

## AVALIAÇÃO TÉRMICA E VIBRACIONAL DA FADIGA MUSCULAR DURANTE O USO DO CICLOERGÔMETRO: ESTUDO PILOTO

M. C. Gelain\*, E. L. Santos\*, E. Krueger\*, G. Nogueira-Neto\*\* e P. Nohama\*.

\*UTFPR, Curitiba, Brasil

\*\* PUC-PR, Curitiba, Brasil

e-mail: gelainfisio@gmail.com

**Resumo:** O ciclismo é um esporte reconhecido mundialmente e praticado com o intuito de competição, passeio, treinamento físico e tratamento terapêutico. Para pedalar, o ciclista utiliza a contração dinâmica, essencialmente o quadríceps. O objetivo deste estudo é analisar o comportamento do sinal mecanomiográfico (MMG) e da imagem termográfica (TG) do músculo reto femoral durante a pedalada no cicloergômetro. Trata-se de um estudo piloto, realizado no Laboratório de Termografia Médica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), com um indivíduo hígido do sexo feminino. O protocolo consistiu em aumento da carga com o passar do tempo. Os sinais foram avaliados em oito momentos distintos (M1-M8). Verificou-se o crescente aumento da intensidade pela MMG desde o início do teste, principalmente nos momentos M2 e M4 quando houve a troca de carga. A temperatura diminuiu cerca de 32° C (M1) para 29,5° C (M6) e se reestabeleceu no repouso muscular. A temperatura superficial durante a pedalada denota um comportamento inverso ao da energia medida por meio da MMG.

**Palavras-chave:** Cicloergômetro; Fadiga Muscular; Mecanomiografia e Termografia.

**Abstract:** *Cycling is a known worldwide sport, practiced with competition, tour, fitness and physical treatment purposes. During riding, the cyclist uses dynamic contraction with emphasis on the quadriceps muscle. The goal of this research is to analyze Mechanomyographic (MMG) and Thermographic (TG) responses on the rectus femoris muscle during the ride on the cycle ergometer. The pilot study was accomplished in the Medical Thermography at Federal Technological University of Paraná (UTFPR), with a 24 years old healthy and physically conditioned volunteer. The protocol consisted in increasing the load over time. The signals were evaluated along eight distinct moments (M1-M8). An increase in MMG intensity (mV) was observed since the test beginning, mainly on the moments M2 and M3 when load changes occurred. The temperature decreased approximately from 32 °C (M1) to 29,5 °C (M6) and reestablished itself on the muscle rest. This work points to an inverse trend between muscle temperature response and MMG energy during the ride.*

**Keywords:** *Cycle Ergometer; Muscle Fatigue; Mechanomyography and Thermography.*

### Introdução

O ciclismo é um esporte reconhecido mundialmente e praticado com o intuito de competição, passeio, treinamento físico e tratamento terapêutico [1]. Para pedalar, o ciclista utiliza a contração dinâmica com ênfase na musculatura do quadríceps [2-6]. Assim, durante o exercício, os músculos envolvidos exigem interação de diferentes aparelhos fisiológicos, como o osteomuscular e cardiopulmonar fornecendo a demanda de energia exigida durante os ciclos de contrações [7]. Com isso, o organismo do ciclista reage alterando a temperatura superficial pelo aumento de unidades motoras exigidas na contração, podendo chegar à fadiga.

A mecanomiografia (MMG) é uma técnica utilizada para o registro das oscilações dos músculos durante os eventos de contração e alongamento. As oscilações são geradas pelo abalo de fibras musculares que causam a propagação de ondas de pressão sobre os tecidos adjacentes. Essas ondas mecânicas são monitorizadas na superfície da pele na forma de vibrações [8]. Os sinais da MMG permitem estudar os tipos de fibra muscular, a frequência de ressonância do músculo, avaliar as propriedades contráteis [3, 9], força e a fadiga muscular [4].

A Termografia (TG) é um método de aquisição de imagem, não invasivo, inócuo, não ionizante, sem contraste que permite medir a temperatura emitida pela superfície do corpo [10], mostrando um mapeamento de distribuição de calor que pode ser associado com a função vasomotora e termorregulação [11]. A TG vem sendo útil para auxiliar no diagnóstico de lesões esportivas [12], doenças ortopédicas, miofasciais, ligamentosas, doenças inflamatórias [11-14], entre outras.

