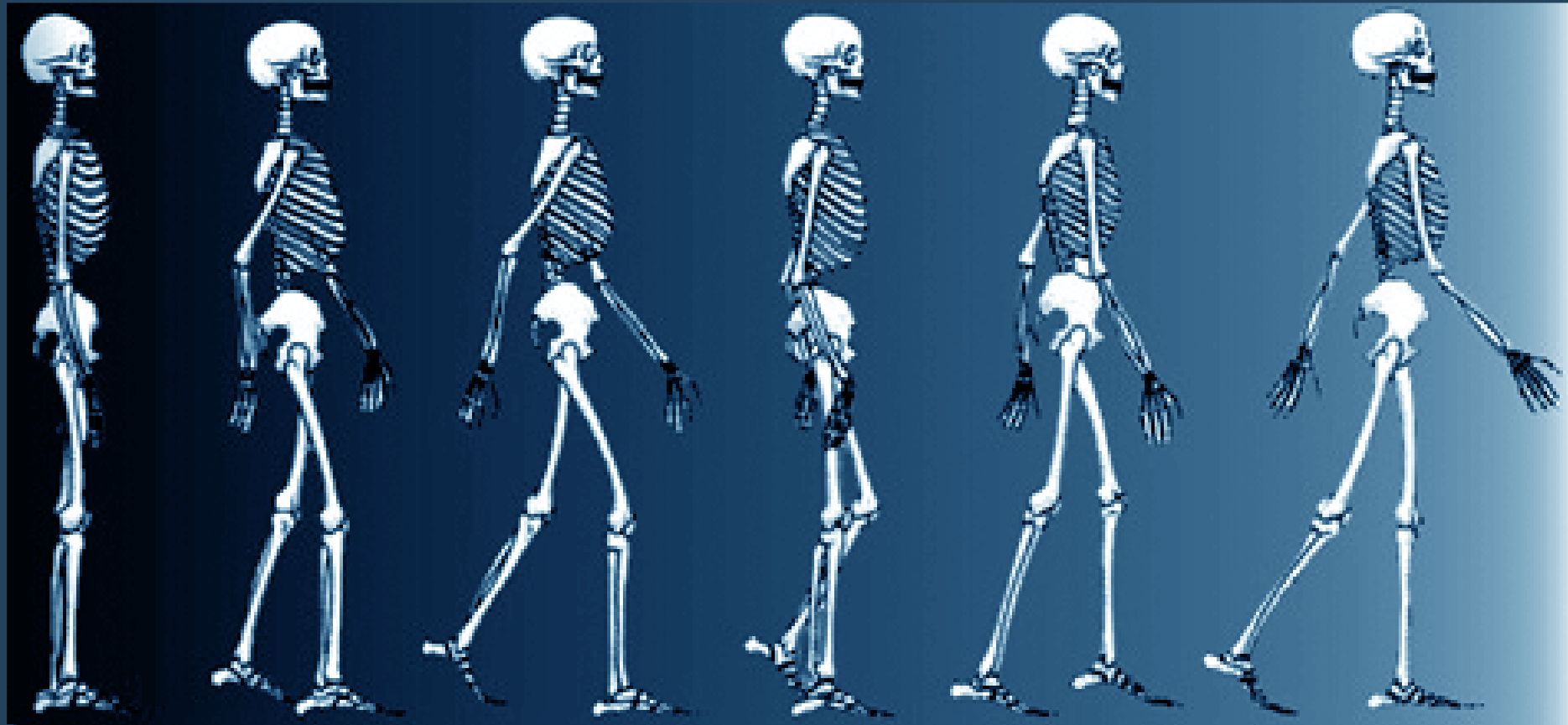


# Análise cinética e cinemática da marcha baseada em correlação multifactorial



# Análise cinética e cinemática da marcha baseada em correlação multifactorial



**Disciplina:** Trabalhos práticos;  
**Curso:** Mestrado em Engenharia Biomédica;  
**Aluna:** Andreia Sofia Pinheiro de Sousa;

**Orientador:**  
João Manuel R.S. Tavares  
Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Co-orientador:**  
Dra. Emília Mendes  
Centro de Reabilitação Profissional da Gaia

# Conteúdos da apresentação

## ■ Marcha:

Controlo multidimensional;

Meios de monitorização;

Caracterização;

Análise biomecânica;

Teorias explicativas;

Actividade muscular;

Forças de reacção ao solo;

