

# A mecanografia como técnica não-invasiva para o estudo da função muscular

Marco Aurélio Vaz, Ph.D.\*

Walter Herzog, Ph.D.\*\*

## Resumo

A mecanomiografia (MMG) é uma técnica não-invasiva que registra as vibrações ou sons produzidos pelo músculo esquelético ao se contrair. As primeiras observações da existência destas vibrações foi feita há mais de trezentos anos, mas limitações tecnológicas fizeram com que a MMG só recebesse atenção nas últimas décadas. A teoria mais aceita para explicar o mecanismo dessas vibrações é a de que elas são produzidas pela contração tetânica incompleta das unidades motoras. O sinal MMG fornece informações relativas aos padrões de ativação elétrica e ao comportamento mecânico do músculo. Essa técnica pode ser utilizada para estudar as propriedades mecânicas do sistema muscular, o controle motor, a fadiga muscular entre outras aplicações.

## Abstract

Mecanomyography (MMG) is a non-invasive technique that records the vibrations or sounds produced by skeletal muscle during contraction. The first observations of the existence of these vibrations/sounds occurred more than three hundred years ago, but due to technological limitations the MMG only received attention in the last few decades. The most accepted theory to the mechanism of these vibrations is that they are produced

by the unfused tetanic contraction of motor units. The MMG signal provides information related both to the activation patterns and to the mechanical behavior of skeletal muscle. This technique might be used to study the mechanical properties of the muscular system, motor control, muscle fatigue amongst other applications.

## INTRODUÇÃO

A mecanomiografia (MMG), ou vibromiografia (VMG), é uma técnica recente que registra as vibrações do músculo esquelético que ocorrem quando este se contrai. Além de apresentar características semelhantes às da eletromiografia (EMG) de superfície em termos de ser uma técnica não-invasiva e, de fornecer informações relativas aos padrões de ativação elétrica, a MMG tem a vantagem sobre a EMG de fornecer também informações relativas à produção de força no músculo. No entanto, por ser uma técnica relativamente nova, ela tem a desvantagem de não ter sido suficientemente estudada como foi a EMG, de forma que o número de trabalhos científicos produzidos na área é ainda relativamente pequeno.

O objetivo do presente trabalho, portanto, é o de difundir o conhecimento desta nova técnica junto à comunidade científica brasileira na esperança de que o assunto desperte a curiosidade dos profissionais da área da saúde e quem sabe a MMG possa ser utilizada em um futuro próximo como mais uma ferramenta no estudo da função muscular.

## BREVE HISTÓRICO SOBRE A MECANOMIOGRAFIA

Sempre que um músculo se contrai ele produz vibrações/sons. A observação de que o músculo esquelético produz vibrações/sons ao se contrair foi feita há mais de trezentos anos. No entanto, a MMG só começou a receber atenção por parte dos cientistas nas últimas três décadas. O principal motivo para esta grande lacuna no tempo deve-se ao fato de que a tecnologia necessária para detectar e processar os sinais MMG com eficácia não estava disponível.

O principal instrumento que poderia ter sido usado para detectar os sons musculares, o estetoscópio, tinha a limitação de eliminar a maior parte do sinal fisiológico devido à sua faixa de frequência (Oster e Jaffe, 1980). Somente recentemente, com a disponibilidade de sensores

eletrônicos e computadores que pudessem coletar, armazenar e processar numericamente grandes quantidades de sinais ou informações é que a mecanomiografia veio a ser utilizada para estudar a função muscular (Orizio, 1993).

O primeiro relato sobre a auscultação de sons musculares foi apresentado pelo monge italiano Grimaldi em 1665. Ao colocar os polegares nas orelhas de forma a cobrir o canal auditivo, os sons musculares foram percebidos como sons ruidosos quando o indivíduo fechava o punho com os cotovelos elevados. Esses ruídos (segundo Orizio, 1993 e Wollaston, 1810) foram interpretados por Grimaldi na época como representativos do movimento contínuo apressado dos espíritos.

