

Artigo de Revisão

## Efeito da fadiga muscular na biomecânica da corrida: uma revisão

Sarah Regina Dias da Silva  
Carina Helena Wasem Fraga  
Mauro Gonçalves

*Laboratório de Biomecânica - Departamento de Educação Física IB/UNESP Rio Claro, SP, Brasil*

**Resumo:** A corrida é uma atividade física amplamente realizada para manutenção da saúde, prescrição do treinamento, lazer e para realização de testes de aptidão física. A avaliação biomecânica constitui-se de uma importante ferramenta para melhora de seu desempenho. Para tanto, esteiras de corrida são geralmente utilizadas, pois possibilitam condições controladas para aquisição de dados biomecânicos, viabilizando a análise dos fatores envolvidos no desenvolvimento da fadiga muscular. A corrida prolongada ou de alta intensidade induz a modificações nos parâmetros eletromiográficos e cinemáticos, decorrentes de um processo de fadiga. Além disso, a literatura demonstra que atividades precedentes – como o ciclismo - modificam o padrão subsequente de corrida.

**Palavras-chave:** Corrida. Fadiga. Biomecânica. Saúde.

### *Muscular fatigue effects on running biomechanics: a review*

**Abstract:** Running is one of the most popular physical activities performed for health maintenance, training prescription, leisure and physical tests. The biomechanics evaluation is an important tool for running performance improvement. Treadmill running is often used for biomechanics evaluation because allow controlled conditions for biomechanics data acquisition, making possible the analysis of the factors involved in the muscular fatigue development. Prolonged run or run performed in a high intensity induces changes in the electromyographic and kinematic parameters, resulting from a fatigue process. Moreover, the literature shows that previous activities - such as cycling - modify the subsequent running pattern.

**Key Words:** Running. Fatigue. Biomechanics. Health.

### Introdução

A corrida representa uma forma de locomoção altamente complexa que requer acentuada coordenação de movimento. Seu estudo específico justifica-se na medida em que houve um aumento significativo no número de praticantes dessa modalidade nos últimos anos (QUEEN; GROSS; LIU, 2006, WEN; PUFFER; SCHMALZRIED, 1998). Corredores profissionais e técnicos buscam constantemente a melhora do desempenho (MIDGLEY; McNAUGHTON; WILKINSON, 2006), e a avaliação biomecânica constitui-se de uma importante ferramenta para alcançar esse objetivo.

Como modelo de exercício dinâmico, a corrida é uma atividade física amplamente realizada para manutenção da saúde ou para o treinamento e, freqüentemente, utilizada durante testes para a avaliação da aptidão física.

A prática da corrida tem sido relacionada com a ocorrência de lesões na coluna lombar, no quadril e

predominantemente no membro inferior (SCHACHE et al., 2002). Na região lombar estas lesões são evidenciadas devido a cargas compressivas após o choque do calcâneo e pelos distúrbios nos padrões cinemáticos deste segmento vertebral e pelve durante a corrida. Outra causa descrita tem sido a fadiga muscular como promotora dessas lesões (NUMMELA et al. 1994; NIGG et al., 2003).

Nas atividades de vida diária, no trabalho e no esporte a fadiga muscular apresenta-se muitas vezes como limitante do desempenho humano, e causadora de lesões em diversos níveis do sistema músculo-esquelético.

Apesar do fenômeno da fadiga muscular ser uma experiência comum do nosso dia a dia, este ainda não é totalmente compreendido, devido a vários fatores como os diferentes métodos e protocolos de análise assim como os tipos de exercícios utilizados nas pesquisas, o que torna difícil tanto extrapolar como aplicar os resultados apresentados.

Os mecanismos da fadiga nos músculos humanos têm sido pesquisados há mais de um século (GIBSON; EDWARDS, 1985), porém a fadiga é pouco definida e entendida, sendo considerada como uma falha para manter um nível desejado de desempenho ou trabalho durante uma atividade repetitiva ou sustentada (MANNION; DOLAN, 1996) e, de acordo com Jørgensen et al. (1988), é um processo dinâmico e tempo-dependente desenvolvido no sistema neuromuscular.

O avanço no estudo da locomoção humana depende do desenvolvimento de novas ferramentas de análise, e nos últimos séculos vários avanços fundamentais ocorreram permitindo nosso entendimento da locomoção humana (ANDRIACCHI; ALEXANDER, 2000). Assim como a marcha, a análise da corrida não deve ser concebida como uma nova área de interesse, uma vez que desde a arte grega, passando por Aristóteles, Leonardo da Vinci e pelas leis de Newton, o movimento humano vem sendo analisado. Os estudos dos irmãos Weber, Marey e Muybridge, dentre outros, contribuíram para o desenvolvimento da instrumentação nesta área (NOVACHEK, 1998).

Muitas pesquisas sobre a corrida têm sido realizadas, uma vez que fatores como a velocidade (HANON et al., 2005) e o tipo do calçado (NIGG et al., 2003; WAKELING et al., 2003) podem influenciar o padrão da corrida, sendo que alguns deles ainda permanecem não totalmente entendidos, particularmente aquele relacionado à fadiga muscular (AVOGADRO et al., 2003; HANON et al., 2005; NUMMELA et al., 1994).

Em biomecânica, o uso da eletromiografia (EMG) de superfície permite avaliar a fadiga muscular por meio da atividade elétrica dos músculos superficiais, utilizando-se a amplitude e o espectro de potência do sinal (VØLLESTAD, 1997).

Para uma análise da corrida com menores erros de medidas, necessita-se que os dados sejam cada vez mais padronizados, adquiridos e analisados com maior rapidez, permitindo a análise de um maior número de passos consecutivos. As esteiras de corrida oferecem muitas vantagens, como o fácil controle da velocidade, inclinação e dos fatores ambientais, assim como fornecem dados de ciclos repetidos da corrida (LAVCANSKA et al., 2005).

Neste sentido, muitas são as vantagens da utilização de esteiras em testes para análise das variáveis eletromiográficas e metabólicas, para assim obter índices de capacidade de resistência durante a corrida, possibilitando uma análise mais apurada dos fatores envolvidos no desenvolvimento da fadiga

muscular durante este padrão de movimento frequentemente pesquisado e praticado como atividade esportiva ou de lazer.