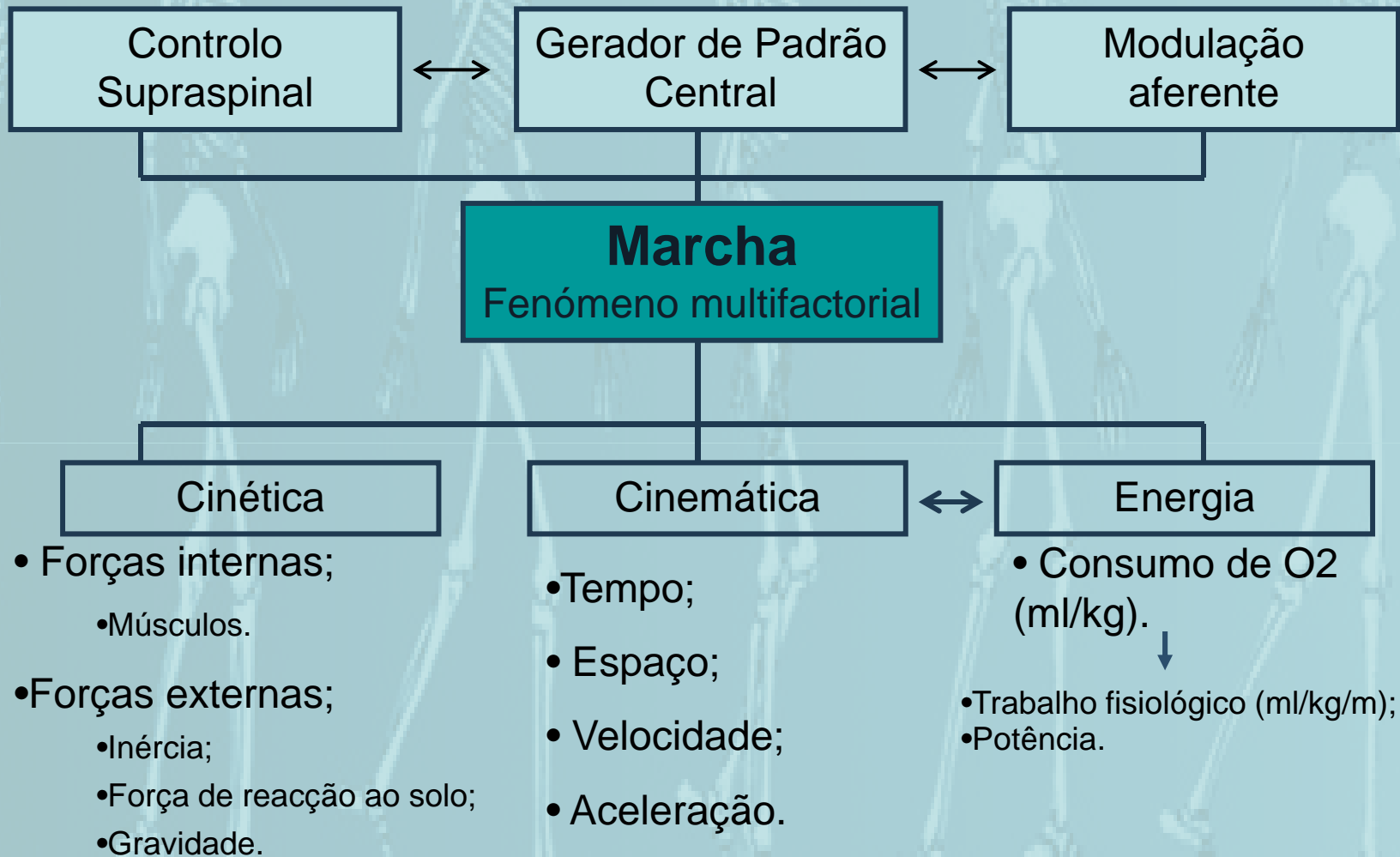
Correlação entre FRS e actividade EMG do membro contra-lateral;

Relação FRS – deslocamento do centro de gravidade em diferentes velocidades;

Considerações finais;

Perpectivas futuras.

# Marcha



# Marcha: Monitorização



## Métodos alternativos:

- Estereorradiografia;
- Pinos ósseos;
- Dispositivos de fixação externos;
- Técnicas de fluoroscopia;
- Ressonância magnética.

