mais matriz orgânica do que inorgânica e a resposta é mecanicamente diferente do adulto devido à alta produção de colágeno, que deixa o osso mais maleável.

A lesão mais comum é deformação com microtraumas e não fraturas em si. A zona de tolerância plástica da criança aumenta e isso é ruim porque a fratura pelo menos seria um indício do limite de tolerância óssea. A criança tem alto poder de remodelagem.

O osso em desenvolvimento tem:

- maior flexibilidade
- Menor resistência à compressão

As fraturas são mais fáceis de tratar do que as deformidades, porque estas sempre doem. Sobrepeso com carga excessiva é também um ponto suscetível a deformações.

Adolescentes têm disco cartilaginoso epifisário que ficam abertos até 20 anos de idade mais ou menos. Permitem o crescimento longitudinal do osso. Há nessa região uma zona de proliferação.

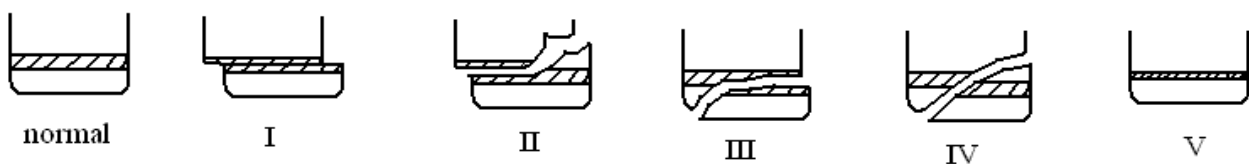
Fechando o disco de crescimento não há mais possibilidades para crescer, apenas acromegalia. Há cirurgia que simula o disco epifisário (que quebra e afasta).

Disco epifisário:

É mais frágil que o tecido que o delimita.

Forças aplicadas em ossos longos de crianças causam mais lesões nas epífises do que na própria articulação. Ainda nas crianças, sua cápsula articular é de 2 a 5 vezes mais resistente do que os discos epifisários.

Há diferentes tipos de lesões nos discos epifisários:

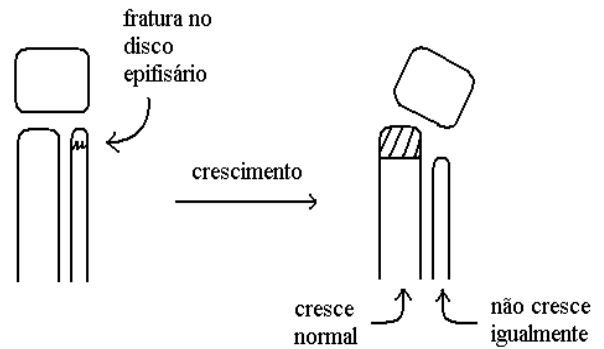


Fraturas dos tipos I e II, apresentam de 3 a 4% de chances de causar distúrbios de crescimento. Tipos III, IV e V, 10 a 20%.

Há, portanto, várias possibilidades de induzir traumas.

DISTÚRBIOS DE CRESCIMENTO:

- Interrupção prematura do crescimento
- Angulações ósseas anormais
- Desproporção entre os segmentos
- Distúrbios articulares



Relatos da literatura

Com animais:

- Matsuda(1986) - Usou galinhas na esteira com alta intensidade. A carga excessiva resulta em ossos com maior secção transversa, mas com menor resistência mecânica, isso devido ao predomínio do colágeno e à pouca matriz inorgânica.
- Revel(1992) - Estudo com ratos para análise de deformidade óssea vertebral. As cargas de compressão e tração contínuas desenvolvem importantes alterações nas estruturas associadas à coluna vertebral.
- Kiikinem(1987) - Macacos com sobrecarga de 1x o peso corporal durante sua vida toda. A carga dobrada resulta na aceleração da maturação óssea, quando os ossos são afetados há a supressão permanente do crescimento longitudinal.

Relatos clínicos

- Carter(1985) - 7 ginastas de 14 e 16 anos com fratura de discos epifisários não apresentaram seqüelas.
- Albanese(1989) - 3 ginastas de 12, 13 e 14 anos, sofrem a supressão do crescimento por lesão no disco epifisário, que resultou numa perturbação na articulação rádio-ulnar e a distribuição de forças na articulação.
- Howe(1997) - fechamento prematuro do disco epifisário de um ginasta de 14 anos de idade.

A literatura mostra que os acometimentos ocorrem na faixa etária dos 12 aos 14 anos, com o estirão de crescimento, onde há maior vulnerabilidade. Nessa idade há maior adesão nas atividades esportivas e aí está a preocupação.

As lesões apresentam-se também em patinadores, dançarinos e halterofilistas (não no exercício físico de “musculação”).

A ginástica é a modalidade mais precocemente iniciada. Gera as maiores cargas (entre 12 e 13 vezes o peso corporal) e seu volume de prática é maior também

em função da estética do movimento. Qualquer outra modalidade nessas mesmas condições traz prejuízos semelhantes.

Suspensão da atividade no período da lesão

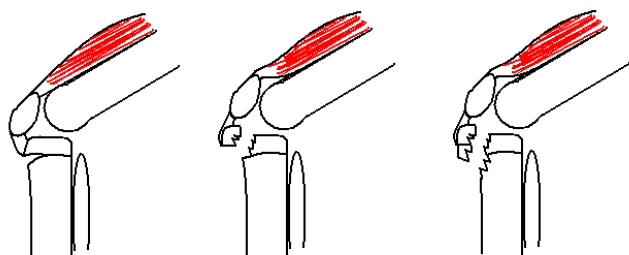
Quanto mais cedo ocorre a suspensão maior a possibilidade de recuperação com:

- Revascularização
- Proliferação da cartilagem não mineralizada
- Reversão da lesão

Passando-se um tempo há distúrbios de crescimento que podem ser solucionados com intervenções cirúrgicas.

MECANISMOS DE LESÃO

Lesão de disco epifisário pode ser causada por forças externas ou internas.



Exemplo de fratura causada por forças internas

****Qual atividade física é mais segura?**

Todas as atividades podem ser aplicadas. As crianças devem ter amplo repertório motor.

Parece que o elemento chave na prevenção das lesões nos jovens, não está centrado na **escolha da atividade**, e sim no **controle de cargas mecânicas** geradas em função da atividade escolhida.

É preciso escolher não a atividade em si, mas sim quem é o sujeito que administra o controle das cargas.

INFLUÊNCIA NO ENVELHECIMENTO

A população estatisticamente está envelhecendo. Há muitas alterações ocorridas nessa fase e aqui destaca-se o trauma ósseo.

Fraturas ósseas em idosos

- Colo do fêmur
- Úmero
- Cabeça do rádio e da ulna

As 3 regiões são as mais afetadas, uma vez que o indivíduo sofre quedas constantemente. Baixas cargas provocam falência e isso pode levar à morte na terceira idade. A fratura não se consolida sozinha e é necessário cirurgia, com repouso de 8 semanas e muito acometimento.

Principais alterações induzidas pelo envelhecimento:

- OSTEOPENIA: perda de massa óssea
- OSTEOPOROSE: agravamento da osteopenia - aumento dos buracos trabeculares.

Homens começam a sentir complicações ósseas aos 55 anos. As mulheres apresentam perda de massa óssea antes disso, com maior velocidade.

Conseqüências no comportamento mecânico do osso

- stress compressivo
- Tração
- Deformação
- Energia

O indivíduo vive mais, entretanto, cada vez pior. O que faz a diferença é o exercício e a reposição hormonal (que pode agravar tendências a tumores). Então, os exercícios apenas podem ser a melhor solução, lembrando que não é todo exercício que apresenta resultado.

Estudos:

- Wolff: programas sistematizados de exercícios previnem ou reverterem em até 1% a perda de massa óssea ao ano.
- Kelley: musculação tem grande efeito na região da coluna, do fêmur e do rádio
- Berard: a atividade física previne perda óssea na coluna. Efeitos não foram observados para ante-braço e quadril.
- Palombaro: Marcha parece não ser suficiente para prevenir desmineralização óssea

Comportamento mecânico do tecido ósseo no envelhecimento

O idoso apresenta ganho de 2% na coluna e por isso o exercício pode ajudar na prevenção de quedas.

Países desenvolvidos investem na prevenção, com mulheres ainda jovens. Há assim maiores possibilidades de reversão.

A força aumenta cerca de 30% em idosos (ganho = ao jovem). Com isso, aumenta a absorção de energia mecânica - sobra menos carga no osso; há maior estabilidade.

EFEITOS CRÔNICOS DO TREINAMENTO NO TECIDO ÓSSEO

O processo ocorre com a somatória dos microtraumas, que causam fraturas em próteses mecânicas. O tecido biológico tem adaptação.

Adaptação do tecido biológico:

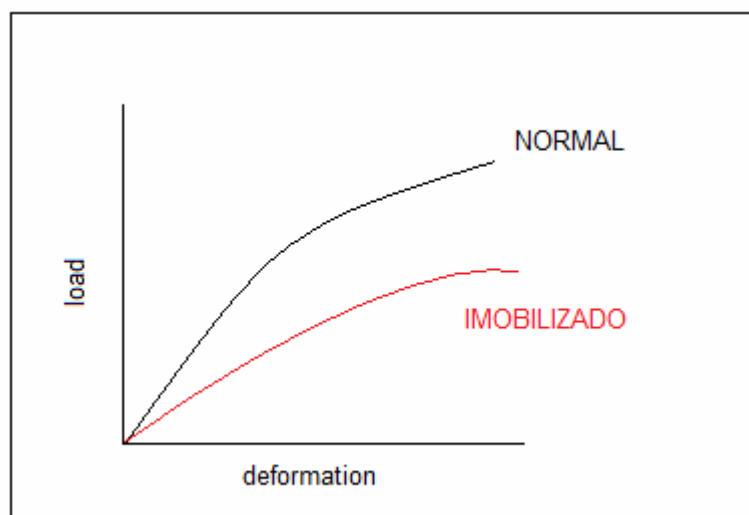
Princípio de Roux (1895): relação entre cargas mecânicas e adaptação do tecido biológico.

Sedentarismo: ausência de carga em acamamento severo. A perda de massa óssea é cerca de 1% por semana.

O Steady State ósseo é atingido após perda da ordem de 30 a 40%. Com a perda da função óssea há risco de morte.

Kazarian e Von Gierke (1979): estudo com macacos cujos segmentos estavam imobilizados e sem que percebessem a descarga de peso por 60 dias. Com isso o limite de suporte da carga se reduz.

A energia acumulada também é mais baixa.

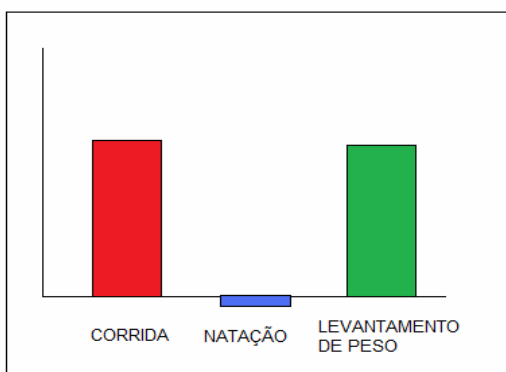


Influência do exercício

- *Woo et al* (1981): mostra a direção do osso no exercício usando 5 porcos. Eles nadaram 40 Km/semana com uma intensidade entre 65-85% da frequência cardíaca máxima, durante 12 meses. Os animais foram sacrificados e a análise histológica do osso mostrou que o exercício aumentou a massa óssea. Houve também aumento da resistência mecânica do tecido ósseo (remodelagem bio-positiva + adaptação mecânica). A limitação metodológica é que a atividade era de natação.
- *Dalin* (1974): mostra que corredores apresentam mais massa óssea quando comparados a sedentários de mesma idade e peso.
- *Aloia et al* (1978): mulheres atletas apresentam maior densidade óssea vertebral do que sedentárias. No período pós-menopausa a diferença se acentua, pois a atividade física pode aumentar sua massa óssea. Inativas diminuíram sua densidade no mesmo período.