De acordo com Cavanagh e Kram (1990), as similaridades entre a corrida realizada na esteira e sobre o solo permanecem controversas. Entretanto, assume-se que vários princípios da corrida realizada em esteira (como por exemplo, a análise de variáveis cinemáticas), poderiam ser aplicados diretamente à corrida realizada sobre o solo.

A presente revisão de literatura abordará procedimentos biomecânicos para análise da fadiga muscular durante a corrida por estes apresentarem modificações características com o desenvolvimento da fadiga muscular.

### **Eletromiografia**

A eletromiografia pode ser definida como a técnica que estuda a função do músculo por meio da análise do sinal EMG captado durante a contração muscular (BASMAJIAN; DE LUCA, 1985). Assim, o sinal EMG advindo de potenciais de ação provenientes do músculo pode fornecer informações que contribuem para o entendimento da ação muscular.

Soderberg e Knutson (2000) descrevem que, de uma forma geral, o sinal EMG tem sido usado para avaliar a função, controle e aprendizagem da atividade muscular. Todavia, podem-se citar aplicações específicas tais como a avaliação da marcha, determinação da fadiga e as mais diversas aplicações no esporte com objetivo de verificar a ação muscular requerida.

Ressalta-se que a análise da atividade muscular obtida por meio da eletromiografia de superfície tem sido amplamente utilizada com intuito de estudar a incidência de fadiga muscular. Para tanto, testes isométricos revelam algumas informações importantes a respeito do estado neuromuscular no final de exercícios prolongados (por exemplo, diferentes corridas). Nesse sentido, situações que envolvam fadiga têm sido correlacionadas com uma diminuição dos valores da Frequência Mediana (FM), bem como com um aumento do valor RMS (Root Mean Square) - verificado por meio da amplitude do sinal EMG (HAUSSWIRTH et al., 2000; SODERBERG; KNUTSON, 2000).

Nesse sentido, a eletromiografia apresenta-se como um dos poucos métodos de avaliação direta e não invasiva da fadiga muscular (BIJKER et al., 2002), particularmente pela verificação das alterações de amplitude e do espectro de potência da atividade elétrica dos músculos superficiais (VØLLESTAD, 1997), que se caracterizam por um aumento progressivo da amplitude do eletrograma e diminuição das

freqüências do espectro (CHRISTENSEN et al., 1995; RAVIER et al., 2005).

Cardozo, Gonçalves e Gauglitz (2004), Cardozo e Gonçalves (2003), Oliveira et al. (2005), Silva e Gonçalves (2003) encontram evidências do aumento da amplitude do sinal eletromiográfico em função do tempo quando o músculo é exercitado em uma carga constante até a exaustão, tanto em exercícios isométricos como dinâmicos. Este aumento gradual no nível médio do eletromiograma de interferência registrado por eletrodos de superfície ocorre principalmente pelo recrutamento de novas unidades motoras (WAKELING et al., 2001), as quais compensam a diminuição na contribuição das unidades motoras fadigadas na força muscular total.

Ao se comparar o comportamento da força de reação do solo (FRS) com os parâmetros EMG durante a corrida e verificaram que os parâmetros EMG não foram influenciados pela técnica de corrida e velocidade, mas sim pelos músculos da perna estudados, sendo aqueles mais distais os mais reprodutíveis do que os proximais, e os parâmetros de FRS foram altamente reprodutíveis em todas as velocidades de corrida e freqüência de passada, sendo mais reprodutíveis os dados coletados após dois ou três minutos de corrida (KARAMANIDIS et al., 2004).

Durante contrações dinâmicas, tanto no esporte como no trabalho, as variáveis biomecânicas já destacadas para avaliação da fadiga muscular, em particular as mudanças nos parâmetros eletromiográficos têm se tornado um grande desafio (MASUDA et al., 1999), e cada vez mais estudos têm sido necessários para validar protocolos que possibilitem um diagnóstico mais preciso e que contribuam na prevenção de lesões por meio da análise deste fenômeno, assim como no acompanhamento de sessões de treinamento ou reabilitação.

A identificação da fadiga muscular pela análise eletromiográfica tem sido relatada em protocolos que utilizam contrações isométricas (KAY et al., 2000; SILVA et al., 2005) e contrações dinâmicas (OLIVEIRA et al., 2005; MASUDA et al., 1999), nas quais se evidencia este fenômeno pela diminuição da freqüência mediana e aumento da amplitude do sinal eletromiográfico (MASUDA et al., 1999).

A quantidade de investimentos científicos na busca de uma validação de metodologias biomecânicas, como o uso do sinal EMG, em contrações dinâmicas para medição da fadiga muscular é escassa (POTVIN; BENT, 1997) e também controversa (CHRISTENSEN et al., 1995).

Uma vez que a corrida apresenta uma característica dinâmica, torna-se necessário sobrepor determinadas barreiras

metodológicas pelo desenvolvimento combinado e criativo de instrumentos de medição biomecânica cujo sincronismo de aquisição de dados nos permita uma análise mais real deste fenômeno neuromuscular.

Segundo ENOKA (2000), a fadiga muscular corresponde a uma classe de efeitos agudos que prejudica o desempenho, sendo que tais efeitos envolvem tanto processos motores, como sensoriais. Diferentes fatores contribuem para a instalação de um processo de fadiga muscular, sendo que as variáveis que possuem influência sobre um sistema sobrecarregado incluem o nível de motivação, a estratégia neural, a intensidade e duração da atividade muscular, a velocidade de contração, e a continuidade de sustentação de uma contração. Os processos fisiológicos podem ser afetados pelos impulsos eferentes, os músculos e unidades motoras ativadas, a propagação do estímulo, o acoplamento excitação-contração, a disponibilidade de substratos metabólicos, o meio intracelular, o sistema contrátil e irrigação sanguínea para o músculo.

A fadiga muscular altera o passo na corrida em esteira quando realizada até a exaustão na velocidade de 10 km/h, com associação ao aumento da freqüência cardíaca e da concentração de lactato entre 8,88 e 15,7 mM (VERKERKE et al., 1998). Estes dados indicam que medidas na esteira podem ser utilizadas para estudar o fenômeno da fadiga, motivando que mais estudos sejam realizados sobre a correlação entre as mudanças no padrão muscular com os parâmetros cinéticos e cinemáticos durante um exercício exaustivo como a corrida.

