
EQUIPAMENTO DE BAROPODIOMETRIA PARA TRATAMENTO FISIOTERÁPICO DE PÉ EQUINO USANDO BIOFEEDBACK

G. P. Resende*, G. B. Borba*, L. G. Gomes**, R. D. Scremim** e H. R. Gamba**

*Prog. de Pós-Grad. em Eng. Biomédica-PPGEB/UTFPR, Curitiba, Brasil

**Prog. de Pós-Grad. em Eng. Elétrica e Informática Industrial-CPGEI/UTFPR, Curitiba, Brasil

e-mail: guiresende@gmail.com

Abstract: This paper presents a baropodometry equipment used in rehabilitation of equines foot deformity, which is one of the most common motor system dysfunctions. The system was designed to attend the requirements of a new physiotherapeutic treatment for the pathology, based on biofeedback. The baropodometer system is composed of pressure sensors, a microcontrolled unit and software as an interface to the user. The sensors are positioned on a special insole into sandals, in order to transduce the pressures applied by the subject, especially on the heels. The microcontrolled unit captures those data and transmits through RF communication to an interface in a notebook. It has been tested in volunteers with positive results.

Palavras-chave: Biofeedback, baropodômetro, pé equino.

Introdução

O pé equino pode ser considerado uma das formas mais comuns entre as deformidades congênitas, com incidência de 1 em cada 1000 bebês nascidos vivos no mundo [1], sendo que de 10 a 13% dos casos estão associados à algum tipo de problema de ordem neurológica [2]. Esta deformidade também pode ter sua origem relacionada a lesões neurológicas decorrentes de traumas ou ainda por acidente vascular cerebral. Existem na literatura inúmeras formas de tratamentos, com ou sem intervenções cirúrgicas. Este trabalho apresenta um equipamento de baropodiometria para ser utilizado em uma abordagem de tratamento fisioterápico com base em *biofeedback* (como descrito em [3]), com o objetivo de evitar os procedimentos cirúrgicos, que em muitos casos podem ser ineficazes ou apresentar algum tipo de complicação [4].

O equipamento consiste em um par de sandálias com sensores de pressão no interior de suas palmilhas. Os dados provenientes dos sensores são condicionados, processados e enviados através de sinais de rádio para um *notebook* ou *tablet*, sendo então apresentados ao paciente em uma interface simples e de fácil interpretação. Assim, o equipamento proporciona um mecanismo de *biofeedback* para auxiliar o paciente na percepção da força exercida nos membros inferiores,

considerando que em muitos casos sua sensibilidade é também afetada pela patologia. Ressalta-se que o objetivo do presente trabalho é apresentar o equipamento desenvolvido e comprovar que o mesmo pode ser utilizado no método terapêutico por *biofeedback*, e não realizar uma extensa avaliação dos resultados clínicos.

Pé equino

Nos últimos 50 anos, vários métodos de treinamento motor para corrigir ou adaptar os movimentos irregulares resultantes de patologias neuromusculares foram formulados, a fim de facilitar a interação do indivíduo com o meio em que vive [5].

A espasticidade é a dificuldade mais encontrada nos pacientes neurológicos e é caracterizada pelo aumento do tônus muscular devido ao déficit funcional de tratos corticospinais, ou seja, de vias que conduzem sinais nervosos do sistema nervoso central [6].

Tal déficit neurológico pode desenvolver a falta de percepção da posição ou do movimento do corpo acometido. Esta situação é conhecida como heminegligência hemilateral. A negligência do lado afetado dificulta a precisão dos movimentos voluntários e dos movimentos padronizados, como p. ex., o movimento da marcha. Esta falta de padronização motora no movimento de marcha acarreta em uma postura de apoio na ponta dos pés, conhecida como pé equino espástico [7].

A tarefa motora realimentada visualmente ou auditivamente (realimentação sensorial) estimula o mecanismo de direcionamento cortical e subcortical para facilitar a atenção visual pré-atencional e processos autonômicos, facilitando a coordenação do alvo a ser atingido e o movimento voluntário. Tal coordenação melhora a eficácia sensorio-motora, permitindo a execução das tarefas do dia-a-dia [8].

