

2º ENCONTRO NACIONAL DE BIOMECÂNICA

H. Rodrigues *et al.* (Eds.)

Évora, Portugal, 8 e 9 de Fevereiro, 2007

ANÁLISE CLÍNICA DA MARCHA EXEMPLO DE APLICAÇÃO EM LABORATÓRIO DE MOVIMENTO

Daniela Sofia S. Sousa*, **João Manuel R. S. Tavares***, **Miguel Velhote Correia****,
Emília Mendes***

* INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Porto, Portugal,
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal
e-mail: daniela.sousa@inegi.up.pt, tavares@fe.up.pt

** INEB – Instituto de Engenharia Biomédica, Porto, Portugal, FEUP
e-mail: mcorreia@fe.up.pt

*** CRPG – Centro de Reabilitação Profissional de Gaia, Arcozelo, Portugal
e-mail: emilia.mendes@crpg.pt

Palavras-Chave: Biomecânica, visão computacional, análise clínica da marcha.

Resumo. Neste artigo pretende-se introduzir os conceitos principais da análise quantitativa da marcha como uma ferramenta de apoio à prática clínica. Assim, para as várias áreas de estudo, cinemática, cinética, pressões, actividade muscular, apresenta-se a respectiva importância para a avaliação clínica, abordam-se meios e métodos para aquisição, tratamento e apresentação das diversas variáveis biomecânicas. Neste artigo dá-se ainda a indicação da aplicação da análise quantitativa da marcha no caso concreto do laboratório do movimento do CRPG – Centro de Reabilitação Profissional de Gaia.

1 INTRODUÇÃO

A análise clínica da marcha é usualmente considerada como sendo a medição, o processamento e a interpretação sistemática dos parâmetros biomecânicos que caracterizam a locomoção humana e facilitam a identificação de limitações no movimento, de maneira a identificar adequados procedimentos de reabilitação [1]. Segundo [2], o termo análise clínica da marcha deveria apenas ser aplicado ao estudo realizado por laboratórios capazes de adquirir e tratar de forma instrumentada a informação cinemática, cinética, energética e mioelétrica do movimento, integrando pessoal especializado capaz de interpretar clinicamente esta informação.

De acordo com [2, 3], os métodos predominantes na análise clínica da marcha são a medição da cinemática, da cinética e da actividade muscular durante o ciclo de marcha. A

pressão plantar pode não ser considerada uma componente básica da análise clínica da marcha, porém a medição das pressões plantares durante a marcha é uma mais-valia à avaliação clínica do sujeito [2]. A cinemática consiste na caracterização do movimento sem referências às forças envolvidas. A cinética descreve as forças internas e externas que actuam num corpo em movimento. A electromiografia serve para definir a actividade muscular que controla os movimentos durante a marcha. A pressão plantar permite a análise pormenorizada da distribuição da carga entre a planta do pé e a respectiva superfície de contacto.

Neste artigo, pretende-se efectuar uma descrição dos principais conceitos envolvidos na análise quantitativa da marcha, apresenta-se o laboratório do movimento do CRPG e pretende-se contribuir para a compreensão do papel dos algoritmos de processamento e análise de imagem no processo de quantificação das variáveis biomecânicas caracterizadoras da marcha.

2 CINEMÁTICA

Na análise clínica da marcha, a cinemática é usada para o cálculo linear e angular dos deslocamentos, das velocidades e das acelerações dos segmentos corporais [4].

Tipicamente, para o cálculo da cinemática é necessário adquirir a trajectória 3D de marcadores colocados no corpo do sujeito, geralmente sobre a sua pele, usando três ou mais câmaras vídeo digitais.

Normalmente, são recolhidas imagens do sujeito em posição estática e durante o movimento. Posteriormente, estas imagens são processadas pelo sistema computacional e a informação cinemática é apresentada ao utilizador. Segundo [1], a maioria dos *softwares* comerciais usa variações do *Conventional Gait Model* para o cálculo da cinemática, por exemplo, [5, 6].

A posição e orientação globais no espaço de cada segmento corporal são obtidas através da relação entre um referencial local rigidamente associado ao mesmo segmento e um referencial global previamente definido. A posição e orientação relativas são calculadas de forma semelhante à posição e orientação globais, mas estabelecem-se relações entre dois referenciais locais vizinhos [6]. Em [7, 8] podem ser encontradas as recomendações da *Sociedade Internacional de Biomecânica* para o cálculo da posição/orientação globais e relativas dos segmentos corporais.