O primeiro experimento na área da MMG foi realizado em 1810 por Wollaston, o qual comparou os sons por ele percebidos durante a contração muscular aos sons produzidos ao esfregar-se um pedaço arredondado de madeira (em velocidades diferentes) sobre diversos nós de igual tamanho cortados em uma tábua. Baseado no aumento ou diminuição do esforço voluntário com o qual a contração era executada, Wollaston foi capaz de determinar a faixa de frequência desses sons ruidosos, e descreveu os limites inferior e superior das frequências dos sons musculares como sendo de 14 e 36 Hz, respectivamente.

Usando um estetoscópio rudimentar, Wollaston (1810) também observou que músculos da perna produziam os mesmos sons ruidosos durante a contração que os observados para os músculos que atuam sobre o polegar. Além disso, ele comparou as frequências sonoras produzidas pela contração muscular da forma obtida no experimento de Grimaldi com aquelas de carruagens movendo-se sobre o paralelepípedo das ruas de Londres em diferentes velocidades. Ao saber as dimensões do paralelepípedo (i.e. a largura era de aproximadamente 0,1524 m) e ao assumir o número de vibrações como sendo de vinte e quatro em um segundo (isto é, um número médio dentro da faixa de frequência de 14-36 Hz), ele estimou a velocidade das carruagens (cujos sons lembravam os sons produzidos pela contração muscular) como sendo de 12,88 km/hora, a qual concordou com a verdadeira velocidade das carruagens. É extraordinário quão próximas foram as estimativas de Wollaston para a faixa de frequência quando comparadas com a faixa de frequência relatada hoje, apesar do fato de que computadores e transdutores de som não estavam disponíveis na época em que os experimentos foram conduzidos.

Herreoun e Yeo (1885) foram responsáveis pelo primeiro estudo a comparar os sons musculares produzidos por contrações voluntárias e por contrações induzidas por estimulação elétrica. Gordon e Houlbourn (1948) foram os primeiros a estudar os sons produzidos por unidades motoras do músculo orbicular dos olhos durante contrações voluntárias, e sugeriram que os sons observados estavam associados com aspectos mecânicos decorrentes da existência de potenciais de ação muscular.

A partir de 1976 os estudos se tornaram mais numerosos em função do avanço tecnológico que ocorreu a partir dessa época (e.g. Jorgensen e Lammert, 1976; Lammert et al., 1976; Oster and Jaffe, 1980; Brozovich e Pollack, 1983). Como não é objetivo deste trabalho realizar uma pesquisa histórica acerca do assunto, mas sim apenas apresentar um breve relato dos primeiros estudos realizados na área, sugere-se ao leitor que queira se aprofundar nesse assunto que se reporte ao trabalho de Vaz (1996), onde uma revisão mais aprofundada da literatura foi realizada.

#### EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA ÁREA DA MECANOMIOGRAFIA

Diversos equipamentos foram descritos na literatura como tendo sido utilizados em diferentes experimentos para detectar os sons/vibrações musculares. De acordo com o tipo de sensor utilizado para detectar as vibrações musculares, diferentes nomes têm sido propostos para descrever os sinais MMG.

Marchetti et al. (1974) e Maton et al. (1990) utilizaram o termo *fonomiografia*. Jorgensen e Lammert (1976) e Lammert et al. (1976) propuseram o termo *acelerometromiografia*. Barry et al. (1985) usaram a expressão *miografia acústica*, enquanto Orizio et al. (1989a e 1989b) introduziram o termo *sonomiografia* (ou miografia sonora).

Recentemente, dois termos foram sugeridos como sendo mais apropriados para descrever o sinal medido: *vibromiografia* (Keidel e Keidel, 1989; Barry et al., 1992) e *mecanomiografia* (Orizio, 1993). Em uma reunião dos pesquisadores da área realizada em dezembro de 1995, na Fundação CIBA em Londres, foi sugerida a utilização de apenas um termo para designar os sinais provenientes das vibrações musculares. Ficou acordado entre os pesquisadores que o termo mecanomiografia (MMG) seria utiliza-

do em função de o sinal medido representar o comportamento mecânico do músculo.