Quando esta interação foi analisada, por meio da correlação de variáveis EMG com os limiares de lactato e ventilatório em protocolo incremental de corrida em esteira, verificou-se que o ponto de quebra da linearidade no comportamento da amplitude do sinal EMG ocorreu em intensidade de  $VO_2max$  (consumo máximo de oxigênio) próxima do limiar ventilatório, e ambos ocorreram após a do limiar de lactato, indicando assim que o limiar de lactato determinado neste estudo não está relacionado somente às mudanças no recrutamento das unidades motoras ou na taxa de disparo das mesmas (TAYLOR; BRONKS, 1994).

Devido ao fato do ponto de quebra observado no eletromiograma integrado (iEMG), durante um teste incremental de corrida ocorrer pelo aumento da intensidade do exercício e/ou ao início da fadiga neuromuscular, Hanon et al. (1998) verificaram o efeito da fadiga no sinal EMG em um protocolo incremental de corrida por meio da aplicação de um

esforço isométrico de mesma intensidade entre cada estágio de corrida, caracterizando o início da fadiga neuromuscular pelo aumento da amplitude do sinal.

Neste estudo foram obtidos os limiares eletromiográficos durante a corrida na velocidade de 16 km/h, nas contrações isométricas em 18 km/h, pela escala de Borg em 18 km/h, pelos parâmetros ventilatórios a 16 km/h e pela resposta do lactato sanguíneo (limiar de lactato: a 14 km/h; limiar anaeróbio a 15,71 km/h), indicando a ocorrência da fadiga muscular em todas variáveis analisadas, e que a análise de mudanças no sinal EMG obtido durante a corrida e contração isométrica se completam. As mudanças paralelas na ventilação pulmonar e na amplitude do sinal EMG podem sugerir a existência de um estímulo regulador comum relacionado à intensidade de esforço e/ou às condições metabólicas.

Quando a análise biomecânica da fadiga muscular foi analisada durante a corrida a 20m submáximo, 20m máximo e 400m em pista equipada com plataforma de força, Nummela et al. (1994) verificaram que houve maiores valores de FRS nas corridas de 20m, a atividade EMG apresentou-se diferente entre os testes, e o comprimento da passada foi menor na corrida de 400m. Neste estudo verificou-se que a ativação neural ocorre para compensar a fadiga muscular, e que este processo apresenta-se diferente para cada músculo, indicando assim a análise de mais músculos em futuros estudos na busca de compreender os mecanismos envolvidos na manutenção do exercício diante do processo de fadiga.

Hanon et al. (1998) relatam que durante um protocolo de exercício incremental a relação entre intensidade de exercício e a maioria dos parâmetros envolvidos (frequência cardíaca, consumo de oxigênio, lactato) é linear até um ponto de quebra, o qual tem sido considerado como um indicador da mudança metabólica; e as mudanças no padrão da atividade eletromiográfica têm sido associadas com esta medida. Os experimentos têm analisado o eletrograma integrado (iEMG) e/ou a frequência média do sinal eletromiográfico, e estes dois parâmetros são indicadores da fadiga neuromuscular.

Estes autores relatam que há uma divergência entre os resultados das pesquisas, embora o mesmo músculo (VL) seja analisado tanto em testes de corrida como de ciclismo, sendo que esta divergência se deve à variedade de protocolos experimentais e aos vários métodos utilizados para determinar os diferentes limiares.

AVOGADRO et al. (2003), relatam um aumento da atividade do músculo vasto lateral quando comparado o

período inicial de uma corrida com um período final. Destaca-se que o período inicial foi correspondente ao terceiro minuto de corrida e o período final foi correspondente à coleta realizada antes da exaustão em um protocolo com intensidade constante de 90% do VO<sub>2</sub> máx. Não foram encontradas diferenças significativas entre os demais músculos estudados (bíceps femoral, gastrocnêmio medial e tibial anterior). Nesse contexto, os autores relatam que a inexistência de diferenças significativas entre os demais músculos se justifica na medida em que são realizados ajustes neuromusculares com o objetivo de estabilizar os parâmetros fisiológicos, reduzindo a possibilidade de desenvolvimento de fadiga.

VUORIMAA et al. (2006) verificaram que após corridas intensas foram utilizadas diferentes estratégias de coordenação entre os músculos agonistas e antagonistas extensores do joelho, uma vez que houve redução do sinal EMG dos músculos vasto lateral e vasto medial, enquanto que não foram encontradas diferenças significativas no sinal EMG do músculo bíceps femoral.

A relação entre a eletromiografia (EMG) e o nível de força não parece ser sempre linear, pois um ponto de quebra tem sido detectado, o que pode ser explicado por vários fenômenos diferentes, no entanto em um teste incremental, a sucessão de estágios leva à fadiga, na qual as fibras do tipo II são progressivamente recrutadas, e este recrutamento adicional induzido pela fadiga pode ser a causa do ponto de quebra na relação EMG e intensidade de exercício (HANON et al., 1998).

Millet et al. (2002) procuraram examinar as alterações na função neuromuscular após uma ultramaratona (65 km de corrida), dos músculos extensores do joelho e flexores plantares do tornozelo. Foi encontrada uma diminuição da capacidade de produção de força voluntária máxima (28%), acompanhada de uma redução da ativação voluntária máxima (30%). Todavia, a redução nos *inputs* neurais da musculatura ativa em exercícios prolongados pode ser causada por vários fatores, supondo-se que haja: (1) uma redução nos impulsos cortico-espinais que alcançam os motoneurônios; (2) uma redução no triptofano cerebral (que pode levar a um aumento da serotonina, induzindo a fadiga); (3) modificações no *feedback* aferente, contribuindo para a inibição da excitabilidade do motoneurônio (esse *feedback* pode ser afetado por fadiga das fibras intrafusais e mudanças nas propriedades de viscosidade e elasticidade do músculo). Com isso, sugere-se que essa fadiga, após exercícios prolongados ou intensos, apresenta vários efeitos específicos nas propriedades neuromusculares.