A análise dos ângulos articulares é uma etapa importante para a avaliação clínica do sujeito. Os ângulos com maior relevância clínica são: a obliquidade-inclinação-rotação pélvica, adução/abdução-flexão/extensão-rotação da anca, flexão/extensão do joelho, dorsiflexão/flexão plantar do tornozelo e rotação do pé, [6]. Não é usual a interpretação clínica das velocidades/acelerações lineares/angulares calculadas a partir dos referenciais segmentais.

3 CINÉTICA

A análise cinética da marcha permite obter as forças de reacção nas articulações, os momentos articulares, a potência mecânica e o trabalho mecânico [4].

Para calcular a cinética é usual recorrer-se à dinâmica inversa. A dinâmica inversa usa o conhecimento da cinemática do movimento (acelerações/velocidades lineares e angulares), da

informação antropométrica dos segmentos (centro de massa, massa, momento de inércia, dimensões) e das forças externas aplicadas ao sujeito em movimento (forças de reacção do solo resultante da interacção pé/solo) para calcular as forças de reacção e momentos articulares [4]. Existem diversos modelos dinâmicos para o cálculo da cinética, por exemplo, [9, 10]; porém, segundo [9], usa-se normalmente o modelo de Diagrama de Corpo Livre, [10].

De acordo com [11], os momentos articulares e as potências mecânicas articulares são a informação mais relevante da análise biomecânica da marcha. Os momentos articulares indicam que as estruturas que atravessam a articulação em estudo estão sob tensão e qual o grau da mesma [3]. Os momentos indicam quais os tipos de músculos cuja acção é predominante para um dado instante da marcha: se positivo, músculos flexores; se pelo contrário o seu valor é negativo, músculos extensores. Através da potência mecânica é possível saber se os músculos estão exercer uma acção concêntrica ($P > 0$), uma acção excêntrica ($P < 0$) ou uma acção isométrica ($P = 0$), [3].

Para além da avaliação dos parâmetros descritos, a reabilitação passa por garantir que a marcha seja uma acção o mais eficientemente possível em termos energéticos, [12]. Uma forma de medir a energia despendida durante a marcha é através do trabalho mecânico, calculado usando a informação recolhida pela plataforma de forças e o deslocamento do centro de massa do corpo, [12].

4 ELECTROMIOGRAFIA

A electromiografia mede a actividade eléctrica resultante da activação dos músculos esqueléticos, os quais são responsáveis pelo suporte e movimento do esqueleto, [13].

Para medir o sinal electromiográfico (EMG) podem ser usados eléctrodos colocados no interior do músculo (electromiografia de profundidade) e eléctrodos colocados sobre a pele (electromiografia de superfície). Segundo [14] dos 28 principais músculos que controlam cada membro inferior, a maioria são músculos superficiais podendo a sua actividade ser adquirida à custa do electromiografia de superfície.

Num sistema de aquisição e processamento do sinal electromiográfico a etapa analógica é assegurada por eléctrodos, amplificador, conversor A/D e um computador. A parte digital implica que o sinal electromiográfico em bruto seja filtrado digitalmente e processado no tempo e em frequência. Sobre algumas recomendações europeias quanto à aquisição e processamento do sinal EMG de superfície ver, por exemplo, [15].

Embora se possam extrair algumas características importantes, como amplitude, duração e frequência, do sinal EMG em bruto para o estudo do padrão da actividade dos músculos, uma avaliação mais precisa requer uma análise quantitativa do sinal electromiográfico. Tipicamente, usam-se dois tipos de análise: no domínio temporal, como a amplitude média do sinal rectificado, a raiz quadrada do valor quadrático médio do sinal, o integral do sinal electromiográfico, etc.; e no domínio das frequências, tal como a frequência média, a mediana da frequência, a moda da frequência, a frequência máxima, etc..

A aplicação da electromiografia à análise clínica da marcha ainda não é uma tarefa trivial, pois são inúmeras as variáveis que a influenciam, quer a de superfície quer a de profundidade, e há dificuldades em explicar a relação entre o sinal EMG medido e os processos fisiológicos

que o originam. Contudo, por exemplo, *Jacquelin Perry* [14] interpreta clinicamente o início e o fim da actividade muscular relativamente às diferentes fases da marcha.

