

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO MECÂNICO PARA A ANÁLISE CLÍNICA QUANTITATIVA DOS MOVIMENTOS DO COMPLEXO TORNOZELO-PÉ DURANTE A MARCHA

Renato Guilherme Trede Filho, renato.trede@gmail.com¹
Janaíne Cunha Polese, janainepolese@yahoo.com.br²
Marcel Bahia Lanza, marcellanza@yahoo.com.br²
Antônio Eustáquio de Melo Pertence, pertence@demec.ufmg.br²

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Rua da Glória, nº 187, CEP: 39100-000 - Diamantina, MG - Brasil.

²Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário, CEP 31270.901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Resumo: *A marcha é uma tarefa funcional diária e, por isso, disfunções de movimento nela presentes ocorrem com grande frequência, levando à aplicação repetida de estresse excessivo sobre os tecidos musculoesqueléticos. A rotação interna excessiva dos membros inferiores relacionada ao movimento de pronação excessiva da articulação subtalar é descrito como uma disfunção de movimento presente durante a fase de apoio da marcha. Os movimentos inadequados do complexo tornozelo-pé são acessados clinicamente através de análise qualitativa por observação, o que gera dados imprecisos e subjetivos. Em ambiente de laboratório estes movimentos são quantificados por fotogrametria computadorizada, que devido ao alto custo dos equipamentos inviabiliza a sua aplicação ambulatorial. Neste contexto, o objetivo final deste estudo é desenvolver e validar um dispositivo mecânico de custo reduzido para avaliar quantitativamente os movimentos de inversão e eversão do calcâneo e rotação interna e externa dos membros inferiores durante a marcha, possibilitando aos profissionais da saúde dados numéricos imediatos para análise e possível comparação pré e pós-tratamento. Este estudo será conduzido em três fases: desenvolvimento de um dispositivo piloto para testes de posicionamento anatômico, desenvolvimento do dispositivo final no Laboratório de Projetos Mecânicos da Escola de Engenharia da UFMG e a validação do dispositivo final comparando seus dados com o Sistema de Análise de Movimentos (Qualisys) no Laboratório de Análise do Movimento Humano da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da mesma universidade. Em caráter preliminar, será detalhado o dispositivo piloto desenvolvido na primeira etapa do estudo.*

Palavras-chave: *Dispositivo Mecânico, Movimento Tornozelo-Pé, Marcha*

1. INTRODUÇÃO

O pé humano é composto de 26 ossos mantidos unidos através de músculos e ligamentos formando assim 33 articulações. São exemplos destas articulações a subtalar, tibiofibular e a articulação talocrural (Gould, 1993). As articulações do complexo tornozelo-pé realizam movimentos como dorsiflexão, flexão plantar, inversão, eversão, supinação e pronação, além de atuarem na movimentação dos artelhos (Gould, 1993; Rockar, 1995).

Dorsiflexão é o movimento de aproximação do dorso do pé à parte anterior da perna. A flexão plantar é o movimento contrário à dorsiflexão. A inversão ocorre quando a borda medial do pé dirige-se em direção a parte medial da perna e a eversão seria o movimento oposto. A pronação é um movimento triplanar e ocorre a partir de uma combinação de movimentos, sendo composta pela eversão do calcâneo, abdução e dorsiflexão do tálus. A supinação é o oposto da pronação, ocorrendo uma inversão do calcâneo, adução e flexão plantar do tálus (Perry, 1992; Gould, 1993, Rockar, 1995). Estes movimentos estão presentes na maior parte das atividades funcionais dos membros inferiores, como a postura, a corrida e a marcha (Perry, 1992; Winter, 1990).

A marcha é o resultado de uma série cíclica de movimentos que impulsiona o corpo à frente. O ciclo da marcha corresponde a uma passada, sendo determinado pelo contato inicial de um membro inferior ao próximo contato inicial do mesmo membro. A passada é dividida em fase de apoio e fase de oscilação (Perry, 1992; Winter, 2004; Zajac, 2002). Durante o período inicial da fase de apoio da marcha ocorre o movimento de pronação da articulação subtalar, que leva o pé a se tornar flexível possibilitando a absorção de cargas, de movimentos e sua adaptação à superfície (Donatelli, 1987). No fim dessa mesma fase acontece o movimento de supinação da articulação subtalar, o que faz com que o pé se

comporte de modo rígido para que possa transmitir força muscular, permitindo a impulsão e a transferência anterior do corpo (McPoil, 1983; Michaud, 1993).

