



Motricidade

ISSN: 1646-107X

motricidade.hmf@gmail.com

Desafio Singular - Unipessoal, Lda
Portugal

Dias, Marcelo Ricardo; Perrout de Lima, Jorge R.; Silva Novaes, Jefferson da
Cadência de pedalada no ciclismo: uma revisão de literatura
Motricidade, vol. 3, núm. 1, enero, 2007, pp. 270-278
Desafio Singular - Unipessoal, Lda
Vila Real, Portugal

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273020484002>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto



Cadência de pedalada no ciclismo: uma revisão de literatura

Marcelo Ricardo Dias ^{1,2}, Jorge R. Perrout de Lima ³ e Jefferson da Silva Novaes ^{1,4}

¹ Universidade Castelo Branco, RJ.

² Faculdade Metodista Granbery, Juiz de Fora, MG.

³ Laboratório de Avaliação Motora da Universidade Federal de Juiz de Fora, MG

⁴ Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

Dias, M.; Lima, J. R.; Novaes, J. S.; **Cadência de pedalada no ciclismo: uma revisão de literatura.**
Motricidade 3(1): 270-278

Resumo

Após décadas de estudos e inúmeras discussões, ainda não há um consenso sobre a cadência ideal de pedalada no ciclismo. O presente estudo teve o objetivo de revisar, de forma sistematizada, estudos científicos que investigaram a eficiência mecânica através das cadências de pedalada no ciclismo. Tais experimentos demonstraram diversos fatores que poderiam ser capazes de alterar a cadência de pedalada ideal e preferida, com isso alterar a eficiência de pedalada. O ponto conclusivo da literatura define as baixas cadências de pedalada como mais econômicas e eficientes que as altas. A cadência ideal para a maioria dos praticantes é, geralmente, mais baixa do que a cadência preferida pelos ciclistas treinados.

Palavras-Chave: cadência de pedalada, economia de movimento, eficiência mecânica e ciclismo.

Data de submissão: Setembro 2006

Data de aceitação: Dezembro 2006

Abstract

Pedaling Cadence in the Ciclism: A Review

After decades of studies and innumerable quarrels, there is not still a consensus on the optimal pedaling rate in the cycling. The present study aimed to review systematically the scientific studies that investigated the mechanical efficiency through the pedaling rates in cycling. Such experiments have demonstrated that diverse factors could be capable to modify the optimal pedaling preferred rate and pedaling efficiency as well. The conclusive point of literature defines the low pedaling cadences as more economic and efficient that the high ones. The ideal cadence for the majority of the practitioners is generally lower than the cadence preferred by the trained cyclists.

Keywords: pedaling cadence, movement economy, mechanics efficiency and cycling.



Introdução

Ao longo dos tempos, a cadência de pedalada no ciclismo vem sendo alvo de diversos estudos^{1,2,3,4,5,6,7,8,9} os quais apresentam diferentes vertentes em seus objetivos e metodologias aplicadas¹⁰. Hoje, a grande discussão na literatura de ciclismo é em relação à cadência de pedalada mais econômica⁵ e a preferida entre ciclistas^{11,12}. Há tempos estudos tentam bases científicas para encontrar a cadência de pedalada ideal, na qual haja um menor gasto energético e uma pedalada mais eficiente. Com base na literatura disponível, sabe-se que as cadências mais econômicas confrontam com as preferidas para a maioria dos ciclistas.

Diversos fatores como a duração do exercício, o nível de condicionamento, a particularidade de cada indivíduo e a potência mecânica (watts ou kpm) e relativa (variáveis fisiológicas) alteram a cadência de pedalada ideal e a preferida¹¹. Outro fator é a distribuição dos tipos de fibras musculares, rápidas e lentas, como importantes determinantes para o ritmo de pedalada individual^{7,13,14}.