### Cinemática

A cinemática é a área da biomecânica que permite o cálculo da posição, do deslocamento, da velocidade e da aceleração do corpo ou de seus segmentos, tendo como principal foco a descrição de como um corpo se move. Os parâmetros cinemáticos para análise da velocidade da corrida incluem o tempo, o comprimento do passo e da passada, a largura do passo e a frequência da passada (VERKERKE et al., 1998).

De acordo com Martin e Sanderson (2000), a corrida é uma atividade motora altamente complexa que incorpora a ação de vários níveis do sistema nervoso, envolvendo a contribuição de grande parte dos músculos do corpo - o que requer acentuada coordenação da amplitude de movimento. Nesse sentido, mudanças na frequência e amplitude de passada exigem concomitantes alterações nos níveis de alongamento-encurtamento muscular, bem como na taxa de força desenvolvida, o que afeta a demanda aeróbia. Dessa forma, na corrida, o movimento dos segmentos pode ser considerado como uma ação harmônica para alcançar uma locomoção que apresente translação do centro de massa com menor gasto de energia possível.

A mudança no ciclo entre o andar e a corrida ocorre quando o período de duplo apoio (os dois pés estão simultaneamente em contato com o solo) durante a fase de contato dá lugar a dois períodos de fase aérea (nenhum pé está em contato com o solo) no início e no fim da fase aérea da corrida; e uma característica frequentemente visualizada quando a velocidade aumenta é que o contato inicial se altera da parte posterior para a parte anterior do pé (NOVACHECK, 1998).

A velocidade de corrida de um depende da combinação de dois fatores: (1) amplitude da passada; (2) frequência da passada. A amplitude da passada corresponde à soma de três distâncias: distância de impulsão, distância de voo e distância de chegada ao solo. A frequência de passada corresponde ao número de passadas executadas em um determinado tempo. Essa frequência está diretamente relacionada ao tempo gasto para completar uma passada completa, o qual corresponde à soma do tempo em que o atleta está no solo com o tempo de voo (HAY, 1981).

Nesse sentido, Martin e Sanderson (2000) sugerem que a frequência de passada – mais do que a amplitude de passada – representa um fator crítico que determina o esforço muscular durante cada ciclo de passada. Essa frequência de passada corresponde a um parâmetro do controle motor que é

determinado pelos atributos físicos do sistema – suas características inerciais.

Bus (2003), em um estudo comparando corredores de diferentes faixas etárias, encontrou uma redução da velocidade para indivíduos mais velhos, a qual era acompanhada por similar redução na amplitude de passada e aumento da frequência de passada. Isso sugere que a velocidade é mais influenciada pela amplitude de passada do que pela frequência de passada.

Dessa forma, diversos estudos têm confirmado o fato de que a velocidade empregada na corrida é dependente em maior escala da amplitude da passada do que da frequência da passada (BUS, 2003, MARINO; GOEGAN, 1993, CAVANAGH; KRAM, 1990, ELLIOT; ACKLAND, 1981).

Hay (1981) destaca que há evidências de que indivíduos mais altos ou com maior segmento inferior atingiriam maior amplitude de passada, bem como menor frequência de passada. Já Bus (2003) não encontrou quaisquer correlações entre o tamanho de membros inferiores com a amplitude de passada. Para esse autor, não há necessidade de uma normalização prévia dos dados, uma vez que indivíduos mais altos não terão necessariamente maiores passadas.

Elliot e Ackland (1981) verificaram mudança no padrão de passada de corredores, relacionada a um processo de fadiga após uma corrida de 10 km. Para fins de análise cinemática, essa corrida foi dividida em quatro estágios. Dessa forma, no último estágio foi possível perceber uma alteração na técnica – embora não excessiva – o que tornou os corredores menos competentes na realização da tarefa. Isto foi verificado a partir de uma diminuição da velocidade da corrida, a qual está relacionada a uma redução da amplitude de passada, pois a frequência da passada permaneceu relativamente constante.

Estudos têm sido realizados na tentativa de entender o comportamento de variáveis cinemáticas que modificam o padrão de corrida ao longo da execução dessa atividade. Schache et al. (2005), analisaram um grupo de corredores com histórico recente de lesão relacionada à corrida e um grupo de corredores sem lesão. Foi realizado um teste de corrida a 4,0 m/s durante o qual se avaliou rotações angulares da coluna lombar, pelve e quadril, tridimensionalmente. Foi verificado que parâmetros cinemáticos e antropométricos específicos do complexo lombar-pelve-quadril não estavam relacionados ao desenvolvimento de lesões na corrida, pois nenhum dos parâmetros avaliados apresentou diferença significativa entre os grupos.

De acordo com Mizrahi et al. (2001), o estudo das modificações nos ângulos articulares do joelho e tornozelo durante as fases de pré-contato e na primeira metade do contato combinadas ao aumento da atividade muscular excêntrica, torna-se relevante para o entendimento dos mecanismos de atenuação do impacto no sistema músculo-esquelético, das lesões relacionadas à fadiga e de alterações degenerativas.

Variáveis cinemáticas foram examinadas em condição de fadiga, em corrida realizada por 30 minutos, em velocidade 5% acima da intensidade de limiar anaeróbico. Foi verificado que paralelamente ao desenvolvimento da fadiga houve um aumento gradual dos ângulos de extensão do joelho (na posição de extensão máxima, isto é, fase precedente ao contato), e redução gradual nos ângulos de flexão do joelho realizada após o contato (MIZRAHI et al., 2000).

Além dos aspectos anteriormente mencionados, o desempenho na corrida pode ser afetado por atividades que são realizadas de forma precedente. Eventos que precedem a corrida podem afetar o desempenho de atletas, influenciando o resultado final (DENGEL et al., 1989). Nesse contexto, Marino e Goegan (1993) relatam que, embora muitos estudos tenham mostrado grande interesse na análise biomecânica da corrida, há uma carência de trabalhos que analisem as especificidades da corrida no *triathlon*. Estudos que têm procurado verificar a influência do ciclismo na corrida subsequente apresentam respostas bastante diversas e contraditórias (HAUSSWIRTH et al., 1996, GOTTSCHALL; PALMER, 2002).