Diante deste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar o comportamento dos sinais mecanomiográficos e termográficos do músculo reto femoral durante a pedalada no cicloergômetro.

### Materiais e Métodos

Um indivíduo hígido, do sexo feminino, condicionado fisicamente foi recrutado, recebeu treinamento, familiarizado com o equipamento e os dados da pesquisa. O indivíduo foi preparado para o teste conforme os protocolos experimentais de termografia descritos pela *American Academy of Thermology - Neuro Musculoskeletal Thermography* [15]. O sensor de MMG foi fixado na pele por fita dupla face. O posicionamento do sensor seguiu as orientações descritas por Peroto [16], na face anterior da coxa, no terço médio do ventre muscular, entre a espinha ilíaca antero-superior e a base da patela.

Inicialmente, o cicloergômetro da marca Movement®, modelo LX130, com oito níveis de carga, potência de 400 W, foi ajustado aos membros inferiores próximo a extensão de joelho, conforme orientações dada por Zuniga e cols. [3]. Em seguida, o indivíduo permanecia em repouso por um minuto sentado na bicicleta, neste intervalo, adquiriu-se imagem termográfica. A Figura 1 ilustra como foi determinado o procedimento de aumento de carga durante o protocolo. Assim, M1 representa o momento do início do teste (0-5 s) com pedalada em carga 1, equivalente a 50 W; M2 representa o final dos segundos iniciais (50-55 s) com aumento para a carga 2, equivalente a 100 W; M3 mostra o início do primeiro minuto (60-65 s) ainda com carga 2; M4 é o final do segundo minuto com a carga 2 (170-175 s); M5 representa o início do terceiro minuto (180-185 s) e início da carga 3, que equivale a 150 W; M6 observa-se o final do quinto minuto (350-355 s), mantendo a carga 3 até o indivíduo parar de pedalar e; M7 e M8 mostra o início do sexto minuto (acima de 360 s), a fase de repouso muscular.

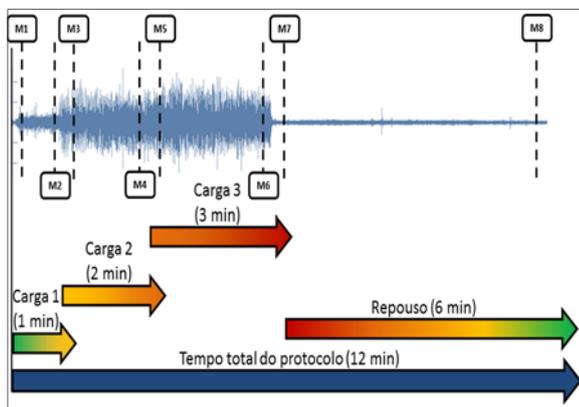


Figura 1: Protocolo. Carga 1: 50 W, Carga 2: 100 W, Carga 3: 150 W. Cada momento seleciona 5 s dos sinais.

O sensor de MMG foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia de Reabilitação da PUCPR em parceria com o Departamento de Engenharia Biomédica da UNICAMP [17]. O sensor consiste em um acelerômetro triaxial *Freescal* MMA7260Q MEMS (13x18 mm, 0,94 g) com sensibilidade igual a 800 mV/G em 1,5 G (sendo G a aceleração da gravidade (9,8 m/s<sup>2</sup>)). A amplificação por hardware do sensor foi de 2,2x. Um programa desenvolvido em plataforma LabVIEW®, no Laboratório de Engenharia de Reabilitação da PUCPR

foi codificado para a aquisição dos sinais [17]. O Sistema de aquisição continha uma placa de aquisição NI-USB 6221 da empresa National Instruments™ configurada com frequência de aquisição em 1 kHz. “Os arquivos gerados foram salvos na extensão “.edf” No processamento e análise dos dados utilizou-se o programa MatLab®. O filtro digital escolhido para o sinal de MMG foi *Butterworth* em terceira ordem com uma banda passante de 5-50 Hz. O sinal foi processado com a transformada *wavelet de Cauchy* (CaW) com doze bandas de frequências em 5 s de cada momento do protocolo com uma janela de análise de 1s.