5 PRESSÕES

Existem diversos parâmetros úteis à análise clínica da pressão plantar: centro de pressão, picos de pressão/força de reacção, integrais de pressão/força de reacção, tempos de contacto e áreas de contacto. A importância e interpretação de cada um destes parâmetros dependem da aplicação em questão.

Para a selecção do sistema de aquisição da pressão plantar é de elevada importância o conhecimento da influência da disposição dos elementos sensoriais e do princípio de medição na performance do próprio sistema. Em [16] são apresentados alguns dos requisitos técnicos mínimos para um desempenho satisfatório do sistema de pressão plantar. Note-se que, durante a aquisição/interpretação dos resultados obtidos das pressões plantares devem-se também conhecer e controlar os factores cinemáticos e antropométricos intervenientes no padrão da pressão; como por exemplo, velocidade da marcha, tamanho do passo, altura, peso, idade e género do indivíduo, etc..

Como já havia sido previamente referido, a relevância para a análise clínica da marcha dos vários parâmetros obtidos através da aquisição e tratamento da pressão plantar depende da aplicação em questão. Por exemplo, em [17] é referido que para analisar a efectividade de suportes plantares tem sido frequentemente considerado o centro de pressão. Já para o estudo, a prevenção e o tratamento de ulcerações relacionadas com o pé diabético, os picos médios de pressão são uma variável com elevado interesse, [18].

6 LABORATÓRIO DE MOVIMENTO DO CRPG

A análise clínica da marcha processa-se habitualmente em espaços próprios que integrem de uma forma sincronizada os sistemas cinemático, cinético, electromiográfico e barométrico previamente referidos. Um exemplo deste tipo de espaço é o laboratório de movimento do CRPG.

No laboratório do CRPG para análise biomecânica da marcha são usadas 4 câmaras vídeo digitais comuns (formato *PAL*, a 25 Hz, com 768x576 *pixels* de resolução), uma plataforma de forças modelo 9281B da *Kistler Instruments, Winterthur, Switzerland* com 0,6 m de comprimento e 0,4 m de largura, uma plataforma de pressões modelo *Footscan 3D* da *RSscan Internacional, Olen, Belgium* com 0,5 m de comprimento e 0,4 m de largura, e a electromiografia é recolhida por 8 canais da *Myomonitor III, Delsys, Boston, USA*, e 4 canais da *Bagnoli, Delsys, Boston, USA*.

Em termos de *software* é usado o *Simi Motion* para tratamento e visualização da informação cinemática, cinética e electromiográfica. A informação obtida pela plataforma de forças (componentes médio-lateral, antero-posterior e vertical da força de reacção do solo, a posição no plano *xy* do vector resultante da força de reacção, os momentos segundo as direcções *x*, *y* e *z*) é também visualizada através do *Simi Motion*. O *Gait Scientific* da *RSscan*

Internacional, é o *software* usado no tratamento e visualização dos dados adquiridos pela plataforma de pressão.

Note-se que no sistema actual do CRPG para o cálculo da cinética, é necessária a sincronização manual entre os dados adquiridos pela plataforma de forças e as coordenadas 3D das marcas corporais. Embora não se recorra à plataforma de pressões e à electromiografia para os cálculos cinéticos, é interessante ter esta informação sincronizada com as imagens do movimento e com a plataforma de força.

7 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste artigo foram apresentadas sumariamente as áreas chave úteis à análise clínica da marcha e a aplicação prática destes sistemas ao laboratório de movimento do CRPG. Actualmente, todos os sistemas integrantes neste laboratório estão a funcionar, havendo contudo alguns desenvolvimentos em curso; nomeadamente, a validação de um conjunto de protocolos clínicos aplicados à população com paralisia cerebral, com amputações dos membros inferiores e outros problemas músculo-esqueléticos.