****Qual atividade é ideal para estimular o aumento da massa óssea?**

Um estudo de *Drinkwater* (1994) analisou a densidade óssea vertebral em 3 situações:



Nadadores apresentam osteopenia; quanto mais osso tem, mais afunda.

Médicos recomendam hidroginástica para idosos com osteopenia, mas eles não vão ganhar massa óssea. Os idosos perdem massa óssea em decorrência da idade.

**** Por que a água não produz adaptação óssea significativa?**

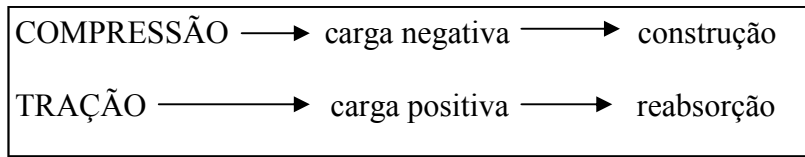
Há na água força de empuxo agindo junto com a força da gravidade. Quanto maior o volume, mais empuxo há. Não há sobrecarga externa, mas há interna.

Quanto à adaptação óssea, astronautas excretavam cálcio na urina em cerca de 25%, o que pode gerar insuficiência renal crônica. Na microgravidade, os exercícios vigorosos não foram suficientes para prevenir perda óssea.

Animais submetidos à centrifugação diminuíram sensivelmente a perda de massa óssea. Isso porque há simulação da força de gravidade.

O osso exige força compressiva. Não há relação com gravidade portanto.

O osso distingue forças de compressão e tração através da pizeletricidade. Cristais mudam seu comportamento eletromagnético; o osso também apresenta cristais (os de hidroxiapatita).



In vitro há reabsorção, mas em humanos não.

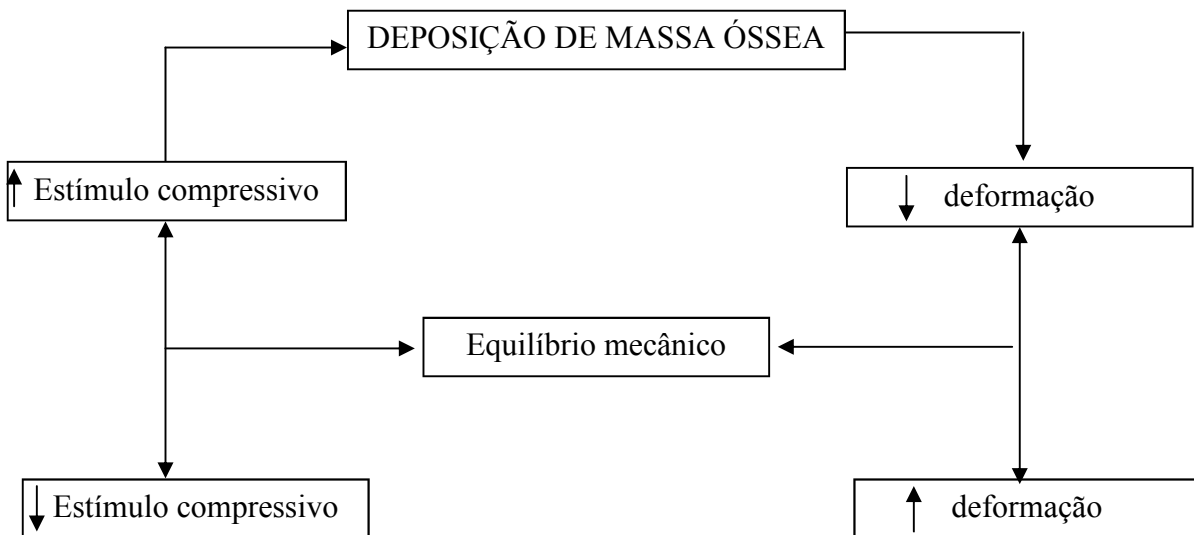
O osso reage bem à compressão em alta **freqüência** e também **intensidade e especificidade**.

****Qual seria a intensidade ideal?**

O que seria uma intensidade alta? Pode-se fazer o teste de carga máxima ou teste de repetição máxima, entretanto, isso não daria certo para o osso, porque precisa ser normalizado.

A relação da intensidade é relativa, depende do sujeito. Para alguém extremamente sedentário, só a caminhada já traria grandes benefícios. Para o sujeito que costuma andar freqüentemente, uma atividade de alta intensidade seria o jogo, por exemplo.

Ponto limite e área fisiológica do osso nunca se aproximam, a distância entre os dois se mantém. Devemos quebrar a homeostase óssea.



Especificidade

Mc Clanahan (2002): A densidade mineral óssea é substancialmente maior no braço dominante do que no contra-lateral.

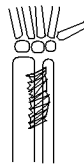
ARTICULAÇÕES

Classificação em função da mobilidade:

- Sinartroses (sem movimento)
- Anfiartroses (com mobilidade)
- Diartroses (com ampla movimentação)

SINARTROSES

- articulações fibrosas “imóveis”
 - Ainda que sejam praticamente imóveis permitem absorção de choque
1. Sindesmoses: tecido fibroso que mantém as peças ósseas unidas (rádio-ulnar e tibio-fibular)

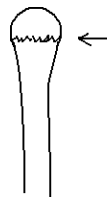


2. Suturas: pequena separação entre os ossos (crânio)

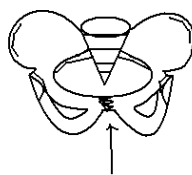


ANFIARTROSES

- Tecido cartilaginoso semi-móvel
1. Sincondroses: Ossos separados por uma fibrocartilagem (disco epifisário, esternocostais)

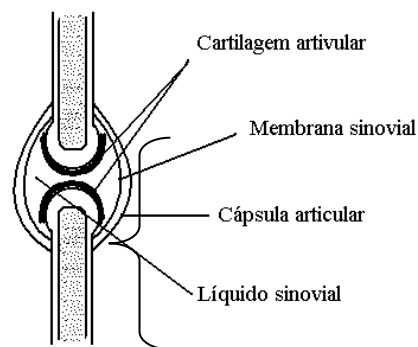


2. Sínfises: Apresentam camadas de cartilagem hialina que separam os ossos (sínfise púbica)



DIARTROSES:

- Mais complexas e permitem movimento
- Cartilagem articular: função de diminuir o atrito e aumentar a área de contato.
- Cápsula articular:
 - ligamento intracapsular: dá estabilidade ao movimento e fornece informação de propriocepção.
 - ligamento extracapsular: delimita a cápsula articular.
 - membrana sinovial: produz o líquido sinovial.
- Líquido sinovial: Lubrificação entre as estruturas e nutrição.
- Outras estruturas: Meniscos, discos cartilagosos.



No joelho há os ligamentos cruzados e também os colaterais:

LCA: impede a anteriorização da tibia

LCP: impede a posteriorização da tibia

Colaterais: permitem apenas movimentos de extensão e de flexão.

Os ligamentos limitam os movimentos e possuem também proprioceptores. Dessa maneira o sujeito sabe a respeito de sua posição articular. Todas as diartroses possuem ligamentos.

Outra característica importante é o líquido sinovial, que evita atrito entre as peças e as lubrifica (impedindo a osteoartrose). Além disso ele nutre a cartilagem, que não possui circulação própria, embora seja um tecido vivo.

O líquido sinovial é produzido pela membrana sinovial; ela é altamente vascularizada. Traumas podem romper essa membrana.

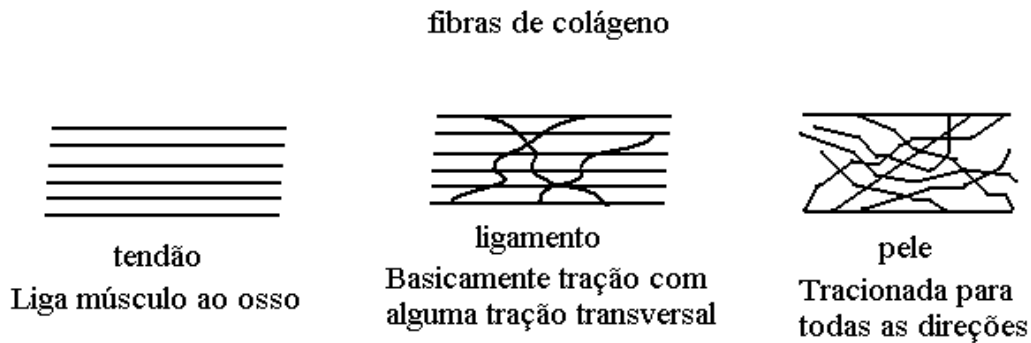
A cartilagem articular evita o desgaste ósseo, garante congruência entre as peças ósseas, tem alta capacidade de reduzir choque. Pode produzir osteoartrose, lesionando a cartilagem é para sempre.

O menisco é um reforço da cartilagem.

LIGAMENTOS

ASPECTOS HISTOLÓGICOS

Sua composição é basicamente colágeno tipo 1. É uma proteína com alta resistência à tração. Sua parte seca é de colágeno + proteoglicanos + elastina. Os últimos mantêm unidas as fibras de colágeno. Quanto à disposição das fibras:



A geometria da pele é diferente, pois puxa de vários lados. No tendão, as fibras são puxadas de acordo com a tração.

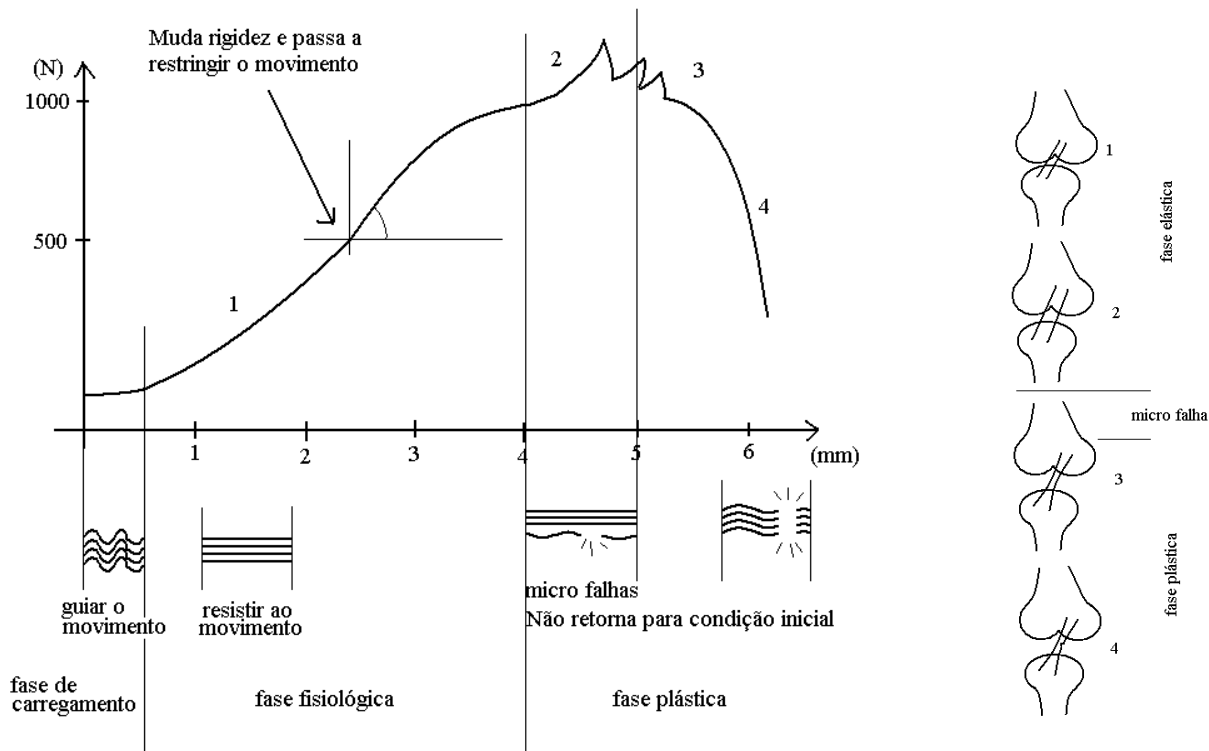
O ligamento está entre o tendão e a pele. Entre ligamento e tendão a diferença é muito pequena; funcionam quase da mesma forma e por isso um substitui o outro em caso de lesão.