## Métodos invasivos

Exposição a radiação

Limitação de padrões naturais de movimento

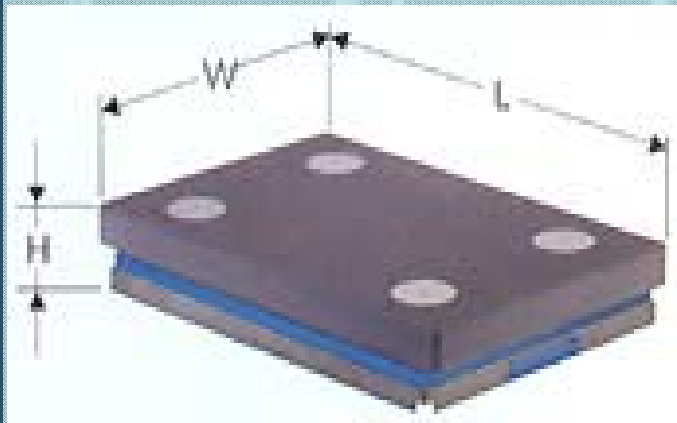
# Marcha: Monitorização

## Cinética

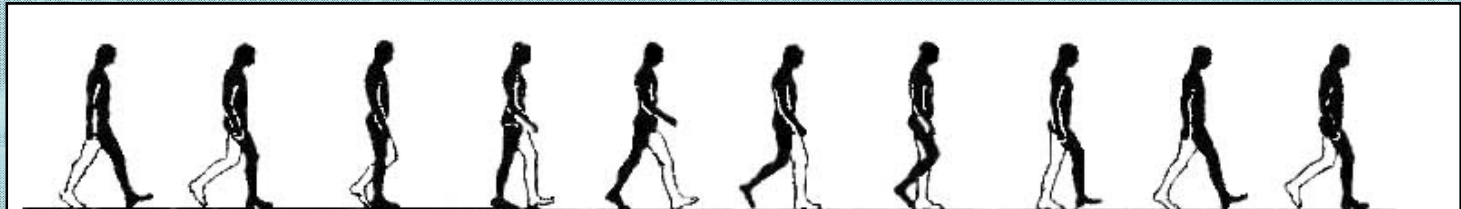
Plataforma de Forças

Palmilhas/ Tapetes de pressão

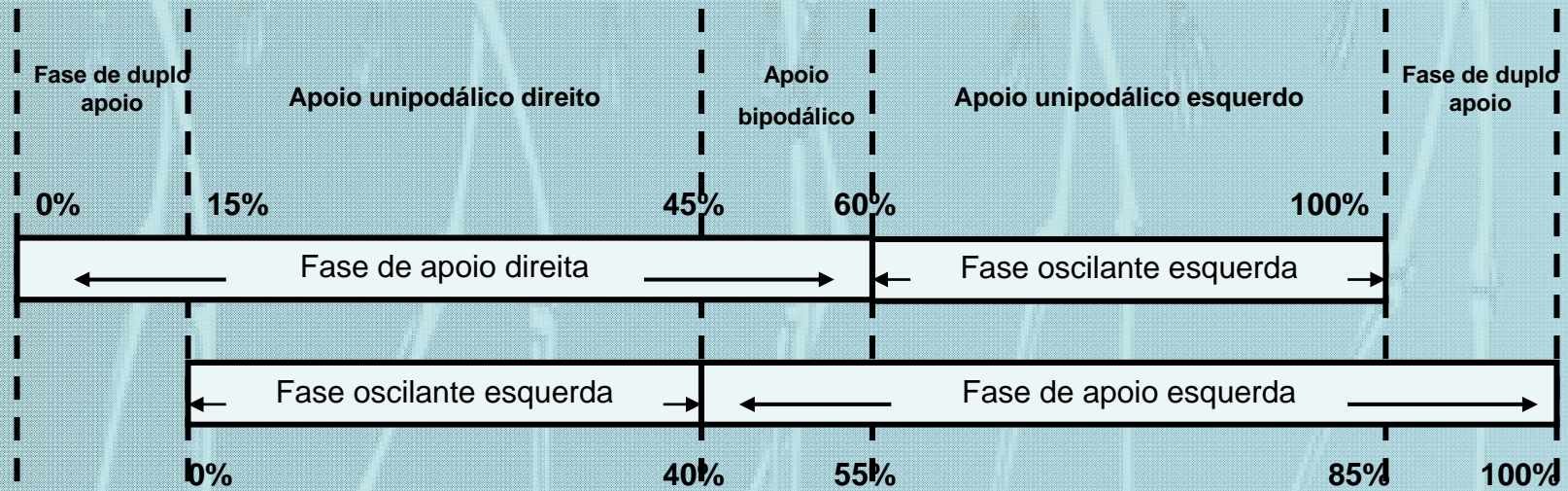
Electromiógrafo



# Marcha: Caracterização



Tempo, Percentagem do ciclo de marcha



# Marcha: Análise biomecânica

## Comportamento do centro de massa

- Estimar as trocas de energia mecânica;
- Eficiência;
- Trabalho.



- Descrever simetria;
- Indicador da qualidade da marcha.