### Corrida do Triathlon

O *triathlon* é um esporte composto por três modalidades sucessivas (natação-ciclismo-corrida). Esse fato ressalta a necessidade de que triatletas adquiram elevados níveis de desempenho nessas três modalidades simultaneamente, devendo adotar, para tanto, métodos específicos de treinamento. Dessa forma, sua prática apresenta especificidades que desencadeiam demandas fisiológicas e biomecânicas diferentes dos esportes individuais que o compõem (BENTLEY et al., 2002).

Espera-se que os melhores resultados da competição devam estar relacionados à habilidade de unir adequadamente esses diferentes eventos que o compõem (FRAGA et al., 2006). É válido ressaltar a importância do treinamento visando aperfeiçoar as transições das seqüências natação-ciclismo, ciclismo-corrida. Nesse contexto, destaca-se o fato da corrida ter se tornado um elemento essencial relacionado aos resultados finais, principalmente nos primeiros minutos

após o ciclismo (transição ciclismo-corrida) – período que pode afetar significativamente o resultado do restante da prova (HUE et al., 1997).

Rowlands e Domney (2000) afirmam que, freqüentemente, são necessários vários quilômetros para ajustar as mudanças na locomoção, na corrida precedida pelo ciclismo. Dessa forma, o treinamento da transição ciclismo-corrida tem beneficiado o desempenho no *triathlon*, uma vez que há uma minimização do tempo entre os estágios e uma adaptação das demandas fisiológicas e biomecânicas necessárias para o desempenho de atividades seqüenciais.

De acordo com Hausswirth et al. (1996), há muita controvérsia acerca dos efeitos da fadiga no custo energético, não havendo consenso sobre a quantidade e o tipo de mudanças relacionadas a esses efeitos. Dessa forma, esses autores ressaltam a necessidade de estudos que verifiquem a relação de variáveis biomecânicas com essas modificações.

Quando analisada uma corrida realizada após uma atividade precedente, Gottschall e Palmer (2002) verificaram que a variação na escolha da cadência do ciclismo pode afetar a velocidade de corrida subsequente. Dessa forma, foi observado que o uso de cadências mais elevadas no ciclismo aumentava substancialmente a velocidade média da corrida. Em seus estudos, compararam uma corrida de 3200m, realizada após três condições de ciclismo: (1) uso da cadência preferida; (2) uso de uma cadência 20% mais rápida; (3) uso de uma cadência 20% mais lenta. Foi encontrado um aumento de 4% na velocidade da corrida realizada após o uso de altas cadências (comparada ao uso da cadência preferida), e um aumento de 7% - quando comparada ao uso de baixas cadências. Esse aumento na velocidade foi acompanhado com similar esforço fisiológico para os três casos (verificado através da freqüência cardíaca), aumento da freqüência de passada, sem nenhuma alteração significativa na amplitude da passada ou ângulos articulares do quadril, joelho ou tornozelo. Dessa forma, sugere-se que há influência da forma como o ciclismo é realizado previamente à corrida: as altas cadências influenciam positivamente a corrida e a cinemática da passada, sendo que triatletas poderiam obter ganhos no desempenho da corrida se adotassem o uso de altas cadências no ciclismo.

Hue et al. (1997) compararam variáveis fisiológicas e o padrão de passada obtidas de uma corrida do *triathlon* (precedida de ciclismo) e de uma corrida isolada, ambas com 10km, procurando avaliar diferenças entre essas corridas, bem como entre diferentes intervalos. A corrida do *triathlon* apresentou maiores valores para ventilação pulmonar,

consumo de oxigênio, equivalentes respiratórios para O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, frequência respiratória e frequência cardíaca, quando comparados aos valores da corrida isolada. Não foram verificadas diferenças entre as corridas para as variáveis biomecânicas analisadas – frequência de passada e amplitude de passada, o que poderia indicar que o ciclismo não induz modificações no padrão de passada da corrida. Entretanto, considerando a análise em diferentes intervalos, a corrida isolada apresentou significativo aumento na frequência da passada entre o primeiro e o sétimo minuto de corrida, o que não foi observado para a corrida do *triathlon*. Isso poderia indicar que a presença de uma atividade precedente – como o ciclismo – possa ter inviabilizado aumento semelhante da frequência de passada na corrida do *triathlon*.

Marino e Goegan (1993) compararam aspectos biomecânicos de uma corrida de 10km precedida por um breve aquecimento, com uma corrida de mesma distância, precedida por 40km de ciclismo (corrida do *triathlon*). Encontraram uma significativa diminuição na velocidade da corrida do *triathlon* – quando comparada à corrida isolada – sendo que essa foi provavelmente desencadeada pela diminuição na amplitude de passada (não foi encontrada diferença significativa na frequência de passada). Assim, a fadiga resultante do excesso de contração muscular pode estar relacionada a uma redução na amplitude da passada encontrada nesse estudo. Também foram analisadas as variáveis em três diferentes intervalos: no 1º km, no 5º km e no 9º km. Não foram encontradas diferenças significativas entre os intervalos (para ambas as situações analisadas), tanto para a velocidade como para a amplitude de passada. Esse fato sugere que a corrida foi realizada de forma consistente (estável sob ponto de vista das variáveis cinemáticas). Dessa forma, justifica-se a utilização de outros recursos – como a aplicação da análise do sinal eletromiográfico - na tentativa de melhor explicar tal fenômeno.

Hauswirth et al. (2000) observaram a incidência de fadiga, mediante três contrações isométricas do grupo muscular dos extensores do joelho (representado pelo músculo vasto lateral), em três intervalos de uma corrida prolongada, de uma corrida do *triathlon* e de uma corrida isolada. Ao longo desses três intervalos – para cada uma das situações – foram verificados menores valores da frequência mediana, bem como maiores valores RMS. Esse mesmo comportamento pôde ser observado para corrida prolongada (quando comparada à corrida do *triathlon*), o que sugere que essa representa uma situação de maior fadiga.