A abordagem terapêutica sensorial ou a utilização de meios áudio-visuais podem facilitar a percepção da tomada de peso no membro negligenciado, estimulando a percepção da distribuição de peso entre os membros inferiores e a correção da postura [9].

Materiais e Métodos

Baropodômetro – A abordagem terapêutica através de *biofeedback* para o tratamento de pé equino proposta por [9] e considerada neste trabalho, depende do uso de um baropodômetro. Existem atualmente diversos equipamentos eletrônicos comerciais para a realização da análise baropodométrica, como o *FootWork*, da empresa Arquipelago ou o *Foot Scanner*, da Ortho Poauer. No entanto, tais equipamentos são bastante caros, o que poderia inviabilizar o acesso ao tratamento por uma grande parcela da população. O novo baropodômetro desenvolvido é específico para utilização em pacientes portadores da deformidade em pé equino, mais simples que os atuais e com uma quantidade de sensores de pressão limitada a três por palmilha, o que reduz consideravelmente o custo do equipamento final. Ainda, o novo equipamento permite ao paciente caminhar livremente durante a sessão de fisioterapia. Normalmente, os equipamentos comerciais consistem em uma plataforma fixa de sensores de pressão, impedindo a livre locomoção.

Uma primeira versão do baropodômetro foi desenvolvida por [10] (gerando, inclusive, uma patente nacional de invenção registrada no INPI sob o número PI1005009). O equipamento era composto basicamente por duas sandálias ligadas através de fios a uma central de processamento e uma interface constituída de leds e *displays* para informar a pressão exercida sobre os sensores. O novo baropodômetro desenvolvido apresenta vários benefícios com relação ao anterior, tais como: tamanho reduzido, baixo consumo de energia, sem fios e uma interface melhorada para o paciente.

A Figura 1 apresenta o protótipo da nova versão do baropodômetro, que consiste em um par de sandálias com três sensores de pressão no interior de cada palmilha, sendo um na região retropé com fundo de escala de 100 lb, para medir a pressão exercida pelo calcanhar, e outros dois sensores de 25 lb no antepé, para medir a pressão nas cabeças dos metatarsos. Os sensores utilizados são do tipo piezo-resistivos, da empresa FLEXIFORCE modelo A201.



Figura 1: Visão geral do baropodômetro.

Os sinais provenientes dos sensores são encaminhados para um circuito eletrônico responsável pelo condicionamento e linearização dos dados que em seguida são digitalizados e processados por um microcontrolador MSP430, da *Texas Instruments*.

A Figura 2 apresenta um fluxograma das principais tarefas realizadas pelo microcontrolador. Inicialmente ocorre a inicialização e configuração de todos os periféricos utilizados, começando pelos timers, seguido do módulo de conversão analógico-digital, que opera em modo sequencial, e por último ocorre a configuração do módulo de comunicação por radiofrequência. O módulo utilizado é o CC1101, da *Texas Instruments*, que possui a capacidade de enviar e receber sinais de rádio e os disponibiliza através de uma interface de comunicação digital do tipo SPI. Esse módulo opera na faixa de frequência de 915 MHz, com taxa de transmissão de dados de 250 kbps.

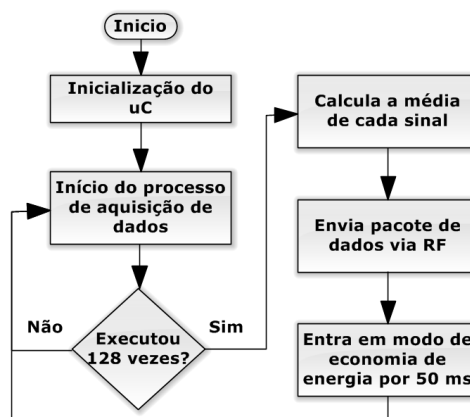


Figura 2: Fluxograma do *firmware* do baropodômetro

Após o processo de inicialização, é realizada uma sequência de amostragens dos três canais analógicos, que estão fisicamente ligados aos sensores. Este processo se repete por 128 vezes e seus valores são acumulados para o cálculo do valor de pressão média em cada sensor, para reduzir possíveis ruídos.