A relação da potência mecânica com a cadência de pedalada também é outro ponto importante encontrado na literatura. A potência final alcançada pode ser diferente em relação à cadência de pedalada e à posição do corpo na bicicleta, entretanto, a cadência pode afetar a potência final alcançada em um teste ou treino específico³. A maioria dos estudos utilizou uma potência mecânica constante para encontrar uma resposta de outras variáveis, em relação à posição do corpo na bicicleta, há uma diferença na cadência de pedalada quando se pedala sentado ou em pé.

Para todas estas variáveis, o conhecimento do instrumento de avaliação se torna indispensável para a aplicação dos resultados. A bicicleta ergométrica e a própria bicicleta individual de ciclismo, usada em laboratórios ou em velódromos e competições outdoor, estão sendo alvo de

diversos estudos que relatam as diferenças das respostas mecânicas e relativas da cadência de pedalada no ciclismo^{15,16,17,18,19,20}.

Sendo assim, o presente estudo teve o objetivo de revisar a literatura científica que investigou a eficiência mecânica através da cadência de pedalada econômica e preferida pelos ciclistas.

Desenvolvimento

A bicicleta como um instrumento de avaliação

O cicloergômetro foi criado para identificar a capacidade do trabalho muscular dos indivíduos através de testes em laboratórios¹⁵. A bicicleta ergométrica tem sido o instrumento mais comum para determinar os parâmetros fisiológicos e biomecânicos em ciclistas^{6,21,22,23,24}, e por isso, o ciclismo é um dos exercícios mais utilizados para a avaliação clínica de pacientes e para o desenvolvimento da aptidão cardiorrespiratória. Tal popularização deve-se ao fato do ciclismo envolver a utilização de grandes grupos musculares com um reduzido grau de impacto sobre as articulações²⁵.

O sistema de pedal circular foi desenvolvido por Pierre Michaux em 1861, e depois de 144 anos, não podemos estar realmente certos qual é o sistema de pedalada ideal. Consequentemente, devemos ser cautelosos ao falarmos da otimização da cadência de pedalada.

Durante uma atividade de pedalar, a eficiência de um atleta pode ser alterada por fatores materiais como altura do banco, o tamanho do pedivela, a posição na bicicleta e o uso de sapatilhas de ciclismo. Carvalho et al.¹⁷, a fim de minimizar os fatores que alteram a pedalada, constataram, em seu estudo com triatletas, uma alta correlação nos resultados da potência obtidos entre a bicicleta ergométrica e um ciclossimulador. Os

estudos de Santalla et al.²⁰ em indivíduos não ciclistas, e de Lucia et al.²⁸ em ciclistas profissionais, que não encontraram diferenças entre os diferentes sistemas de pedais (rotor e convencional) quando medidas as variáveis fisiológicas e mecânicas. Estes estudos somente observaram

nente, a velocidade seria fator determinante.

Gaesser e Brooks⁴ definem a eficiência mecânica como a relação do trabalho realizado com a energia gasta. Considerando-se que no ciclismo o tipo de energia dissipada no pedal é eminentemente mecânica, o cálculo da energia mecânica

Tabela 1: Cadência média de ciclistas profissionais

	Estágios no plano (largada em massa)	Contra-relógio individual	Subidas em montanhas
Cadência (rpm)	89 (80 a 99)	92 (86 a 96)	71 (62 a 80)
Velocidade (kph)	44 (38 a 51)	47 (44 a 50)	17 (12 a 25)

Fonte: Dados coletados em 1999 (giro, tour e volta). Todos os dados expressam a média, mínimo e máximo. Os estágios planos têm ~ 188 km, contra-relógio ~ 50 km e subidas em montanhas ~ 180 km¹¹.

uma melhora da eficiência com o uso do sistema de rotor.

Eficiência mecânica

A compreensão dos padrões e critérios que o sistema nervoso utiliza para a realização de determinadas funções é fundamental para o entendimento da melhoria e eficiência de movimento³⁰. Segundo Prilutsky et al.³¹, os animais realizam seus movimentos locomotores de uma maneira

nica gerada no corpo humano durante a realização da pedalada fornece a eficiência mecânica no ciclismo. Tais valores de eficiência mecânica podem caracterizar e diferenciar um bom ciclista ou um indivíduo em potencial, na medida em que uma maior eficiência está associada a um melhor aproveitamento da energia mecânica gerada para a realização do movimento³².