A captura das imagens infravermelhas foi realizada com uma câmera termográfica modelo A320 da FLIR Systems Inc. O software *ThermaCam™ Researcher Pro 2.9* foi utilizado para aquisição e transferência das imagens para o computador.

## Resultados

As Figuras 2 e 3 mostram os momentos de M1 a M4 e M5 a M8, respectivamente. Na MMG, é possível visualizar de M1 a M4 o crescente aumento da energia, correspondendo a aproximadamente 10 mV para o pico máximo de 70 mV para a banda de frequência de 7 Hz nos instantes finais do segundo minuto quando há troca da carga 2 (100 W) para carga 3 (150 W). Chegando aos estágios finais do teste, pode-se visualizar em M5 a intensidade 50 mV na banda de frequência de 7 Hz. Em M6, atinge a fadiga muscular proporcionando o decréscimo da intensidade de 50 para 30 mV, assim com a banda de frequência de 7 Hz para 5 Hz.

Ao observar as imagens termográficas, nota-se o comportamento do fluxo sanguíneo, no momento M1 a temperatura na coxa esquerda na região do reto femoral varia entre 31 e 32 °C, no momento M2 e M3 há manutenção da mesma, e a partir do terceiro minuto existe um decréscimo da temperatura em M4, M5 e M6 entre 29 e 30° C. No repouso muscular (M8), após a fadiga, há um aumento do fluxo sanguíneo reestabelecendo a temperatura de aproximadamente 29,5° C para 32 °C.

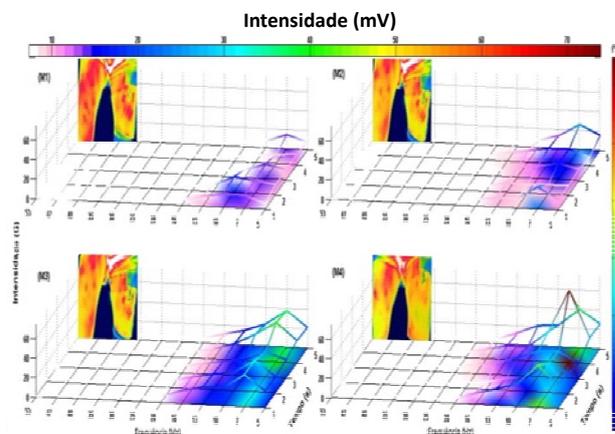


Figura 2: Imagens termográficas e registro da MMG no domínio *wavelet* durante o protocolo. A paleta de cores da MMG está distribuída com a cor vermelha escura como o valor de pico (~72 mV)

dentre todos os momentos. Valores abaixo de 7,2 mV estão representados na cor branca. A paleta de cores da termografia está limitada entre 26° C (cor azul) a 32,5° C (cor vermelha).

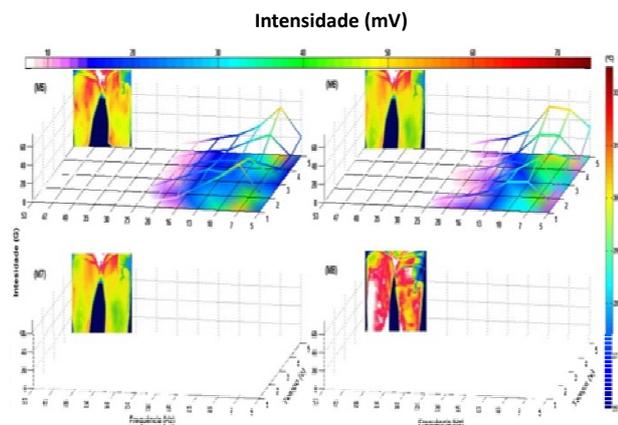


Figura 3: Imagens termográficas e registro da MMG no domínio *wavelet* durante o protocolo. A paleta de cores da MMG está distribuída com a cor vermelha escura como o valor de pico (~72 mV) dentre todos os momentos. Valores abaixo de 7,2 mV estão representados na cor branca. A paleta de cores da termografia está limitada entre 26° C (cor azul) a 32,5° C (cor vermelha).