Em seguida, monta-se um pacote de dados para ser enviado através de sinais de rádio para um *notebook* ou *tablet* que receberá esses dados através de um receptor de rádio conectado a uma interface USB. O pacote de dados possui uma estrutura de dados contendo as seguintes informações: Byte de início de mensagem, tipo de pacote, identificação da palmilha de origem, destinatário do pacote, tamanho em bytes do restante do pacote, e os dados referentes aos três sensores de pressão, seguido do nível de bateria e por último um CRC, para validação do pacote.

Ao final do processo de envio do pacote de dados, tanto o módulo de rádio quanto o microcontrolador da palmilha entram em modo de baixo consumo de energia, para aumentar ao máximo a vida útil da bateria do equipamento. Este processo se repete a cada 50 milissegundos, oferecendo assim uma taxa de atualização para o paciente, na interface do software, de 20 quadros por segundo.

Interface – O software de visualização e armazenamento de dados opera juntamente com um par de palmilhas. Sua principal função é apresentar as informações de todos os sensores de pressão, presentes na palmilha esquerda e na direita, de forma simultânea, através de uma interface gráfica projetada para facilitar o entendimento pelos pacientes. A seguir são descritos os módulos funcionais do software.

O módulo de comunicação RF é responsável por estabelecer a comunicação sem fio entre o microcomputador e as palmilhas, e ainda gerenciar todo o tráfego de dados entre os dispositivos. Para converter os sinais de RF em dados seriais, foi utilizado um *transceiver* da *Texas Instruments* com interface USB.

O módulo de configurações permite a alteração das unidades de medida dos dados provenientes dos sensores, podendo ser mostrados em g/cm^2 , normalizados, ou ainda os valores diretos dos conversores analógico-digitais (*raw data*).

Mesmo em repouso, os sensores apresentam um nível de offset que deve ser considerado e compensado para que as medidas da pressão sejam corretas. Sempre que o software estabelecer comunicação com uma palmilha pela primeira vez, o nível de offset de todos os sensores é identificado. Este procedimento é repetido sempre que o software for reiniciado.

Na tela principal do software de interface com o usuário (Figura 3) são mostrados em formato de gráficos de barras os dados de todos os sensores, atualizados a cada 50 ms. A variação de pressão exercida sobre os sensores corresponde à variação das barras correspondentes na interface. A escala pode ser alterada em tempo de execução, de acordo com o peso de cada paciente. Existe ainda uma opção para o fisioterapeuta escolher, também em tempo de execução, os objetivos que o paciente deve alcançar para cada sensor, assim quando o valor configurado for atingido, sinalizações visuais e sonoras são emitidas ao paciente. À medida que o tratamento evolui, os objetivos são atualizados pelo fisioterapeuta, devido à melhora no quadro clínico obtida com os procedimentos.

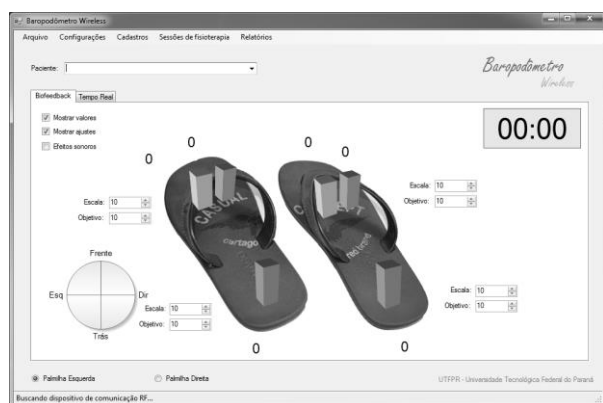


Figura 3: Tela principal do software de interface com o usuário.