Podemos afirmar que a habilidade de sustentar o trabalho é dependente de uma fonte adequada

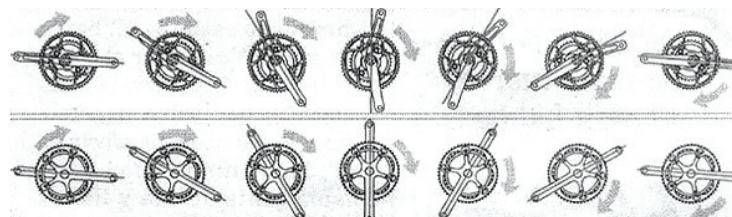


Figura 1: Sistema de pedal não circular – Rotor (1) e sistema de pedal circular – Convencional (2) (Santalla et. al. 20).

otimizada. Assim, em uma corrida de longa distância, o critério seria, então, a economia energética, mas se o objetivo fosse escapar de um opo-

de O₂ aos músculos²². Um exemplo é a extração de O₂ em músculos dos membros inferiores, como o vasto lateral, que se mostrou similar em



60 e 100 rpm³³. Já Vecruyssen et al (2005)³⁴, em um estudo com triatletas mostraram que para diminuir os índices de fadiga muscular deve-se aumentar a cadência de pedalada.

Belli e Hintzy¹, pesquisando o VO_2 ($\text{ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$) e a energia gasta ($\text{J.kg}^{-1}\text{m}^{-1}$), reportaram que o consumo de O_2 foi menor nas baixas cadências (57 rpm), com um alto gasto energético em cadências mais elevadas (101 rpm). Já Sidossis et al.³⁵ mostraram que a eficiência total, a uma intensidade de 80-90% do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ em ciclistas treinados, foi similar entre as cadências de 60, 80 e 100 rpm, ao contrário do consumo de O_2 que aumentou com o acréscimo da cadência de pedalada.

A concentração de lactato sanguíneo também é um fator bastante testado para encontrar a cadência de pedalada ideal. Autores tentam correlacionar à cadência de maior eficiência mecânica com a concentração de lactato^{8,36}. Segundo Denadai et al.³⁶, que utilizaram indivíduos masculinos de atividade recreacional, a concentração do máximo de lactato em steady-state não é influenciada pelas diferentes cadências de pedalada. Isso nos deixa uma lacuna, quando se propõe um treinamento relacionando a cadência e a concentração de lactato para ciclistas profissionais ou experientes.

ciclistas que não são altamente treinados²⁷ e quando a variação da cadência é usada com um número reduzido de variáveis. A cadência ideal não deve ser a única variável a ser associada com os objetivos e as características individuais dos sujeitos⁸.

Entretanto, estudos mostraram que trabalhar em diferentes cadências pode alterar a eficiência da pedalada^{2,37,38}. Assim sendo, algumas pesquisas^{21,39,28,40,41,42,43} relataram, em estudos sobre a eficiência de pedalada, que as baixas cadências de pedaladas (50 a 60 rpm) são mais econômicas e eficientes que as altas cadências de pedaladas (> 90 rpm).

Dessa forma, testes submáximos com indivíduos ativamente físicos mostram que pedalar em uma mesma potência mecânica, obtida com combinações de cadência e carga resistiva diferentes, resulta em respostas da Frequência Cardíaca, Pressão Arterial, Duplo Produto e Percepção de Esforço diferente, principalmente se a cadência escolhida se encontrar acima da faixa econômica (50 a 60 rpm).

Lucia et al.²⁷ apresentaram os principais achados sobre as baixas cadências de pedalada testadas em laboratório (tabela 2).

