IV CSBCE
IV CONGRESSO SULBRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO ESPORTE
Faxinal do Céu - PR
19, 20 e 21 de setembro de 2008
CIÊNCIA e EXPERIÊNCIA: Aproximações e Distanciamentos

UMA APLICAÇÃO DO MODELO: O CUSTO EMG DE CARREGADORES NEPALESES NO HIMALAIA

Clarissa Schuch
Formada em Fisioterapia pela UNIPAR
Aperfeiçoamento no Conceito Neuroevolutivo Bobath
Especialista em Cinesiologia pela UFRGS.

Natalia Gomeñuka
Graduada em Educação Física-UFRGS

RESUMO
A locomoção humana é resultado de uma ação composta por movimentos integrados e complexos dos segmentos corporais, contudo caracteriza-se por ser um modelo capaz de minimizar o dispêndio energético através do pêndulo invertido. Diversos estudos investigam sobre o trabalho mecânico da caminhada em diferentes condições de inclinação, de carga e velocidade. Desta forma, o objetivo do estudo foi comparar caminhada entre os carregadores nepaleses e os caucasianos com carga e inclinações e apresentar uma abordagem experimental do custo EMG.

ABSTRACT
The human locomotion is the result of complex and integrated movements of body segments, however it is a model capable of minimizing the energy expend through the inverted pendulum. Several studies investigate the mechanical work of walking in different gradient, load and speed conditions. Therefore the objective of the study was to compare walking between the Nepaleses and Caucasians with load and gradients and to present an experimental approach of the EMG cost.

INTRODUÇÃO

Os componentes mecânicos da locomoção humana e animal têm sido extensivamente estudados em diferentes situações: velocidade (CAVAGNA et al., 1963, 1964), gravidade (KRAM et al., 1997; CAVAGNA et al., 2000, 1998; CAVAGNA et al., 2005), planos inclinados (MINETTI et al., 1993, 1994).

Em inclinações o trabalho mecânico durante a locomoção foi estudado na caminhada (MINETTI et al., 1993) e na corrida (MINETTI et al., 1994) encontrando valores de maior eficiência mecânica entre 10 e 15% de inclinação negativa (declive). No entanto, o modelo do pêndulo invertido não se sustenta para situações de inclinações extremas. Deste modo, a

reconversão de energia parece não atuar na determinação da velocidade ótima de caminhada nestas situações.

A alta especialização da locomoção suportando cargas em regiões inóspitas da terra indica um desafio para o entendimento dos fundamentos da mecânica e energética da locomoção humana (MALOIY et al., 1986; BASTIEN et al., 2005).

Durante a locomoção em inclinações foi observado que há ausência de trabalho mecânico negativo em inclinações positivas, e de trabalho positivo em inclinações negativas (após 15% de inclinação na caminhada), independente da velocidade. Portanto o modelo do custo de geração de trabalho como determinante do custo energético da locomoção não se aplica nestas situações, perdendo sua amplitude como Teoria geral para a energética e mecânica da caminhada (MINETTI et al, 1993 e 1994).

Tendo em consideração que durante situações de locomoção de pouca eficiência mecânica, como na situação de velocidades mais baixas que a velocidade ótima e durante inclinações extremas, são geradas situações de instabilidade de locomoção e provavelmente maiores co-contrações musculares principalmente os posturais com uma contribuição importante para o alto custo relativo da locomoção.

Portanto, o objetivo deste estudo é comparar caminhada entre os carregadores nepaleses e os caucasianos com carga e inclinações e apresentar uma abordagem experimental do custo EMG.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cinco carregadores Nepaleses (idade: 23 ± 9 anos; estatura: 1,63 ± 0,03 m; massa corporal: 54,6 ± 6,2 kg) e cinco montanhistas Caucasianos (idade: 32 ± 3 anos; estatura: 1,76 ± 0,07 m; massa corporal: 74,2 ± 6,7 kg), selecionados voluntariamente, realizaram o experimento em Namche-Bazar, no Parque Nacional de Sagarmãthã (Everest). O experimento consistia de caminhada sem e com carga (40 kg) em situação de subida e descida, com uma inclinação média de 22 %. Os Nepaleses utilizavam a usual faixa na testa ligada com a cesta nas costas onde suportavam o peso, enquanto que os Caucasianos usavam mochilas de alpinismo. O trecho foi escolhido para assegurar que as trocas de energia fossem principalmente devidas às mudanças de energia potencial, sem a possibilidade de transferência entre energia potencial e cinética dentro de uma passada (MINETTI et al., 2006). Antes de começar, eram realizadas medidas de dobras cutâneas nas regiões de colocação de eletrodos.