A análise clínica da marcha é uma área em contínua evolução, porém o seu estado actual já é uma mais-valia considerável no tratamento de várias patologias neuromusculares e músculo-esqueléticas, como em paralisia cerebral e em casos de amputações dos membros inferiores. Algumas das vantagens da análise biomecânica da marcha, face à simples observação visual clínica da marcha, são a capacidade de quantificar e caracterizar o movimento dos segmentos corporais segundo vários eixos anatómicos, o que muitas vezes não é facilmente detectável ou mesmo visível na observação visual da marcha, a possibilidade de aceder a grandezas não observáveis visualmente, como a cinética, a electromiografia e pressões plantares, e a sistematização da informação biomecânica num formato repetível, objectivo e mais robusto a diferentes observadores. Contudo são usualmente identificadas fontes de erro associadas ao uso destes sistemas: erros associados ao movimento devido a tecidos moles, erros na determinação dos centros articulares, particularmente no caso da anca, aproximações dos parâmetros inerciais dos segmentos corporais e diferenciação numérica de posições erróneas dos mesmos segmentos. Outros problemas bastante comuns são a colocação das marcas corporais de forma imprecisa e irregular, a divisão do ciclo de marcha e o aumento dos erros do cálculo dos ângulos angulares quando a distância entre marcadores é reduzida.

A divisão do ciclo biomecânico de marcha será um dos pontos para o desenvolvimento futuro deste trabalho.

8 AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente desenvolvido no âmbito dos projectos: “Avaliação Computacional e Tecnológica Integrada do Desempenho e Funcionalidade dos Cidadãos com Incapacidades Músculo-esqueléticas” financiado pelo Programa Operacional Sociedade do Conhecimento e do projecto “Segmentação, Seguimento e Análise de Movimento de Objectos Deformáveis (2D/3D) usando Princípios Físicos” financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Baker, Gait analysis methods in rehabilitation, *J. of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 3, pp. 1-10, 2006.
- [2] D. H. Sutherland, The evolution of clinical gait analysis part III, *Gait & Posture*, 21, pp. 447-461, 2005.
- [3] M. Whittle, Clinical gait analysis: a review, *Hum. Mov. Sci.*, 15, pp. 369-387, 1996.
- [4] D. Winter, *Biomechanics and motor control of human movement*, 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.
- [5] M. Kadaba, H. Ramakrishnan, and M. Wootten, Measurement of lower extremity kinematics during level walking, *J. of Orthopaedic Research*, 8, pp. 383-392, 1990.
- [6] R. Davis, S. Ounpuu, D. Tyburski, and J. Gage, A gait analysis data collection and reduction technique, *Hum. Mov. Sci.*, 10, pp. 575-587, 1991.
- [7] G. Wu and P. R. Cavanagh, "ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data," *J. of Biomechanics*, 28, pp. 1257-1261, 1995.
- [8] G. Wu, S. Siegler, P. Allard, C. Kirtley, A. Leardini, D. Rosenbaum, M. Whittle, D. D. Lima, L. Cristofolini, and H. Witte, ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion--part I, *J. Biomech.*, 35, pp. 543-548, 2002.
- [9] N. Doriot and L. Cheze, A three-dimensional kinematic and dynamic study of the lower limb during the stance phase of gait using an homogeneous matrix approach, *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 51, pp. 21-27, 2004.
- [10] C. S. Gregersen and M. L. Hull, Non-driving intersegmental knee moments in cycling computed using a model that includes three-dimensional kinematics of the shank/foot and the effect of simplifying assumptions," *J. of Biomechanics*, 36, pp. 803-813, 2003.
- [11] M. Whittle, *Gait analysis an introduction*, 3rd ed. Oxford Boston: Butterworth-Heinemann, 2003.
- [12] H. G. Chambers and D. H. Sutherland, A Practical Guide to Gait Analysis, *J Am Acad Orthop Surg*, 10, pp. 222-231, 2002.
- [13] J. Basmajian and C. De Luca, *Muscles Alive: Their functions revealed by electromyography*, 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985.
- [14] J. Perry, The contribution of dynamic electromyography to gait analysis, in *Monograph 002: Gait analysis in the science of rehabilitation*, J. DeLisa, Ed. Washington, DC: Department of Veterans Affairs, 1998.
- [15] H. Hermens, B. Freriks, R. Merletti, D. Stegeman, J. H. Blok, G. Rau, C. Disselhorst-Klug, and G. Hagg, *SENIAM - European Recommendations for Surface Electromyography*: Roessingh Research and Development, 1999.
- [16] S. Urry, Plantar pressure-measurement sensors, *Measurement Science and Technology*, 10, pp. 16-32, 1999.
- [17] R. Sloss, The effects of foot orthoses on the ground reaction forces during walking, *The Foot*, 11, 2002.
- [18] A. Boulton, Dynamic foot pressure and other studies as diagnostic and management aids in diabetic neuropathy, *Diabetes Care*, 6, pp. 26-33, 1985.