

Aplicação de força no pedal em prova de ciclismo 40 km contra-relógio simulada: estudo preliminar

CDD. 20.ed. 612.76
796.6

Felipe Pivetta CARPES*
Rodrigo Rico BINI**
Eduardo NABINGER***
Fernando DIEFENTHAELER**
Carlos Bolli MOTA*
Antônio Carlos Stringhini GUIMARÃES**

*Centro de Educação Física e Desportos, Universidade Federal de Santa Maria.
**Escola de Educação Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
***Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar o comportamento das forças aplicadas no pedal durante uma prova de ciclismo 40 km contra-relógio simulada. Avaliou-se um triatleta de nível internacional utilizando-se uma bicicleta modelo estrada acoplada a um ciclossimulador eletromagnético. O protocolo consistiu em completar 40 km no menor tempo possível, utilizando estratégia de livre escolha, incluindo cadência e relação de marchas preferida. Utilizou-se um pedal direito instrumentado com "strain gauges" capaz de mensurar as componentes normal e tangencial da força aplicada no mesmo. Foi possível calcular a força efetiva (componente perpendicular ao pé-de-vela, chamada de FE), a partir das forças registradas pelo pedal. Durante todo o teste, monitorou-se o consumo de oxigênio (VO_2), frequência cardíaca (FC), potência e velocidade. Durante a prova simulada observou-se um aumento do esforço do triatleta a partir da análise do comportamento do VO_2 e da FC, bem como pelo aumento da potência e da velocidade. A magnitude das forças normal e tangencial ao pedal apresentou redução no decorrer da prova, enquanto que a FE aumentou durante a fase de recuperação. Provavelmente o triatleta mudou o direcionamento das forças ao longo do teste na tentativa de otimizar as mesmas, influenciando dessa forma a técnica de pedalada. A estratégia adotada pelo triatleta parece ter contribuído para aumentar a efetividade da pedalada.

UNITERMOS: Ciclismo; Forças no pedal; Efetividade.

Introdução

Em treinamentos e competições, ciclistas profissionais são submetidos a altas intensidades de esforço (BURKE, 2003), que são caracterizadas principalmente pela manutenção de uma grande produção de potência ao longo da prova (CHAVARREN & CALBET, 1999).

Esta situação pode ser melhor compreendida por meio da análise dos aspectos biomecânicos e fisiológicos da pedalada, visando um melhor entendimento das respostas do ciclista a diferentes estímulos. Ajustes geométricos da bicicleta, posição do corpo, tipos de acessórios, nutrição, capacidade aeróbica e intensidade do esforço (COYLE, FELTNER, KAUTZ, HAMILTON,

MONTAIN, BAYLOR, ABRAHAM & PETREK, 1991) são fatores intervenientes do desempenho.

Ciclistas de provas de contra-relógio, onde cada atleta tenta percorrer uma distância fixa no menor tempo possível, possuem valores de consumo de oxigênio (VO_2) e de limiar de lactato elevados. Em competições, a intensidade do esforço é superior a 70% do consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}). Em ciclistas de elite, a intensidade pode atingir valores próximos a 90% do VO_{2max} (FERNANDEZ-GARCIA, TERRADOS, PÉREZ-LANDALUCE & RODRIGUEZ-ALONSO, 2000; NEUMAYER, PFISTER, MITTERBAUER, GAENZER, STURM, EIBL & HOERTNAGL, 2000).

Estas provas apresentam características especiais, tais como: cadência de pedalada elevada, entre 90 e 110 rotações por minuto (LÚCIA, HOYOS & CHICHARRO, 2001), maiores picos de torque na fase de propulsão (0-180°) com diminuição do torque na fase de recuperação (180-360°) (SANDERSON & BLACK, 2003) e depleção dos estoques de glicogênio decorrentes da fadiga (LEPERS, MAFFIULETTI, ROCHETTE, BRUGNIAUX & MILLET, 2002).

O formato da prova contra-relógio tem sido reproduzido sob condições de laboratório com o objetivo de predizer o desempenho na pista (COYLE et al., 1991; LAURSEN, SHING & JENKINS, 2003; SMITH, DAVISON, BALMER & BIRD, 2001), mostrando resultados compatíveis aos encontrados em competições, não só de ciclismo de estrada, mas também no ciclismo do triatlo (HUE, LE GALLAIS, CHOLLET, BOUSSANA & PRÉFAUT, 1998).

Materiais e métodos

Neste estudo foi avaliado um triatleta da elite internacional com 10 anos de treinamento e 33 anos de idade. Este concordou com os itens abordados no termo de consentimento livre e esclarecido.