Rompendo o ligamento cruzado anterior, pode-se fazer enxerto, promovendo tendão a ligamento. Pode ser buscado no tendão patelar ou isquiotibiais, passando a funcionar como ligamento (ligamentização). Nos isquiotibiais há menos efeitos colaterais de encurtamento. O exercício é essencial para fortalecer esse novo ligamento, mas com carga excessiva pode causar ruptura (o mesmo ocorre para indivíduos saudáveis). Na cirurgia realizada, os mecanorreceptores não existem mais e por isso é necessário realizar trabalho proprioceptivo, como fisioterapia na cama elástica unilateralmente, com variação de posição. O trabalho precisa ser portanto mecânico e proprioceptivo.

Para animais pequenos, estudo mostra que pode haver regeneração de proprioceptores.

Estudos ligamentares são *in vitro*, em cadáveres, testados até a falência.

Comportamento Mecânico



Está representada a curva stress-deformação.

No osso: Muita força para pouca deformação.

No ligamento: Pouca força e muita deformação.

No ponto **1**, o ligamento começa a impor resistência, com comportamento mais rígido. Se fosse rígido desde o começo, não permitiria movimento. É como se fosse um elástico em repouso.

No ponto **2** o ligamento chegou em sua tolerância máxima fisiológica, em próximo de 1000 N de força.

Do ponto **2** ao **3**, pouquíssima carga gera uma deformação imensa.

No ponto **4** ocorreu ruptura de grande parte das fibras.

O momento de microfalha não ocorria no osso. Há microtraumas, é como uma zona intermediária. Por isso uma pessoa com lesão ligamentar pode não saber que está lesionada.

A lesão grave pode se tornar gravíssima.

****Pequenos entorses devem ser tratados com cuidado, pois podem sinalizar o início de uma lesão mais séria.**

Para o tratamento de lesão ligamentar há imobilização e pode evitar cirurgia.

**** O ligamento pode se recuperar rapidamente?**

Ele tem pequena faixa metabólica.

NOYES (1997): Recuperação do ligamento cruzado anterior.

-8 Semanas sem carga – Cai em 40% sua resistência;

-5 meses de exercício tirou a imobilização e continuou normalmente. Ainda não estava 100%, estava 79%. Após 1 ano ainda não responde como originalmente (91%).

O ligamento, portanto, não se recupera rapidamente.

Influência da velocidade de movimento

Carga lenta: Alongamento progressivo;

Carga rápida: Explosiva.

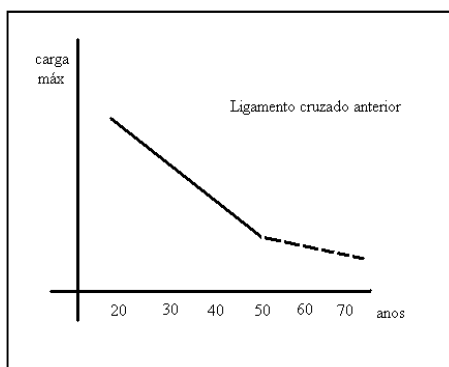
A resposta mecânica depende da taxa de aplicação. A resistência de carga lenta é menor que carga rápida.

Tecido viscoelástico

- Aumento do stiffness com o aumento da taxa de aplicação da força
- 50% de aumento na carga até a falência quando a taxa de aplicação da carga aumenta em 4 vezes.

O risco de lesão em alongamento balístico é maior do que no estático e dinâmico.

Adaptação do ligamento ao exercício



Otimiza-se respostas mecânicas para preparar as estruturas com fortalecimento.

A resistência ligamentar diminui ao longo do tempo. Por isso é preciso fortalecer.

Parece que o exercício faz diferença e o tipo de exercício também.

* WOO(1982): Porcos correndo de 6 à 9 km/h, 40 km/semana.

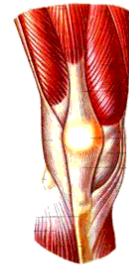
-Houve aumento da área de secção transversa do ligamento.

-Aumento da resistência mecânica à tração.

Há diferença de tração nos exercícios resistidos para a caminhada. O resistido aumenta força muscular e resistência ligamentar.

Trabalho de fortalecimento muscular

- Estabilização ativa:
Aumento da capacidade estabilizadora do músculo.
- Estabilização passiva:
Aumento da resistência mecânica do ligamento (tração)
A cartilagem é o fator irrecuperável da articulação.

Instabilidade X Osteoartrose

“Instabilidade articular aumenta sensivelmente a suscetibilidade às lesões de cartilagem articular” (Buckwalther, 1997).

Antes achava-se que o músculo supria a deficiência ligamentar
Instabilidade articular: torce o joelho toda hora; Bambeia. É mecânica.

Há uma carga ótima para o ligamento dependendo do exercício. A calcificação ligamentar ocorre por overtraining.

CARTILAGEM ARTICULARAspectos gerais:

- Cartilagem do tipo hialina
- 1 a 5 mm de espessura (diminui com a idade)
- Deformável
- Avascular e de baixa taxa metabólica (recebe nutrição do líquido sinovial)
- Espessura e composição variam em função do tipo de articulação, da região da articulação, do tempo e da espécie.

Funções mecânicas

- Reduzir o choque mecânico
- Distribuição da pressão através do aumento da área de contato
- Reduzir o atrito ósseo
- Contribuir com a estabilidade articular

A cartilagem suporta cargas de baixa a de alta intensidade e frequência durante toda a vida do sujeito. É de altíssima durabilidade.

*Hunter (1743): “a lesão cartilaginosa torna-se um problema quando se considera a impossibilidade de reparação”.

Há remédios que dizem curar tais lesões, mas sua eficiência não foi provada. Lesões agressivas (osteoartrose) podem ser substituídas por próteses, entretanto elas duram cerca de 10 anos e precisam ser renovadas. A dor é forte, constante e pouco tempo de interrupção.

Há um meio de recuperar a cartilagem por célula tronco.

Composição Histológica

A cartilagem tem em sua matriz colágeno (tipo II). A importância disso é a alta resistência ao esforço de tração, mas para a compressão, a resistência é baixíssima.

É necessário ter outro constituinte, os proteoglicanos, para resistir a essa compressão. A unidade fundamental é a glicosaminoglicana.

As proteoglicanas são portanto, glicoproteínas, formadas de sub-unidades de dissacarídeos unidos (assemelha-se a um tipo de esponja). Sua matriz é altamente carregada negativamente: quando ocorre compressão essas cargas negativas se aproximam, causando repulsão.

A proteoglicana é hidrófila, ou seja, atrai muita água. *In vitro*, pode aumentar em 50x o seu peso, fundamental para a nutrição. A cartilagem não pode inchar e por isso o colágeno comprime o proteoglicano para que esse não exploda.

Características Histológicas:

Matriz

- Colágeno: 10-30%
- Proteoglicanas: 3-10%
- Fluido: 60-87%

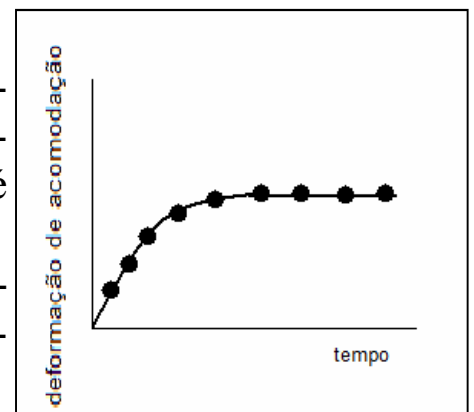
Células 5%

- Condrócitos

Características mecânicas

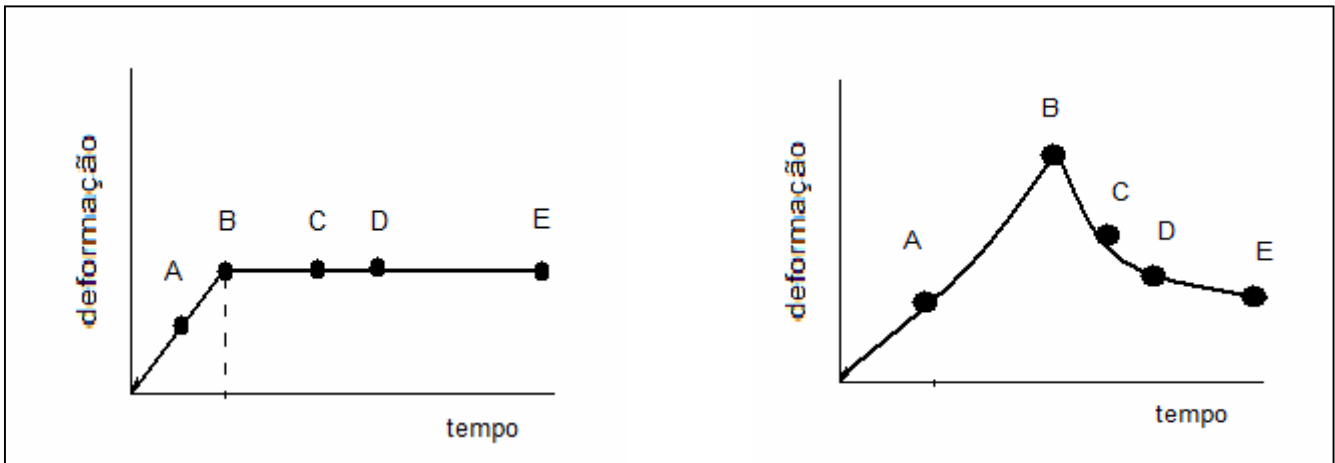
EFEITO CREEP: Material viscoelástico submetido a uma força constante responde com uma rápida deformação seguida de uma fase de deformação lenta até que se atinja o equilíbrio.

A resposta da cartilagem tem um tempo de latência. Usa-se esse efeito na medição de altura nas crianças. A estatura é medida sempre no mesmo horário.



RELAXAMENTO DE ESTRESSE: Material viscoelástico submetido a uma deformação constante responde com um rápido aumento no estresse seguido de uma lenta redução.

A deformação constante é feita por ensaio mecânico.



Ligamento e músculo também apresentam relaxamento e estresse.

****Quanto tempo leva na fase ruim?**

É um tempo de 2 a 5 segundos, com o equilíbrio atingido e uma redução de 63%.

Em uma corrida leva 0,03 segundos para atingir o equilíbrio. A sobrecarga na matriz pode levar o tecido a falência.

Tempo de aplicação de carga > que o equilíbrio.

Aquecendo a cartilagem vence-se essa dificuldade.

Após 20 a 30 repetições começa a se suportar a carga. É o exemplo de acordar 3 horas da manhã e fazer 10 polichinelos; sentirá dor.

Então, para vencer tudo isso, usamos o aquecimento.

****O que é aquecimento?**

Muita gente tem como sinônimo deste o alongamento. Intenso trabalho de alongamento causa diminuição da força. O efeito do alongamento é inútil para a cartilagem.

Muita gente aquece pedalando antes do exercício. O músculo é preparado no próprio exercício. Há indivíduos que pulam corda, fazem polichinelo. Isso aquece (queima) cartilagem dos músculos inferiores. Isso é 3,5 vezes o peso corporal, porque cai com o joelho estendido.

O ideal é acrescentar o aquecimento progressivamente. Ex: Na corrida, dá-se caminhada; No basquete, caminha, corre, saltita, joga; No supino, começa com carga de baixa intensidade. O aquecimento não evita lesão de treinamento. Alongamento não tem relação com estiramento muscular.

Depois de um tempo o líquido sinovial não “entre e sai” da cartilagem, ele já fica dentro, o chamado INCHAÇO FUNCIONAL, que dura horas e gera certo conforto. Para aulas físicas ministradas no período da noite, o aluno de uma forma ou de outra já teve uma preparação durante o dia. Esse inchaço funcional é mais químico que mecânico.

O fluido que sai da cartilagem vai para a cápsula e depois retorna a ela.

O aquecimento é feito mais longo para outras vantagens também, como aumento da frequência cardíaca e da temperatura corporal. O aquecimento tem fator protetor crônico e não agudo.