## Discussão

O nível crescente de força detectado nos momentos de M1 a M6 apresentou em M1-M2 a faixa inicial da frequência variando aproximadamente de 5 a 13 Hz, a intensidade inicial entre 10 mV (M1) e 20 mV (M2) e a temperatura de 32 °C. Com a troca da carga, ocorreu ampliação da faixa de frequência de 5 Hz até 25 Hz (M3-M4), como também aumento da energia do sinal de MMG de 30 mV (M3) para 70 mV (M4) e a diminuição da temperatura por volta dos 30 °C. A carga intensa levou a musculatura à fadiga, verificando-se estabilização da faixa de frequência entre 5 e 25 Hz em M5 e o decréscimo de 5 a 20 Hz em M6, como também houve o retorno da intensidade para 30 mV (M5) e 50 mV (M6) pela adaptação musculoesquelética a nova carga imposta e a temperatura em cerca de 29,5 °C se reestabelecendo no repouso em 32 °C.

A temperatura superficial do quadríceps variou de 26 a 32,5 °C. Bartuzi e cols. (2012) [18], verificando a influência da temperatura sobre a fadiga muscular no bíceps braquial, a variação da temperatura ocorreu entre 29 e 35 °C; elevada de 30 °C, antes da contração, para 34 °C no repouso muscular. Esta diferença de temperatura entre os estudos ocorreu pela diferença da secção transversa e comprimento muscular; logo músculos menores, após a fadiga, concentram mais calor, uma vez que o metabolismo muscular influencia na temperatura. Bandeira e cols (2012) [12], medindo a variação térmica pré-treinos e pós-treinos musculares, encontraram até 2 °C de diferença acima da temperatura habitual do músculo do indivíduo, sendo um indicativo de inflamação muscular comprometendo a produção da força muscular.

A força exercida pelo quadríceps na fase de propulsão é o componente vital da pedalada. Na MMG,

o reto femoral apresenta intensa atividade muscular superficial ao comparar com o vasto lateral e o medial [9]. A força crescente representada pela amplitude do sinal na Figura 1 e pela intensidade (mV) nas Figuras 2 e 3, principalmente nos momentos M4, M5 e M6, também foi visualizada nos experimentos de Shinohara e cols. (1997) [2], constatando que o aumento da intensidade do sinal na MMG está relacionada ao aumento da carga e da força exercida para pedalar.

Madeleine e col. 2001 [19] correlacionaram a MMG com as contrações concêntrica, excêntrica e isométrica, mostrando a existência de variação na força muscular durante os movimentos e devido ao fenômeno da somação (estímulos neurais), há aumento no nível da força. Por consequência, o aumento da amplitude ocorre pelo recrutamento progressivo de unidades motoras adicionais, tanto em fibras lentas como rápidas [5].

A velocidade da pedalada ficou estabelecida entre 20 e 30 rpm, valores abaixo da frequência de 1 Hz que não foram selecionados no processamento do sinal da MMG por representarem a faixa de artefatos/ruídos nos sinais, devido aos efeitos proporcionados pelo movimento durante a contração dinâmica.

## Conclusão

O sinal da MMG alcançou o pico máximo no momento de preparação muscular para suportar a nova carga, gerando uma diminuição da intensidade devido a adaptação muscular e a manutenção da velocidade. Em relação à temperatura superficial, houve queda durante os momentos de maior exigência muscular e se reestabeleceu após a fadiga. Assim, a temperatura superficial durante a pedalada denota um comportamento inverso ao da energia medida indiretamente pela MMG.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro para a realização desta pesquisa.

## Referências

- [1] So, R. C., Ng, J. K.-F., and Ng, G. Y. (2005) "Muscle recruitment pattern in cycling: a review," *Physical Therapy in Sport*, v. 6, n. 2, p. 89-96.
- [2] Shinohara, M., Kouzaki, M., Yoshihisa, T., and Fukunaga, T. (1997) "Mechanomyography of the human quadriceps muscle during incremental cycle ergometry," *European journal of applied physiology and occupational physiology*, v. 76, n. 4, p. 314-319.
- [3] Zuniga, J. M., Housh, T. J., Camic, C. L., Russell Hendrix, C., Bergstrom, H. C., Schmidt, R. J., and Johnson, G. O. (2011) "The effects of skinfold thicknesses and innervation zone on the mechanomyographic signal during cycle