O triatleta pedalou em uma bicicleta modelo estrada acoplada a um ciclossimulador magnético Cateye modelo CS1000 (Cateye CO. Osaka, Japão). A realização da simulação foi feita no Laboratório de Pesquisa do Exercício da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O protocolo consistia em pedalar 40 km no menor tempo possível, utilizando a estratégia de livre escolha (HUE et al., 1998; LAURSEN, SHING & JENKINS, 2003; SMITH et al., 2001).

Monitorou-se constantemente o VO_2 a cada expiração, utilizando-se um ergoespirômetro CPX/D (Medical Graphics Corp., St Louis, EUA) e a frequência cardíaca (FC) com o auxílio de eletrocardiógrafo Funbec (FUNBEC Ltda, BR).

A produção de torque em 40 km de ciclismo contra-relógio foi recentemente mapeada, mostrando que com o decorrer da prova, as estratégias adotadas pelos ciclistas influenciam a magnitude do torque propulsivo (CARPES, 2004), entretanto, o comportamento da aplicação de força no pedal (técnica de pedalada), ao longo de uma prova contra-relógio simulada em laboratório carece de investigação. Mapear a técnica da pedalada de ciclistas e triatletas facilitaria o “feedback” e a estratégia destes em treinamentos e competições. Não foi encontrado na literatura revisada, nenhum estudo específico sobre estas questões.

Desta forma o objetivo deste trabalho foi verificar a estratégia adotada por um triatleta submetido a uma simulação de 40 km contra-relógio, em laboratório, do ponto de vista da aplicação de força no pedal, das variáveis fisiológicas (VO_2 e frequência cardíaca) e desempenho medido a partir do tempo para vencer o percurso.

Foram registrados, a cada minuto, a potência gerada, a velocidade e tempo decorrido do teste, sendo utilizados os resultados informados no “display” do ciclossimulador (LAURSEN, SHING & JENKINS, 2003). Estes foram armazenados em conjunto com os valores de VO_2 e FC, utilizando o “software” Excel 2000 (Microsoft Corp., USA).

Para o registro das componentes da força normal (F_y) e tangencial (F_x) aplicadas no pedal foi utilizado um pedal direito comercial adaptado com eixo instrumentado com “strain gauges” (NABINGER, 1997). A determinação do ângulo do pé-de-vela e do ângulo do pedal relativo ao pé-de-vela foi realizada com o uso de dois potenciômetros Spectrol 2 k Ω (COYLE et al., 1991; HULL & DAVIS, 1981), sendo um localizado no eixo do pé-de-vela e outro no eixo do pedal, conforme ilustra a FIGURA 1.

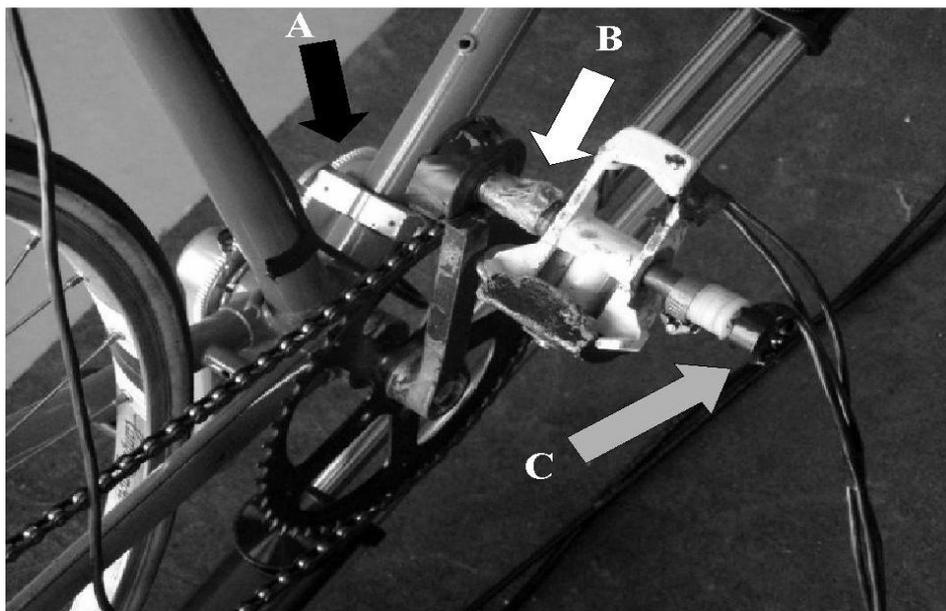


FIGURA 1 - Ilustração do eixo instrumentado (seta B), potenciômetro do pedal (seta C) e potenciômetro do pé-de-vela (seta A).