(adaptado de [Saunders, 1953])



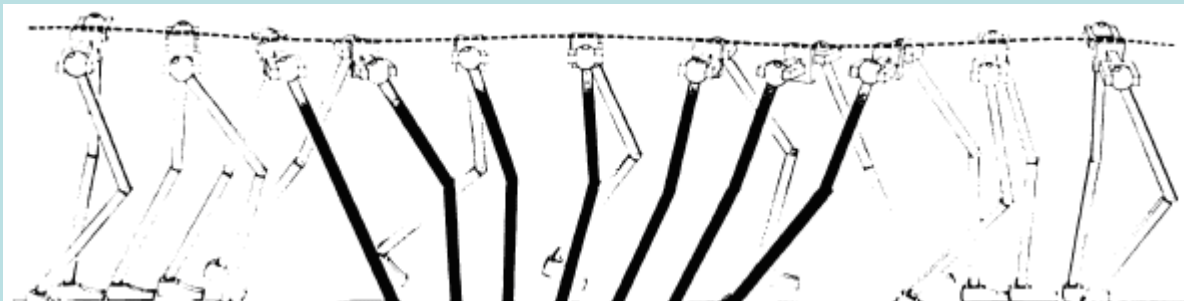
# Marcha: Teorias explicativas

## ▪ Pêndulo Invertido

- Mecanismo passivo de troca de energia cinética e potencial;
- Valor aproximadamente constante de energia cinética e potencial.

## ▪ Seis determinantes da marcha

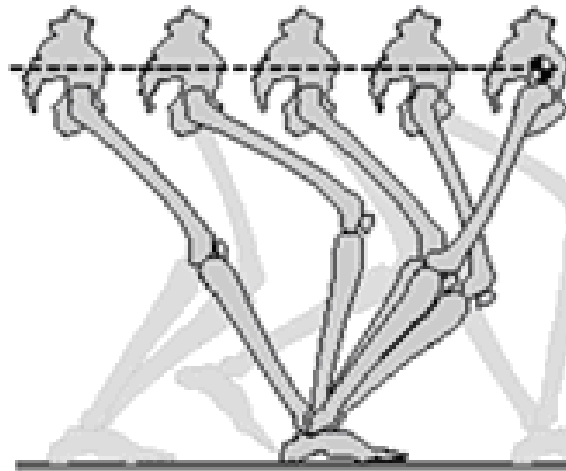
- Rotação pélvica; } Eleva a extremidade do arco
- Deslocamento lateral da pélvis; } Deprime o pico máximo do arco
- Flexão do joelho em apoio unipodálico; } Deprime o pico máximo do arco
- Joelho, pé. } Eleva a extremidade do arco



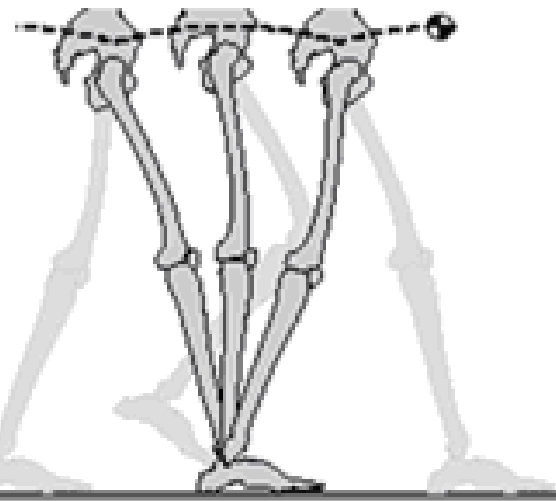
(retirado de [Saunders, 1953])

# Marcha: Teorias explicativas

a) Seis Determinantes da marcha



b) Pêndulo Invertido



(adaptado de [Kuo, 2005])

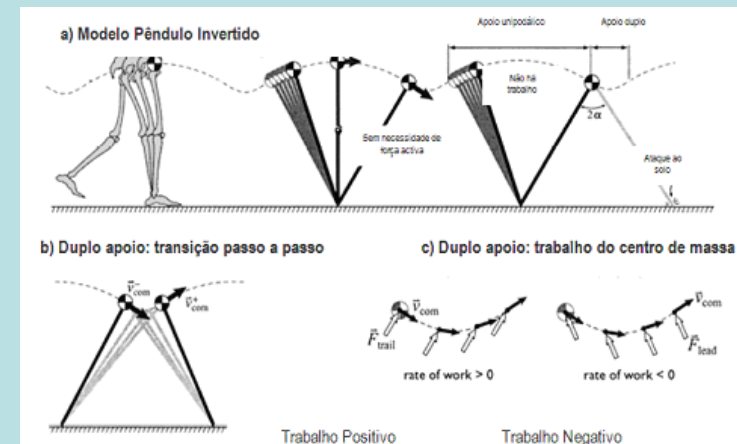
# Marcha: Teorias explicativas

## ■ Marcha dinâmica;

- A marcha é, por si só, auto-resistida;
- Trabalho positivo realizado no sentido de compensar o trabalho negativo efectuado durante o mesmo ciclo;
- Dispêndio energético no suporte de peso corporal;
- A trajectória do centro de massa requer trabalho positivo e negativo substancial;
- Redirecção da velocidade entre passos.