O uso de diferentes tipos de transdutores ou sensores (estetoscópio eletrônico, hidrofone, microfone de contato, acelerômetro), no entanto, é uma das limitações neste campo de pesquisa, visto que a comparação dos resultados dos diferentes estudos torna-se difícil devido às diferentes unidades de medida usadas para relatar os resultados, e em função das diferenças técnicas de medição que existem entre diferentes tipos de sensores. De todos os sensores utilizados, o acelerômetro têm sido recentemente mais utilizado em detrimento dos demais em função de suas unidades de medida serem expressas em unidades de aceleração (isto é, em  $m/s^2$ ), o que permite a comparação entre diferentes estudos.

A falta de uma teoria que explicasse o mecanismo fisiológico das vibrações musculares parece ter sido a razão para os diferentes nomes propostos e para os diferentes tipos de transdutores usados em diferentes estudos. Essa inexistência de uma teoria também parece ser a explicação para o fato de que a maioria dos estudos realizados na área foram descritivos.

#### TEORIAS SOBRE O MECANISMO DAS VIBRAÇÕES MUSCULARES

Uma vibração mecânica é o movimento de um corpo que oscila em torno de uma posição de equilíbrio (Beer e Johnson, 1987). Esse movimento ou oscilação é geralmente produzido por uma "função causadora", e depende das propriedades materiais do sistema. Quando esse movimento oscilatório atinge a superfície do sistema, áreas de alta e baixa pressão ocorrem devido ao deslocamento de moléculas do meio (ar, água) no qual o sistema está imerso (Bolton et al., 1989). Esse comportamento oscilatório das moléculas no meio em redor do sistema produz ondas sonoras (Serway e Faughn, 1985).

Quando um músculo se contrai, ele produz vibrações que se traduzem por oscilações da pele que recobrem esse músculo. Essas oscilações e os sons correspondentes podem ser detectadas por meio de acelerômetros colocados sobre a superfície da pele (Barry, 1992; Barry et al., 1992; Jorgensen e Lammert, 1976; Lammert et al., 1976; Zhang et al., 1992; Zwarts e Keidel, 1991) e por meio de microfones (de contato) afixados à pele (Barry, 1987, 1991; Barry e Cole, 1990; Barry e Gooch, 1986;

Barry et al., 1985; Bolton et al., 1989; Orizio, 1993; Oster e Jaffe, 1980), respectivamente.

Diversas hipóteses têm sido propostas para explicar os mecanismos responsáveis pela produção dos sons/vibrações musculares. Oster e Jaffe (1980) descreveram a frequência dominante dos sons musculares durante contrações voluntárias isométricas ou contrações isométricas produzidas por estimulação elétrica artificial como sendo de aproximadamente  $25 \pm 2.5$  Hz. Eles associaram as frequências sonoras obtidas com a velocidade ou o ritmo do ciclo das pontes cruzadas de um sarcômero (Teoria do Ciclo das Pontes Cruzadas; Vaz, 1996). No entanto, nenhuma evidência foi oferecida pelos autores ou na literatura para suportar esta hipótese.