Tabela 2: Vantagens e desvantagens hemodinâmicas e fisiológicas encontradas quando se pedala em baixas cadências (< 60-70 rpm)

Vantagens	Desvantagens
FC e VE	Estresse muscular
VO_2	Fluxo sanguíneo no músculo do quadríceps
Economia / eficiência	Volume de ejeção
	Bomba muscular
As conclusões mostradas são baseadas em pesquisa conduzidas em indivíduos não treinados. FC = frequência cardíaca; VE = ventilação pulmonar ²⁷ .	

As discussões sobre a cadência de pedalada ideal ainda provocam mais controvérsias quando as novas pesquisas têm sido conduzidas utilizando

Em contrapartida, outros estudos mostram que o aumento da cadência de pedalada não altera a eficiência mecânica^{42,44}. Nickleberry e Brooks

⁴⁴ mostraram tais resultados em exercício sub-máximo, tanto em ciclistas profissionais quanto em recreacionais. Marsh et al. ⁴² concluíram que a eficiência não sofre grandes alterações pela cadência de pedalada comparando ciclistas treinados, corredores e indivíduos destreinados.

Em suma, este é o ponto divergente da literatura quando se fala em cadência de pedalada, sendo que, os estudos que mostram que não há alterações na eficiência de pedalada com o aumento da cadência tinham em sua amostra ciclistas altamente treinados que realizavam os testes a potências acima de 400 watts ¹¹.

Potência Mecânica

A performance das condições fisiológicas no ciclismo é representada pela potência relativa, que é mensurada através das variáveis fisiológicas de treinamento ²⁷. Para alcançar estas variáveis de treinamento é utilizada a potência mecânica oferecida pelos cicloergômetros, mensurada em watts (w) ^{19,27}.

Testes em laboratórios, usando a potência fixa, têm sido o modelo de exercício escolhido por muitos estudos ^{16,17}. Em geral, os testes executados por indivíduos não ciclistas com potência constante (geralmente ≤ 200 w), pedalando em baixo ritmo (50 a 70 rpm), resultaram em um menor consumo de oxigênio do que pedalando em ritmo mais elevado (> 90 rpm). Tal escora pode ser considerado bom para estes indivíduos, que buscam uma melhora da aptidão física e recreação, e que raramente ultrapassam de 200w. Os ciclistas de elite estão interessados em otimizar a cadência de pedalada e fazer-las mais econômicas e eficientes, podendo gerar maior potência mecânica por um período mais longo ²⁷.

Os indivíduos, quando testados em laboratórios, são requeridos a pedalarem sentados. O que não retrata algumas situações naturais, como a subida em montanhas na qual se utiliza a posição em pé.

O pico de potência alcançado (PO_{peak}) no ciclismo é significativamente alterado pela posição do corpo, ou seja, são diferentes quando comparados aos testes de laboratório e em condições de treino ou competição em velódromos ²². Faria et al. ²² ainda reportaram, em seu estudo, que o PO_{peak} em *Sprints* em velódromos na posição sentada é maior que na posição em pé, quando comparados aos resultados do laboratório.

Bertucci et al. ¹⁶ indicaram, em seu trabalho, que a potência varia substancialmente de acordo com a cadência de pedalada e com um menor efeito com o terreno utilizado. Este achado vai de encontro aos de Millet et al. ⁴⁵ que ao observarem ciclistas treinados não constatarem diferenças entre as subidas na posição sentada e em pé.

Levando em consideração os efeitos das cadências de pedalada na potência alcançada, Pierre et al. ³⁸ relataram que os efeitos da cadencia na eficiência total diminui linearmente com a potência, enquanto o efeito da potência aumenta com a cadência em indivíduos ativos. Assim, para girar em uma potência muito alta utilizam-se cadências de pedalada mais baixas.