O *set-up* experimental incluiu um eletromiógrafo portátil (PocketEmg, BTS, Milão, Itália), um analisador de gases portátil ($K4b^2$, Cosmed, Roma, Itália), um GPS (GPSmAP76CS) e lactímetro (Accutrend, Roche Diagnostic, Basel, Suíça). Foi analisada a atividade EMG de 14 músculos (*erector spinae longissimus, erector spinae iliocostalis, trapezius descendens, latissimus dorsis, obliquus externus abdominis, obliquus internus abdominis, rectus abdominis, deltoideus anterior, trapezius ascendens, gluteus maximus, gluteus medius, biceps femuralis caput longus, vastus lateralis e gastrocnemius lateralis*). Na preparação do local e colocação dos eletrodos de superfície bipolares foram seguidas as orientações da Seniam (FRERIKS et al., 1991). Simultaneamente ao registro EMG, sinais advindos de seis sensores de pressão (*footswitches*), três em cada pé (região do calcanhar, primeiro e quinto metatarso inferior) eram registrados no eletromiográfo portátil. Os sinais EMG's foram pré-amplificados com razão de rejeição maior de 95 dB e um nível de ruído

menor do que 1 μV rms e filtrados por um filtro do tipo Butterworth (50-450 Hz, terceira ordem). A freqüência de amostragem da EMG e dos sensores de pressão foi de 1000 Hz.

O custo metabólico foi calculado por um procedimento anterior (MINETTI et al., 2006). O sinal EMG foi retificado e integrado e os valores médios da atividade EMG de todo o trecho foram subtraídos pelos respectivos valores da situação em repouso (*idem* ao consumo de O_2) e, divididos pela velocidade média ($\overline{Vf}$). A potência EMG geral foi obtida a partir do somatório dos quatorze músculos, ponderado pelos respectivos volumes musculares (YAMAGUCHI et al., 1991) e dobra cutânea respectiva. Determinou-se o Custo EMG, através do procedimento experimental.

Para fins de comparação das $\overline{Vf}$'s de locomoção, usamos o Fr (número de Froude) baseado na teoria das similaridades dinâmicas para normalizar a $\overline{Vf}$. No caso presente, ao invés de utilizar o comprimento de membro inferior, utilizamos a estatura, da seguinte forma:

$$Fr = \frac{\overline{Vf}^{\,2}}{g\ estatura}.$$

Tendo em consideração que a estatura média dos Caucasianos é maior (0,13 m) e que as $\overline{Vf}$'s de subida e descida dos Caucasianos com carga foram 35 e 17 % menores do que as dos Nepaleses, deste modo, os Fr's dos Caucasianos, para os mesmos trechos, foram 40 e 24 % menores do que dos Nepaleses.

Os procedimentos para análise dos dados de posição e $\overline{Vf}$ oriundos do GPS são os mesmos de MINETTI et al., 2006. A potência mecânica vertical (PMV) foi calculada como segue:

$$PMV = \frac{\Delta h\, m_{tot}\, g}{\Delta t}$$

onde Δh é variação de altura, m_{tot} é a massa total (massa corporal + carga), *g* é aceleração gravitacional e Δt é o tempo de locomoção.

Uns programas computacionais (Labview versão 7.1, National Instruments, Austin, USA) foram construídos para o processamento dos dados EMG, GPS e parâmetros espaços-temporais e também foram utilizados Testes-t de *student* para amostras independentes para comparar os parâmetros espaços-temporais entre Nepaleses e Caucasianos (SPSS para Windows versão 14, USA).