O modelo de uma corda vibrante (Teoria da Corda Vibrante; Vaz, 1996) foi proposto para explicar a pressão de som gerada por um músculo isolado. Frangioni et al. (1987) mostraram que a percussão ou o toque de um músculo isolado produzia uma oscilação de pressão decadente na qual a primeira metade do ciclo era a maior, da mesma forma como se esperaria de uma corda tensa ao ser dedilhada. Apesar de o músculo apresentar algumas características semelhantes às de uma corda tensa (como a de estar fixo pelas duas extremidades), esse modelo não foi capaz de explicar a origem das vibrações musculares, por apresentar algumas limitações. Durante contrações voluntárias, os músculos interagem com diversas estruturas adjacentes (ossos, outros músculos, tecido conjuntivo) e não estão livres (ou isolados como no experimento de Frangioni et al., 1987) para vibrar como uma corda. Além disso, assumindo-se que o músculo produzisse vibrações de forma semelhante àquela de uma corda tensa, então um aumento da força produzida por um músculo deveria produzir um aumento na amplitude das vibrações musculares, o que não foi evidenciado nos resultados de trabalhos apresentados recentemente na literatura (Vaz, 1996; Vaz et al., 1997).

No entanto, a idéia de que o músculo pode apresentar alguns aspectos semelhantes ao de uma corda tensa permitiu a identificação de algumas características do comportamento dessas vibrações. Vaz et al. (1997), por exemplo, demonstraram que vibrações produzidas por meio de estimulação elétrica artificial apresentavam sua maior amplitude em comprimentos musculares intermediários. Quando o músculo era demasiadamente encurtado ou distendido as vibrações diminuam de tamanho. Tal comportamento é semelhante ao de uma corda de violão,

por exemplo, que, quando totalmente frouxa é incapaz de vibrar ou de produzir sons, e, quando muito esticada, produz sons de frequência mais alta e de pequena amplitude. Além disso, o estudo acima demonstrou que a frequência do sinal MMG é em parte determinada pelas características materiais do músculo e por seu comportamento mecânico.

Jorgensen e Lammert (1976) mostraram que o sinal vibratório de uma única unidade motora pode ser gravado durante contrações bastante fracas usando um acelerômetro, e sugeriu que o sinal vibratório estava intimamente relacionado com a contração de unidades motoras. Essa idéia foi posteriormente confirmada por Petitjean e Maton (1995) que demonstraram uma correspondência entre os potenciais de ação (medidos a partir da EMG) de unidades motoras individuais e o sinal mecanomiográfico produzido pela contração dessas unidades motoras.

Lammert et al. (1976) propuseram a existência de uma relação entre as estratégias de recrutamento de unidades motoras e o sinal MMG obtido durante diferentes níveis de esforço voluntário. As estratégias de ativação de unidades motoras (isto é, recrutamento e aumento de disparo das unidades motoras) foram estudadas por Orizio et al. (1993) e por Vaz et al. (1996) em preparações animais. Por meio de estimulação elétrica artificial, os dois estudos acima apresentaram fortes evidências da existência de uma relação íntima entre o sinal MMG e as flutuações de força produzidas pela contração tetânica incompleta de unidades motoras (Teoria da Contração Tetânica Incompleta de Unidades Motoras; Vaz, 1996). Mais especificamente, foi estabelecido, a partir desses estudos, que o aumento do número de unidades motoras ativadas (recrutamento) a baixas frequências de estimulação produz um aumento do sinal MMG, enquanto um aumento na frequência de estimulação das unidades motoras produz uma diminuição do sinal MMG. De todas as teorias apresentadas na literatura, esta última parece ser a mais aceita atualmente por ser talvez a mais fisiológica delas e em função das evidências apresentadas na literatura, as quais dão suporte à mesma.

#### A MECANOMIOGRAFIA NOS DIAS DE HOJE

Apesar de os primeiros relatos sobre as vibrações musculares serem relativamente antigos, o recente avanço tecnológico parece ter sido a principal "mola impul-

sionadora" do crescente número de estudos na área da MMG. No entanto, esse avanço tecnológico não foi suficiente, por si só, para possibilitar o avanço científico na área. A maioria dos trabalhos publicados nas últimas duas décadas foram puramente descritivos e exploratórios, sem a formulação de hipóteses testáveis. A recente definição de uma teoria que explique os mecanismos das vibrações musculares deverá possibilitar aos pesquisadores a realização de experimentos embasados em um referencial teórico e com hipóteses claramente delineadas.