Na natação as forças internas geram compressão (pequena). O ideal é aquecer nadando, mas em caso de baixas temperaturas um aquecimento Dora d’água é viável.

****A cartilagem articular também se adapta ao exercício?**

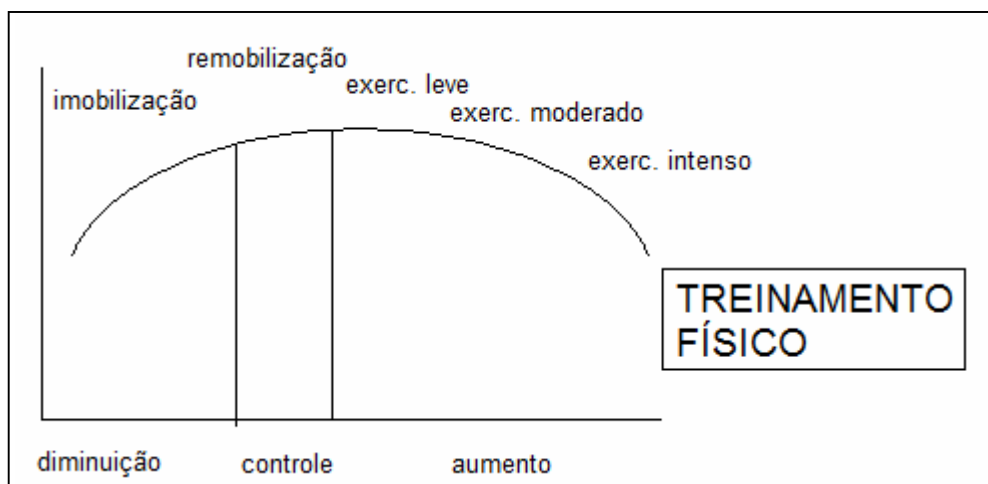
OETTMEIER (1992):12 animais correndo 40 km/h/dia (15 min de esteira) por 15 semanas (8 a 9 km/h). A cartilagem foi analisada e verificou-se que aumentou a espessura da cartilagem articular. O resultado mais expressivo foi na cartilagem fêmoro-patelar.

Outros estudos mostraram aumento da concentração de proteoglicanas e também houve aumento de resistência mecânica (SAAMANEM – 89).

Portanto, o exercício é benéfico para a cartilagem. Para a “morte” da cartilagem é porque falta nutriente, o líquido sinovial; A 2º etapa é a falta de proteoglicanos.

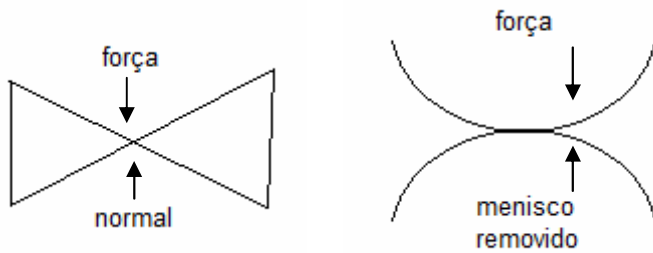
Será que a aplicação da carga causa o mesmo? AROKOSKI (93) : Exercícios intensos realizados por longos períodos provocam degeneração das proteoglicanas da cartilagem articular.

Adaptação Biomecânica da Cartilagem Articular



Discos Fibrocartilagosos

Ex: meniscos e discos intervertebrais



A utilização dos meniscos é para absorção de choque. Dá encaixe às peças ósseas. Sem menisco há degeneração de cartilagem e frouxidão ligamentar. Ele é fundamental para distribuição de pressão e também estabilidade articular.

A rotação junto com compressão é efetiva para lesar o menisco.

Quando se perdia menisco na década de 70, muitas pessoas paravam sua atividade. Hoje se a lesão é pequena fazem-se suturas; se é grande há tecido cicatricial.

É comum médicos recomendarem exercício após cirurgia de menisco.

Estabilização passiva: Melhora no ligamento.

O trabalho de fortalecimento muscular vai ajudar nesse caso a evitar que a cartilagem “morra”. Não há exercícios contra-indicados para quem perdeu meniscos, evitando um pouco exercícios de locomoção.

MÚSCULO ESQUELÉTICO

Sua estrutura é bastante complexa. Há:

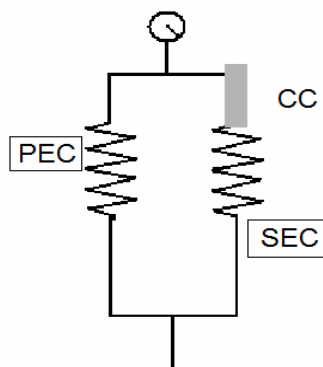
Irritabilidade: Capacidade de gerar tensão quando estimulado (potenciais de ação);

Capacidade de gerar tensão: São proteínas contratei, como actina e miosina;

Extensibilidade: Capacidade de aumentar seu comprimento;

Elasticidade: Capacidade de voltar a seu comprimento normal após deformação.

Quem responde por extensibilidade e elasticidade no músculo é a titina; Ela fica presa no sarcômero e evita que actina e miosina entrem em colapso. A titina, entretanto, não é tão importante quanto a fásia (endomísio, perimísio e epimísio) e junto com o tendão formam o componente elástico do músculo.



(CC) Componente contrátil: Filamentos de actina e miosina;
(PEC) Componente elástico em paralelo (PEC): Endomísio + perimísio + epimísio
(SEC) Componente elástico em série (SEC): Tendões +titina.

Usamos toda hora o componente elástico, com acúmulo de energia. Ex: No salto, o indivíduo abaixa antes de pular e por isso o saltador não salta sem antes acumular energia. Fazemos isso em qualquer movimento cotidiano.

Mecanismos de contração muscular

Olhamos para:

- Relação força interna X força externa;
- Movimento articular.

Quando a força interna = Força externa não há movimento, gerando contração ISOMÉTRICA.

| TIPO DE CONTRAÇÃO | MOV. ARTICULAR | RELAÇÃO F.INT X F.EXT |
|-----------------------|----------------|------------------------|
| Isométrica | Não muda | F.interna = F. externa |
| Isotônica concêntrica | Encurta | F.interna > F. externa |
| Isotônica excêntrica | Alonga | F.interna < F. externa |

Para contração isométrica um exemplo é o músculo para controle postural (multífido), manutenção da posição. No treinamento também, quando o indivíduo faz o movimento e pára a carga por alguns segundos.

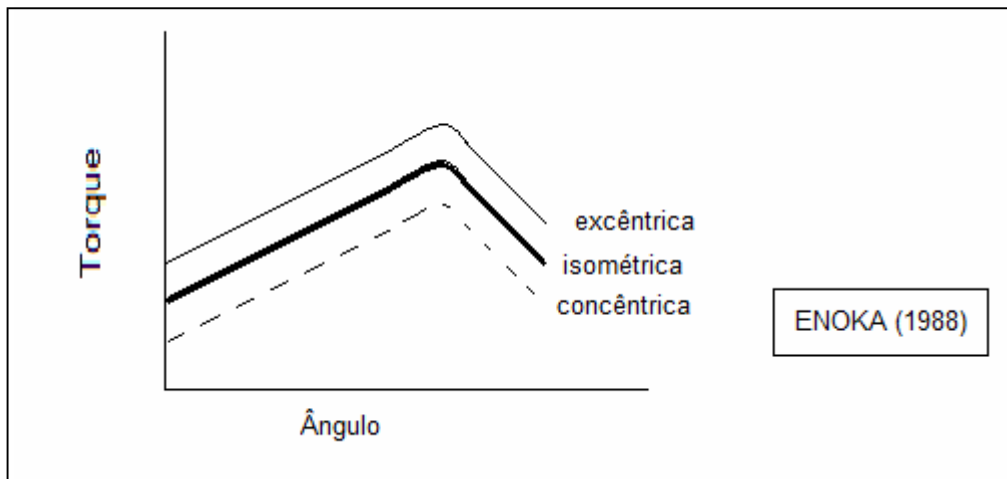
A ISOTÔNICA CONCÊNTRICA e EXCÊNTRICA podem ser observadas no movimento de rosca direta.

No movimento ISOCINÉTICO, a velocidade é a mesma. Nos dinamômetros isocinéticos determina-se velocidade.

ISOCINÉTICO:

- Não é um tipo de contração;
- Trata-se de um movimento;
- Movimento realizado em velocidade angular constante.

Capacidade de gerar torque em função do tipo de contração



A falha excêntrica ocorre muito depois da concêntrica. O componente elástico favorece no movimento excêntrico.

Em descidas, usa-se contração excêntrica, com grande “estrago” muscular.

A isometria gera mais tensão que a concêntrica. Se maior a velocidade, menor a força. Ela tem vantagem sobre a concêntrica porque sua velocidade é zero.

Funções musculares

Contração: Como o músculo trabalha;

Função: Porque o músculo trabalha.

Analisa se o músculo faz o movimento ou se impede sua execução.

AGONISTA

É o músculo principal, responsável pela realização do movimento.

Em movimento de extensão do joelho, o agonista é o quadríceps. No movimento de flexão do ombro há 2 músculos agonistas: o deltóide e a porção clavicular do peitoral. Nesse caso há, portanto, 2 grupamentos agonistas com diferentes níveis de importância. O que mais “trabalha” é o agonista primário (deltóide) e na seqüência o agonista secundário (peitoral-clavicular).

Para o caso do próprio quadríceps. Há agonistas primários, secundários e terciários.

Para flexão de cotovelo na rosca direta em supinação, há 3 candidatos para ser agonista: Bíceps braquial, braquial e braquiorradial. Quem de fato mais trabalha é o braquial, sendo, portanto o agonista primário. O secundário é o bíceps braquial seguido pelo terciário braquiorradial. É possível saber isso unicamente pela eletromiografia.

No movimento de rosca inversa, ocorre também flexão de cotovelo, mas agora em pronação. O bíceps, inserido no rádio se alonga e perde capacidade de gerar tensão; tem dificuldade de trabalho nessa posição e por isso é secundário, quase terciário. O braquial, estando no rádio, é o principal flexor de cotovelo.

Para movimento de barra, há maior repetição em supinação do que em pronação.

Em outro movimento de flexão do cotovelo, em martelo, é um meio termo entre os 2: pegada neutra. O primário continua o braquial, seguido pelo secundário braquiorradial e por último o bíceps terciário.

| QUADRO RESUMO | | | |
|---------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| FLEXÃO DO COTOVELO | AGONISTAS | | |
| | PRIMÁRIO | SECUNDÁRIO | TERCIÁRIO |
| Rosca direta (supinação) | Braquial | Bíceps braquial | Braquirradial |
| Rosca inversa (pronação) | Braquial | Bíceps braquial | Braquirradial |
| Martelo (neutra) | Braquial | Braquirradial | Bíceps braquial |

No futebol: A representação é por eletromiografia. O quadríceps é agonista primário (com maior representação do reto femural). Os isquiotibiais têm papel de “atrapalhar” o movimento e por isso sua função é de antagonista, de brechar/controlar o movimento.

ANTAGONISTA

Músculo que resiste à realização do movimento. A mesa extensora é o exercício mais usado para treinar o quadríceps. Se não prepara igualmente os isquiotibiais pode causar rompimento, pois contrai como contrairia o quadríceps. É um acionamento reflexo e involuntário. As pessoas acham que isquiotibiais não são importantes para o movimento.

Em um arremesso, o músculo agonista faz a extensão de cotovelo: O tríceps. Precisa treinar o antogônico também (excêntrica), no caso o bíceps para não lesionar. O problema pode ser agudo ou crônico.

Ajustes na atividade antagonista em resposta ao treinamento

Há diferença na função antagônica dos isquiotibiais em corredores de velocidade e de longa distância. A ação antagônica é regulável: O fundista pode baixar o antagonista, porque ele atrapalha e gasta energia. Já o velocista “solta” menos, para economizar sem perder a proteção.

Exercícios para iniciantes causam “tremedeira” com contração de bíceps e tríceps. A função antagônica vai apagando com o tempo. Ela é muito importante em exercícios rápidos e explosivos (força rápida). Se o movimento é lento há pouco antagonista (exercício de resistência ou força). Portanto, o antagonismo não vale para tudo.