- ergometry," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, v. 21, n. 5, p. 789-794.
- [4] Ibitoye, M. O., Hamzaid, N. A., Zuniga, J. M., and Abdul Wahab, A. K. (2014) "Mechanomyography and muscle function assessment: A review of current state and prospects," *Clinical Biomechanics*, n.
- [5] Bergstrom, H. C., Housh, T. J., Zuniga, J. M., Traylor, D. A., Lewis Jr, R. W., Camic, C. L., Schmidt, R. J., and Johnson, G. O. (2013) "Mechanomyographic and metabolic responses during continuous cycle ergometry at critical power from the 3-min all-out test," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, v. 23, n. 2, p. 349-355.
- [6] Perry, S. R., Housh, T. J., Weir, J. P., Johnson, G. O., Bull, A. J., and Ebersole, K. T. (2001) "Mean power frequency and amplitude of the mechanomyographic and electromyographic signals during incremental cycle ergometry," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, v. 11, n. 4, p. 299-305.
- [7] Costa, D. C., "Teste ergoespirométrico máximo em cicloergômetro. Estudo da resposta dos parâmetros de transporte de oxigênio em relação à rampa de potência aplicada em pessoas saudáveis e coronariopatas," Universidade de São Paulo.
- [8] Nogueira-Neto, G. N., Kruger-Beck, E., Scheeren, E., Nohama, P., and Button, V., "Estimulação Elétrica Funcional Aplicada em Cadeia Aberta—Um Estudo de Caso com Monitoração Mecanomiográfica," in *V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba*, 2013, pp. 627-630.
- [9] Malek, M. H., Coburn, J. W., and Tedjasaputra, V. (2009) "Comparison of mechanomyographic amplitude and mean power frequency for the rectus femoris muscle: Cycle versus knee-extensor ergometry," *Journal of neuroscience methods*, v. 181, n. 1, p. 89-94.
- [10] Brioschi, M. L., Yeng, L. T., Pastor, E. M. H., and Teixeira, M. J. (2007) "Infrared imaging use in rheumatology," *Revista Brasileira de Reumatologia*, v. 47, n. 1, p. 42-51.
- [11] da Silva Freitas, P., Robinson, C. C., Barreto, R. P. G., Zaro, M. A., Da Rosa, L. H. T., and Silva, M. F. (2013) "Infrared thermography in adolescents with Osgood-Schlatter Disease," *ConScientiae Saúde*, v. 12, n. 4, p. 513-518.
- [12] Bandeira, F., Moura, M. A. M. d., Souza, M. A. d., Nohama, P., and Neves, E. B. (2012) "Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol?; Can thermography aid in the diagnosis of muscle injuries in soccer athletes?," *Rev. bras. med. esporte*, v. 18, n. 4, p. 246-251.
- [13] Rossi, C., Sehnem, E., and Rempel, C. (2013) "A termografia infravermelha na avaliação dos pontos-gatilho miofasciais em patologias do ombro," *ConScientiae Saúde*, v. 12, n. 2, p. 266-273.
- [14] Garcia, D. R. (2004) "Validação da termografia no diagnóstico de lesões por esforços repetitivos/distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho," n.
- [15] American Academy of Thermology, A., "Guidelines Neuro-Musculoskeletal Thermography," in *Site American Academy of Thermology*.  
vol. Disponível em <http://aathermology.org/organization/guidelines/>, acesso em 21/07/2014, 2014.
- [16] Perotto, A. and Delagi, E. F., *Anatomical guide for the electromyographer: the limbs and trunk*: Charles C Thomas Publisher, 2005.
- [17] Nogueira-Neto, G. N. (2013) "Viabilidade do emprego de mecanomiografia no controle motor artificial em lesados medulares empregando estimulação elétrica neuromuscular," n.
- [18] Bartuzi, P., Roman-Liu, D., and Wiśniewski, T. (2011) "The influence of fatigue on muscle temperature," *International journal of occupational safety and ergonomics: JOSE*, v. 18, n. 2, p. 233-243.
- [19] Madeleine, P., Bajaj, P., Sogaard, K., and Arendt-Nielsen, L. (2001) "Mechanomyography and electromyography force relationships during concentric, isometric and eccentric contractions," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, v. 11, n. 2, p. 113-121.