

## Artigo original

# A influência de diferentes cadências e intensidades de exercício sobre as respostas da frequência cardíaca e da percepção subjetiva de esforço em ciclistas

## *The influence of different cadences and exercise intensities on heart rate responses and rating of perceived exertion in cyclists*

Mateus Rossato, M.Sc.\*, Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, D.Sc.\*\*, Antônio Renato Pereira Moro, D.Sc.\*\*,  
Talita Grossl\*\*\*, Juliano Fernandes da Silva, M.Sc.\*\*\*\*

\*Professor FEEF/UFAM, \*\*Professores CDS/UFSC, \*\*\*Aluna PPGEF/CDS/UFSC, \*\*\*\*Professor CEFID/UEDESC

### Resumo

Em períodos de treinos e competições, os ciclistas utilizam cadências que não apresentam a maior economia de movimento, porém apresentam menor ativação neuromuscular. O objetivo deste estudo foi investigar as respostas cardiovasculares e psicológicas em diferentes cadências e intensidades de exercício em ciclistas profissionais. Participaram oito ciclistas profissionais, os quais realizaram um teste incremental máximo e outros dois testes submáximos (60 e 80% da potência máxima), em que pedalarão na cadência preferida, 20% a menos da cadência preferida e 20% acima da preferida. Foi utilizada a ANOVA *Two Way* e o *post-hoc de Tukey*. Foi adotado  $p < 0,05$ . Pode-se concluir que a intensidade parece ser determinante na escolha das cadências preferidas, resultando na sua redução à medida que intensidades maiores eram solicitadas, além disso, a elevação das cadências foi determinante para a elevação da demanda energética para ambas as intensidades. Adicionalmente, observou-se que as cadências preferidas pelos ciclistas não apresentaram os valores mais baixos de percepção subjetiva de esforço.

**Palavras-chave:** ciclismo, frequência cardíaca, cadência.

### Abstract

In training and competition periods, cyclists use cadences that do not represent the greatest economy of movement, however, present less neuromuscular activation. The aim of this study was to investigate the psychological and cardiovascular responses at different cadences and exercise intensities in professional cyclists. Eight professional cyclists took part of the study, who performed a maximal incremental test and two submaximal tests (60 and 80% of maximum power output), pedaling at the preferred cadence, 20% below and 20% above the preferred cadence. ANOVA two-way and post hoc Tukey was used and the level of significance was set at  $p < 0.05$ . It can be concluded that the intensity seems to be determinant in the choice of the preferred cadences, resulting in its reduction as the higher intensities were required, besides, the increase in cadence was crucial to the rise in energy demand for both intensities. Additionally, we observed that the preferred cadences by cyclists did not present the lowest ratings of perceived exertion.

**Key-words:** cycling, heart rate, cadence.

Recebido em 23 de setembro de 2010; aceito em 19 de novembro de 2010.

**Endereço para correspondência:** Mateus Rossato, Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Educação Física e Fisioterapia, Mini-Campus – Coroado, 69077-000 Manaus AM, Tel: (92) 3305-4090, E-mail: rossato.mateus@gmail.com

## Introdução

O monitoramento da intensidade de esforço seja em treinamentos ou em provas é de extrema importância, pois possibilita tanto o ajuste das cargas de treinamento quanto a avaliação das exigências fisiológicas da sessão de treino ou competição [1]. Dessa forma, para a prescrição da intensidade do exercício, podem ser empregados vários parâmetros, como o consumo máximo de oxigênio ( $\text{VO}_2\text{max}$ ), a resposta do lactato sanguíneo, a percepção subjetiva de esforço (PSE) e a frequência cardíaca (FC) [1].

Por meio da mensuração da concentração de lactato sanguíneo, é possível assumir a existência de domínios fisiológicos separados por dois limiares ou duas perdas de continuidade [2]. A identificação precisa dos limiares de transição fisiológica é uma ótima estratégia para os treinamentos, visto que o treino torna-se mais eficaz quando realizado nas intensidades correspondentes a esses limiares.

