

Sensor piezoeléctrico para medição de forças plantares na prevenção de lesões no Pé Diabético

Maria Arcelina Marques, ISEP - Departamento de Física, Instituto Superior de Engenharia do Porto – Portugal, e-mail: arcelina@isep.ipp.pt

Mário A. Vaz, FEUP INEGI / Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e-mail: gnavaz@fe.up.pt

Rui Alberto Silva, ISEP - Departamento de Física, Instituto Superior de Engenharia do Porto – Portugal, e-mail: ras@isep.ipp.pt

Rui Paulo Ribeiro, FEUP-INEGI / Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e-mail: ruiribeiro@fe.up.pt

Introdução

Este trabalho pretende aliar a perspectiva tecnológica, como seja o desenvolvimento de um sensor, com um pequeno avanço na área da medicina, nomeadamente na prevenção do Pé Diabético. Embora tenha sido esta a aplicação enquadrada, não será no entanto, a única área de aplicação do sensor desenvolvido.

A constatação que a prevenção do Pé Diabético, nomeadamente na prevenção de lesões, progrediria bastante com informações mais objectivas quanto às forças que actuam no pé, foi o factor principal para o desenvolvimento deste estudo. No entanto, não se pode afirmar que este campo é completamente desprovido de tecnologia. Actualmente existem no mercado sistemas capazes de desenhar o mapa da planta do pé, fornecendo informação relativa às pressões plantares, através de minúsculos sensores de pressão (com diferentes princípios de funcionamento), bem como, plataformas de força, que fornecem informação sobre o vector força, sendo essa informação, ao contrário das palmilhas, uma informação média de toda a zona de contacto do pé, em cada instante.

O desenvolvimento de um sensor que permita a medição localizada das componentes horizontais da força entre o pé e o sapato, vem colmatar um vazio nesta área: a medição dinâmica das forças de corte. A integração no mesmo sensor da medição dinâmica e localizada das duas componentes do vector força, *intensidade e direcção*, será uma mais-valia para um melhor conhecimento das forças plantares. Este sensor encontra-se actualmente sob registo de patente.

Desenvolvimento do sensor

Tendo em conta os requisitos estabelecidos para as aplicações previstas, depois de uma pesquisa dos diversos princípios físicos que permitem a medição de forças, a escolha centrou-se em materiais piezoeléctricos, pelo maior número de vantagens que apresentaram. Após a escolha do princípio de funcionamento e a sua validação experimental, projectou-se um sensor¹ que medisse exclusivamente as forças de corte, isto é, as componentes horizontais da força do pé no sapato. No que respeita a componente vertical dessa força, ou seja, as pressões plantares, no decorrer deste trabalho teve uma relevância secundária,

principalmente devido, quer à simplicidade de implementação com pequenos sensores comerciais, quer pela facilidade com que se poderia integrar essa medição no sensor desenvolvido.

O sensor para as forças de corte foi caracterizado experimentalmente quanto à sua sensibilidade, resposta em frequência, dependência em temperatura bem como desacoplamento direccional. O sensor foi depois integrado numa base de sapato projectada para o efeito. Desta forma, implementou-se um protótipo laboratorial que foi usado para avaliar e adequar os parâmetros de controlo do sensor a situações reais de excitação com passos de marcha normal.

Resultados

O sensor desenvolvido apresentou boa linearidade na resposta para a gama de forças aplicadas (Figura 1). Os resultados e a avaliação do protótipo evidenciaram a necessidade de uma calibração dos sensores após colocação na palmilha. Essa metodologia de calibração poderá vir a ser diferente mediante a integração dos sensores na palmilha e mediante os materiais usados para a base.

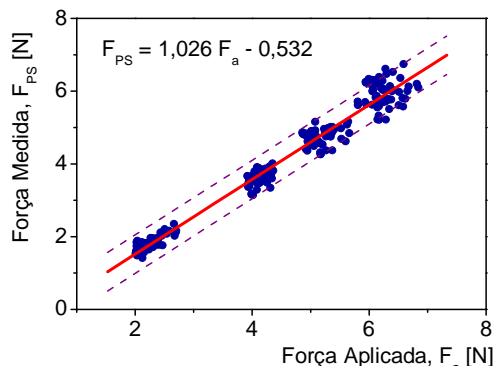


Figura 1: Representação da intensidade da força medida em função da força aplicada, a partir do conjunto de medidas dos vários ângulos, referente à roseta 3. Representação dos intervalos de confiança a 95%..