ABORDAGEM EXPERIMENTAL

Usando o sinal suavizado, sem a normalização, foi realizada uma integral em função do tempo do seguinte modo:

$$Iemg(t) = \int_0^t EMG\, dt \quad .$$

Este valor integrado é dividido pelo CP, determinando a quantidade de atividade EMG em função da distância e será considerado como um custo mínimo EMG. Os valores de custo EMG são ponderados em função do volume muscular (WINTERS e WOO, 1990) e da dobra cutânea (NORDANDER et al., 2003), do seguinte modo:

$$EmgCost_{\exp}(mV/m) = \left(\frac{Iemg_1}{\frac{Mass_1}{Mass_{total}} \cdot \frac{Sk\inf_1}{Sk\inf_{total}}} + \frac{Iemg_2}{\frac{Mass_2}{Mass_{total}} \cdot \frac{Sk\inf_2}{Sk\inf_{total}}} + \ldots \frac{Iemg_{16}}{\frac{Mass_{16}}{Mass_{total}} \cdot \frac{Sk\inf_{16}}{Sk\inf_{total}}} \right) \cdot \mathrm{CP}^{-1}$$

onde $EmgCost_{\exp}$ é o custo mínimo EMG experimental, $Mass$ é a massa dos músculos analisados e $Mass_{total}$ é o somatório de todas as massas musculares analisadas. $Sk\inf$ é a dobra cutânea de cada região de colocação dos eletrodos e, $Sk\inf_{total}$ é o somatório de todas as dobras cutâneas analisadas, e para compreender melhor as determinantes da velocidade ótima nas inclinações, dividiu-se a $Iemg$ em três áreas, (a) fase de contato, (b) fase aérea e (c) offset (figura 1).

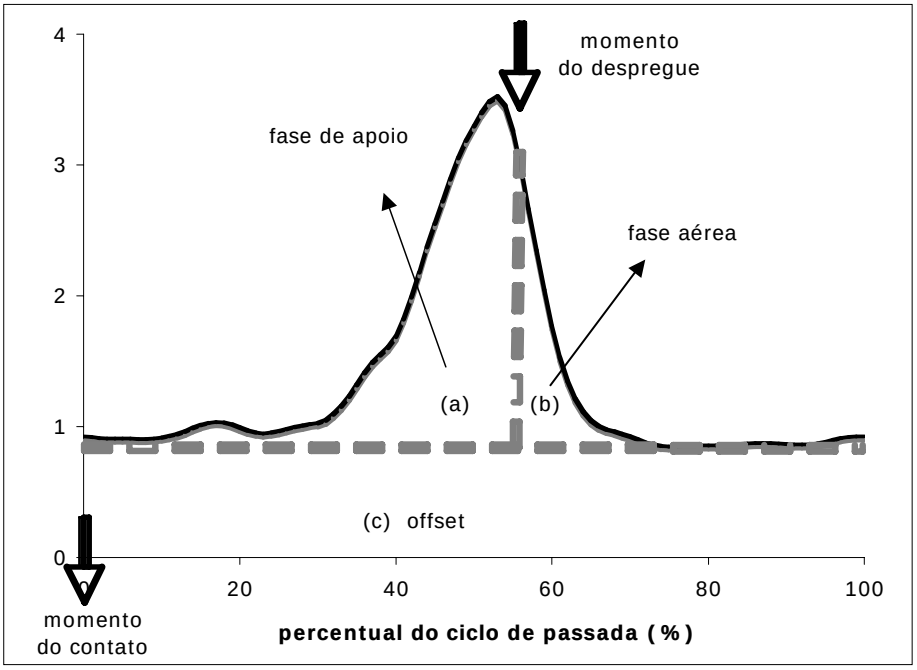

Figura 1 Sinal EMG 'experimental' filtrado, retificado e suavizado, dividido em três áreas pelas linhas cinzas: (a) fase de apoio, (b) fase aérea e (c) offset**.**

RESULTADOS

VARIÁVEIS ESPAÇOS-TEMPORAIS

O Fr dos Nepaleses foi maior do que dos Caucasianos em situação com carga (p<0,01), mas sem carga, as diferenças diminuem acentuadamente (4 e 23 % maiores, sem e com carga, respectivamente, p>0,05). O CP e FP dos Nepaleses foram maiores na subida com carga, mas durante a descida com carga, apesar da $\overline{Vf}$ maior, apenas o CP foi maior nos Nepaleses e a FP foi similar (p>0,05).