Isso pode ser, em parte, explicado pela presença de contrações concêntricas e excêntricas na corrida prolongada – diferindo do ciclismo que corresponde a uma atividade predominantemente concêntrica. Esse fato resulta em maiores alterações nas propriedades contráteis para corrida prolongada (HAUSSWIRTH et al., 2000; BENTLEY et al., 2002). Assim, em exercícios que predominam contrações excêntricas, pode ser observado um prejuízo na função da fibra muscular; especula-se que esse fato acarrete em um aumento na ativação das unidades motoras – aumentando o nível de ativação neural. Dessa forma, a corrida prolongada pode induzir a taxas de alongamento repetitivo ocasionando lesões ultra-estruturais, as quais podem ser associadas com uma hiperpermeabilidade da célula muscular e com redução da habilidade do tecido muscular para realizar a contração.

De acordo com Hay (1981), a corrida é composta por uma sucessão de saltos, o que faz com que o impacto seja maior do que no ciclismo (que não apresenta as mesmas forças de impacto sobre o sistema musculoesquelético). Além disso, os músculos durante uma corrida são submetidos à sobrecarga correspondente a várias vezes o peso corporal em cada passada, enquanto o mesmo não ocorre durante o ciclismo. Esses fatores também podem contribuir para a incidência de uma maior fadiga muscular.

Destaca-se que a análise proveniente de contrações isométricas para verificar a fadiga na corrida é mais frequente na literatura do que os dados referentes a contrações dinâmicas durante a corrida. Uma possível explicação para esse fato pode estar relacionada à dificuldade da captação do sinal EMG através de eletrodos de superfície para atividades prolongadas, as quais envolvem grande quantidade de suor.

Bentley et al. (2002) ainda afirmam que o ciclismo pode alterar a mecânica da corrida ou os padrões de recrutamento muscular da corrida subsequente - pelas especificidades características de cada atividade. Para Hauswirth et al. (1996) o recrutamento de unidades motoras deve ser diferente entre o ciclismo e a corrida, o que pode resultar em diferentes reservas de glicogênio disponível no início de uma corrida subsequente.

Nessa perspectiva, Hauswirth et al. (2000) afirmam que, sendo o *triathlon* uma prova que envolve três diferentes modalidades desportivas de forma consecutiva, os músculos serão ativados de forma diferenciada. Assim, presume-se que os níveis de fadiga induzidos pelo *triathlon* sejam menores do que uma prova com mesma duração que envolva apenas uma

modalidade esportiva (como por exemplo, uma corrida prolongada).

### Considerações Finais

Verifica-se que a corrida prolongada ou de alta intensidade induz a modificações nos parâmetros eletromiográficos e cinemáticos decorrentes de um processo de fadiga. Além disso, a literatura sugere que atividades precedentes – como o ciclismo – podem modificar o padrão subsequente de corrida.

### Referências

ANDRIACCHI, T. P.; ALEXANDER, E. J. Studies of human locomotion: past, present and future. **Journal of Biomechanics**, New York, v.33, n.10, p.1217-1224, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00061-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00061-0)

AVOGADRO, P.; DOLENEC, A.; BELLI, A. Changes in mechanical work during severe exhausting running. **European Journal Applied Physiology**, Berlin, v.90, p.165-170, 2003. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-003-0846-y>

BASMAJIAN, J. V.; DE LUCA, C. J. **Muscle alive: their functions revealed by electromyography**. 5<sup>th</sup> ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985.

BENTLEY, D. J.; MILLET, G. P.; VLECK, V. E.; MCNAUGHTON, L. R. Specific aspects of contemporary *Triathlon*: implications for physiological analysis and performance. **Sports Medicine**, Auckland, v.32, n.6, p.345-359, 2002.

BIJKER, K. E.; GROOT, G.; HOLLANDER, A. P. Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.87, n.6, p.556-561, 2002. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-002-0663-8>

BUS, S. A. Ground reaction forces and kinematics in distance running in older-aged men. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v.35, n.7, p.1167-1175, 2003. Disponível em: [http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-200307000-00015.htm?jsessionid=HxmV3kQGwkDq\\_QpCyBGBh7hLyvgrhXmRp1L\\_GFLpVfJbVbxkSGLS1!-809317659!181195629!8091!-1](http://www.acsm-msse.org/pt/re/msse/abstract.00005768-200307000-00015.htm?jsessionid=HxmV3kQGwkDq_QpCyBGBh7hLyvgrhXmRp1L_GFLpVfJbVbxkSGLS1!-809317659!181195629!8091!-1) Acesso em: 31 jan. 2007.

CARDOZO, A. C.; GONÇALVES, M. Electromyographic fatigue threshold of erector spinae muscle induced by a muscular endurance test in health men. **Electromyography and Clinical Neurophysiology**, Louvain, v.43, n.6, p.377-380, 2003.

CARDOZO, A. C.; GONÇALVES, M.; GAUGLITZ, A. C. F. Spectral analysis of the electromyography of the erector spinae muscle before and after a dynamic manual load-lifting

test. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v.37, n.7, p.1081-1085, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-879X2004000700018>

CAVANAGH, P. R.; KRAM, R. Stride length in distance running: velocity, body dimensions, and added mass effects. In: CAVANAGH, P. R. (Ed.) **Biomechanics of distance running**. Champaign: Human Kinetics Books, 1990.

CHRISTENSEN, H.; SØGAARD, K.; JENSEN, B. R.; FINSEN, L.; SJØGAARD, G. Intramuscular and surface EMG power spectrum from dynamic and static contractions. **Journal of Electromyography and Kinesiology : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology**, Oxford, v.5, n.1, p.27-36, 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/S1050-6411\(99\)80003-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1050-6411(99)80003-0)

DENGEL, D. R.; FLYNN, M. G.; COSTILL, D. L.; KIRWAN, J. P. Determinants of success during *triathlon* competition. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Washington, DC, v.60, n.3, p.234-238, 1989.

ELLIOT, B.; ACKLAND, T. Biomechanical effects of fatigue on 10.000 meter running technique. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Washington, DC, v.52, n.2, p.160-166, 1981.

ENOKA, R. M. **Bases neuromecânicas da cinesiologia**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2000.

FRAGA, C. H. W.; BLOEDOW, L. S.; CARPES, F.; TARTARUGA, L. A. P.; TARTARUGA, M. P.; FOLLMER, B.; GUIMARÃES, A. C. S. Proposta metodológica para análise cinemática e fisiológica da corrida no *triathlon*. **Motriz. Revista de Educação Física. UNESP**, Rio Claro, v.12, n.2, p.159-164, 2006. Disponível em: <http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/motriz/article/view/96> Acesso em: 31 jan. 2007.