****Quais músculos estão ativos?**

- Flexo-extensão do quadril (“abdominal”):

O agonista do movimento é o iliopsoas segundo a crença popular. O reto-abdominal faz flexão da coluna e não de quadril, será ele o agonista?

Quem tem maior atividade é o reto abdominal, seguido pelo reto femural. Portanto, o abdominal é estabilizador do movimento e não agonista. Ele trava o tronco para que o íliopsoas (agonista primário) e o reto femural (secundário) cumpram sua função de agonista.

Nem sempre o músculo que trabalha mais é o agonista.

O músculo estabilizados faz contração isométrica. O movimento do exemplo trabalha abdominal sim e é específico (pode ser usado para isso).

Em 45° continua sendo flexão de quadril com ação isométrica do reto abdominal inativo e não impede lesões para sujeitos com lombalgia (L4 e L5).

- Flexão da coluna:

O reto-abdominal é o agonista, sendo o reto-femural inativo, porque não há flexão do quadril. O reto-abdominal, nesse caso, trabalha menos do que quando estabilizador.

ESTABILIZADOR

Mobiliza uma articulação criando condições ótimas para a realização do movimento desejado. O tipo de contração é isométrica.

TENSÃO NO MÚSCULO ESQUELÉTICO

Análises práticas

SUPINO: (fase excêntrica)

Recrutamento do peitoral external em 76,67%. Para o deltóide, de 72,29% e do tríceps 59,49%. No movimento da supinação o peitoral é o músculo agonista, faz adução horizontal. O deltóide faz abdução e também adução horizontal. Para saber quem é o agonista primário e secundário vê quem:

- A) Gera maior tensão;
- B) Fica trabalhando por mais tempo.

Por isso, o peitoral é o agonista primário e o deltóide secundário. Já o tríceps é o agonista primário da extensão de cotovelo; Não há secundário para esse movimento (BRENNECKE, 2007)

CADEIA CINÉTICA FECHADA: extensão de quadril

Há 3 músculos que se destacam na eletromiografia: Ereter da espinha, glúteo máximo e bíceps femoral. O primeiro deles, eretor da espinha (paravertebral), tem função agonista, pois participa da extensão da coluna. No movimento em questão não há movimento da coluna e sim do quadril e por isso o segundo músculo é o glúteo máximo, com função de agonista primário e o bíceps femoral, como faz também extensão do quadril, tem a função de agonista secundário.

ISQUIOTIBIAIS: Agachamento, leg press e mesa extensora. Esse primeiro movimento de agachamento é agonista secundário(bíceps femoral). Na subida. Na descida, a contração é excêntrica com a mesma função. O bíceps femoral trabalha melhor no quadril do que no joelho.

O quadríceps é agonista primário do joelho, no agachamento, enquanto o primário no quadril é o glúteo e o agonista primário é o bíceps. Estabilizadores são os eretores da espinha.

No movimento do leg-press, o músculo responsável faz extensão e flexão de quadril. Os ísquio tibiais continuam com função de agonista secundário. A mesma função não é observada na mesa extensora: Sua função é antagonista.

ABDUÇÃO DA GLENOUMERAL: Deltóide e trapézio.

Há indicação de 3 porções de deltóide: porção média, anterior e posterior e também indicação do trapézio. Quem se destaca como agonista primário é o deltóide acromial, o secundário é o deltóide anterior, e o terciário é o deltóide posterior. O trapézio tem função estabilizadora no início do movimento (entre 60 e 90°) com a manutenção da escápula fixa. O trapézio, ao elevar a escápula, é o agonista primário desse movimento de elevação da escápula. Um possível antagonista seria o dorsal, mas sem demanda, (o peitoral poderia ser também).

Há músculo que ficam abaixo do deltóide, são o “manguito rotador”. São estabilizadores da glenoumeral.

Tensão no músculo

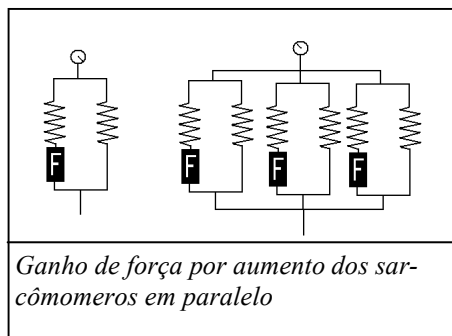
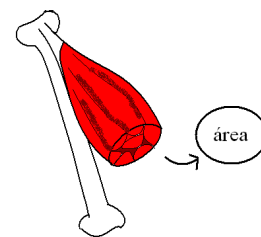
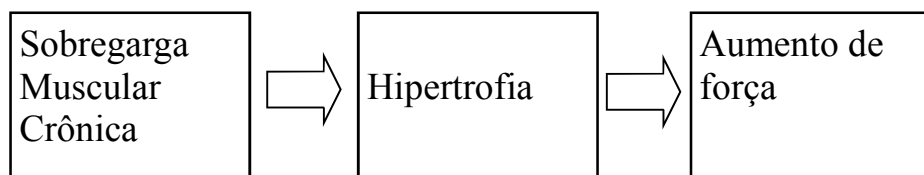
***A relação “tamanho” X força é verdadeira?*

- A capacidade do músculo de produzir força é proporcional à sua área de secção transversa. Quanto maior a área da secção, maior a força gerada.
- Norman (1977): $90\text{N}/\text{cm}^2$

Cada sarcômero gera um pouco de força. Quanto + deles em paralelo maior a capacidade de gerar tensão.

$F = n \times f$, onde $n = \text{n}^\circ$ de sarcômeros e $f = \text{força do sarcômero}$

Adaptação do músculo



**** É possível ganhar força sem sofrer hipertrofia?**

Nas primeiras 20 semanas de exercício o sujeito ganha força muito rápido. Até a oitava semana, o componente hipertrófico é quase inexistente, porém ocorre ajuste neural. Após o período, o componente neural estabiliza e o componente hipertrófico é notado. Chega um momento

que este é travado também pela genética e assim o indivíduo não aumenta a força.

A criança não ganha força, mas coordenação neural.

Na adaptação neural, há redução da função antagônica nas primeiras semanas de treinamento. Assim o agonista é manifestado com mais eficiência.

Em segundo lugar, o recrutamento muscular é otimizado.

Fibra lenta: oxidativa: tensão muito baixa;

Fibra rápida: tensão alta e por pouco tempo.

Para aumentar a força, recruta-se fibra rápida. O sedentário tem dificuldade para ajustar sua frequência de disparo para ativar suas fibras rápidas. O treinamento aumenta essa frequência de disparos e há maior eficiência.

****Por que a manutenção da postura é tão difícil nos movimentos de flexão de cotovelo?**

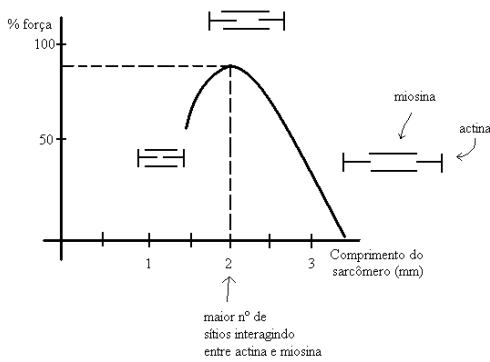
Há fases no movimento de rosca direta que geram maior dificuldade no início e no fim do movimento. A questão é o comprimento do músculo, associado à capacidade de gerar tensão. Em alongamento extremo e encurtamento extremo o músculo perde sua capacidade de gerar tensão.

Trabalha-se com encurtamento intermediário para gerar maior tensão. Corresponde ao ponto de melhor alavanca. (vantagem mecânica)

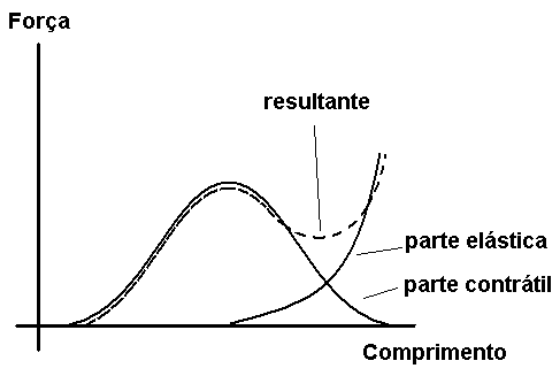
Há também desvantagem mecânica. O psoas aumenta a curvatura da coluna com as pernas estendidas. Encurtando esse músculo, a curvatura da coluna diminui e flete-se o quadril com conforto; Para isso flexiona os joelhos.

Deitando de lado diminui a atividade do psoas para fletir o quadril.

Relação tensão e comprimento muscular



Contração concêntrica

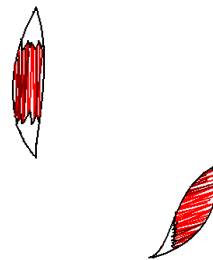


Contração excêntrica

Componente elástica entra como uma componente na contração excêntrica principalmente quando o músculo se estende de tal forma que não consegue produzir força.

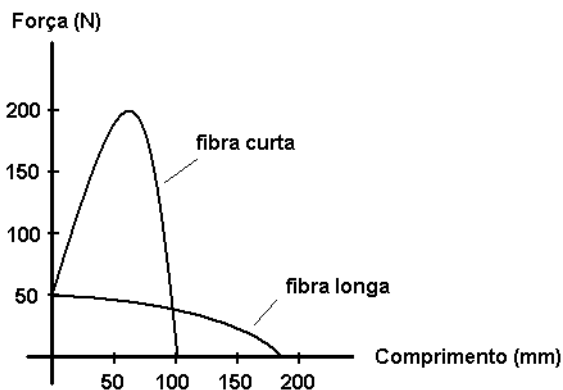
• Arquitetura do músculo

- Fusiformes: longitudinais (ex: bíceps)
- Oblíquos: penados (ex: vasto lateral)



Quem tem maior capacidade de gerar tensão é o oblíquo (maior área de seção transversa). O longitudinal gera maior velocidade; quanto mais sarcômeros em série, maior a amplitude.

Sarcômeros em série



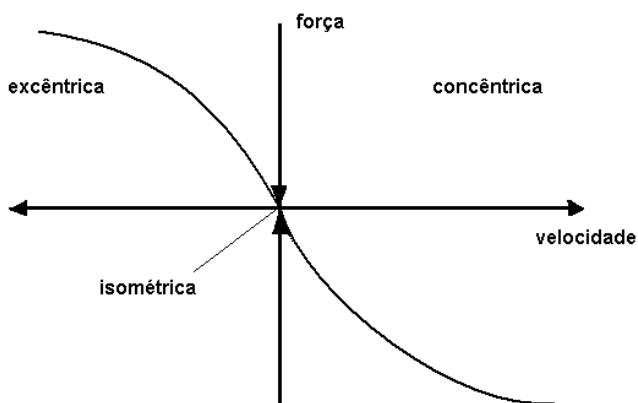
Os músculos, por saírem juntos, têm sua velocidade alterada. Muda a intensidade da força.

O comprimento da fibra pode ser mudado para obter vantagem, porém a arquitetura não pode ser mudada.

RELEMBRANDO OS COMPONENTES IMPORTANTES:

ÁREA
 COMPRIMENTO
 ARQUITETURA
 VELOCIDADE
 ALAVANCA

***Qual a velocidade ideal de execução do movimento?*



Quanto maior velocidade de contração, menor a capacidade de gerar tensão.

Treino visando velocidade
 Fixar velocidade e atrelar a carga à Velocidade.

Treino de força
 Carga determina treino e velocidade baixa.

Na contração concêntrica são inversamente proporcionais força e velocidade. Como a excêntrica é guiada por componente elástico, há diferente comportamento. Não há dependência de velocidade (com aumento de força a velocidade continua aumentando), são aspectos diretamente proporcionais. Ocorre isso para saltar, como o preparo na fase excêntrica. No movimento de supino, na subida não há como realizar rapidamente, mas na descida isso é possível (gera tensão) aumenta a demanda de controle.