PARÂMETROS ENERGÉTICOS

A atividade EMG por unidade de tempo foi similar entre Nepaleses e Caucasianos. Contudo, a ativação EMG total, ou por unidade de distância ("custo" EMG da locomoção) foi maior nos Caucasianos na situação com carga especialmente na fase de subida (ver a inclinação das retas na figura 2).

A atividade EMG também foi analisada no domínio da freqüência para testar uma possível diminuição nos parâmetros de mediana, média e pico da freqüência que pudessem explicar, via fadiga neuromuscular (KNAFLITZ e BONATO, 1999), o efeito da carga no aumento da ativação EMG por distância percorrida nos Caucasianos (inclinações das retas na figura 2).

Utilizou-se a transformada rápida de Fourier com janelamento de 10 segundos, analisando o centro dos *bursts* de 512 pontos determinados por uma integração com janelamento móvel Hanning de 50 ms. Todavia, diferenças significativas não foram encontradas nos parâmetros de freqüência entre os primeiros e últimos vinte segundos de experimento (diminuições < 5%).

O notável desempenho dos Nepaleses na subida com carga é confirmado pela PMV 33% maior do que a dos Caucasianos. Embora a $\overline{Vf}$ e a PMV sejam maiores nos Nepaleses, estes apresentam um custo metabólico 39% menor que os Caucasianos. Esta economia energética específica à situação de carga e inclinação extrema é observada também na figura 2, na qual os Caucasianos sem carga apresentam uma eficiência similar às eficiências dos Nepaleses, mas com uma baixa eficiência na situação com carga.

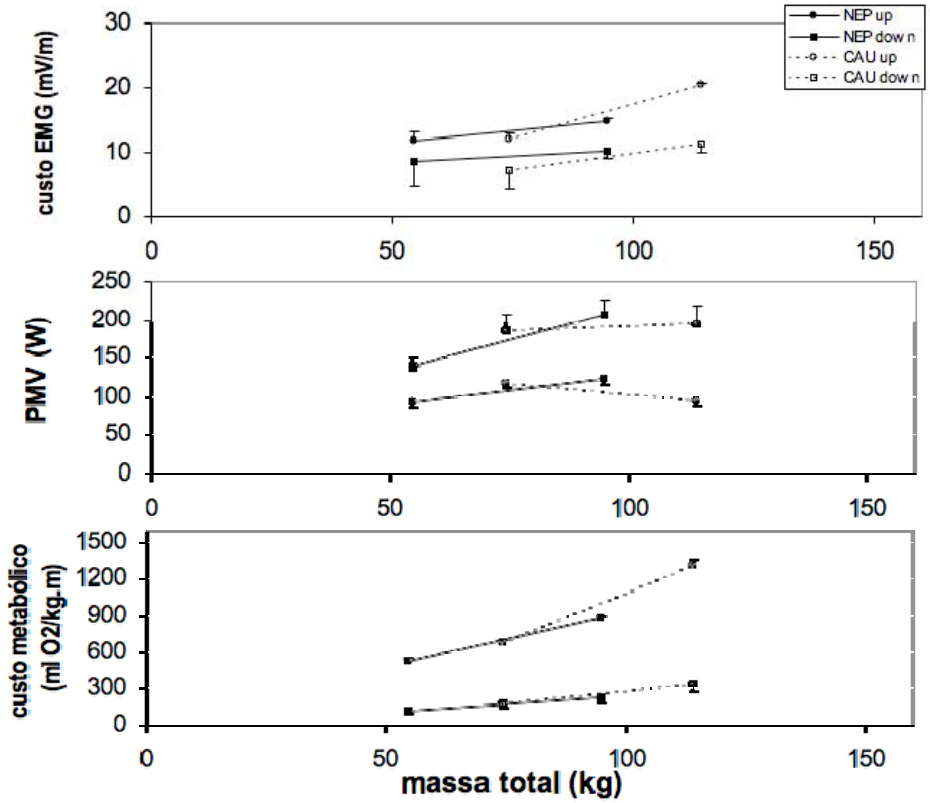

Figura 2: Médias e erros-padrões da média do custo EMG, PMV e custo metabólico em função da massa total transportada (massa corporal + carga) dos carregadores Nepaleses (NEP) e montanhistas Caucasianos (CAU) em subida (up) e descida (down).