No entanto, a realização de medidas diretas em situações de provas e treinamentos torna-se inviável tanto por aumentarem os custos operacionais como pela possibilidade de interferir na rotina de treinamento do atleta [3]. Sendo assim, tem aumentado o interesse dos técnicos e atletas pela utilização da FC como meio para o controle das intensidades de treinamento, principalmente por ser um método não invasivo, de fácil aplicabilidade e de baixo custo operacional [4]. Além disso, para Santos *et al.* [5], uma das bases fisiológicas, que regem a aplicação da FC como indicador de intensidade do esforço, é a sua relação linear dos percentuais da FC máxima (%FCmax) com os percentuais do  $\text{VO}_2\text{max}$  (% $\text{VO}_2\text{max}$ ), permitindo estimar o comportamento de uma variável em função da outra.

Outra variável empregada para a obtenção do grau do esforço físico, principalmente pela fácil aplicabilidade e baixo custo, é a PSE. Borg [6] salienta que a avaliação global da percepção do esforço integra algumas informações de sinais deduzidos do trabalho muscular (músculos e articulações), cardiopulmonar e do sistema nervoso central. Consequentemente, a PSE é um indicador importante para saber o grau de esforço que está sendo realizado em uma determinada atividade e/ou exercício físico. Além disso, torna-se interessante associar os indicadores fisiológicos, como a FC, com os indicadores subjetivos, como a Escala de Borg.

Fernández-García *et al.* [7] e Lucía *et al.* [8] relatam que os ciclistas estão entre os atletas que conseguem manter as mais altas intensidades de trabalho, sendo reportados valores acima de 90% do  $\text{VO}_2\text{max}$  pelo período de uma hora em ciclistas profissionais [9,10]. Esta grande capacidade de tolerância à fadiga está em parte associada às cadências de pedalada utilizadas pelos mesmos.

Assim sendo, as cadências mais econômicas são as compreendidas entre 50 e 80 rpm [11,12], no entanto, os ciclistas preferem utilizar cadências compreendendo uma faixa de 90 a 105 rpm [13-18]. Esta discordância entre o recomendado

e o utilizado é um dos pontos intrigantes entre os pesquisadores, sendo consenso entre os autores que os fatores que determinam a preferência por cadências mais elevadas não estão completamente elucidados.

Dessa forma, fatores hemodinâmicos [19], fatores ligados à minimização da fadiga [20-23] e fatores ligados à diminuição dos momentos articulares [23], entre outros, parecem estar associados com a escolha por parte dos ciclistas de cadências mais elevadas. Sendo assim, alterações nas cadências desencadeiam uma série de mudanças metabólicas [16,24], cardiopulmonares [8,22,25], neuromusculares [26,27], biomecânicas [28] e psicológicas [29-33].

Tendo em vista a escassez de iniciativas científicas que levaram em consideração a individualidade e a especificidade no ciclismo, em ciclistas profissionais, percebe-se a importância de determinar as respostas cardiovasculares e psicológicas em diferentes cadências e intensidades de exercício. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo investigar as respostas cardiovasculares e psicológicas em diferentes cadências de pedalada e diferentes intensidades de exercício em ciclistas profissionais.

## Material e métodos

### Participantes

Participaram deste estudo oito ciclistas profissionais, do sexo masculino ( $24 \pm 3$  anos,  $73 \pm 6,3$  kg,  $178 \pm 6,8$  cm,  $8 \pm 4$  anos de experiência,  $487 \pm 171$  km/semana de treinamento). Todos os procedimentos adotados foram aprovados previamente pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (protocolo 065/2006) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os participantes foram informados e familiarizados com todos os procedimentos do experimento, assim como os riscos e benefícios, assinando um termo de consentimento livre e esclarecido.