Os movimentos de pronação e supinação não ocorrem de forma isolada (Deleo, 2004). Quando realizados em cadeia cinética fechada, devido a seu perfil triplanar, geram movimentos ascendentes compensatórios a todo o membro inferior por meio do acoplamento entre o tálus e a perna, na articulação talocrural (Khamis, 2007; Rockar, 1995; Deleo, 2004). O principal movimento compensatório promovido pela pronação é a rotação interna dos membros inferiores; já na supinação, ocorre o movimento de rotação externa (Khamis, 2007; Pinto, 2007).

Alterações dos movimentos ideais do pé durante atividades realizadas em cadeia cinética fechada levam ao seu funcionamento incorreto e conseqüentemente a movimentos e funcionamento incorretos de articulações dos membros inferiores, pelve e coluna vertebral (Michaud, 1993). Estas alterações são relacionadas à modificação de carga em várias estruturas músculo-esqueléticas e, por isso, estão associadas a várias patologias, como síndrome do estresse tibial medial, dor patelofemoral e lombalgia (Cibulka, 1999; Powers, 1995; Sommer, 1995).

Em pesquisas de cunho científico, estes movimentos são avaliados dinamicamente e quantitativamente por meio da fotogrametria, que consiste em triangular marcas colocadas sobre pontos anatômicos específicos, gerando assim posições relativas de cada segmento no ambiente de coleta de dados (Winter, 1990; Allard, 1995; Winter, 2004; Eng, 1995). Estes instrumentos têm custo elevado, o que os tornam inviáveis para uso em exames de rotina (Winter, 2004; Eng, 1995). Clinicamente, os movimentos do complexo tornozelo-pé são avaliados em cadeia cinética aberta e em postura estática por goniometria, o que limita as associações diretas entre movimentos inadequados das articulações e as lesões ortopédicas correlacionadas. Quando o movimento é observado dinamicamente através da avaliação qualitativa de marcha, o resultado é subjetivo e suscetível a falsas interpretações (Perry, 1992; Gould, 1993).

Neste contexto, um dispositivo que permita a avaliação quantitativa dos movimentos do complexo tornozelo-pé e dos movimentos rotacionais acoplados dos membros inferiores, permitiria uma avaliação ortopédica precisa e conseqüentemente maior chance de promover melhora das condições lesivas através de condutas terapêuticas adequadas.

Para tanto, este estudo tem como objetivo desenvolver e validar um dispositivo mecânico de custo reduzido para avaliar quantitativamente os movimentos de inversão e eversão do calcâneo e rotação interna e externa dos membros inferiores durante a marcha. Os dados numéricos gerados por este dispositivo serão descritos em graus para cada movimento estudado.

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi dividido em três partes, sendo a primeira a criação de um modelo anatômico do membro inferior e o desenvolvimento da estrutura mecânica do dispositivo, etapa esta já concluída. A segunda etapa englobará a instalação em potenciômetros no dispositivo para medição dos dados angulares de interesse, ajuste de sistema e desenvolvimento de software de aquisição. A etapa final envolverá a validação do dispositivo comparando-o ao equipamento considerado padrão ouro para medir angulações no corpo humano, o sistema de análise do movimento Qualisys Track Manager®.

3. DESENVOLVIMENTO

Para realização da primeira etapa, foi necessária a obtenção de um molde negativo em gesso do membro inferior de um voluntário. Este molde foi preenchido por silicone líquido e após o período de secagem foi desmoldado e ajustado para reproduzir os movimentos e proporções de um membro inferior modelo, conforme pode ser observado na Fig. (1).



Figura 1. Molde em silicone do membro inferior do voluntário.

Sobre o modelo de silicone, foi desenvolvido um dispositivo mecânico constituído de estruturas para medição de dos vários ângulos requeridos construída de placas finas e flexíveis de PVC posicionadas por ventosas em pontos anatômicos previamente escolhidos no membro inferior com o auxílio do uso de fitas de velcro.

As ventosas posicionadas sobre o modelo do pé foram interconectadas por um fio fino e flexível capaz de garantir ao conjunto um posicionamento eficaz sem tirar a flexibilidade do conjunto.

Foram desenvolvidas três estruturas para medição dos ângulos e posicionadas nas partes: medial, lateral e posterior, conforme indica a Fig. (2).