Para o armazenamento de dados foi criado um banco de dados SQL 2010 com o cadastro de informações gerais sobre o paciente e o histórico de todas as sessões fisioterápicas de cada paciente. Assim, é possível verificar a evolução de cada caso ao final do tratamento.

Resultados

Foram realizados experimentos com 13 voluntários, convidados após aprovação do comitê de ética local; 4 voluntários saudáveis para os dados controle e 9 voluntários com diagnóstico de hemiparesia associada com pé equino espástico. Os voluntários (controle e sintomático) foram orientados, desde a primeira sessão, a realizarem um treinamento motor baseado em um protocolo de tratamento desenvolvido por [9]. O protocolo foi desenvolvido para estimular os reflexos de endireitamento postural através da tomada da pressão nos calcanhares, principalmente no calcanhar equino, utilizando a interface para facilitar a percepção da pressão no calcanhar equino.

Para ilustrar quantitativamente os resultados positivos obtidos, são mostrados nas Figuras 4 e 5 os dados registrados pelo baropodômetro para um experimento com um voluntário de 80 anos, sintomático – uma hemiparesia à direita. Os gráficos das Figura 4 e 5 apresentam os valores de pressão em g/cm^2 para aproximadamente 600 amostras coletadas em sequência, o que corresponde a 300 segundos. O sensor considerado é o localizado no retopé (calcanhar comprometido). A Figura 4 apresenta os resultados para a primeira sessão do treinamento motor e a Figura 5 para a décima sessão, respectivamente. Os picos de pressão e as pressões nulas na primeira sessão (Figura 4) apresentam um comportamento não periódico. Este comportamento não periódico (claramente irregular) das pressões aplicadas por um indivíduo hemiparético indicam deficiência no controle do equilíbrio. A deficiência é consequência da instabilidade muscular natural presente em indivíduos com alterações motoras (coordenação motora irregular). As pressões nulas indicam, ainda, que a aplicação da pressão pelo voluntário não foi eficaz. Na décima sessão (Figura 5), o comportamento das pressões aplicadas pelo mesmo voluntário é claramente mais regular, indicando maior regularidade na coordenação motora. Ainda, se não considerados os picos, observa-se que a pressão mantém-se relativamente estável na faixa de valores entre 500 e 1000 g/cm^2 . Esta maior estabilidade da pressão aplicada é desejada e resulta da realimentação visual fornecida ao voluntário pelo equipamento. Os picos de pressão nesta décima sessão indicam que as dificuldades do voluntário em manter e controlar o equilíbrio continuam presentes. Porém, é importante reforçar que, devido ao auxílio proporcionado pelo biofeedback, o voluntário é capaz de aplicar uma pressão relativamente estável e com isso estimular a percepção sobre o lado afetado.

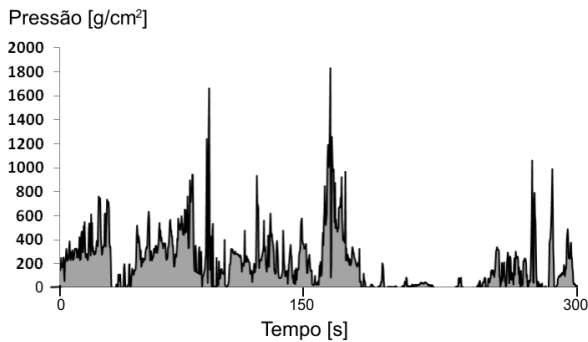


Figura 4: Amostras coletadas pelo baropodômetro durante a primeira sessão de fisioterapia de um dos voluntários.

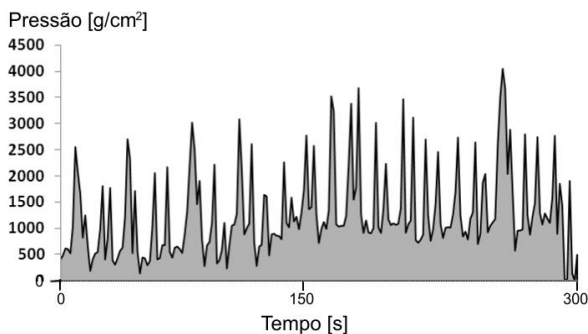


Figura 5: Amostras coletadas pelo baropodômetro durante a décima sessão de fisioterapia de um dos voluntários.