Cadência de pedalada preferida

Paradoxalmente aos relatos da literatura, estudos com ciclistas mostram a preferência dos indivíduos em pedalar em altas cadências (90 rpm), consideradas teoricamente menos econômicas e eficientes ^{21,39,40,41,45}. As altas cadências de pedalada aumentam o gasto energético durante o ciclismo. Entretanto, mesmo que a eficiência diminua, os ciclistas sentem-se mais confortáveis com as cadências mais altas. Diversas hipóteses são propostas para explicar estes dados obtidos, referentes à cadência de pedalada preferida, como o recrutamento de fibras ou as modificações hemodinâmicas durante o exercício prolongado ⁹.

Sanderson et al. ⁴⁶ mostraram que o ritmo de pedalada mais alto diminui o impulso de distri-



Conclusão

buição da pressão entre os pés, sapatos e pedal. Entretanto, com os aumentos da carga resistiva tal afirmativa se torna inversa, ou seja, ao contrário do ritmo de pedalada, não exerce alterações significativas sobre a cinemática de membro inferior⁴⁷, nem quando comparado à atividade neuromuscular⁴⁸.

Quando comparadas às amostras, as respostas para os aumentos da cadência são similares tanto para ciclistas experientes quanto para os ciclistas recreacionais⁴⁹. A estabilidade da cadência de pedalada preferida não tem ligação com a fadiga central e periférica⁵⁰. Takaishi et al.⁵¹ sugeriram que a razão para a preferência dos ciclistas às altas cadências está relacionada com o desenvolvimento da fadiga neuromuscular. Com isso, para minimizar os efeitos do gasto energético em encontrar a cadência preferida, Marsh e Martin⁵² não indicam o uso da percepção de esforço para indivíduos treinados.

Lucia et al.²⁷ apresentaram os principais achados sobre diferentes as cadências de pedalada preferidas pelos ciclistas profissionais testadas em laboratório (tabela 3).

Faria et al.⁵³ em seu estudo com ciclistas experientes, mostraram que as altas cadências de pedalada não são prejudicadas com uma redução da eficiência. Dados estes que corroboram com os achados de Lucia et al.²⁸ que mostraram uma grande eficiência com altas cadências em ciclistas de ponta.

Há uma conseqüente cautela ao aplicar as conclusões das pesquisas sobre a eficiência mecânica em ciclistas altamente treinados. Devido à grande amplitude de variações nas cadências de pedalada, parte dos treinos é realizada com cadências consideravelmente fora da faixa econômica.

Concluimos que, o sistema de pedal encontrado em diferentes bicicletas de ciclismo não altera tanto os níveis de atividade muscular de membros inferiores²⁹ quanto as variáveis fisiológicas e mecânicas^{20,28}. Entretanto, a eficiência mecânica é alterada com o aumento da cadência. As baixas cadências de pedaladas (50 a 60 rpm) são mais econômicas e eficientes que as altas cadências de pedaladas (> 90 rpm)^{21,39,28,40,41,42,43}.

A potência mecânica é outro fator importante para a otimização da cadência de pedalada²⁷. Estudos mostraram claramente a relação da cadência de pedalada com a potência mecânica. A cadência mais econômica (50 a 60 rpm) aumenta a potência mecânica^{6,21,37,54}, já com os aumentos da cadência de pedalada (>90 rpm) a força mecânica aplicada diminui^{13,55}.

Tão logo, a cadência ideal, em termos de consumo de oxigênio, para a maioria de seres humanos, é geralmente mais baixa do que a cadência preferida pelos ciclistas treinados (90 rpm).

Neste sentido a cadência de pedaladas se mostrou com um importante fator na performance de ciclistas existindo uma tendência de diferenciação entre ciclistas treinados e não treinados.

Tabela 3: Vantagens e desvantagens hemodinâmicas e fisiológicas encontradas quando se pedala em altas cadências (> 90 rpm)

Desvantagens	Vantagens
FC e VE	Estresse muscular
VO ₂	Fluxo sanguíneo no músculo do quadríceps
Economia / eficiência	Volume de ejeção
	Bomba muscular
As conclusões mostradas são baseadas em pesquisa conduzidas em indivíduos não treinados. FC = frequência cardíaca; VE = ventilação pulmonar ²⁷ .	