### Teste incremental máximo

Os ciclistas foram submetidos a um teste incremental máximo (TI) com carga inicial de 100 W e teve incrementos de 30 W a cada 3 min [34], sendo que a cadência de pedalada deveria ser mantida entre 90 e 110 rpm. O teste foi considerado máximo quando dois ou mais critérios a seguir fossem encontrados: quociente respiratório maior que 1,10; platô de  $\text{VO}_2$ ; 90% FCmax predita pela idade e incapacidade de manter a cadência solicitada.

A FC foi monitorada a cada 5 s por meio de um cardiofrequencímetro da marca POLAR® (modelo S610i). A cadência de pedalada e potência produzida foram monitoradas e controladas por intermédio de um ciclosimulador *CompuTrainer Professional* (modelo 8001 *RaceMate Inc*®). O consumo de oxigênio ( $\text{VO}_2$ ) foi monitorado a cada 20 s por meio do ergoespirômetro da marca AeroSport TEEM 100

(*Metabolic Analyze System*), sendo que o maior valor relatado pelo equipamento foi considerado o valor de  $VO_2\max$ .

Com a finalidade de preservar a individualidade e especificidade da modalidade, tanto o TI como os testes submáximos foram realizados nas próprias bicicletas dos atletas. A relação de marchas utilizada foi 39/19, porém, quando a bicicleta não possuía esta relação de marchas, utilizava-se uma metragem similar que mais se aproximasse desta. A potência máxima ( $P_{max}$ ) foi determinada de acordo com a equação:  $P_{max}(W) = \text{carga do último estágio completado (W)} + [t (s)/\text{duração do estágio (s)} * \text{incremento de carga (W)}]$ ; onde "t" foi o tempo do estágio incompleto.

## Testes submáximos

Após 48 h, os ciclistas retornaram ao laboratório onde realizaram duas séries de 30 min, com intervalo de 30 min entre as séries, respectivamente, nas intensidades correspondentes a 60 e 80% da  $P_{max}$  ( $60\%_{P_{max}}$  e  $80\%_{P_{max}}$ ) determinada previamente no TI. Cada série de 30 min foi constituída por 10 min na cadência preferida (Pref), posteriormente foi reduzida em 20% ( $Pref_{-20\%}$ ) e, nos últimos 10 min, foi elevada em 20% da cadência preferida ( $Pref_{+20\%}$ ), conforme demonstrado na Figura 1.

**Figura 1** - Ilustração da realização dos dois testes submáximos.

Primeira etapa			Recuperação	Segunda etapa		
60% <sub>P<sub>max</sub></sub>				80% <sub>P<sub>max</sub></sub>		
10 min	10 min	10 min	30 min	10 min	10 min	10 min
Pref	Pref <sub>-20%</sub>	Pref <sub>+20%</sub>		Pref	Pref <sub>-20%</sub>	Pref <sub>+20%</sub>

A ordem das cadências não foi realizada de forma aleatória pela necessidade de identificar a cadência preferida para cada carga ( $60\%_{P_{max}}$  e  $80\%_{P_{max}}$ ), para então determinar as demais cadências. A utilização da cadência correspondente a  $Pref_{-20\%}$  logo após a Pref foi definida após a realização de testes prévios onde foram relatados menores desconfortos. Em relação à ordem das cargas ( $60\%_{P_{max}}$  e  $80\%_{P_{max}}$ ), optou-se por  $60\%_{P_{max}}$  para ser a primeira carga pelo fato de servir também como forma de aquecimento para a realização de uma carga superior.

O monitoramento e controle das cadências e potências foram realizados por meio do ciclosimulador utilizado no TI. Para a determinação das cadências preferidas, os ciclistas tinham 5 min para adaptação às cargas e nos 5 min finais era solicitado que mantivessem as cadências escolhidas previamente com a mínima variação possível. Nas variações das cadências ( $\pm 20\%$ ), os ciclistas tinham 5 min para adaptação à nova situação, e os 5 min finais necessariamente deveriam ter sido realizados nas cadências definidas. Durante todos os procedimentos, tanto a cadência de pedalada quanto a potência eram visualizadas pelo ciclista em um *display* localizado junto ao guidom da sua bicicleta.