GIBSON, H.; EDWARDS, R. H. T. Muscular exercise and fatigue. **Sports Medicine**, Auckland, v.2, n.2, p.120-132, 1985. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=SPH166227&site=ehost-live>. Acesso em: 31 jan. 2007.

GOTTSCHALL, J. S.; PALMER, B. M. The acute effects of prior cycling cadence on running performance and kinematics. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v.34, n.9, p.1518-1522, 2002. Disponível em: <http://vnweb.hwwilsonweb.com/hww/jumpstart.jhtml?recid=0bc05f7a67b1790ef409bfd03ef7308d68101de1f6bf7af06fd55273fd0110606301fb85132e4678&fmt=H>. Acesso em: 31 jan. 2007.

HANON, C.; THÉPAUT-MATHIEU, C.; HAUSSWIRTH, C.; LE CHEVALIER, J. M. Electromyogram as an indicator of neuromuscular fatigue during incremental exercise. **European Journal of Applied Physiology and**

*Motriz, Rio Claro, v.13, n.3, p.225-235, jul./set. 2007*

- Occupational Physiology**, Berlin, v.78, n.4, p.315-323, 1998. <http://dx.doi.org/10.1007/s004210050426>
- HANON, C.; THÉPAUT-MATHIEU, C.; VANDEWALLE, H. Determination of muscular fatigue in elite runners. **European Journal Applied Physiology**, Berlin, v.94, n.1/2, p.118-125, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-004-1276-1>
- HAUSSWIRTH, C.; BIGARD, A. X.; BERTHELOT, M.; THOMAIDIS, C.; GUEZENNEC, C. Y. Variability in energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.17, p.572-579, 1996. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-972897>
- HAUSSWIRTH, C.; BRISSWALTER, J.; VALLIER, J. M.; SMITH, D.; LEPERS, R. Evolution of electromyographic signal, running economy and perceived exertion during different prolonged exercises. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.21, p.429-436, 2000. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2000-3832>
- HAY, J. G. **Biomecânica das técnicas desportivas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1981.
- HUE, O.; LE GALLAIS, D.; CHOLLET, D.; BOUSSANA, A.; PRÉFAUT, C. The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during running in triathletes. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.77, n.1/2, p.98-105, 1997. <http://dx.doi.org/10.1007/s004210050306>
- JØRGENSEN, K.; FALLENTIN, N.; KROGH-LUND, C.; JENSEN, B. Electromyography and fatigue during prolonged, low-level static contractions. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v.57, n.3, p.316-321, 1988. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00635990>
- KARAMANIDIS, K.; ARAMPATZIS, A.; BRÜGGEMANN, G. P. Reproducibility of electromyography and ground reaction force during various running techniques. **Gait and Posture**, Oxford, v.19, n.2, p.115-123, 2004. [http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362\(03\)00040-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362(03)00040-7)
- KAY, D.; St CLAIR GIBSON, A.; MITCHELL, M. J.; LAMBERT, M. I.; NOAKES, T. D. Different neuromuscular recruitment patterns during eccentric, concentric and isometric contractions. **Journal of Electromyography and Kinesiology : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology**, Oxford, v.10, n.6, p.425-431, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00031-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00031-6)
- LAVCANSKA, V.; TAYLOR, N. F.; SCHACHE, A. G. Familiarization to treadmill running in young unimpaired adults. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.24, n.4, p.544-557, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2005.08.001>
- Motriz, Rio Claro, v.13, n.3, p.225-235, jul./set. 2007*
- MANNION, A. F.; DOLAN, P. Relationship between myoelectric and mechanical manifestations of fatigue in the quadriceps femoris muscle group. **European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology**, Berlin, v.74, n.5, p.411-419, 1996. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02337721>
- MARINO, G. W.; GOEGAN, J. Work-energy analysis of triathletes running under bike/run and run only conditions. In: HAMILL, J.; DERRICK, T. R.; ELLIOT, E. H. (Ed.) **Biomechanics in Sport XI**. Amherst: International Society of Biomechanics in Sports, 1993. p.86-89. Proceeding of the XIth Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport.
- MARTIN, P. E.; SANDERSON, D. J., Biomechanics of walking and running. In: GARRET, W. E.; KIRKENDAL, D. (Ed.) **Exercise and sport science**. Philadelphia: Lippincot Williams & Wilkins, 2000. p. 639-659.
- MASUDA, K.; MASUDA, T.; SADOYAMA, T.; INAKI, M.; KATSUTA, S. Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. **Journal of Electromyography and Kinesiology : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology**, Oxford, v.9, n.1, p.39-46, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S1050-6411\(98\)00021-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1050-6411(98)00021-2)
- MIDGLEY, A. W.; McNAUGHTON, L. R.; WILKINSON, M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? - empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. **Sports Medicine**, Auckland, v.36, n.2, p.117-32, 2006. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=19650576&site=ehost-live>. Acesso em: 31 jan. 2007.
- MILLET, G. Y.; LEPERS, R.; MAFFIULETTI, N. A.; BABAUT, N.; MARTIN, V.; LATTIER, G. Alterations of neuromuscular function after an ultramarathon. **Journal Applied Physiology**, Washington, v.92, p.486-492, 2002. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00122.2001>
- MIZRAHI, J.; VERBITSKY, O.; ISAKOV, E.; DAILY, D. Effect of fatigue on leg kinematics and impact acceleration in long distance running. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.19, n.2, p.139-151, 2000. [http://dx.doi.org.br/10.1016/S0167-9457\(00\)00013-0](http://dx.doi.org.br/10.1016/S0167-9457(00)00013-0)
- MIZRAHI, J.; VERBITSKY, O.; ISAKOV, E. Fatigue-induced changes in decline running. **Clinical Biomechanics**, Oxford, v.16, n.3, p.207-212, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-0033\(00\)00091-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-0033(00)00091-7)
- NIGG, B. M.; STEFANYSHYN, D.; COLE, G.; STERGIIOU, P.; MILLER, J. The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation and energy aspects during running.