Correspondência

Rua Mal. Floriano Peixoto, 937 apto. 402 –
Centro
Juiz de Fora, Minas Gerais (Brasil)
CEP: 36015-440 - Tel: 55 (32) 9194-0154
E-mail: marceloricardo@actrium.com.br
Cadência de pedalada no ciclismo: Uma revisão
de literatura

Referências

1. Belli A, Hintzy F. (2002) Influence of pedalling rate on the energy cost of cycling in humans. *Eur J Appl Physiol* 88(1-2):158-162.
2. Coast JR, Cox RH, Welch HG. (1986) Optimal pedaling rate in prolonged bouts of cycle ergometry. *Med Sci Sport Exerc* 8(2):225-230.
3. Pierre S, Nicolas H, Frédérique H. (2006) Interactions between cadence and power output effects on mechanical efficiency during sub maximal cycling exercises. *Eur J Appl Physiol* 97(1):133-139.
4. Gaesser GA, Brooks GA. (1975) Muscular efficiency during steady-rate exercise: effects of speed and work rate. *J Appl Physiol* 38(6):1132-1139.
5. Gotshall RW, Bauer TA, Fahrner SL. (1996) Cycling cadence alters exercise hemodynamics. *Int Sports Med* 17(1):17-21.
6. Hagberg JM, Mullin JP, Giese MD, Spitznagel E. (1981) Effect of pedaling rate on submaximal exercise responses of competitive cyclists. *J Appl Physiol* 51(2):447-451.
7. Hintzy F, Belli A, Grappe F, Rouillon JD. (1999) Optimal pedalling velocity characteristics during maximal and submaximal cycling in humans. *Eur J Appl Physiol* 79(5):426-432.
8. Marais G, Pelayo P. (2003) Cadence and exercise: physiology and biomechanical determinants of optimal cadences – practical applications. *Sports Biomechanics* 2(1):103-132.
9. Vercruyssen F, Brisswalter J, Hausswirth C, Bernard T, Bernard O, Vallier JM. (2002). Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. *Med Sci Sports Exerc* 34(3):530-536.
10. Rocha EK, Soares DP, Vellado DM, Loss JF. (2003) Caracterização da escolha da cadência preferida no ciclismo a partir de parâmetros musculares. *Rev Bras Med Esp* 9(6):439-446.
11. Lucia A, Hoyos J, Chicharro JL. (2001) Preferred pedalling cadence in Professional cycling. *Med Sci Sport Exerc* 33(8):1361-1366.
12. Padilla S, Mujika I, Cuesta G, Goiriena JJ. (1999) Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Med Sci Sports Exerc* 31(6):878-885.
13. Umberger BR, Gerritsen KG, Martin PE. (2006) Muscle fiber type effects on energetically optimal cadences in cycling. *J Biomech* 39(8):1472-1479.
14. Takaishi T, Yamasoto T, Ono T, Ito T, Moritani T. (1998) Neuromuscular, metabolic, and kinetic adaptations for skilled pedalling performance in cyclists. *Med Sci Sport Exerc* 30(3):442-449.
15. Astrand PO, Ryhming I. (1954) A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol* 7(2):218-221.
16. Bertucci W, Taïar R, Grappe F. (2005) Differences between sprint tests under laboratory and actual cycling conditions. *J Sports Med Phys Fitness* 45(3):277-283.
17. Carvalho Junior ES, Santos ALG, Schneider AP, Beretta L, Tebexreni AS, Cesar MC, Barros TL. (2000) Análise comparativa da aptidão cardiorrespiratória de triatletas, avaliados em ciclossimulador e bicicleta ergométrica. *Rev Bras Ciên e Mov* 8(3):21-24.
18. Lucia A, San Juan AF, Montilla M, V, Canete S, Santalla A, Earnest C, Perez M, (2004) In Professional Road Cyclists, low Pedaling Cadences are Less Efficient. *Med Sci Sport Exerc* 36(6):1048-1054.