A PSE foi obtida por meio da escala de 20 pontos proposta por Borg (2000), sendo solicitada ao ciclista, no último minuto de

cada série, a classificação do esforço proporcionado pela associação carga/cadência. A FC foi monitorada a cada 5 s por meio de um freqüencímetro da marca POLAR® (modelo S610i), entretanto somente foi utilizada a média dos últimos 5 min de cada série.

## Análise estatística

Os dados estão expressos com média  $\pm$  desvio padrão (DP). Inicialmente foi realizado o teste de *Shapiro-Wilk* para verificar a normalidade dos dados. Para as comparações das variáveis analisadas entre as diferentes cadências utilizou-se a análise de variância de dois fatores (ANOVA *Two Way*) e o teste *post-hoc de Tukey* (HSD). Em todas as análises foi adotado um nível de significância de 5%.

## Resultados

A Tabela I demonstra os valores referentes às variáveis obtidas no teste incremental. A  $P_{max}$  obtida pelos atletas foi de  $371 \pm 33$  W, sendo assim,  $60\%_{P_{max}}$  foi  $223 \pm 20$  W e  $80\%_{P_{max}}$  foi  $297 \pm 27$  W (Tabela I).

Na Tabela II estão descritos os valores referentes às variáveis cardiovasculares (FC e %FCmax) e psicológica (PSE) obtidas nos testes submáximos nas diferentes situações de potência e cadência.

Considerando que os ciclistas poderiam escolher as cadências nas quais pedalariam, observou-se uma redução significativa nos valores de cadências preferidas à medida que intensidades mais altas eram solicitadas (Tabela II).

Em relação aos parâmetros cardiovasculares analisados, observou-se que em ambas as intensidades, a cadência preferida não foi a que apresentou a menor demanda energética. Além disso, em ambas as intensidades, foram reportados valores significativamente superiores de FC e %FCmax com a elevação das cadências (Tabela II).

Quanto a PSE, em ambas as intensidades, a elevação da cadência ( $Pref_{+20\%}$ ) resultou aumentos significativos do desconforto orgânico quando comparado com as demais cadências ( $Pref_{-20\%}$  e Pref). Também foram reportados valores significativamente superiores para a cadência Pref quando comparada com a  $Pref_{-20\%}$  na intensidade  $80\%_{P_{max}}$ .

## Discussão

O principal achado do presente estudo foi que cadência preferida utilizada pelos ciclistas não é aquela cujo consumo energético é menor, estando de acordo com outras investigações. Além disso, o aumento das cadências de pedalada mostra-se determinante para a elevação tanto dos valores de FC quanto de PSE, sendo que a cadência preferida pelos ciclistas, em ambas as intensidades, não foi a que apresentou os menores valores de PSE (Tabela II).

A escolha das intensidades  $60\%_{P_{max}}$  e  $80\%_{P_{max}}$  tinha por finalidade submeter, de maneira indireta, os ciclistas a in-

**Tabela I** - Valores médios e DP referentes às variáveis obtidas no teste incremental máximo.

N = 8	Pmax (W)	FCmax (bpm)	VO <sub>2</sub> max (mL.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	60% <sub>Pmax</sub> (W)	80% <sub>Pmax</sub> (W)
Média ± DP	371 ± 33	191 ± 9	62,2 ± 3,4	223 ± 20	297 ± 27

Nota: Pmax = potência máxima; FCmax = frequência cardíaca máxima; Potência/MC = potência relativa a massa corporal; VO<sub>2pico</sub> = consumo de oxigênio de pico; 60%<sub>Pmax</sub> = potência referente a 60% da potência máxima; 80%<sub>Pmax</sub> = potência referente a 80% da potência máxima.