Voltando à pergunta inicial, a velocidade é referente a especificidade do exercício. Depende do objetivo. Por exemplo, com trabalho de força realiza-se com baixa velocidade (não dá para ter o dois componentes). Com carga submáxima é possível trabalhar conjuntamente força e velocidade.

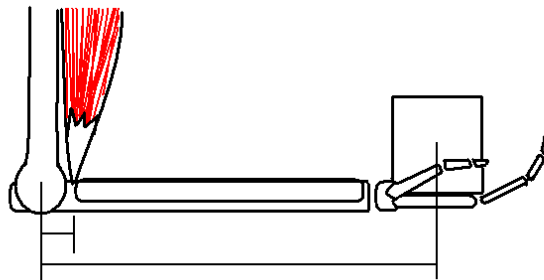
No excêntrico poderia fazer rápido, mas cai a velocidade. Em treinamento de potência, trabalha-se força explosiva, com participação em atividade rápida. No passado, trabalhava-se potência com muito peso rápido (é um equívoco). Quanto ao treinamento usado usa-se carga dependendo da velocidade. Abaixando a velocidade, a carga aumentaria cerca de 50%.

Em programas de exercício usa-se velocidade lenta para “melhora da qualidade de vida”.

No trabalho de pliometria, gera-se máxima tensão no músculo para aumentar potência de salto. É usado, por exemplo, para jogadores de vôlei.

Idosos precisariam de potência em casos extremos. O trabalho de força dá conta das atividades diárias e manutenção de equilíbrio.

ALAVANCAS DO CORPO HUMANO



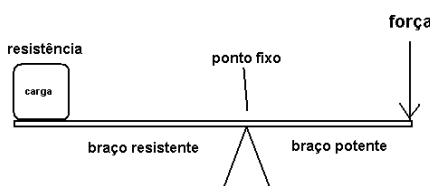
ALAVANCA: Sistema que gira a partir de um eixo. É válida para movimentos de rotação. A alavanca roda através de um ponto fixo e uma barra rígida, assim, se possibilita potencializar a força muscular.

A distância “ponto de rotação” – “ponto de força” é fundamental. Há dois braços de alavanca:

-Potência: Do ponto fixo à força;

-Resistência: Da carga ao ponto fixo.

Usa-se a perpendicular.

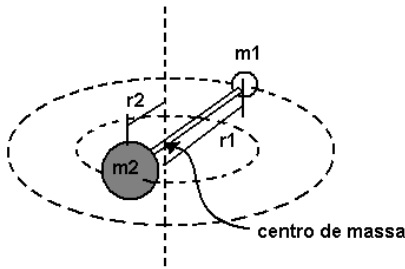


$T = F \cdot D$ (Torque = força X braço de alavanca)

Torque é a capacidade de um força executar o movimento de rotação em relação a um ponto fixo.

Momento de inércia

Inércia rotacional depende da massa do corpo e da distância perpendicular ao quadrado do eixo de rotação.



$$I_1 = m_1 \cdot r_1^2$$

$$I_2 = m_2 \cdot r_2^2$$

$$I_3 = m_3 \cdot r_3^2$$

$$\dots$$

$$I_n = m_n \cdot r_n^2$$

$$I = \sum_i m_i \cdot r_i^2 = m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2 + \dots + m_n \cdot r_n^2$$

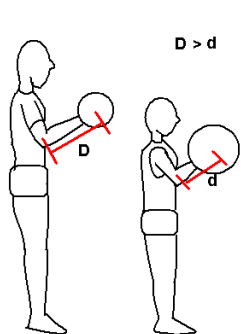
Tipos de alavancas e características mecânicas

| | | |
|---|---|--|
| <p>Primeira classe INTERFIXA</p> <p>O ponto fixo está no meio da alavanca. Sua característica mecânica não muda, a não ser que se desloque seu ponto fixo.</p> | <p>Segunda classe INTERPOTENTE</p> <p>Gera pouca força (espaço pequeno entre força e ponto fixo). Nessa alavanca, a velocidade tangencial é maior. A maioria das articulações de nosso corpo são de 3º classe.</p> | <p>Terceira classe INER-RESISTENTE</p> <p>É uma alavanca que potencializa força. É usada, por exemplo, nas trocas de pneu, em carrinhos de mão, quebrador de nozes.</p> |
|---|---|--|

A resistência sempre leva vantagem. A velocidade predomina sobre a força. Os macacos têm maior braço de potência, com 5 x mais força. O treinamento não têm efeito nesse sentido.

Alavanca interpotente é típica do ser humano.

- Permite entender as diferenças individuais de gerar força.
- Indivíduos envolvidos em provas de força têm vantagens se forem pequenos porque têm menor MOMENTO DE INÉRCIA por causa de um menor braço de resistência.
- Indivíduos mais altos tendem a carregar menos peso, mas o ESFORÇO RELATIVO pode ser o mesmo para ambos indivíduos em termos de geração de tensão muscular.

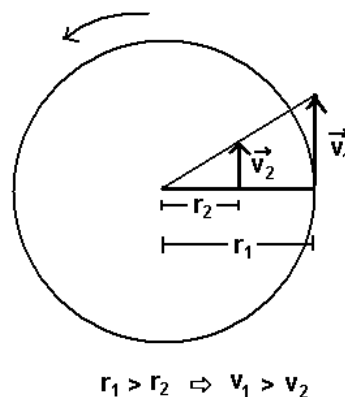


*** Característica física pode afetar a capacidade de geração de torque?*

O braço de potência é relativamente igual para sujeitos com tamanhos diferentes. O sujeito mais baixo leva maior vantagem no braço de resistência para levantamento de peso (ex: “the pocket Hercules” – 1,47m). O peso fica mais próximo do eixo.

Não é verdade que indivíduos mais altos tem menor capacidade de hipertrofiar.

Indivíduos mais altos tendem a gerar grande velocidade tangencial (U).



Vantagem mecânica

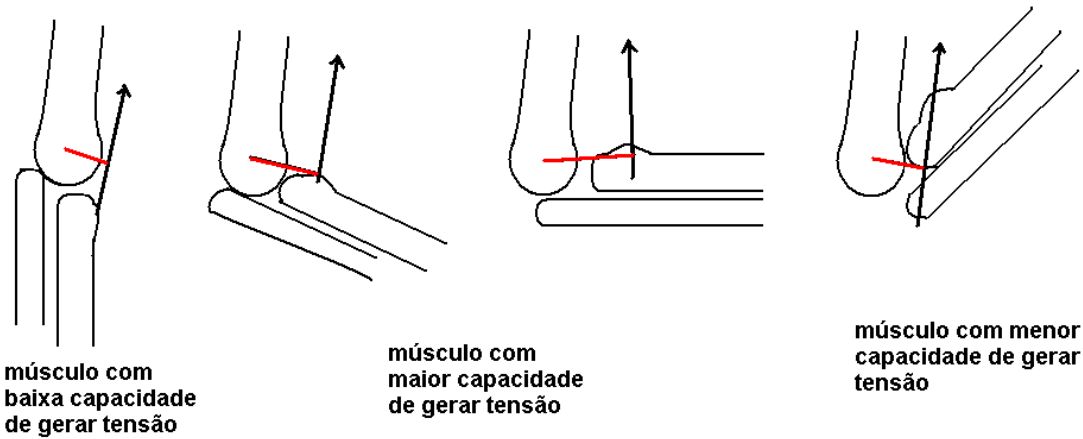
Modalidades de velocidade dão vantagem para sujeito com segmento maior (futebol, vôlei, atletismo). Usa-se extensões para aumentar a velocidade tangencial; Taco de beisebol, raquete.

A agilidade não têm relação com constituição física e sim com treinamento.

Comparando 2 nadadores: A, baixo e forte e B, alto e magro. O sujeito B terá ainda sim maior vantagem, até pela questão da fadiga.

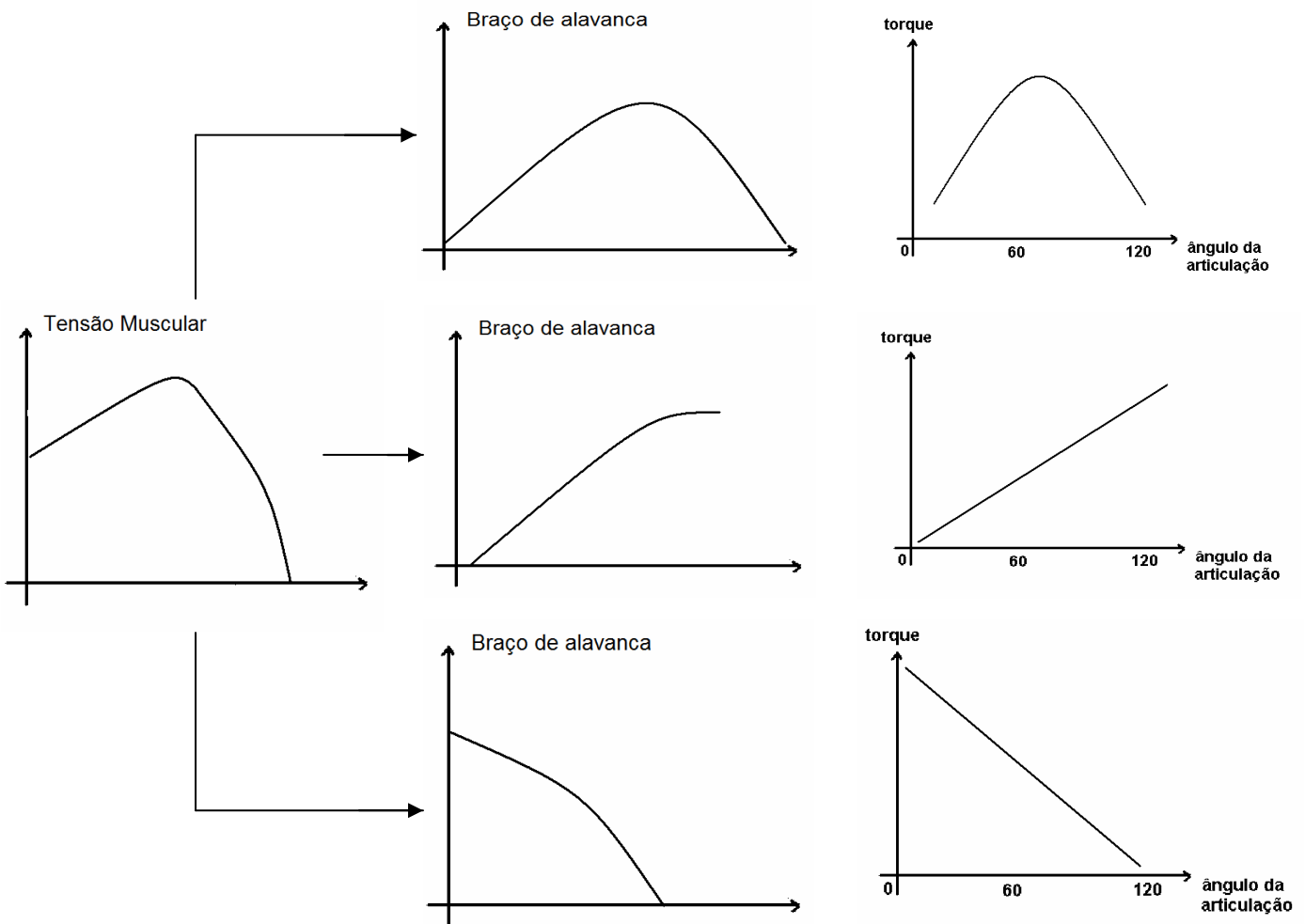
Nem todas alavancas de nosso corpo são interpotentes.

Geração de torque em função da variação angular



No 1º caso, é mínimo o braço de alavanca. O 3º é o ponto máximo e no 4º reduz novamente. O músculo está muito alongado em 1 e por isso não consegue produzir muita força para compensar o braço de alavanca.

Em 2 e 3, a capacidade de gerar tensão é máxima, com grande torque, além da capacidade muscular.



