

INSTRUMENTAÇÃO E ADAPTAÇÃO DE UM ESQUI ERGOMÉTRICO PARA A PRÁTICA DE ATIVIDADES FÍSICAS POR PESSOAS COM DEFICIÊNCIA MOTORA

A. F. Garcia Junior 1*, A. d. P. Lima Filho**, L. H. V. Felão*, T. P. de Castro** e A. A. Carvalho*

* Engenharia Elétrica/Unesp, Ilha Solteira, Brasil

** Engenharia Mecânica/Unesp, Ilha Solteira, Brasil

e-mail: aurasilgarcia@gmail.com

Resumo: O alívio da carga corporal nos membros inferiores para pessoas com deficiência motora, empregando um suporte parcial de peso corporal (SPPC), possibilita adaptar aparelhos ergométricos (esteira, elíptico, esqui ou bicicleta) para estimulação mecânica ou elétrica nos membros paralisados. Neste trabalho, um esqui ergométrico foi modificado e instrumentado para acomodar pessoas com paraplegia na posição ereta, auxiliadas por um SPPC. Quatro células de carga foram posicionadas para medir a distribuição de esforços do indivíduo na sustentação do seu peso no aparato. Um sistema de aquisição de dados foi projetado e construído. O software LabVIEW, utilizando o dispositivo NI USB-6009 da National Instruments, armazena os dados gerados. O esqui, impulsionado pelos membros superiores do voluntário, permitiu que os membros paralisados experimentassem deslocamento de 0,45 m, com uma frequência de 0,8 Hz, aproximadamente. Além do exercício físico prazeroso, o aparato pode ser usado para medir a resistência aeróbica, auxiliar no equilíbrio, analisar o restabelecimento de força muscular, desenvolver tanto a flexibilidade como a coordenação motora das articulações dos membros paralisados. A estimulação elétrica poderá ser usada neste equipamento e comparada com a mecânica. O exercício na posição ereta pode aumentar o rendimento metabólico nas pessoas com lesão medular.

Palavras-chave: Instrumentação, esqui ergométrico adaptado, suporte de peso corporal.

Abstract: *By relieving the body burden in the lower limbs of people with motor disabilities, using a partial body weight support (BWS), the adaptation of ergometric equipment (treadmill, elliptical, cycle or ski) for mechanical or electrical stimulation of paralyzed limbs is possible. In this work, an ergometric ski, aided by a BWS, was modified and instrumented to accommodate people with paraplegia in an upright position. Four load cells were added to measure the distribution of the subject's supported weight in the apparatus. A signal and data acquisition system was designed and built. LabVIEW software using the NI USB-6009 National Instruments stores the data generated at a frequency of 100 samples per second. This completed the instrumentation. The ski driven by the subject's upper limb movement allowed the paralyzed limbs to undergo displacement of approximately 0.45 m at a frequency of*

0.8 Hz. As well as the pleasant exercise, the apparatus can be used to measure aerobic endurance, aid in balance, possibly restore muscle strength, thereby developing both flexibility and motor coordination of paralyzed limbs. Electrical stimulation can be used on this machine and compared with the mechanical movement. The exercise in the upright position can improve metabolism in people with spinal cord injury.

Keywords: *Instrumentation, adapted skiing exercise, body weight support.*

Introdução

A engenharia biomédica tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento de dispositivos voltados a tecnologia assistiva, contribuindo com recursos que promovem a independência funcional e a inclusão social de indivíduos [1-3].

O número de brasileiros com deficiência visual, auditiva, motora e intelectual é da ordem de 61,4 milhões em um total de 190,7 milhões de pessoas, de acordo com o censo de 2010 [4]. Isto representa 32% da população brasileira, aproximadamente. Desse grupo, cerca de 13,2 milhões tem deficiência motora. A limitação da mobilidade dos membros do corpo humano, seja congênita ou adquirida, induz o sedentarismo o qual pode acelerar a descalcificação óssea (osteoporose) e, conseqüentemente, favorecer a fratura dos membros inferiores [5-9].

Na pessoa com paraplegia, a taxa de perda óssea tende a se estabilizar após o terceiro ano da lesão medular. Assim, as fraturas dos ossos das pernas se tornam comum e podem ocorrer até mesmo na transferência das pessoas com paraplegia para a cadeira de rodas. Por outro lado, fraturas nos membros superiores em pessoas com paraplegia são raras, provavelmente pela manutenção da densidade óssea promovida pelas atividades físicas nas cadeiras de rodas [5].