Após calibração, o sensor foi validado com um conjunto de ensaios de marcha, e comparados com os

perfis de marcha obtidos em simultâneo com uma plataforma de forças (Figura 2). O sensor foi colocado sob o 1º metatarso, uma vez que será uma das zonas plantares onde se verificam forças de corte elevadas, conducentes a maior probabilidade de ulceração.

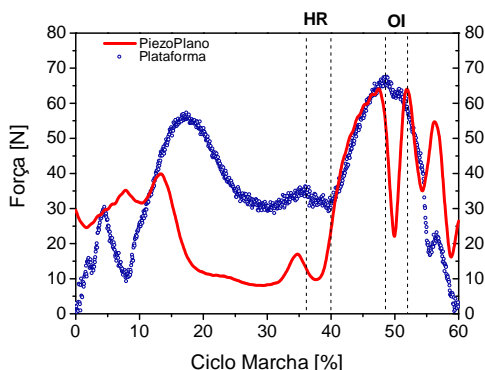


Figura 2: Representação de F_{plano} para os dois sistemas, tendo o PiezoPlano aplicado um factor de correcção constante e igual a 165,5.

Os resultados são bastante concordantes evidenciando, numa fase final do apoio de um pé, correspondente a 40% a 60% do ciclo de marcha, um aumento da componente de corte da força plantar com um máximo a ocorrer a cerca de 48% do ciclo de marcha. A direcção correspondente a este máximo é representada pelo ângulo de $\sim 60^\circ$ relativamente à direcção lateral. Está em fase de desenvolvimento um sistema minituarizado, com capacidade de transmissão de sinal sem fios, o que permitirá uma maior diversidade de informação, com o objectivo de estabelecer a dependência de vários parâmetros da marcha no estudo do Pé Diabético.

Conclusão

Com este trabalho provou-se a aplicação do princípio desenvolvido para a medição de forças de corte, bem como a sua aplicabilidade no sapato para medição das forças no pé. O vazio existente na distribuição das forças plantares fica desta forma preenchido com a possibilidade de medida das forças de corte, após miniaturização. Esta caracterização da força no plano, para a zona sob o metatarso 1, está de acordo com os resultados obtidos por Hosein *et al.* Com este sistema é possível determinar, além da força que o pé exerce sobre o sapato, as características da marcha, como sejam: o número de passos, a cadência, frequência e duração do ciclo de marcha. Permite também verificar se a marcha é estável ou muito variada. A velocidade poderá ser determinada registando o espaço percorrido. Este conjunto de informação sobre o perfil e comportamento da marcha, é particularmente importante na prevenção do Pé Diabético. Estes pacientes, tendo falta de sensibilidade nos membros inferiores, desenvolvem mais frequentemente úlceras em certas zonas plantares, por exercerem pressões e forças de corte elevadas, sem o mecanismo de controlo que é a dor. Um sistema sem fios permitirá ao paciente/clínico recolher informação para um conjunto diversificado de marchas, por períodos mais alargados

e em condições de ensaios de marcha não-condicionada.

Referências bibliográficas

- Hosein, R. and M. Lord (2000). "A study of in-shoe plantar shear in normals." *Clinical Biomechanics* **15**: 46-53.
- McPoil, T. G., M. W. Cornwall and W. Yamada (1991). "A comparison of two in-shoe plantar pressure measurement systems." *Clinical Biomechanics* **6**: 14-18.
- Morris, S. (2004). A Shoe-Integrated Sensor System for Wireless Gait Analysis and Real-Time Therapeutic Feedback. *Health Sciences and Technology*, Massachusetts Institute of Technology: 314.

ⁱ Este sensor tem um registo de patente pendente, com o pedido de patente portuguesa nº 104092.