Existe, no entanto, uma grande limitação nos experimentos até hoje realizados. Grande parte dos experimentos foi feita a partir ou de preparações de músculos isolados (*in-vitro*) ou de preparações de músculos intactos (*in-vivo*). Existe, pois, uma grande lacuna entre os resultados e as conclusões apresentados em estudos nos quais o músculo estudado se encontrava numa situação pouco fisiológica (mas onde o controle das variáveis era realizado facilmente) e os resultados e as conclusões apresentados em situações onde o sistema neuro-muscular estava intacto (e onde o controle de variáveis se torna muito difícil). A realização de estudos onde os músculos estudados permaneçam em seu lugar normal, confinados ao seu local de origem (*in situ*), numa situação fisiológica mais próxima da realidade de funcionamento do sistema neuro-muscular, mas onde ao mesmo tempo se possa controlar melhor as variáveis que interferem com a produção das vibrações musculares, permitirá uma proximidade maior entre a interpretação dos resultados de preparações de músculos isolados e de músculos intactos.

Um dos grandes desafios da área da MMG está, portanto, em realizar experimentos em que se possa controlar o maior número de variáveis possíveis, tais como a medição direta da força produzida individualmente por um músculo específico, o controle simultâneo do recrutamento de unidades motoras e da frequência de disparo das mesmas, e, ao mesmo tempo, produzir contrações o mais próximas possível de contrações voluntárias onde o recrutamento e a frequência de disparo das unidades motoras são determinados pelo sistema nervoso. O estudo das vibrações musculares produzidas dessa forma possibilitará uma compreensão maior acerca das influências das estratégias de recrutamento das unidades motoras por parte do sistema nervoso central na produção do sinal MMG. Além disso, permitirá que a MMG seja utilizada como uma importante técnica não-invasiva para o estudo simultâneo do comportamento mecânico do músculo e de seus padrões de ativação.

## O USO DA MECANOMIOGRAFIA

A MMG foi utilizada no passado para diferentes propósitos. Marchetti et al. (1974) usaram a MMG para monitorizar a atrofia muscular associada com a imobilização de uma ou mais articulações para o tratamento de fratura óssea. Vermarien e van Vollenhoven (1984) usaram um acelerômetro para estudar as vibrações cardíacas. O comportamento de diferentes tipos de fibras musculares foi estudado através da comparação de músculos com diferentes composições de tipos de fibras durante contrações produzidas por meio de estimulação elétrica artificial (Marchetti et al., 1992), e através da comparação do mesmo músculo de diferentes tipos de atletas (corredores de longa distância e de velocidade) durante contrações voluntárias máximas (Orizio e Veicsteinas, 1992). Barry et al. (1985) e Stokes e Dalton (1991) usaram a MMG para estudar a fadiga muscular, enquanto Barry et al. (1986) usaram essa técnica como um sinal de controle para uma prótese ativada externamente. Rhatigan et al. (1986) usou a MMG para estudar diferentes tipos de desordem muscular ao comparar indivíduos adultos saudáveis e não-saudáveis, enquanto Barry et al. (1990) a utilizou como uma ferramenta para o diagnóstico de doenças musculares pediátricas.

No entanto, a maior parte destes experimentos foi conduzida quando os mecanismos das vibrações musculares não estavam tão claros como hoje, e o benefício completo do uso da MMG como uma ferramenta não-invasiva para estudar a contração muscular ficou bastante prejudicado, visto que a interpretação dos resultados obtidos nesses estudos pode não ter sido realizada corretamente.