**Tabela II** - Valores médios e DP de cadência, FC, %FCmax e PSE nas diferentes situações analisadas.

	%Pmax	Pref <sub>-20%</sub>	Pref	Pref <sub>+20%</sub>
Cadência	60%	77 ± 6 <sup>b</sup>	96 ± 9 <sup>a</sup>	114 ± 9 <sup>c</sup>
(rpm)	80%	72 ± 7	90 ± 10	107 ± 11
FC	60%	144 ± 13	154 ± 11 <sup>d,e</sup>	163 ± 14 <sup>d</sup>
(bpm)	80%	161 ± 16	170 ± 11 <sup>d,e</sup>	178,6 ± 12 <sup>d</sup>
%FCmax	60%	75,6 ± 5,1	81,1 ± 4,6 <sup>d,e</sup>	85,5 ± 5,8 <sup>d</sup>
(%)	80%	84,4 ± 6,8	89,5 ± 4,8 <sup>d,e</sup>	93,7 ± 3,6 <sup>d</sup>
PSE	60%	12,3 ± 1	12,5 ± 1,2 <sup>e</sup>	14,3 ± 1,6 <sup>d</sup>
(n)	80%	14,5 ± 1,4	15,4 ± 1,3 <sup>d,e</sup>	16,6 ± 1,4 <sup>d</sup>

Nota: %Pmax = percentual da potência máxima; Pref<sub>-20%</sub> = 20% abaixo da cadência preferida; Pref = cadência preferida; Pref<sub>+20%</sub> = 20% acima da cadência preferida; FC = frequência cardíaca; %FCmax = percentual da frequência cardíaca máxima; PSE = percepção subjetiva de esforço. <sup>a</sup> p < 0,05 em relação a 80%<sub>Pmax</sub> da Pref; <sup>b</sup> p < 0,05 em relação a 80%<sub>Pmax</sub> da Pref<sub>-20%</sub>; <sup>c</sup> p < 0,05 em relação a 80%<sub>Pmax</sub> da Pref<sub>+20%</sub>; <sup>d</sup> p < 0,05 em relação a Pref<sub>-20%</sub>; <sup>e</sup> p < 0,05 em relação a Pref<sub>+20%</sub>.

tensões próximas às correspondentes ao limiar de lactato e máxima fase estável de lactato (MLSS). De acordo com o estudo de Denadai *et al.* [3], com ciclistas treinados, foi encontrado que a MLSS ocorreu em percentuais da Pmax semelhantes ao utilizado nesta pesquisa (79,4 ± 4,1%).

Em relação às cadências de pedalada preferidas pelos ciclistas, estas se encontram de acordo com outros estudos [13-18] indicando que os ciclistas preferem pedalar em cadências mais elevadas que as mais econômicas. Interessante notar que a elevação na carga de 60%<sub>Pmax</sub> para 80%<sub>Pmax</sub> resultou em reduções significativas na cadência preferida dos ciclistas (tabela II).

Comportamento semelhante foi relatado tanto em protocolos de laboratório [8,13,18,25,30,31,33,35] quanto em situações de campo [7,36-38]. Os estudos realizados em campo descrevem cadências inferiores em etapas de montanha quando comparadas com etapas planas, possivelmente devido à carga a ser vencida.

É consenso na literatura a existência de uma relação direta entre valores de VO<sub>2</sub> e FC [5,39]. Sendo assim, apesar de não ter sido possível utilizar medidas de VO<sub>2</sub>, quando analisados os valores de FC nas diferentes cadências estudadas, observa-se uma elevação significativa dos valores de FC e %FCmax (tabela II), indicando que em ambas as intensidades (60%<sub>Pmax</sub> e 80%<sub>Pmax</sub>), a elevação da cadência resulta em um aumento na demanda metabólica. Esta maior demanda metabólica está associada à redução na economia de movimento [1,11], uma vez que a economia de movimento é definida como o VO<sub>2</sub> obtido em determinada intensidade absoluta de exercício [1,40].