A prática de atividades físicas de pessoas com paraplegia, utilizando um suporte parcial de peso corporal (SPPC), juntamente com equipamentos ergométricos devidamente adaptados, pode contribuir para o incremento da densidade óssea e muscular desses pacientes. Da mesma forma, a rigidez nas articulações, a atrofia muscular e mesmo a obesidade podem ser revertidas, parcialmente, por meio da estimulação elétrica e ou mecânica [8].

O objetivo deste trabalho foi adaptar um esqui ergométrico e instrumentá-lo para a prática de atividades físicas em pessoas com paraplegia, empregando um suporte parcial de peso corporal. Neste aparato pode-se monitorar a intensidade das atividades físicas realizadas pelo paraplégico, pois exercitam os seguintes músculos: RetoFemural, Vasto Lateral, Vasto Medial, Vasto Intermediário, Semitendinoso, Semimembranoso, Bíceps Femural, Glúteo Máximo, Bíceps Braquial, Tríceps Braquial, Deltoide Posterior, Deltoide Anterior e Grande Dorsal [10].

Materiais e métodos

Equipamentos ergométricos para a prática de atividades físicas por pessoas com deficiência motora exigem adaptações específicas tanto na segurança como na ergonomia. Um esqui individual doado pela empresa PHYSICUS COMERCIO DE ARTIGOS ESPORTIVOS LTDA da cidade de Aurifluma-SP foi modificado e instrumentado com células de carga com o objetivo de acomodar de maneira segura e monitorar o nível das atividades físicas desenvolvidas por pessoas com paraplegia sustentadas por um suporte parcial de peso corporal (SPPC): talha elétrica (responsável pelo movimento vertical) fixada a um carro de translocação horizontal sustentado por uma viga em perfil “I”.

Modificações Estruturais

A modificação estrutural do esqui ergométrico foi realizado com o objetivo de fornecer estabilidade, ergonomia e segurança ao voluntário durante a execução dos exercícios físicos. Isso foi possível através da fixação de um assento com ajuste de altura, inclinação e posicionamento horizontal. Cinco pontos de apoio do esqui com os pés de borracha garantem o nivelamento e a estabilidade no piso.

A Figura 1 ilustra as modificações realizadas no equipamento ergométrico.

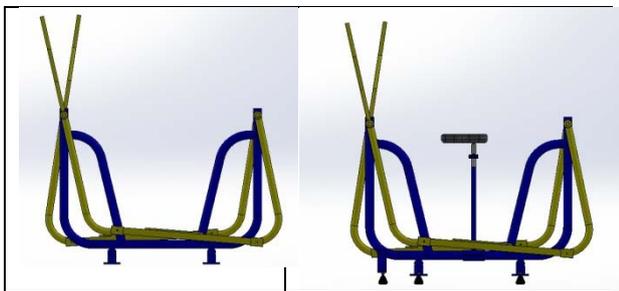


Figura 1: Modificações realizadas no esqui ergométrico. A esquerda apresenta o equipamento sem modificações e a direita ilustra o esqui ergométrico com assento e cinco pés niveladores de borracha.

Instrumentação

A instrumentação do esqui ergométrico foi

desenvolvida com o propósito de monitorar os níveis e intensidades das atividades físicas, como também evitar a sobrecarga dos membros acometidos de pessoas com paraplegia sustentadas por um colete ajustável em conjunto com o SPPC (capacidade de carga de 3 kN). Para tanto, foram utilizadas quatro células de carga: duas para o monitoramento da força de reação dos pés (capacidade de carga de 3 kN), uma para o assento (capacidade de carga de 3 kN) e uma para a carga sustentada pelo SPPC (capacidade de carga de 20 kN). A calibração das células de carga foi realizada combinando quatro pesos padrões com massas equivalentes a 3 kg, 5 kg, 10 kg e 20 kg.

Para o apoio e fixação dos pés, duas botas ortopédicas fixadas por velcro nas plataformas de força dispensa o uso de amarras ou cintas, além de facilitar no processo de acomodação do voluntário sobre o equipamento.

Para análise dinâmica dos movimentos dos pés sobre o esqui ergométrico, foi posicionado um anteparo de vidro quadriculado entre uma câmera digital Sony - 7,2 Mega Pixels de alta sensibilidade (ISO 1250) – Tela LCD de 2,4" e o ponto de apoio em uma das plataformas de força. Uma lâmpada Led de 3 volts foi fixada nesse ponto para servir como referencial. Dessa forma, dados relacionados à velocidade e deslocamento podem ser obtidos através da análise dos vídeos com auxílio dos quadriculados de 50 mm x 50 mm desenhados na superfície do vidro com dimensões de 1200 mm x 500 mm x 0,5 mm. A Figura 2 ilustra como o aparato é constituído.