## Modelo de pêndulo entre passos;

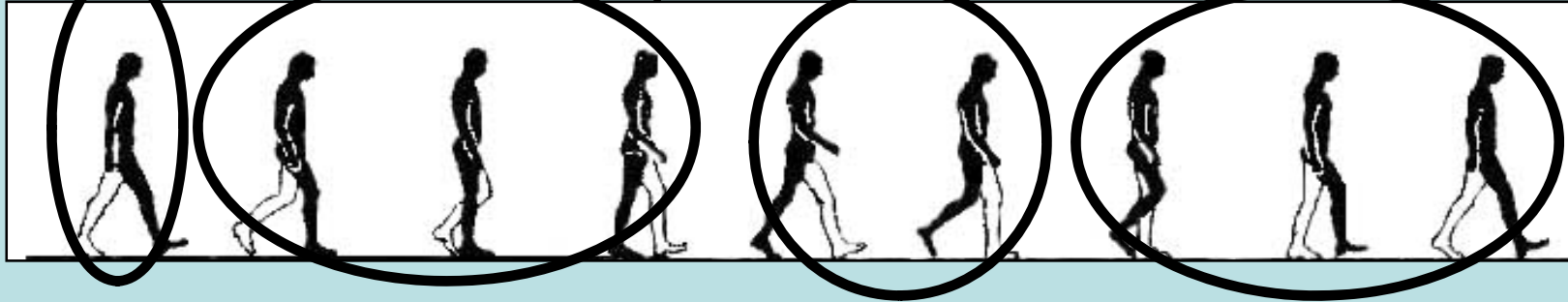
- A alteração da velocidade do centro de massa requer força, produzida separadamente pelo membro mais posterior e anterior e direccionada ao longo de cada membro;
- Conceito de colisão.



(adaptado de IDoKe, 2007)

# Marcha: Actividade muscular

## Fase de apoio *versus* Fase oscilante



### Quadrícepte

Extensores da anca

Glúteo médio e mínimo

Tensor da fascia lata

Vasto medial oblíquo

Semitendinoso, gracilis

Abdutores

Músculo gastrocnémeo

Flexores da anca

Tibial anterior, longo extensor dos dedos e halux;

Flexores da anca

Extensores da anca

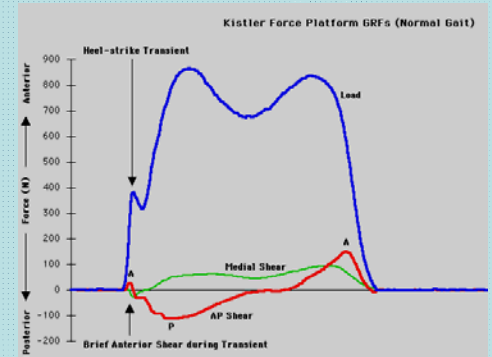
Isquiotibiais

# Marcha: Força de reacção ao solo

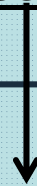
Força de reacção ao solo



Aceleração do centro de massa



Papel preponderante da **actividade muscular** relativamente ao efeito da gravidade



- Músculos glúteo e vastos na desaceleração na primeira fase de apoio;
- Músculos solear e gastrocnémeos produzem a maior aceleração durante a segunda fase de apoio.

# Marcha: Correlação entre FRS e actividade EMG contralateral

De acordo com o modelo de pêndulo entre passos a actividade recrutada pelos flexores plantares de um membro está relacionado com a energia dispendida no membro contra-lateral.

As FRS constituem uma variável externa que condiciona directamente a aceleração do centro de massa. No entanto, a análise da influência desta variável restringiu-se, dentro da literatura consultada, à análise do passo.

- **Qual a relação existente entre a FRS e o trabalho positivo realizado pelo membro contra-lateral?**
- **Existe uma relação entre a energia dispendida na colisão e a magnitude das forças de reacção ao solo?**

# Marcha: Correlação entre FRS e actividade EMG contralateral

## •Amostra

- ✓ Indivíduos saudáveis entre 18 e os 25 anos;
- ✗ História de lesão recente osteoarticular ou musculotendinosa no membro inferior;
- ✗ Antecedentes ou sinais de disfunção neurológica que pudesse afectar a *performance* motora nos membros inferiores;
- ✗ História de cirurgia a nível dos membros inferiores;
- ✗ Presença de deformidades angulares no membro inferior.