A superação dos desafios atualmente colocados para a área da MMG poderão permitir, num futuro próximo, que essa técnica seja utilizada como uma ferramenta básica para testar (e/ou avaliar) as propriedades mecânicas (força e rigidez musculares) do sistema muscular, assim como estudar o controle motor. Para as ciências aplicadas, a MMG pode ser utilizada como uma ferramenta não-invasiva adicional para monitorizar (1) fadiga, (2) o processo de recuperação do sistema neuromuscular de pacientes pós-traumatismo e pós-cirúrgicos, ou pacientes engajados em programas de reabilitação do sistema neuromuscular, (3) doenças neuromusculares, e (4) o aumento ou a melhora do condicionamento físico de atletas seguindo programas de treinamento específico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRY, D.T. Acoustic signals from frog skeletal muscle. *Biophys. J.*, v.51, p.769-773, 1987.
- . Muscle sounds from evoked twitches in the hand. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, v.72, p.573-575, 1991.
- . Vibrations and sounds from evoked muscle twitches. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, v.32, p.35-40, 1992.
- BARRY, D.T. e COLE, N.M. Muscle sounds are emitted at the resonant frequencies of skeletal muscle. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, v.37, p.525-531, 1990.
- BARRY, D.T., GEIRINGER, S.R. ; BALL, R.D. Acoustic myography: a noninvasive monitor of motor unit fatigue. *Muscle & Nerve*, v.8, p.189-194, 1985.
- BARRY, D.T. ; GOOCH, J. Evoked acoustic signals as a measure of contractile properties of muscles. *Muscle & Nerve*, v.9, p.651, 1986.
- BARRY, D.T.; GORDON, K.E. ; HINTON, G.G. Acoustic and surface EMG diagnosis of pediatric muscle disease. *Muscle & Nerve*, v. 13, p.286-290, 1990.
- BARRY, D.T.; HILL, T.; IM, D. Muscle Fatigue measured with evoked muscle vibrations. *Muscle & Nerve*, v. 15, p.303-309, 1992.
- BARRY, D.T.; LEONARD, J.A.; GITTER, A.J.; BALL, R.D. Acoustic myography as a control signal for an externally powered prosthesis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, v.67, p.267-269, 1986.
- BEER, ER; JOHNSTON, E.R. Mechanical Vibrations. In: *Mechanics for Engineers*. McGraw-Hill Book Company, Toronto, 1987, p. 838-888.
- BOLTON, C.F.; PARKES, A.; THOMPSON, T.R.; CLARK, M.R.; STERNE, C.J. Recording sound from human skeletal muscle: technical and physiological aspects. *Muscle & Nerve*, v. 12, p.126-134, 1989.
- BROZOVICH, F.V.; POLLACK, G.H. Muscle contraction generates discrete sound bursts. *Biophys. J.*, v.41, p.35-40, 1983.
- FRANGIONI, J.V.; KWAN-Gett, T.S.; DOBRUNZ, L.E.; MCMAHON, T.A. The mechanism of low-frequency sound production in muscle. *Biophys. J.*, v.51, p.775-783, 1987.
- GORDON, G.; HOLBOURN, A.H.S. The sounds from single motor units in a contracting muscle. *J. Physiol.*, v. 107, p.456-464, 1948.
- GRIMALDI, F.M. *Physicotnathesis de Lumine*. Bologna: Autor, 1665.
- HERREOUN, E.F.; Yeo, G.F. Note on the sound accompanying the single contraction of skeletal muscle. *J. Physiol. Lond.*, v.6, p.287-292, 1885.