Discussão

O equipamento desenvolvido foi utilizado em condições reais durante um período de aproximadamente 6 meses em 13 voluntários. Neste período, sugestões dos voluntários e do fisioterapeuta foram coletadas e incorporadas ao equipamento. Por exemplo, segundo um dos voluntários, a existência de um marcador de tempo da sessão auxiliaria na diminuição da ansiedade gerada pelo desconhecimento, por parte do paciente, da duração da sessão. Então, incorporou-se à interface um *timer* para controlar e informar o tempo decorrido de cada sessão.

Verificou-se que, em poucas sessões, os voluntários já estavam adaptados ao método de *biofeedback* e aos componentes do equipamento, tais como o arranjo sandália-palmilha e a interface gráfica no *notebook*. A taxa de atualização de 50 ms da interface gráfica com os valores de pressão, segundo os usuários, é suficiente para ser percebida como contínua (tempo real). Ainda, todos apresentaram algum tipo de melhora em seu quadro postural. A melhora também foi relatada pelos familiares, que identificaram maior facilidade nas atividades cotidianas por parte dos voluntários.

Os resultados apresentados nas figuras 4 e 5 demonstram que a captura e a medida dos valores de pressão realizadas pelo equipamento, bem como a interface desenvolvida, são inteiramente adequados para a utilização com o método de tratamento por *biofeedback* proposto por [9]. É importante mencionar

que, para a utilização do equipamento com o método terapêutico proposto por [9], não é necessário que o equipamento apresente os valores de pressão com alta precisão e resolução.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar mais avaliações *in vivo*, substituir o módulo de rádio atual pela tecnologia de comunicação *bluetooth*, além de desenvolver um aplicativo na plataforma Android, permitindo assim utilizar-se como interface dispositivos móveis com este sistema operacional.

Referências

- [1] Gibbons, P.J., Gray, K. (2013), "Update on clubfoot" *Journal of Paediatrics and Child Health*, doi:10.1111/jpc.12167.
- [2] Lauson, S., Alvarez C., Patel, M.S., Langlois S. (2010), "Outcome of prenatally diagnosed isolated clubfoot" *Ultrasound Obstet. Gynecol.*, v. 30, p. 606-11
- [3] Gomes, L.G., (2011), *Avaliação do treinamento baropodometrico com biofeedback; estudo de caso em crianças com pé equino*, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, CPGEI/UTFPR, Curitiba.
- [4] Ponseti, I. (2005), "Introdução", In: *Pé torto: Tratamento pelo método de Ponseti*, Ed.: L. Staheli, Global-HELP, p. 4-5.
- [5] Umphred, D.A. (2001), *Neurological Rehabilitation 4th Edition*, Missouri: Elsevier Health Sciences.
- [6] Lamy, J., Wargon I., Mazevet D., Ghanim Z., Pradat-Diehl P., Katz R. (2009), "Impaired efficacy of spinal presynaptic mechanisms in spastic stroke patients" *Brain*, v. 132, p. 734-48.
- [7] Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessel T.M. (2003), *Princípios em neurociências. 4^a ed.*, São Paulo: Manole.
- [8] Schwartzs, M.S. (2000), *Biofeedback Practioner's Guide 2nd Edition*, New York: The Guilford press.
- [9] Peper, E., Robertson J.A. (1976), "Biofeedback use of common objects the bathroom scale in physical therapy", *Biof & self-regulation*, v. 1, p. 237-240.
- [10] Scremin, R.D., Gomes, L.G., Manczak, T., Schneider, F.K., Gamboa, H.R. (2011), "Aparelho de baropodometria para uso na reabilitação de alterações de marcha" In: *Anais do XVIII Congresso Argentino de Bioingeniería (SABI 2011)*, Mar del Plata, 28-30 set.