## •Instrumentos

- Plataforma de forças BERTEC 4060-15;
- Electromiógrafo - Biopac MP100 system;
- Uma câmara de 50Hz;
- Software Acqnowledge para tratamento e visualização da informação electromiográfica e a informação obtida pela plataforma de forças.

# Marcha: Correlação entre FRS e actividade EMG contralateral

- Procedimentos
  - Preparação da pele e colocação dos eléctrodos;
  - Preparação dos indivíduos;
  - Recolha;
  - Tratamento e quantificação do sinal.



# Marcha: Correlação entre FRS e actividade EMG contralateral

## •Resultados

| Medições comparadas         | Coefficiente de correlação de Pearson |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| EMG direito – FRS esquerdo  | 0,662                                 |
| EMG direito – FRS direito   | -0,203                                |
| EMG esquerdo – FRS direito  | 0,135                                 |
| EMG esquerdo – FRS esquerdo | 0,606                                 |

**Não ocorreram correlações estatisticamente significativas entre a actividade EMG do ventre medial do músculo gastrocnémeo e a componente vertical da FRS do membro contralateral**

# Marcha: Relação FRS - deslocamento do CM em diferentes velocidades

A FRS varia com a velocidade.

Influencia significativamente o deslocamento do centro de massa.

Existem velocidades nas quais o sistema neuromuscular é mais estável.

- Como se comporta a relação FRS – deslocamento do centro de massa em diferentes velocidades?

# Marcha: Relação FRS - deslocamento do CM em diferentes velocidades

- Amostra

- Indivíduos saudáveis entre os 18 e 25 anos.

- Instrumentos

- Plataforma de forças modelo 9281B da Kistler Instruments, Winterthur, Switzerland com 0,6 m de comprimento e 0,4 m de largura;
- Quatro câmaras digitais comuns;
- Software Simi Motion para tratamento e visualização da informação de imagem e a informação obtida pela plataforma de forças;
- Cronómetro.

# Marcha: Relação FRS - deslocamento do CM em diferentes velocidades

## •Procedimentos

- Análise cinemática baseada num modelo segmentar;

1. Calibração dos sensores ópticos;

2. Colocação dos marcadores;

3. Selecção da lista de variáveis pretendida e estabelecimento das conexões;

4. Aquisição estática;

5. Extracção dos marcadores de calibração estática;

6. Aquisição dinâmica;

7. Sincronização dos vários sensores com as câmaras de vídeo digitais;

8. Identificação no 1.º quadro dos marcadores – aquisição estática;

9. Identificação no 1.º quadro dos marcadores, seguimento dos marcadores – aquisição dinâmica.

# Marcha: Relação FRS - deslocamento do CM em diferentes velocidades

## • Procedimentos

- Cada indivíduo fará três deslocações:

- Velocidade livremente escolhida;
- 50% da velocidade livremente escolhida;
- Dobro da velocidade livremente escolhida.

- O deslocamento pico a pico do centro de gravidade na direcção vertical irá ser determinado para cada indivíduo como a média da excursão nos ciclos da passada.

# Considerações finais

- Dispêndio energético está associado ao deslocamento do centro de gravidade;
- Os mecanismos que explicam fenómeno da marcha:
  - carecem de evidência científica;
  - não explicam todos os fenómenos decorrentes no ciclo de marcha, tornando-se por vezes contraditórios;
- Informação muito isolada e compartimentada;
- Os resultados obtidos em termos de FRS e actividade EMG indicam que não existe correlação entre a magnitude da componente vertical da FRS e da actividade EMG, sugerindo, à luz da teoria do modelo de pêndulo entre passos, que a magnitude da força de reacção ao solo não constitui um bom preditor do gasto energético dispendido na colisão.

São necessários mais estudos no sentido de perceber como os diferentes factores se influenciam e de que maneira isso se repercute em termos de dispêndio energético;

# Sugestões de trabalhos futuros

- Examinar de que forma outros factores cinemáticos influenciam padrões cinéticos;
- Procurar a existência de uma variação do padrão de marcha em função do tempo e distância percorrida;
- Investigar de que forma as diferentes variáveis se relacionam ao longo do tempo;
- Procurar perceber de que forma o sistema se adapta em função da alteração de variáveis cinéticas ou cinemáticas;
- Detectar quais as variáveis, cinéticas e/ou cinemáticas, que possuem maior influência no deslocamento do centro de massa e consequentemente no dispêndio energético.