- MARCHETTI, M.; SALLEO, A.; FIGURA, F.; DEL GÁUDIO, V. *Electromyographic and phonomyographic patterns in muscle atrophy in man. In Biomechanics IV. Baltimore: University Park Press, 1974, p. 388-393.*
- MATON, B.; PETIJEAN, M.; CNOCKAERT, J.C. *Phonomyogram and electromyogram relationships with isometric force reinvestigated in man. Eur. J. Appl. Physiol., v.60, p.194-201, 1990.*
- ORIZIO, C. *Muscle sound: bases for the introduction of a mechanomyographic signal in muscle studies. Cr/r. Rev. Biomed. £«£., v.21, p.201-243, 1993.*
- ORIZIO, C.; PERINI, R.; VEICSTEINAS, A. *Changes of muscular sound during sustained isometric contraction up to exhaustion. J. Appl. Physiol., v.66, p.1593-1598, 1989a.*
- \_. *Muscular sound and force relationship during isometric contraction in man. Eur. J. Appl. Physiol., v.58, p.528-533, 1989b.*
- ORIZIO, C.; SOLOMONOW, M.; BARATTA, R.; VEICSTEINAS, A. *Influence of motor units recruitment and firing rate on the soundmyogram and EMG characteristics in cat gastrocnemius. Electromyogr. Kinesiol., v.2, p.232-24, 1993.*
- ORIZIO, C.; VEICSTEINAS, A. *Soundmyogram analysis during sustained maximal voluntary contraction in sprinters and long distancerunners. nr. / Spor. Med., v. 13, p.595-599, 1992.*
- OSTER, G.; JAFFE, J.S. *Low frequency sounds from sustained contraction of human skeletal muscle. Biophys. J., v.30, p.119-129, 1980.*
- PETIJEAN, M.; MATON, B. *Phonomyogram from single motor units during voluntary isometric contraction. Eur. J. Appl. Physiol., v.71, p.215-222, 1995.*
- RHATIGAN, B.A.; MYLREA, K.C.; LONSDALE, E.; STERN, L.Z. *Investigation of sounds produced by healthy and diseased human muscular contraction. IEEE Trans. Biomed. £n£., BME-v33, p.967-971, 1986.*
- SERWAY, R.A.; FAUGHN, J.S. *Sound. In: College Physics. Toronto: Saunders College Publishing, 1985, p. 339-369.*
- STOKES, M.J. e DALTON, RA. *Acoustic myography for investigating human skeletal muscle fatigue. J. Appl. Physiol., v.71, p.1422-1426, 1991.*
- VAZ, M.A. *Mechanism of Muscle Vibrations During Stimulated and Voluntary Isometric Contractions of Mammalian Skeletal Muscle (Ph.D. Dissertation). Calgary: The University of Calgary, 1996.*
- VAZ, M.A.; HERZOG, W.; ZHANG, Y.T.; LEONARD, T.R.; NGUYEN, H. *Mechanism of electrically elicited muscle vibrations in the in-situ cat soleus muscle. Muscle & Nerve, v.19, p.774-776, 1996.*
- \_. *The effect of muscle length on electrically elicited muscle vibrations in the in-situ cat soleus muscle. J. Electromyogr. Kinesiol., v.7, p. 113-121. 1997.*
- VERMARIEN, H.; VAN VOLLENHOVEN, E. *The recording of heart vibrations: a problem of vibration measurement on soft tissue. Med. & Biol. Eng. & Comput., v.22, p. 168-178, 1984.*
- WOLLASTON, W.H. *On the duration of muscle action. Philos. Trans. R. Soc., p. 1-5, 1810.*
- ZHANG, Y.T.; FRANK, C.B.; RANGAYYAN, R.M.; BELL, G.D. *A comparative study of simultaneous vibromyography and electromyography with active human quadriceps. IEEE Trans. Biomed. Eng., v.39, p.1045-1052, 1992.*
- ZWARTS, M.J.; KEIDEL, M. *Relationship between electrical and vibratory output of muscle during voluntary contraction and fatigue. Muscle & Nerve, v.14, p.756-761, 1991.*

#### UNITERMOS

Vibrações Musculares - Mecanomiografia - Vibromiografia - Sons Musculares.

\***Marco Aurélio Vaz** é Professor Adjunto I da Escola de Educação Física da UFRGS e Doutor (Ph.D.) em Cinesiologia pela Universidade de Calgary, Canada.

\*\***Walter Herzog** é Professor Titular da Faculdade de Cinesiologia da Universidade de Calgary, Canadá, e Doutor (Ph.D.) em Biomecânica pela Universidade de Iowa, USA.

**Agradecimentos:** Este trabalho foi desenvolvido com o apoio da CAPES e do NSERC (Canadá).