19. Padilla S, Mujika I, Cuesta G, Polo JM, Chatard JC. (1996) Validity of a velodrome test for competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol* 73(5):466-451.
20. Santalla A, Manzano JM, Pérez M, Lucia A. (2002) A new pedaling design: the Rotor-effects on cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 34(11):1854-1858.
21. Coast JR, Welch HG. (1985) Linear increase in optimal pedaling rate with increased power output in cycle ergometry. *Eur J Appl Physiol* 53(4):339-344.
22. Faria IE, Dix C, Frazer C. (1978) Effect of body position during cycling on heart rate, pulmonary ventilation, oxygen uptake and work output. *J Sports Med Phys Fitness* 18(1):49-56.
23. Faria IE, Faria EW, Roberts S, Yoshimura D. (1989) Comparision of physical and physiological characteristics in elite yonhg and mature cyclists. *Res Q Exerc Sport* 60(4):388-395.
24. Sjøgaard G. (1984) Muscle morphology and metabolic potential in elite road racing cyclist during a season. *Int J Sports Med* 5(5):250-254.
25. Caputo F, Greco CC, Denadai BS. (2005) Efeitos do estado e especificidade do treinamento aeróbio na relação $\%VO_{2max}$ versus $\%FC_{max}$ durante o ciclismo. *Arq Bras Cardiol* 84(1):20-23.
26. Smith MF, Davison RCR, Balmer J, Bird SR. (2001) Reliability of mean power recorded during indoor and outdoor self-paced 40 km cycling time-trials. *Int J Sports Med* 22(4):270-274.
27. Lucia A, Earnest C, Hoyos J, Chicarro JL. (2003) Optimizing the crank cycle and pedaling cadence. In: Burke ER (Ed). *High-Tech Cycling*. 2ª edição. Champaign: Human Kinetics: 93-118.
28. Lucia A, Balmer J, Davison RCR, Pérez M, Santalla A, Smith PM. (2004) Effects of the rotor pedalling system on the performance of trained cyclists during incremental and constant-load cycle-ergometer tests. *Int J Sports Med* 25(7):479-485.
29. Duc S, Villerius V, Bertucci W, Pernin JN, Grappe F. (2005) Muscular activity level during pedalling is not affected by crank inertial load. *Eur J Appl Physiol* 95(2-3):260-264.
30. Soares D, Rocha E, Candotti CT, Vellado D, Fraga C, Guimarães AC, Loss J. (2003a) Potência muscular e eficiência mecânica em diferentes cadências no ciclismo. In: *X Congresso Brasileiro de Biomecânica*, 2003, Belo Horizonte (MG). Anais do *X Congresso Brasileiro de Biomecânica*: Imprensa Universitária UFMG, 1: 228-232.
31. Prilustsky BI, Herzog W, Allinger TL. (1997) Forces of individual cat ankle extensor muscles during locomotion predicted using static optimization. *J Biomech* 30(10):1025-1033.
32. Soares D, Rocha E, Candotti CT, Vellado D, Fraga C, Guimarães AC, Loss J. (2003b) Comparação entre eficiência mecânica e economia de movimento no ciclismo. In: *X Congresso Brasileiro de Biomecânica*, 2003, Belo Horizonte (MG). Anais do *X Congresso Brasileiro de Biomecânica*: Imprensa Universitária UFMG, 1:307-310.
33. Ferreira LF, Lutjemeier BJ, Townsend DK, Barstow TJ. (2005) Effects of pedal frequency on estimated muscle microvascular O_2 extraction. *Eur J Appl Physiol* 96(5):558-63.
34. Vecruyssen F, Suriano R, Bishop D, Hausswirth C, Brisswalter J. (2005) Cadence selection affects metabolic responses during cycling and subsequent running time to fatigue. *Br J Sports Med* 39(5):267-272.
35. Sidossis LS, Horowitz JF, Coyle EF. (1992) Load and velocity of contraction influence gross and mechanical efficiency. *Int J Sport Med* 13(5):407-411.
36. Denadai BS, Ruas VD, Figueira TR. (2005) Maximal lactate steady state concentration independent of pedal cadence in active individuals. *Eur J Appl Physiol* 96(4):477-80
37. Boning D, Gonen Y, Maaseen N. (1984) Rela-

tionship between work load, pedal frequency, and physical fitness. *Int J Sport Med* 5(2):92-97.