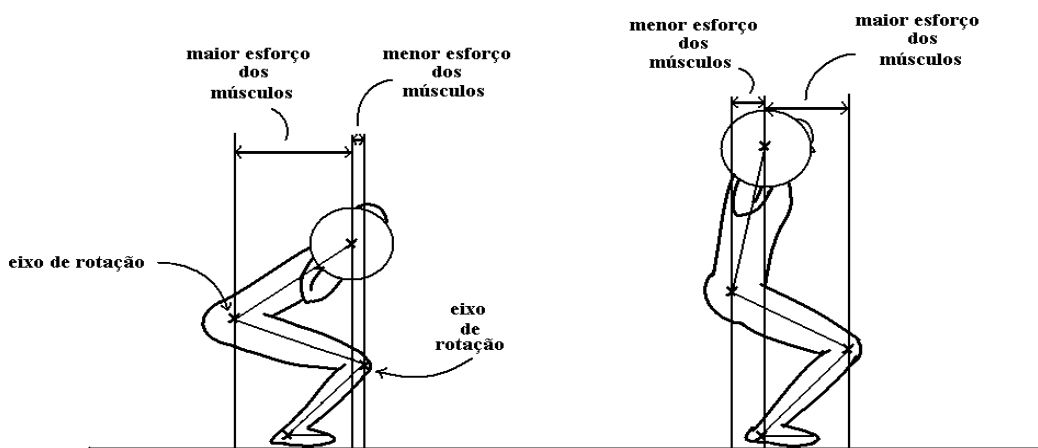
Geração de torque em função da posição articular

| ARTICULAÇÃO | MOVIMENTO | CURVA TORQUE X VARIAÇÃO ANGULAR |
|-------------|-----------|---|
| JOELHO | Flexão | <u>Ascendente</u> ; ascendente-descendente |
| | Extensão | Descendente; <u>ascendente-descendente</u> |
| OMBRO | Flexão | Descendente |
| | Extensão | Ascendente-descendente |
| | Abdução | Descendente |
| | Adução | Ascendente-descendente |
| COTOVELO | Flexão | Ascendente-descendente |
| | Extensão | Ascendente-descendente; descendente |
| QUADRIL | Flexão | Ascendente-descendente; ascendente |
| | Extensão | Ascendente-descendente; descendente |
| | Abdução | <u>Descendente</u> ; ascendente-descendente |
| | Adução | Ascendente |

O torque potente não pode ser mudado, mas o torque resistente sim. (Torque = força X braço de alavanca).

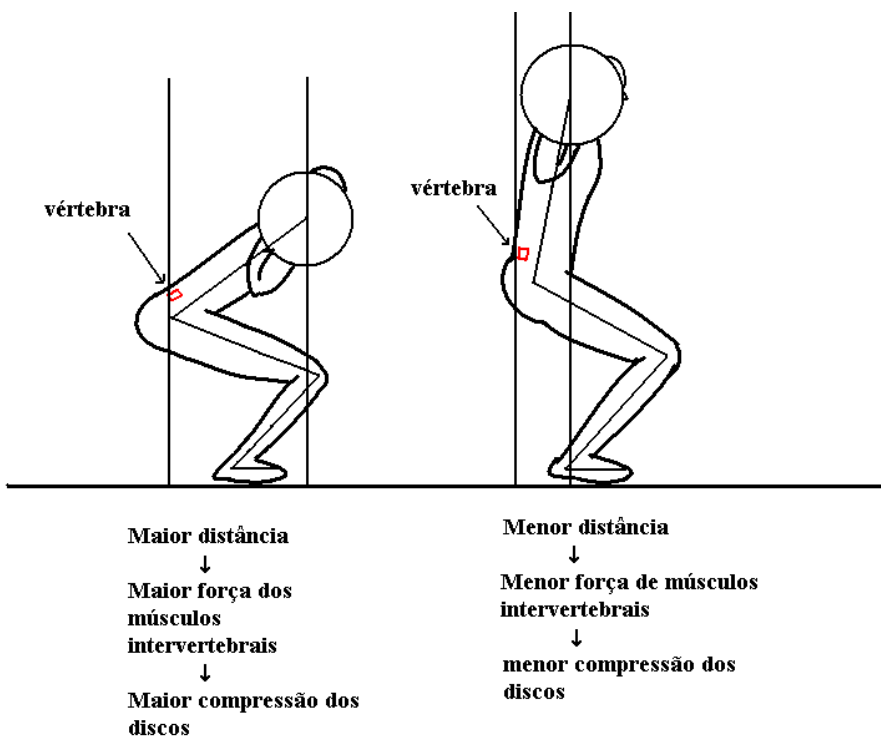
****Amplitude articular afeta o recrutamento muscular?**

No agachamento há 2 formas: meio arco (90°) e completo, onde se abaixa mais. A questão é se há diferença nisso.



Trabalha mais glúteos e ísquio tibiais

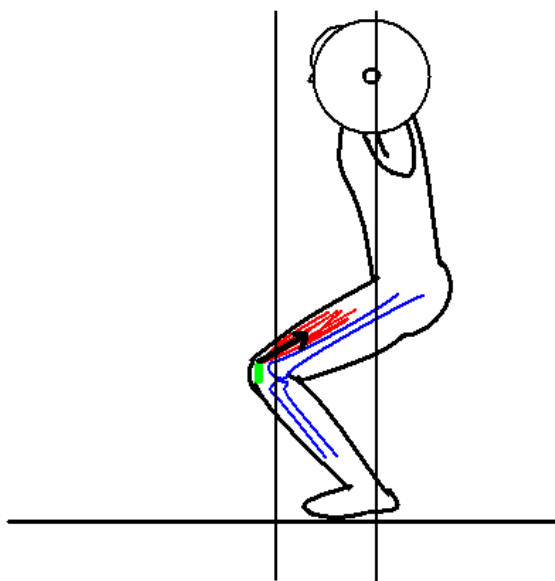
Trabalha mais quadríceps



O glúteo trabalha bastante na primeira situação, com grande braço de resistência, no agachamento completo. Cada indivíduo tem diferente recrutamento muscular.

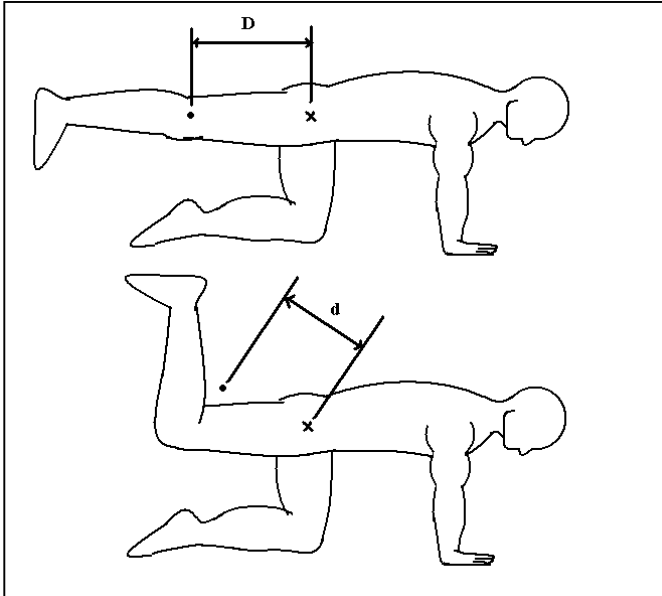
Há grande sobrecarga na coluna quando a carga se afasta do quadril e da coluna lombar (aumenta o torque resistente nessa região). Ocorre compressão discal, uma das maiores do movimento humano.

Com o joelho indo para a frente, o quadríceps trabalha muito, criando grande compressão patelo-femoral.



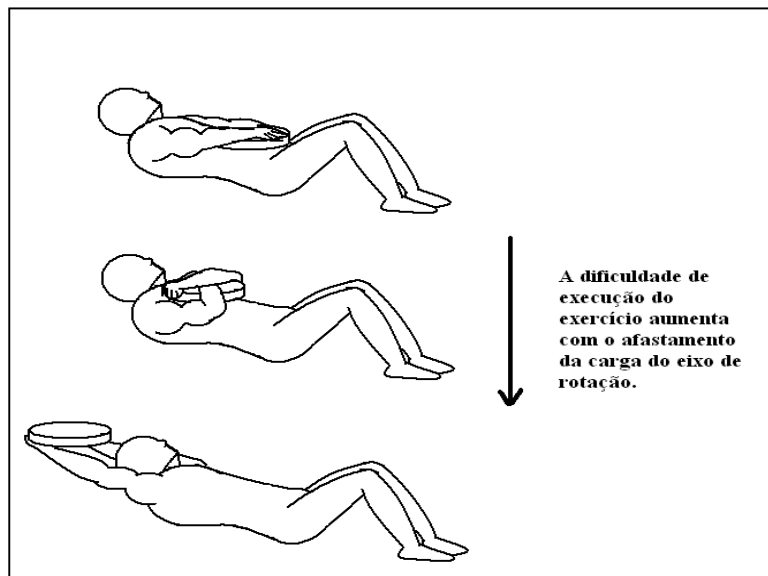
Com a flexão principalmente do joelho, com aumento da distância entre a carga e o eixo do joelho, há o aumento da tensão do músculo do quadríceps. Pela posição da patela em relação ao fêmur esse aumento de tensão resulta numa maior compressão entre eles, que pode causar um desconforto durante a execução do exercício.

EXEMPLOS DE EXERCÍCIOS

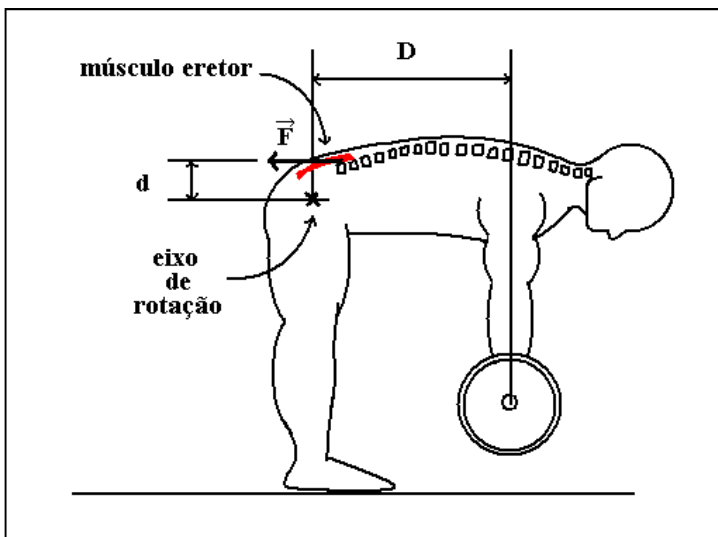


$D > d$

Com a perna estendida, o centro de massa está mais distante do eixo de rotação em relação ao exercício feito com a perna flexionada. Portanto, alterando a distância dos segmentos corporais pode-se alterar a carga do exercício.