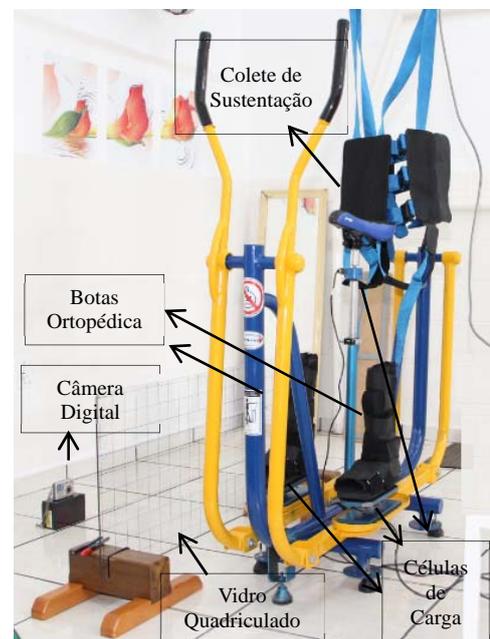


Figura 2: Instalação do esqui ergométrico em conjunto com o SPPC, colete de sustentação, células de carga, câmera filmadora, botas ortopédicas e anteparo quadriculado de vidro.

Sistema de Aquisição de Dados

Foi implementado um circuito de condicionamento de sinais composto por quatro canais, cada canal com um

amplificador de instrumentação. A obtenção dos dados foi baseada na plataforma LabVIEW utilizando o NI USB-6009 da *National Instruments*. Este sistema possibilita amplificar os sinais gerados e armazenar 100 amostras em um segundo. Os sensores de força foram calibrados através de pesos conhecidos como descrito anteriormente.

A aquisição dos sinais das células de carga pode ser dividida em estágios, conforme o diagrama em blocos ilustrado na Figura 3.



Figura 3: Diagrama de blocos do sistema de aquisição e condicionamento de sinais.

Com a força aplicada na estrutura mecânica, a célula de carga sofre uma micro deformação. Dessa forma, o extensômetro colado nessa estrutura tem o valor da resistência elétrica alterada de maneira proporcional a força aplicada. Através da montagem do circuito ponte de Wheatstone, essa pequena variação de resistência elétrica ocasiona uma variação de tensão, a qual pode ser amplificada. Utilizando o amplificador de instrumentação INA 129, da Texas Instruments, aplica-se um ganho de modo diferencial de 990 V/V. Tanto o circuito para amplificação do sinal como o de alimentação das células de carga são alimentados por duas baterias de nove volts, dispostas como fonte simétrica. Assim, a saída de tensão do amplificador varia de $(-8,1)$ até $(+8,1)$ volts. O sinal é amostrado e digitalizado pelo módulo de aquisição de dados NI USB-6009 e então, utilizando o software LabVIEW, implementou-se um filtro digital passa-baixas Butterworth de quarta ordem, com frequência de corte de 30 Hz. Após o filtro, o sinal é utilizado como entrada na equação de calibração. Por sua vez, o resultado é então disponibilizado para o usuário em forma gráfica em um *display* numérico, bem como armazenado em um arquivo do tipo “.txt” para posterior análise.

O grupo de pesquisa cadastrou o projeto na Plataforma Brasil (Certificado de Apresentação para Apreciação Ética-CAAE -15283613.0.0000.5402). O mesmo está em fase de Apreciação de Ética.

Resultados

Através de uma simulação de atividades físicas por uma pessoa hígida no esqui ergométrico adaptado, foi obtido uma amplitude aproximada de 0,45 m com uma frequência de 0,8 Hz durante os movimentos.

Os dados obtidos em um ensaio de calibração de células de carga são apresentados na Figura 4.

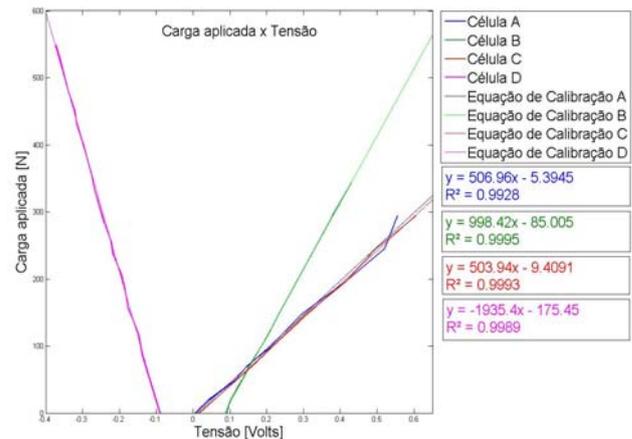


Figura 4: Curvas de calibração de quatro células de carga. Célula A, B, C e D posicionadas no pé direito, pé esquerdo, banco de sustentação e SPPC, respectivamente.