38. Pierre S, Nicolas H, Frederique H. (2006) Interactions between cadence and power output effects on mechanical efficiency during sub maximal cycling exercises. *Eur J Appl Physiol* 97(1):133-139.

39. Vercruyssen F, Hausswirth C, Smith D, Brisswalter J. (2001) Effect of exercise duration on optimal pedaling rate choice in triathletes. *Can J Appl Physiol* 26(1):44-54.

40. Marsh AP, Martin PE. (1993) The association between cycling experience and preferred and most economical cadences. *Med Sci Sport Exerc* 25(11):1269-1274.

41. Marsh AP, Martin PE. (1997) Effect of cycling experience, aerobic power and power output on preferred and most economical cadences. *Med Sci Sport Exerc* 29(9):1225-1232.

42. Marsh AP, Martin PE, Foley KO. (2000) Effect of cadence, cycling experience, and aerobic power on delta efficiency during cycling. *Med Sci Sport Exerc* 32(9):1630-1634.

43. Padilla S, Mujika I, Orbananos J, Santisteban J, Angulo F, Goiriena JJ. (2001) Exercise Intensity and Load during Mass-Start Stage Races in Professional Road Cycling. *Med Sci Sport Exerc* 33(5):796-802.

44. Nickleberry BLJ, Brooks GA. (1996) No effect of cycling experience on leg cycle ergometer efficiency. *Med Sci Sport Exerc* 28(11):1396-1401.

45. Millet GP, Tronche C, Fuster N, Candau R. (2002) Level ground and uphill cycling efficiency in seated and standing positions. *Med Sci Sports Exerc* 34(10):1645-1652.

46. Sanderson DJ, Hennig EM, Black AH. (2000) The influence of cadence and power output on force application and in-shoe pressure distribution during cycling by competitive and recreational cyclists. *J Sports Sci* 18(3):173-181.

47. Carpes FP, Mota CB. (2003) Análise cine-

mática do membro inferior em duas diferentes cadências de pedalada no ciclismo. In: 4º Congresso Brasileiro de Atividade Física e Saúde, 2003, Florianópolis (SC). Anais – 4º Congresso Brasileiro de Atividade Física e Saúde, p.191.

48. Sarre G, Lepers R, Maffiuletti N, Millet G, Martin A. (2003) Influence of cycling cadence on neuromuscular activity of the knee extensors in humans. *Eur J Appl Physiol* 88(4-5):476-479.

49. Sanderson DJ. (1991) The influence of cadence and power output on the biomechanics of force application during steady-rate cycling in competitive and recreational cyclists. *J Sports Sci* 9(2):191-203.

50. Sarre G, Lepers R, Van Hoecke J. (2005) Stability of pedalling mechanics during a prolonged cycling exercise performed at different cadences. *J Sports Sci* 23(7):693-701.

51. Takaishi T, Yasadua Y, Ono T, Moritani T. (1996) Optimal pedaling rate estimated from neuromuscular fatigue for cyclists. *Med Sci Sport Exerc* 28(12):1492-1497.

52. Marsh AP, Martin PE. (1998) Perceived exertion and the preferred cycling cadence. *Med Sci Sport Exerc* 30(6):942-948.

53. Faria IE, Sjøgaard G, Bonde-Petersen E. (1982) Oxygen cost during different pedalling speeds for constant power output. *J Sport Med* 22(3):295-299.

54. Seabury JJ, Adams WC, Ramey MR. (1977) Influence of pedaling rate and power output on energy expenditure during bicycle ergometry. *Ergonomics* 20(5):491-498.

55. Faria IE. (1992) Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling: An update. *Sports Med* 14(1):43-63.