A eficiência menor dos Caucasianos na situação com carga parece ser explicada pela quantidade de ativação muscular. A interessante semelhança entre o custo EMG e o custo

energético (figura 2), demonstram a eficácia do método EMG utilizado no presente estudo a fim de representar uma ativação muscular geral durante a locomoção.

DISCUSSÃO

A menor ativação muscular é extremamente interessante, pois explica de modo importante o mecanismo da alta eficiência e economia energética nos Nepaleses.

Os resultados de potência metabólica e PMV confirmam os achados de MINETTI et al., 2006. Além disso, o custo energético na situação sem carga é similar entre Caucasianos e Nepaleses. Em outras palavras, o desempenho notável dos Nepaleses é específico somente na situação de subida com carga, (PEYRÉ TARTARUGA, 2008)

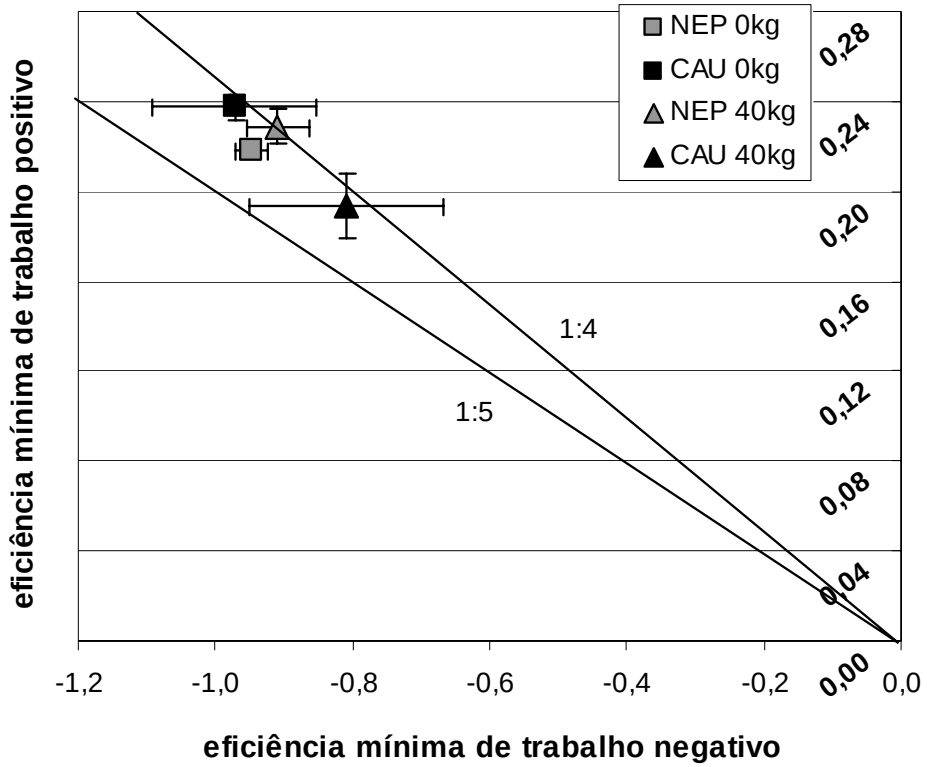

Figura 2.2 A eficiência mínima foi obtida através da divisão da PMV (positiva ou negativa) pela potência metabólica respectiva (MINETTI et al., 2006). As linhas são as razões entre eficiência muscular positiva e negativa (WOLEDGE et al., 1985).

A melhor economia nos Nepaleses durante a subida com carga pode ser relacionada às propriedades mecânicas de contração muscular, especificamente à relação potência-velocidade. Admiravelmente, a ativação EMG por unidade de tempo é semelhante entre Nepaleses e Caucasianos, e por conseqüência a ativação total é menor nos Nepaleses.