Discussão

O procedimento adotado para análise dinâmica dos movimentos possibilita apenas a obtenção dos dados referentes a frequência e amplitude dos movimentos. Em trabalhos futuros, a utilização de acelerômetros nos pontos móveis dos dispositivos ergométricos possibilitará a análise dos dados provenientes das células de carga de forma sincronizada com o respectivo posicionamento durante todo o ciclo do movimento.

Os dados referentes à calibração das células de carga revelaram linearidade entre a carga aplicada e a tensão elétrica obtida pelo *software LabVIEW*, para todos os 4 transdutores. O menor fator de correlação foi de 0,9928 para a célula de carga A. A somatória dos 4 sinais gerados pelos sensores se aproximaram do peso corporal total do voluntário, evidenciando uma coerência dos dados obtidos. Ressalta-se que, a célula de carga D, ao contrário das outras células utilizadas no experimento, foi calibrada para esforços de tração, uma vez que foi utilizada no SPPC, e por isso sua curva de calibração apresenta coeficiente angular negativo. Testes serão realizados com pessoas com deficiência motora e os resultados serão apresentados num trabalho futuro.

Conclusão

As plataformas de força desenvolvidas são facilmente acopladas em outros equipamentos ergométricos adaptados.

O processo de calibração dos sensores de força mostrou um comportamento linear para toda a faixa de carga de operação no equipamento.

O sistema de análise dinâmica dos movimentos sobre o esqui ergométrico permite identificar a amplitude e a frequência dos movimentos dos pés.

Agradecimentos

A Empresa PHYSICUS COMERCIO DE ARTIGOS ESPORTIVOS LTDA da cidade de Auriflamma-SP pela doação do Esqui Individual Standart. Ao Técnico do Laboratório de Máquinas Operatrizes (Diego de

Alcântara) do Departamento de Engenharia Mecânica. Ao Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Elétrica e a CAPES pela bolsa de mestrado. Sinceros agradecimentos aos Técnicos da APAE de Ilha Solteira onde o SPPC está instalado. Ao nosso amigo Nielsen Kann pela revisão do *Abstract*.

Referências

- [1] Garcia Junior AF, de Paula IA, Lima Filho AdP, de Carvalho AA. Elevador ortostático para treinamento da marcha e integração sensorial para pessoas com deficiência motora. *Revista Ciência Extensão*. 2013; v. p, n. 3, p. 199.
- [2] Lima Filho AdP, Bethke M, de Paula IA. Fabricação de carteiras para pessoas paraplégicas. In: Congresso Brasileiro em Engenharia Biomédica, 23, 2012, Porto de Galinhas. Engenharia biomédica para promoção da qualidade de vida e desenvolvimento social. Rio de Janeiro: SBEB, 2012. p. 2667-2671.
- [3] Lima Filho AdP. Mesa para portadores de necessidades motoras. Patente: BR 10 2013 012283.
- [4] IBGE, 2010. Características Gerais da População, religião e pessoas com deficiência. Censo demogr., Rio de Janeiro, p.1-215, 2010. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Caracteristicas_Gerais_Religiao_Deficiencia/caracteristicas_religiao_deficiencia.pdf/>. Acesso em: 20 maio 2014.
- [5] Vestergaard P, Krogh K. Fracture rates and risk factors for fractures in patients with spinal cord injury. *International Medical Society of Paraplegia*; 1998. p.790-796.
- [6] Lai CH, Chang HS, Chan WP, Peng CW, Shen LK, Chen JJ, Ching SC. Effects of functional electrical stimulation cycling exercise on bone mineral density loss in the early stages of spinal cord injury. *Journal of Rehabilitation Medicine*; 2010. p.150-154.
- [7] Bélanger M, Stein RB, Wheller GD, Gondon T, Leduc, B. Electrical Stimulation: Can It Increase Muscle Strength and Reverse Osteopenia in Spinal Cord Injured Individuals? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*; 2000. p.1090-1098.
- [8] Gama MCS, Fernandes LFRM, Benites EG, Rodrigues S, Teodori RM. Avaliação de um treinamento de marcha com carga parcial de peso. *Acta Ortopédica Brasileira*; 2008. p. 301-304.
- [9] Hamzaid NA, Pithon KR, Smith RM, Davis GM. Functional electrical stimulation elliptical stepping versus cycling in spinal cord-injured individuals. *Clinical Biomechanics*; 2012. p. 731-737.
- [10] Manual do Esqui Individual Standart. Physicus Comércio de Artigos Esportivos LTDA. Rodovia Feliciano Sales Cunha – SP - km 310. Auriflama – SP.