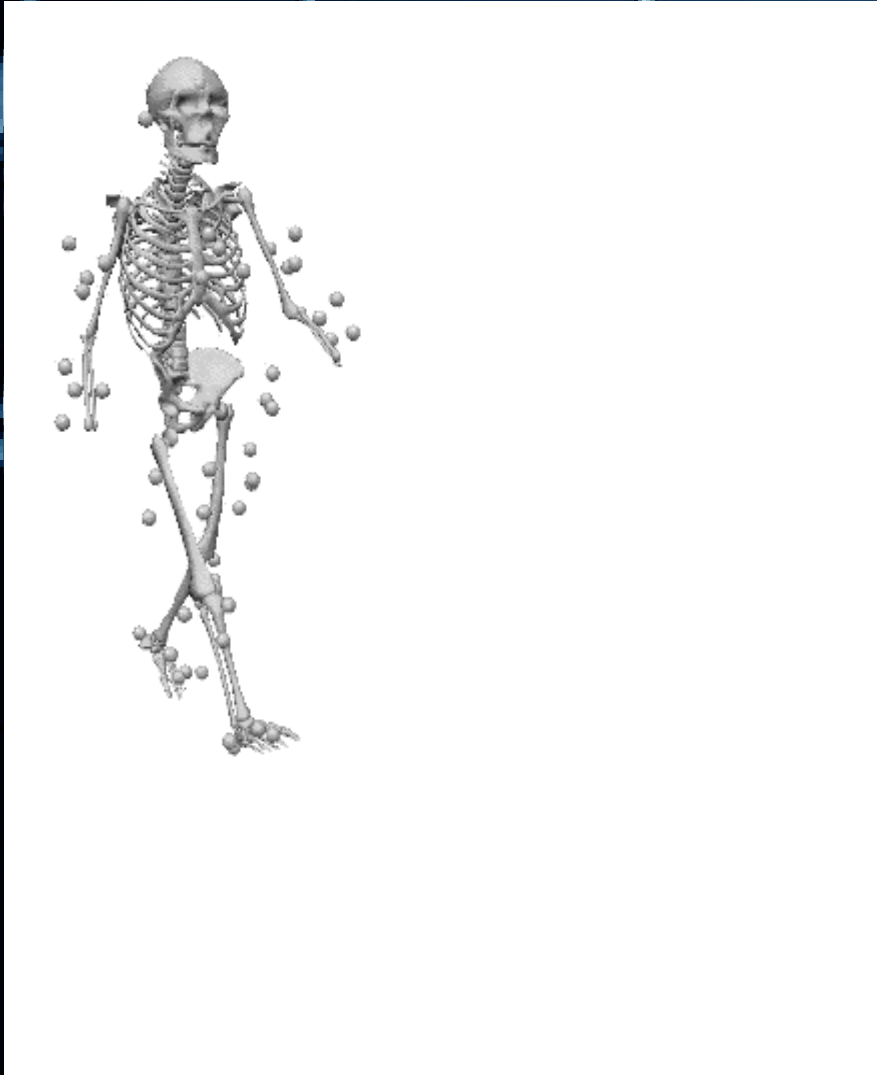
# Bibliografia

- Borghese, N. B., L; Lacquaniti, F (1996). "Kinematic Determinants of Human Locomotion." Journal of Physiology **494**(3): 863-869.
- Bunc, V. D., R (1997). "Energy Cost of Treadmill Walking." Journal of Sports Medicine and Physical Fitness **37**(2): 103-109.
- Cappozo, A. C., F; Leardini, A; Benedetti, M; Della Croce, U (1996). "Position and Orientation in Space of Bones During Movement: Experimental Artifacts." Clinical Biomechanics **11**: 90-100.
- Corraza, S. M., L; Chaudhari, M; Dermattio, T; Cobelli, C; Andriacchi, P (2006). "Motion Capture System to Study Musculoskeletal Biomechanics: Visual Hull Computer Vision and Image Understanding." Anal of Biomedical Engineering **34**(6): 1019-1029.
- Doke, J. K., A (2007). Metabolic Cost of Generating Force During Human Leg Swing. ISB XXth Congress, ABS 29th Annual Meeting.
- Donelan, M. K., R; Kuo, A (2002). "A Simultaneous Positive and Negative External Mechanical Work in Human Walking." Journal of Biomechanics **35**: 117-124.
- Farley, T. F., P (1998). "Biomechanics of Walking and Running: from Center of Mass Movement to Muscle Action." Exercise and Sports Sciences Reviews **26**: 253-285.
- Gard, S. M., S; Kuo, A (2004). "A Comparison of Kinematic and Kinetic Methods for Computing the Vertical Motion of the Body Central Mass during Walking." Human Movement Science **22**: 597-610.
- Gravila, D. D., L (1996). 3-D Model-Based Tracking of Human in Action: a Multi-View Approach. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Francisco.
- Inman, T. e. a. (1981). Human Walking. Batimore, Williams e Wilkins.
- Komura, T. N., A; Leung, H; Sinagawa, Y (2005). "Simulating Pathological Gait Using the Enhanced Linear Inverted Pendulum Model." IEEE Transactions on Biomedical Engineering **52**(9).
- Kuo, D. D., M; Ruina, A (2005). "Energetic Consequences of Walking Like an Inverted Pendulum: Step to Step Transitions." Exercise Sports Science Review **33**(2): 88-97.
- Kuo, D. D., M; Ruina, A (2007). "The Six Determinants of gait in the Inverted Pendulum Analogy: A Dynamic Walking Perspective." Human Movement Science.
- Legrand, L. M., F; Dusserre, L (1998). "A Marker-Free System for the Analysis od Movement Disabilities." Medinfo **9**: 1066-1070.
- Liu, M. A., F; Pandy, M; Delp, S (2006). "Muscles that Support the Body also Modulate Forward Progression during Walking." Journal of Biomechanics **39**: 2623-2630.
- Lucchetti, L. C., A; Capello, A; Della Croce, U (1998). "Skin Movement Artefact Assessment and Compensation in the Estimation of Knee Joint Kinematics." Journal of Biomechanics **31**: 977-984.