Afirma-se também, que a razão entre ativação EMG na subida e descida, independente da massa total, é em torno de 1,5 e 2, corroborando com os dados de (BIGLAND-RITCHIE e WOODS, 1976).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, os carregadores Nepaleses tiveram ativação muscular econômica. Porém os parâmetros espaços-temporais da passada parecem não justificar o menor custo energético nos Nepaleses. O custo EMG foi maior nos Caucasianos, especialmente durante a ascensão com carga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTIEN, G.J., SCHEPENS, B., WILLEMS, P.A., HEGLUND, N.C. Energetics of load carrying in Nepalese porters. Science. 308, 5729: 1755, 2005.

BIGLAND-RITCHIE, B., WOODS, J.J. Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. J Physiol. 260, 2: 267-277, 1976.

CAVAGNA, G.A., KANEKO, M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. J Physiol. 268, 2: 467--481, 1977.

CAVAGNA, G.A., WILLEMS, P.A., HEGLUND, N.C. Walking on Mars. Nature. 393, 6686:636, 1998.

CAVAGNA, G.A., WILLEMS, P.A., HEGLUND, N.C. The role of gravity in human walking: pendular energy exchange, external work and optimal speed. J Physiol. 528, Pt 3: 657-668, 2000.

CAVAGNA, G.A., HEGLUND, N.C., WILLEMS, P.A. Effect of an increase in gravity on the power output and the rebound of the body in human running. J Exp Biol. 208, Pt 12: 2333-2346, 2005.

FRERIKS, B., HERMENS, H., DISSELHORST-KLUG, C., RAU, G. The recommendations for sensor and sensor placement procedures for surface electromyography, In: HERMENS H (editor). European recommendations for surface electromyography. . Enschede: Roessingh Research and Development, 1991.

KNAFLITZ, M., BONATO, P. Time-frequency methods applied to muscle fatigue assessment during dynamica contractions. J Electromyogr Kinesiol. 9, 337-350, 1999.

KRAM, R., DOMINGO, A., FERRIS, D.P. Effect of reduced gravity on the preferred walkrun transition speed. J Exp Biol. 200, Pt 4: 821-826, 1997.

MALOIY, G.M.; HEGLUND N.C.; PRAGER L.M.; CAVAGNA G.A.; & TAYLOR, C.R. Energetic cost of carrying loads: have African women discovered an economic way? *Nature* 319: 668–669, 1986.

MINETTI, A.E., ARDIGO, L.P., SAIBENE, F. Mechanical determinants of gradient walking energetics in man. J Physiol. 472, 725-735, 1993.

MINETTI, A.E., ARDIGO, L.P., SAIBENE, F. Mechanical determinants of the minimum energy cost of gradient running in humans. J Exp Biol. 195, 211-225, 1994.

MINETTI, A.E; FORMENTI, F.; ARDIGÒ, L.P. Himalayan porter's specialization: metabolic power, economy, efficiency and skill. Proc. R. Soc. B.273, 2791-2797, 2006.

NORDANDER, C; WILLNER, J; HANSSON, G.-A; LARSSON, B.; UNGE, J.; GRANQUIST, L.; SKERFVING, S. Influence of the subcutaneous fat layer, as measured by ultrasound, skin fold calipers and BMI, on the EMG amplitude. Eur J Appl Physiol 89: 514–519, 2003.

PEYRÉ TARTARUGA, L. A. Energética e mecânica da caminhada e corrida humana, com especial referência à locomoção em plano inclinado e efeitos da idade. Tese de Doutorado (Escola de Educação Física) Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano/UFRGS, Porto Alegre, 2008.

SAIBENE, F.; MINETTI, A.E. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. Eur J. Appl Physiol. 88, 4-5: 297-316, 2003.

WINTERS, J.M., WOO, S. Multiple muscle systems. Springer-Verlag, 1990.

WOLEDGE, R.C., CURTIN, N., HOMSHER, E. Energetic aspects of muscle contraction. Londres: Academic Press, 1985.

YAMAGUCHI, G., SAWA, A., MORAN, D., RESSLER, M., WINTERS, J.M. A survey of human musculotendon actuator parameters. J. M. Winters. 1991.