Os atletas mais econômicos são capazes de utilizar oxigênio de maneira mais eficiente para uma mesma intensidade, propiciando, assim, um melhor desempenho em eventos de endurance [40,41]. Adicionalmente, um indivíduo com maior economia de movimento apresenta um menor gasto

energético em uma intensidade submáxima, dessa forma conseguirá atingir uma maior velocidade em determinada distância ou um maior tempo em uma velocidade constante [42]. Consequentemente, um valor menor de VO<sub>2</sub> para determinada intensidade é vantajoso, principalmente em provas predominantemente aeróbias, pois utilizará uma menor fração do VO<sub>2</sub>max para qualquer intensidade de exercício.

Sendo assim, os ciclistas do presente estudo, conforme fora abordado em outras investigações [1,22,25,27,43], não foram mais econômicos nas cadências preferidas, indicando que outros fatores, além dos ligados a minimização do gasto energético, parecem estar associados com a escolha das cadências preferidas.

Além disso, no presente estudo foram reportados valores de %FCmax entre 75 e 85% (60%<sub>Pmax</sub>) a 84 e 94% (80%<sub>Pmax</sub>), estes valores estão acima dos observados por Neumayr *et al.* [44], que reportaram valores de 70% da FCmax, porém esses dados são relativos a provas de longa duração, o que possivelmente tenha influenciado tais resultados. Neumayr *et al.* [45] investigaram as intensidades de esforço em eventos de ciclismo e reportaram valores médios de 77% da FCmax, valores estes que se assemelham com as intensidades correspondentes a 60%<sub>Pmax</sub> do presente estudo, indicando um predomínio de intensidades moderadamente aeróbias.

A PSE é um índice importante quando o ciclista deve selecionar qual potência e cadência irá pedalar, uma vez que pode reconhecer os sinais periféricos (musculares) e centrais (cardiopulmonares). A percepção dos sinais periféricos parece ser mais determinante para as escolhas das cadências preferidas [31] quando comparada com os sinais centrais. Isso explica em parte o fato dos ciclistas pedarem em cadências menos econômicas.

Considerando os achados do atual estudo, não foram reportadas diferenças significativas quando comparadas as

cadências Pref e Pref<sub>-20%</sub> na intensidade de 60%<sub>P<sub>max</sub></sub>. Por outro lado, foram observadas diferenças nestas mesmas cadências, em intensidades superiores (80%<sub>P<sub>max</sub></sub>). Em ambas as intensidades, as cadências preferidas não foram as que apresentaram os menores valores de PSE, indicando que o fato dos ciclistas utilizarem cadências preferidas menos econômicas, parece não influenciar de maneira significativa a PSE. No entanto, em ambas as intensidades (60%<sub>P<sub>max</sub></sub> e 80%<sub>P<sub>max</sub></sub>), a utilização de cadências acima das preferidas resultou em aumentos significativos na PSE (tabela II).

Sobretudo, ainda parece não existir um consenso sobre o comportamento da PSE em diferentes cadências de pedalada. Marsh, Martin e Foley [13], variando as cadências, das mais econômicas (~ 60 rpm) para as preferidas (~ 100 rpm), reportaram que os ciclistas não minimizam a sua PSE na cadência preferida, o que estaria de acordo com os achados pelo atual estudo. Além disso, Hansen *et al.* [32] relatam que quando testadas cadências acima e abaixo das cadências preferidas, as mais econômicas eram as que apresentavam os valores significativamente mais baixos para a PSE. Adicionalmente, Hansen *et al.* [17] mostraram reduções significativas na PSE à medida que cadências mais elevadas eram testadas e Lucia *et al.* [33] verificaram que quando os sujeitos pedalaram em altas potências (acima de 300 W), a PSE aumentava com a diminuição da cadência.