- Masani, K. K., M; Fukunaga, T. (2002). "Variability of Ground Reaction Forces during Treadmill Walking." Journal of Applied Physiology **92**: 1885-1890.



# Bibliografia

- Kuo, D. D., M; Ruina, A (2005). "Energetic Consequences of Walking Like an Inverted Pendulum: Step to Step Transitions." Exercise Sports Science Review **33**(2): 88-97.
- Kuo, D. D., M; Ruina, A (2007). "The Six Determinants of gait in the Inverted Pendulum Analogy: A Dynamic Walking Perspective." Human Movement Science.
- Masani, K. K., M; Fukunaga, T. (2002). "Variability of Ground Reaction Forces during Treadmill Walking." Journal of Applied Physiology **92**: 1885-1890.
- Norkin, C. L., K (1992). Joint Structure and Function. A Comprehensive Analysis. EUA, Library of Congress.
- Raynor, J. Y., J; Abernethy, B; Jong, J (2002). "Are Transitions in Human Gait Determined by Mechanical, Kinetic or Energetic Factors." Human Movement Science **21**(5-6): 785-805.
- Reaz, M. H., M; Mohd-Yasin, F (2006). "Techniques of EMG Sinal Analysis: Detecting, Processing, Classifications and Applications." Biology Proceedings **8**(1): 8-35.
- Rosenhahn, B. K., R; Metaxas, D (2008). Human Motion. Understanding, Modeling, Capture and Animation. Netherlands, Springer.
- Saunders, M. I., T; Heberhart, D (1953). "The Major Determinants in Normal and Pathological Gait." The Journal of Bone and Joint Surgery **53**: 543-558.
- Segers, V. (2006). A Biomechanical Analysis of the Realization of Actual Human Transition.
- Simon, R. M., A; Hagi, L; Larsen, J (1978). "Role of the Posterior Calf Muscles in Normal Gait." Journal of Bone & Joint Surgery **60**: 465-472.
- Sousa, D. T., J; Correia, M; (2008). Seguimento do Movimento Humano Usando Visão Computacional - Aplicação na Análise da Marcha. Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. **Mestre**: 171.
- Tavares, J. C., M; Sousa, D (2002). Seguimento do Movimento Humano Usando Visão Computacional - Aplicação na Análise da Marcha. Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. **Mestre**: 171.
- Urry, S. (1999). "Plantar Pressure Measurement Sensors." Measurements Science Technology **10**: 16-32.
- Waters, L. M., S (1999). "The Energy Expenditure of Normal and Pathological Gait: Relation to Mechanical Energy Cost." Journal of Neurophysiology: 207-231.
- Welch, G. F., E (2002). "Motion Tracking survey." IEEE Computer Graphics and Applications: 24-38.
- Willems, A. C., A; Heglund, C (1995). "External, Internal and Total Work in Human Locomotion." The Journal of Experimental Biology **198**: 379-383.
- Winter, A. (1991). The Biomechanics and Motor Control of Human Gait: Normal, Elthery and Patological. Waterloo, Ontário, Waterloo Biomechanics Press.



Obrigada pela  
atenção!