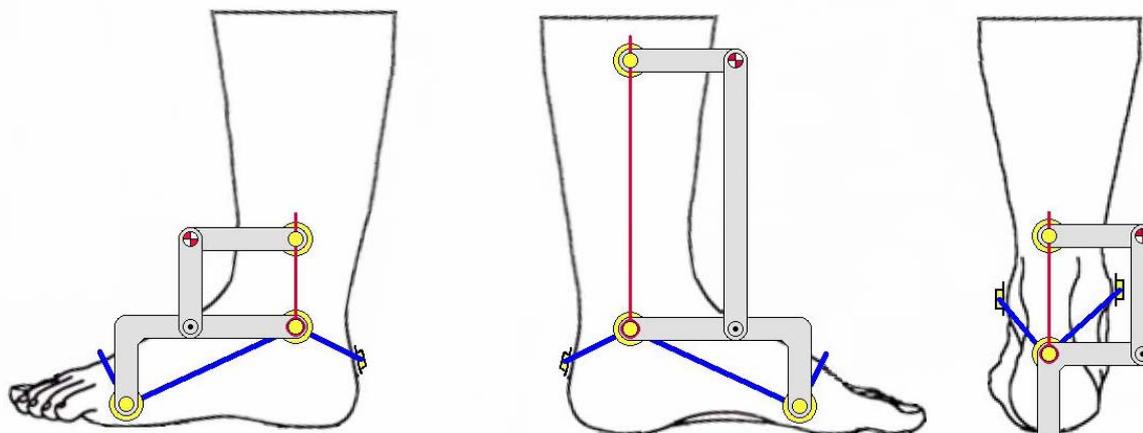


Figura 2. Vistas lateral, medial e posterior do dispositivo mecânico em representação esquemática.

A estrutura medial permite a mensuração dos ângulos referentes aos movimentos de dorsiflexão e flexão plantar, sendo o ponto fixo o maléolo medial. A estrutura lateral, por sua vez, é responsável por medir os movimentos de rotação interna e externa do membro inferior. Já a estrutura posterior, foi desenvolvida para acessar os movimentos de inversão e eversão do tornozelo com o ponto fixo localizado na articulação subtalar. Os mecanismos de medição foram construídos de tal forma que não houvesse o impedimento mecânico de um dado mecanismo sobre o movimento dos outros mecanismos e vice versa.

Após o desenvolvimento e ajustes iniciais do dispositivo mecânico, este foi acoplado no voluntário para testes de conforto e liberdade de movimento, sendo aprovado para o desenvolvimento das fases posteriores. Atualmente, a segunda fase está em andamento no Laboratório de Projetos Mecânicos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais.

4. CONCLUSÃO

Grande parte das lesões dos membros inferiores é atribuída a movimentos inadequados das articulações do complexo tornozelo-pé e suas interdependências articulares durante a marcha (Cibulka, 1999; Powers, 1995; Sommer, 1995). O tratamento das disfunções de movimento engloba a prescrição de órteses para os pés visando o reposicionamento passivo e limitando a movimentação articular excessiva (Michaud, 1993; Pinto, 2007).

Para a correta indicação de órteses, seria necessária uma avaliação quantitativa dos movimentos inadequados antes e pós-intervenção para garantir amplitudes de movimentos consideradas fisiológicas e dessa forma não gerar efeitos adversos ao uso dos dispositivos (Michaud, 1993).

Atualmente, existem métodos clínicos subjetivos que promovem inferências errôneas por depender de observação humana e métodos quantitativos de alto custo que inviabilizam o uso rotineiro fora do ambiente de pesquisa (Perry, 1992; Allard, 1995; Gould, 1993; Eng, 1995).