## Conclusão

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que a intensidade de esforço parece ser determinante na escolha das cadências preferidas, resultando na sua redução à medida que intensidades maiores eram solicitadas. A elevação das cadências foi determinante para a elevação da demanda energética para ambas as intensidades, inferindo a ocorrência de redução na economia de movimento. Em relação às mudanças da PSE, em função das alterações das cadências e das intensidades, observou-se que as cadências preferidas pelos ciclistas não apresentaram os valores mais baixos de PSE, porém parece não existir um consenso sobre tal assunto. Sugere-se que novos estudos sejam realizados, onde aspectos como a individualidade e a especificidade da modalidade continuem sendo respeitados.

## Referências

- Denadai BS. Índices fisiológicos de avaliação aeróbia: conceitos e aplicações. Ribeirão Preto: BSD; 1999.
- Gaesser GA, Poole DC. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev* 1996;24:35-71.
- Denadai BS, Figueira TR, Favaro ORP, Gonçalves M. Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. *Braz J Med Biol Res* 2004;37:1551-6.
- Amorim PRS. Fisiologia do exercício: Considerações sobre o controle do treinamento aeróbio. *R Min Educ Fis* 2002;10:50-61.
- Santos AL, Cavalcanti S, Farinatti PTV, Monteiro WD. Respostas de frequência cardíaca de pico em testes máximos de campo e laboratório. *Rev Bras Med Esporte* 2005;11:177-80.
- Borg G. Escalas de Borg para a dor e o esforço percebido. São Paulo: Manole; 2000.
- Fernandéz-García B, Pérez-Landaluce J, Rodríguez-Alonso M, Terrados N. Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1002-6.
- Lucía A, Hoyos J, Santalla A, Pérez M, Chicharro JL. Kinetics of VO<sub>2</sub> in professional cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2002a;34:320-5.
- Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, Hamilton MT, Mountain SJ, Baylor AM, Abraham LD, Petrek GW. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:93-107.
- Lucía A, Carvajal A, Calderon FJ, Alfonso AE, Chicharro JL. Breathing pattern in highly competitive cyclists during incremental exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;79:512-21.
- Gaesser GA, Brooks GA. Muscular efficiency during steady-state exercise: effects of speed and work rate. *J Appl Physiol* 1975;38:1132-9.
- Di Prampero PE. Cycling on earth, in space, on the moon. *Eur J Appl Physiol* 2000;82:345-60.
- Marsh AP, Martin PE, Foley KO. Effect of cadence, cycling experience, and aerobic power on delta efficiency during cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1630-4.
- Atkinson G, Davison R, Jeukendrup A, Passfield L. Science and cycling: current knowledge and future directions for research. *J Sports Sci* 2003;21:767-87.
- Nesi X, Bosquet L, Pelayo P. Preferred pedal rate: an index of cycling performance. *Int J Sports Med* 2004;26:372-5.
- Denadai BS, Ruas VDA, Figueira TR. Efeito da cadência de pedalada sobre as respostas metabólica e cardiovascular durante o exercício incremental e de carga constante em indivíduos ativos. *Rev Bras Med Esporte* 2005;11:286-90.
- Hansen EA, Jensen K, Pedersen PK. Performance following prolonged sub-maximal cycling at optimal versus freely chosen pedal rate. *J Appl Physiol* 2006;98:2227-33.
- Mora-Rodrigues R, Aguado-Jimenez R. Performance at high pedaling cadences in well-trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:953-7.
- Gotshall RW, Bauer TA, Fahrner SL. Cycling cadence alters exercise hemodynamics. *Int J Sports Med* 1996;17:17-21.
- Takaishi T, Yasuda Y, Moritani T. Neuromuscular fatigue during prolonged pedaling rates. *Eur J Appl Physiol* 1994;69:154-8.
- Takaishi T, Yasuda Y, Ono T. Optimal pedaling rate estimated from neuromuscular fatigue for cyclists. *Medand Sci Sports Exerc* 1996;28:1492-7.
- Faria EW, Parker DL, Faria IE. The science of cycling - physiology and training - part 1. *Sports Med* 2005;35:285-312.
- Widrick JJ, Freedson P, Hamill J. Effect of internal work on calculation of optimal pedaling rates. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:376-82.
- Caputo F, Greco CC, Denadai BS. Efeitos do estado e especificidade do treinamento aeróbio na relação % VO<sub>2</sub>max durante o ciclismo. *Arq Bras Cardiol* 2005;84:20-3.
- Takaishi T, Yamamoto T, Ono T, Ito T, Moritani, T. Neuromuscular, metabolic, and kinetic adaptations for skilled pedaling performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:442-9.