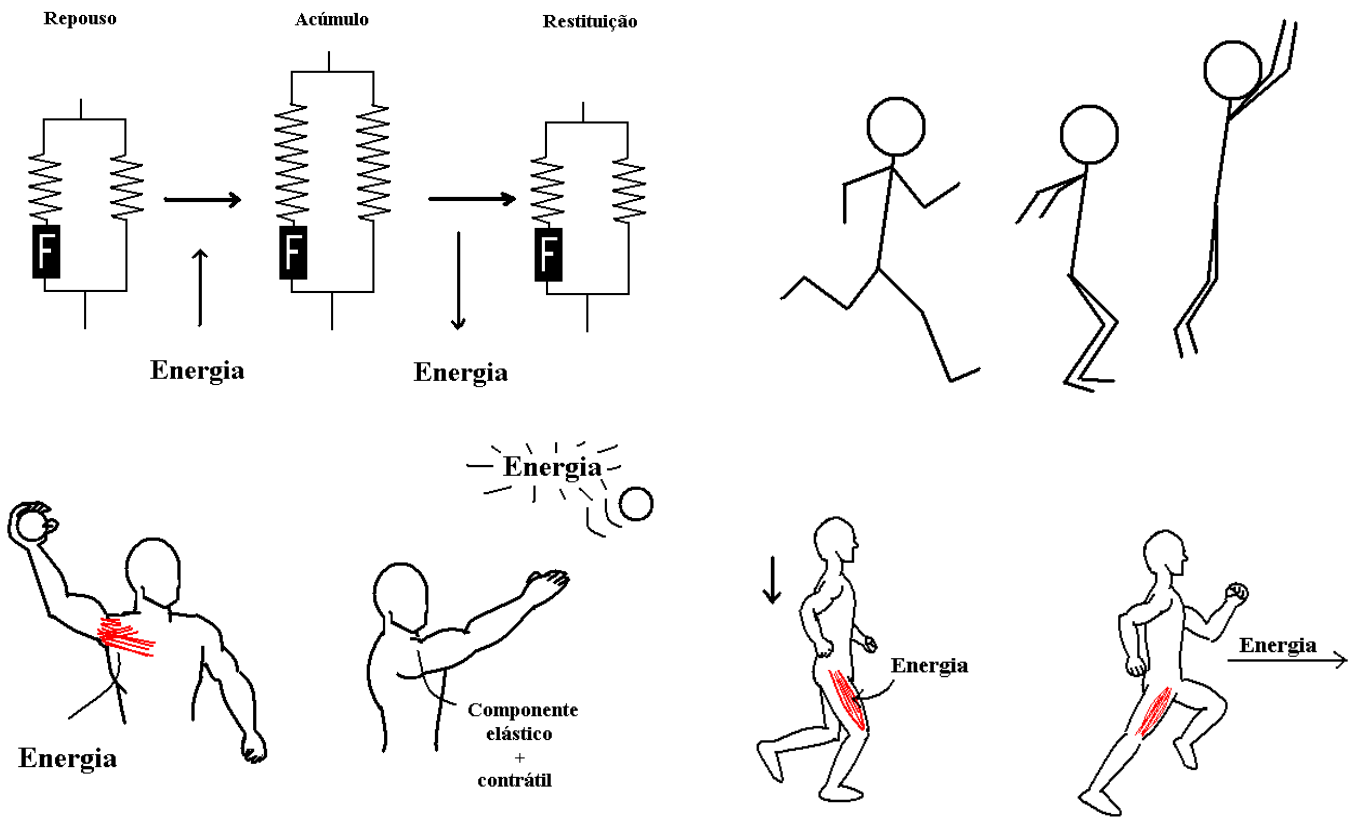
A dificuldade de execução do exercício aumenta com o afastamento da carga do eixo de rotação.



Stiff apresenta maior braço resistente em relação ao braço potente, onde a ação dos músculos eretores das costas é maximizada, elevando a compressão dos discos inter vertebrais.

ANEXOS

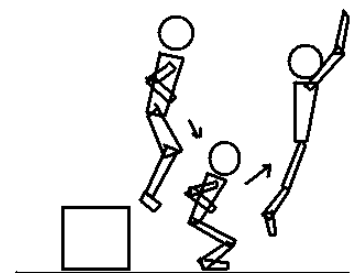
Componente elástico



O acúmulo de energia proporciona o menor gasto energético nos movimentos onde ele está presente, além de proteger o aparelho locomotor evitando que a energia seja aplicada de forma integral.

Treinamento Pliométrico

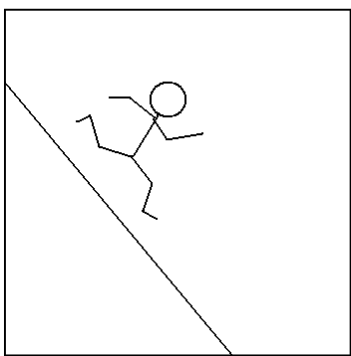
- As evidências experimentais e empíricas apontam para um expressivo aumento da capacidade de gerar **FORÇA EXPLOSIVA**.
- Para treinar o músculo para utilizar mais o componente elástico é fazer o tempo de contato com o solo menor possível.



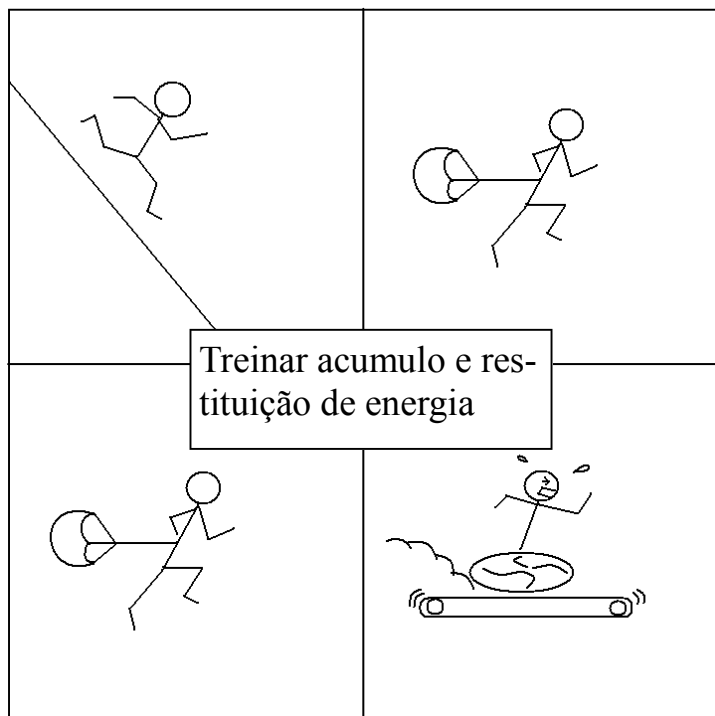
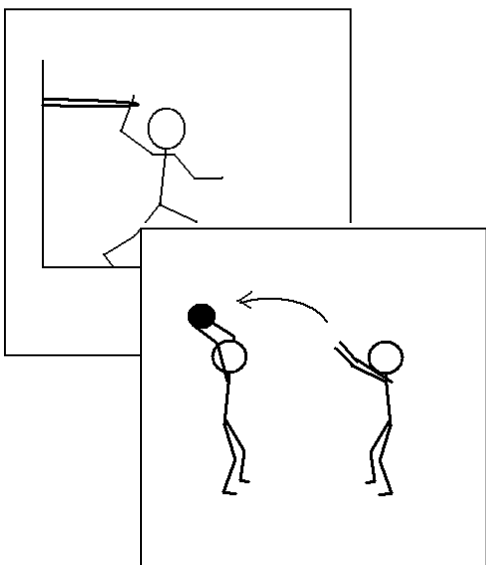
Erros comuns no treinamento pliométrico

- Prolongar o tempo de transição entre as fases excêntrica e concêntrica
Energia acumulada acaba se dissipando na forma de calor.
- Aumentar a carga ao máximo para otimizar a capacidade de acumular energia elástica.
A carga é uma propriedade indivíduo-dependente.

Especificidade de treinamento



Treinar força contrátil



Alongamento

Conceitos básicos:

- alongamento: ato que induz a distensibilidade do tecido biológico.
- flexibilidade: capacidade de quem possui boa amplitude de movimento em determinada articulação.

Análise dos fatores de influência

- Fatores intrínsecos

Miogênicos (características biomecânicas)

Músculos resistem ao alongamento.

Neurogênicos (inibição neuromuscular)

- Fatores extrínsecos

Idade

Flexibilidade diminui com o envelhecimento

Massa muscular

Não há relação entre o aumento da massa muscular e flexibilidade

Tecido adiposo

Não há relação entre o aumento do tecido adiposo e flexibilidade

Temperatura

- manhã

“rigidez” matinal

- tarde/noite

Aumento da mobilidade

Análise crítica dos possíveis benefícios

- Previne as lesões

Resultados

- evidências disponíveis não permitem afirmar que o alongamento antes ou depois do exercício possa prevenir lesões
- maioria dos estudos aborda o alongamento e não a flexibilidade
- relação entre o alongamento-flexibilidade e as lesões deve ser analisada com cautela.

Flexibilidade e as lombalgias

- baixa flexibilidade pode gerar movimentos atípicos, que acabam gerando sobrecarga mecânica nas estruturas da coluna

- Diminui a dor muscular tardia

Situações desencadeadoras

- início de programa de treinamento
- retorno ao programa de exercício
- mudança de treinamento
- exercícios que envolvam ações excêntricas
- exercícios com peso

Causas prováveis

- acúmulo de metabólitos
- espasmos musculares
- micro-trauma no tecido conjuntivo
- micro-trauma muscular
- inflamação

Recuperação da dor tardia

- efeitos intensivos

Anti-inflamatórios

Massagem

- efeitos moderados

Alongamentos (resultados contraditórios)

Crioterapia

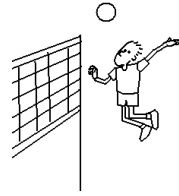
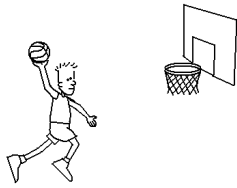
Ultrassom

Eletroestimulação

Não existe consenso acerca das melhores estratégias para combater a dor muscular tardia.

- Otimização do rendimento esportivo

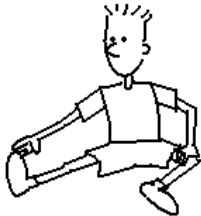
O alongamento pode gerar o aumento da flexibilidade e proporcionar ao atleta uma amplitude articular adequada para as demandas das modalidades.



Métodos para o desenvolvimento da flexibilidade

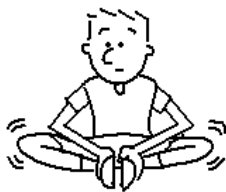
- Alongamento estático ou passivo

Atuação de força interna ou externa de forma contínua



- Alongamento ativo ou dinâmico

Atuação de força interna ou externa de forma com velocidade controlada e repetitiva



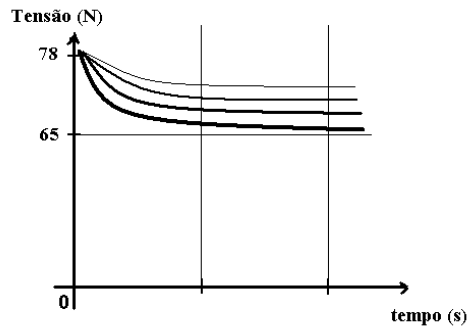
- Alongamento balístico

Repetições realizadas com velocidade

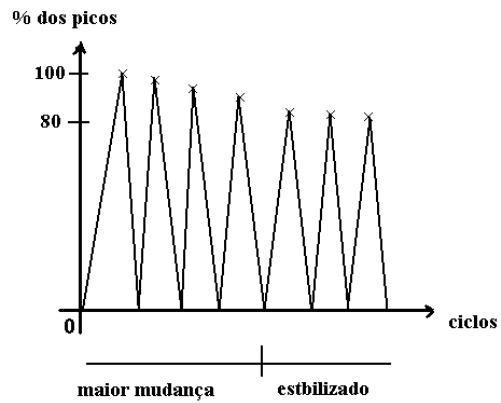


Características biomecânicas do alongamento

Carga estática

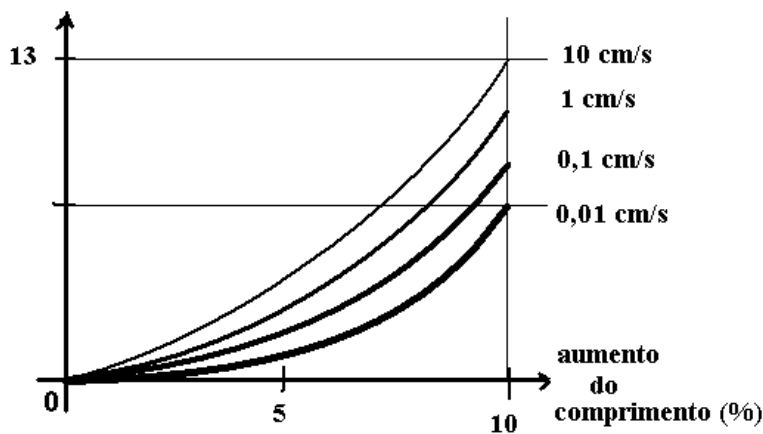


Carga dinâmica



Tanto o alongamento estático e dinâmico possuem o mesmo ganho. O alongamento dinâmico é mais propício ao executante extrapolar os limites da articulação, o estático é mais fácil ao controle pois o tempo é maior.

força de tensão (N)



Alongamento balístico exige maior força para o mesmo ganho no alongamento estático.