A relevância deste projeto é possibilitar aos profissionais da saúde uma avaliação quantitativa dos movimentos dos membros inferiores durante a atividade funcional, promovendo dados numéricos imediatos para análise e possível comparação pré e pós-tratamento. Estes dados servirão de respaldo para validar e sustentar condutas clínicas adequadas a cada paciente, respeitando a sua individualidade e particularidades.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os Programas de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFMG, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Allard, P., Stokes, V. P., Blanchi, J.P., 1995 "Three-Dimensional Analysis of Human Movement", Human Kinetics Publishers.
- Cibulka, M. T., 1999, "Low Back Pain and Its Relation to the Hip and Foot", J Orthop. Sports Phys Ther., v. 29, n. 10, pp. 595-601.
- Deleo, A. T., Dierks, T. A., Ferber, R., and Davis, I. S., 2004, "Lower Extremity Joint Coupling During Running: A Current Update", Clin. Biomech. (Bristol., Avon.), v. 19, n. 10, pp. 983-991.
- Donatelli, R. A., 1995, "Abnormal Biomechanics of the Foot and Ankle", J Orthop. Sports. Phys. Ther., v. 9, n. 1, pp. 11-16.
- Eng, J. J., Winter, D. A., 1995, "Kinetic Analysis of the Lower Limbs During Walking: What Information Can Be Gained From a Three-Dimensional Model", J.Biomech., v. 28, n. 6, pp. 753-758.
- Gould, J. A., 1993, "Fisioterapia na Ortopedia e na Medicina do Esporte", São Paulo: Manole, Cap. 14 , pp. 293-320.
- Khamis, S., Yizhar, Z., 2007, "Effect of Feet Hyperpronation on Pelvic Alignment in a Standing Position", Gait.Posture, v. 25, n. 1, pp. 127-134.
- McPoil, T. G., Knecht, H. G., 1985, "Biomechanics of the Foot in Walking: A Function Approach", J Orthop. Sports Phys. Ther., v. 7, n. 2, pp. 69-72.
- Michaud, T. C., 1993, "Foot Orthoses and Other Forms of Conservative Foot Care", In: Williams & Wilkins, Massachusetts, Cap. 3, p. 57-180.
- Perry, J., 1992, "Gait Analysis: Normal and Pathological Function", Slack Inc.
- Pinto, R. Z., Souza, T. R., Trede, R. G., Kirkwood, R. N., Figueiredo, E. M., and Fonseca, S. T., 2007, "Bilateral and Unilateral Increases in Calcaneal Eversion Affect Pelvic Alignment in Standing Position", Man.Ther., pp. 29.
- Powers, C. M., Maffucci, R., Hampton, S., 1995, "Rearfoot Posture in Subjects with Patellofemoral Pain", J. Orthop. Sports., Phys. Ther., v. 22, n. 4, pp. 155-160.
- Rockar, P. A., Jr., 1995, "The Subtalar Joint: Anatomy and Joint Motion", J. Orthop. Sports Phys. Ther., v. 21, n. 6, pp. 361-372.
- Sommer, H. M., Vallentyne, S. W., 1995, "Effect of Foot Posture on the Incidence of Medial Tibial Stress Syndrome", Med. Sci. Sports Exerc., v. 27, n. 6, pp. 800-804.
- Winter, D. A., 2004, "Biomechanics and Motor Control of Human Movement", 3rd Edition University of Waterloo Press., pp.210.
- Winter, D. A., 1990, "The Biomechanics and Motor Control of Human Gait: Normal, Elderly and Pathological", 2nd Edition University of Waterloo Press.
- Zajac, F. E., Neptune, R. R., Kautz, S. A., 2002, "Biomechanics and Muscle Coordination of Human Walking. Part I: Introduction to Concepts, Power Transfer, Dynamics And Simulations", Gait. Posture, v. 16, n. 3, pp. 215-232.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

DEVELOPMENT OF MECHANICAL DEVICE FOR CLINICAL QUANTITATIVE ANALYSIS OF MOVEMENTS OF THE ANKLE-FOOT COMPLEX DURING GAIT

Renato Guilherme Trede Filho, renato.trede@gmail.com¹

Janaína Cunha Polese, janainepolese@yahoo.com.br²

Marcel Bahia Lanza, marcellanza@yahoo.com.br²

Antônio Eustáquio de Melo Pertence, pertence@demec.ufmg.br²

¹Federal University of the Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Glória Street, nº 187, CEP: 39100-000, Diamantina, Brazil.

²Federal University of the Minas Gerais State, 6627, Antônio Carlos Avenue, Belo Horizonte, MG, CEP 31270-901, Brazil.

Abstract: *The gait is a functional daily task, and therefore, movement dysfunctions in this occur with high frequency, leading to repeated application of excessive stress on the musculoskeletal tissue. The excessive internal rotation of the lower limbs related to the movement of excessive pronation of subtalar joint is described as a dysfunction of the movement present during the stance of gait. Inadequate movements of ankle-foot complex are measured clinically by qualitative analysis by observation, leading to inaccurate and subjective data. In a laboratory environment these movements are quantified by computerized photogrammetry, that due to the high cost of equipment it makes impracticable its ambulatorial application. In this context, the final objective of this study is to develop and to validate a device mechanical of reduced cost to quantitatively assess the movements of inversion and version of the calcaneus and internal and external rotation of the lower limbs during gait, allowing for health professionals the numerical data for immediate analysis and possible comparison between pre and post-treatment. This study will be conducted in three phases: development of a pilot device for testing anatomical positioning, development of the final device at the Laboratory of Mechanical Design of School of Engineering of UFMG and validation of the final device comparing their data with the System Analysis of Movements (Qualisys) in the Laboratory Analysis of Human Movement of School's Physical Education, Physiotherapy and Occupational Therapy at the same university. In preliminary analysis, the pilot device developed in the first stage of this study will be detailed.*

Key-words: *Mechanical Device, Kinematic Ankle-Foot, Gait.*