26. Neptune RR, Hull ML. A theoretical analysis of preferred pedaling rate selection in endurance cycling. *J Biomech* 1999;32:409-15.
27. Macintosh BR, Neptune RR, Horton JF. Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1281-7.
28. Sarre G, Lepers R, Maffiuletti N, Millet G, Martin A. Influence of cycling cadence on neuromuscular activity of the knee extensors in humans. *Eur J Appl Physiol* 2003;88:476-9.
29. Garcin M, Vautier J, Vandewalle H, Wolff M, Monod H. Ratings of perceived exertion (RPE) during cycling exercises at constant power output. *Ergonomics* 1998;41:1500-9.
30. Marsh AP, Martin PE. Perceived exertion and the preferred cycling cadence. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:942-8.
31. Jameson C, Ring C. Contributions of local and central sensations to the perception of exertion during cycling: effects of work rate and cadence. *J Sports Sci* 2000;18:291-8.
32. Hansen EA, Andersen JL, Nielsen JS, Sjogaard G. Muscle fibre type, efficiency, and mechanical optima affect freely chosen pedal rate during cycling. *Acta Physiol Scand* 2001;176:185-94.
33. Lucía A, San Juan AF, Montilla M, Cañete S, Santalla A, Earnest C, Pérez M. In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1048-54.
34. Suriano R, Vercruyssen F, Bishop D, Brisswalter J. Variable power output during cycling improves subsequent treadmill run time to exhaustion. *J Sci Med Sport* 2007;10:244-51.
35. Lucía A, Hoyos J, Santalla A, Pérez M, Chicharro JL. Inverse relationship between VO<sub>2</sub>max and economy/efficiency in world-class cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2002b;34:2079-84.
36. Basset DR, Kyle CR, Passfield L, Broker JP, Burke ER. Comparing cycling world hour records, 1967-1996: modeling with empirical data. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1665-76.
37. Broker JP, Kyle CR, Burke ER. Racing cyclist power requirements in the 4000-m individual and team pursuits. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1677-85.
38. Lucía A, Hoyos J, Chicharro JL. Preferred pedalling cadence in professional cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1361-6.
39. Silva AC, Torres FC. Ergoespirometria em atletas paraolímpicos brasileiros. *Rev Bras Med Esporte* 2002;8:107-16.
40. Brandon LJ. Physiological factors associated with middle-distance running performance. *Sports Med* 1995;19:268-77.
41. Morgan DW, Craib M. Physiological aspects of running economy. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:456-461.
42. Guglielmo LGA, Greco CC, Denadai BS. Effects of strength straining on running economy. *Int J Sports Med* 2009;30:27-32.
43. Samozino P, Horvais N, Hintzy F. Interactions between cadence and power output effects on mechanical efficiency during sub maximal cycling exercises. *Eur J Appl Physiol* 2006;97:133-9.
44. Neumayr G, Pfister G, Mitterbauer H, Gaenzler W, Sturm G, Hoertnagl H. Heart rate response to ultraendurance cycling. *Br J Sports Med* 2003;37:89-90.
45. Neumayr G, Pfister R, Mitterbauer G, Gaenzler H, Sturm W, Hoertnagl H. Exercise intensity of cycle-touring events. *Int J Sports Med* 2002;23:505-9.