**Journal of Biomechanics**, New York, v.36, n.4, p.569-575, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290\(02\)00428-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290(02)00428-1)

NOVACHEK, T. F. The biomechanics of running. **Gait and Posture**, Oxford, v.7, n.1, p.77-95, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362\(97\)00038-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362(97)00038-6)

NUMMELA, A.; RUSKO, H.; MERO, A. EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. **Medicine and Science Sports Exercise**, Hagerstown, v. 26, n. 5, p. 605-609, 1994. Disponível em: [http://vnweb.hwwilsonweb.com/hww/results/getResults.jhtml?\\_DARGS=/hww/results/results\\_common.jhtml.7#record\\_14](http://vnweb.hwwilsonweb.com/hww/results/getResults.jhtml?_DARGS=/hww/results/results_common.jhtml.7#record_14) Acesso em 31 jan. 2007.

OLIVEIRA, A. S. C.; GONÇALVES, M.; CARDOZO, A. C.; BARBOSA, F. S. S. Electromyographic fatigue threshold of the biceps brachii muscle during dynamic contraction. **Electromyography and Clinical Neurophysiology**, Louvain, v.45, n.3, p.167-175, 2005.

POTVIN, J. R.; BENT, L. R. A validation of techniques using surface EMG signals from dynamic contractions to quantify muscle fatigue during repetitive tasks. **Journal of Electromyography and Kinesiology : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology**, Oxford, v.7, n.2, p.131-139, 1997.

QUEEN, R. M.; GROSS, M. T.; LIU, H. Y. Repeatability of lower extremity kinetics and kinematics for standardized and self-selected running speeds. **Gait and Posture**, Oxford, v.23, n.3, p.282-7, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.03.007>

RAVIER, P.; BUTTELLI, O.; JENNANE, R.; COURATIER, P. An EMG fractal indicator having different sensitivities to changes in force and muscle fatigue during voluntary static muscle contractions. **Journal of Electromyography and Kinesiology : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology**, Oxford, v.15, p.210-21, 2005.

ROWLANDS, D. S.; DOMNEY, B. **Physiology of triathlon: exercise and sport science**. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2000. p. 919-939.

SCHACHE, A. G.; BLANCH, P.; RATH, D.; WRIGLEY, T.; BENNELL, K. Three-dimensional angular kinematics of the lumbar spine and pelvis during running. **Human Movement Science**, Amsterdam, v.21, n.2, p.273-293, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9457\(02\)00080-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9457(02)00080-5)

SCHACHE, A. G.; BLANCH, P.; RATH, D.; WRIGLEY, T.; BENNELL, K. Are anthropometric and kinematic parameters of the lumbo-pelvic-hip complex related to running injuries? **Research in Sports Medicine: an International Journal**, Philadelphia, v.13, n.1, p.127-147, 2005. <http://dx.doi.org/10.1080/15438620590956133>

SILVA, S. R. D.; GONÇALVES, M. Análise da fadiga muscular pela amplitude do sinal eletromiográfico. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, Brasília, v.11, n.3, p.15-20, 2003. Disponível em: [http://www.ucb.br/Mestradoef/RBCM/11/11%20-%203/c\\_11\\_3\\_2.pdf](http://www.ucb.br/Mestradoef/RBCM/11/11%20-%203/c_11_3_2.pdf) Acesso em: 31 jan. 2007.

SILVA, S. R. D.; GONÇALVES, M.; AMADIO, A. C.; SERRÃO, J. C. Electromyographic interpretation of *vastus medialis* and *vastus lateralis* muscles fatigue in isometric contraction tests. **Revista Brasileira de Biomecânica**, São Paulo, v.6, 2005. (Em editoração: <http://143.107.39.184/ojs/index.php/rbb/index>).

SODERBERG, G. L.; KNUTSON, L. M. A guide for use and interpretation of kinesiological electromyographic data. **Physical Therapy**, Alexandria, v.80, n.5, p.485-498, 2000. Disponível em: <http://www.physicaltherapyjournal.net/cgi/content/abstract/80/5/485> Acesso em: 31 jan. 2007.

TAYLOR, A. D.; BRONKS, R. Electromyographic correlates of the transition from aerobic to anaerobic metabolism in treadmill running. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v.69, n.6, p.508-515, 1994. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00239868>

VØLLESTAD, N. K. Measurement of human muscle fatigue. **Journal of Neuroscience Methods**, Amsterdam, v.74, n.2, p.219-227, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0270\(97\)02251-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0270(97)02251-6)

VERKERKE, G. J.; AMENT, W.; WIERENGA, R.; RAKHORST, G. Measuring changes in step parameters during an exhausting running exercise. **Gait and Posture**, Oxford, v.8, n.1, p.37-42, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362\(98\)00017-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362(98)00017-4)

VUORIMAA, T.; VIRLANDER, R.; KURKILAHTI, P.; VASANKARI, T.; HÄKKINEN, K. Acute changes in muscle activation and leg extension performance after different running exercises in elite long distance runners. **European Journal Applied Physiology**, Berlin, v.96, p.282-291, 2006. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-005-0054-z>

WAKELING, J. M.; LIPHARDT, A. M.; NIGG, B. M. Muscle activity reduces soft-tissue resonance at heel-strike during walking. **Journal of Biomechanics**, New York, v.36, n.12, p.1761-1769, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290\(03\)00216-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290(03)00216-1)

WAKELING, J.M.; PASCUAL, S.A.; NIGG, B.M.; TSCHARNER, V. Surface EMG shows distinct populations of muscle activity when measured during sustained sub-maximal exercise. **European Journal Applied Physiology**, Berlin, v. 86, n. 1, p 40-47, 2001. <http://dx.doi.org/10.1007/s004210100508>

WEN, D. Y.; PUFFER J. C.; SCHMALZRIED, T. P. Injuries in runners: a prospective study of alignment. **Clinical Journal of Sports Medicine**, New York, v.8, n.3, p.187-94, 1998.

Endereço:

Mauro Gonçalves  
Laboratório de Biomecânica  
Depto. de Educação Física – UNESP  
Avenida 24ª, 1515 – Bela Vista  
Rio Claro SP 13506-900  
Telefone: 3526-4345  
e-mail: [maurog@rc.unesp.br](mailto:maurog@rc.unesp.br)

*Recebido em: 10 de agosto de 2007.  
Aceito em: 16 de outubro de 2007.*