Todos os sinais foram convertidos por uma placa analógico-digital de 16 canais da marca CODAS e adquiridos pelo sistema de aquisição de dados (SAD) com taxa de amostragem de 500 Hz por canal e armazenados em um microcomputador modelo PC Celeron 1GHz. O processamento dos sinais de dinamometria (componentes de força) foi realizado utilizando-se rotinas de processamento implementadas no “software” Matlab 5.3 (MatWorks Inc., USA).

Com as rotinas de processamento descritas acima, os resultados de forças foram obtidos a partir da análise

de 10 ciclos alternados de pedalada, que foram adquiridos no minuto inicial da prova simulada (após o período de cinco minutos de aquecimento) e no quilômetro final do percurso. Utilizou-se o ângulo do pé-de-vela como referencial para a análise dos resultados de dinamometria ao longo dos 360° do ciclo de pedalada. Para melhor compreensão, o ciclo da pedalada foi dividido em quatro quadrantes: 1o. (0-90°), 2o. (90-180°), 3o. (180-270°) e 4o. (270-360°); e duas fases (propulsão e recuperação), como demonstra a FIGURA 2.

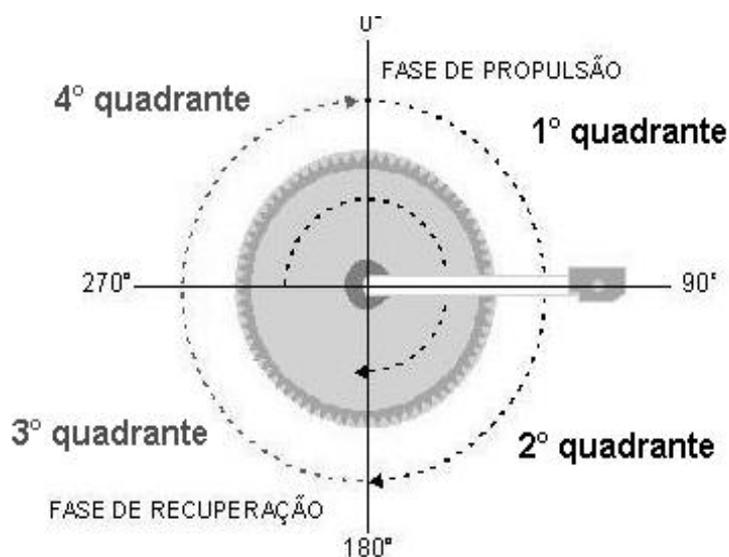


FIGURA 2 - Ciclo de pedalada dividido em quatro quadrantes e duas fases (adaptado de BROCKER & GREGOR, 1996).

Os sinais de dinamometria e de eletrogoniometria foram utilizados para calcular as componentes perpendiculares ao pedal das forças normal e tangencial (NABINGER, 1997). A FIGURA 3 ilustra o ângulo do pé-de-vela e o ângulo do pedal relativo ao pé-de-vela (PDV), enquanto as FIGURAS 4 e 5 representam as forças perpendiculares normal e tangencial respectivamente.

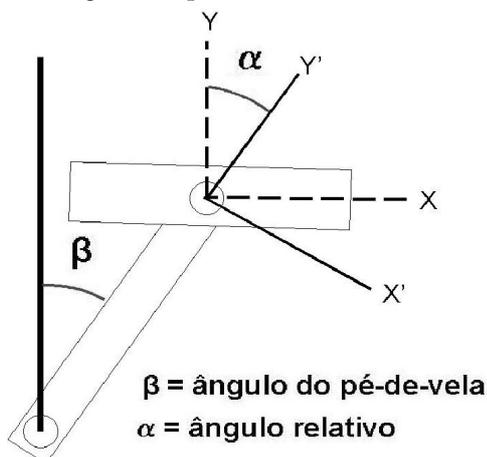


FIGURA 3 - Ângulo do pedal relativo (α) e ângulo do pé-de-vela (β).

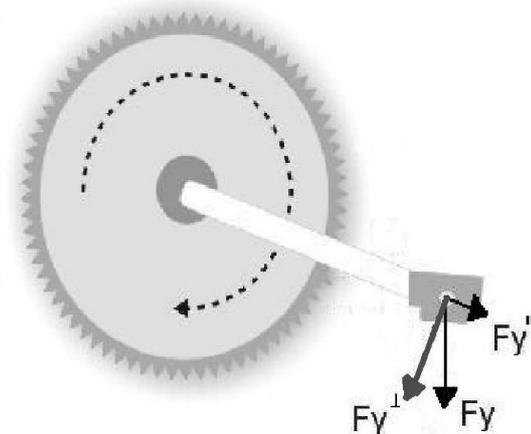


FIGURA 4 - Decomposição da força normal aplicada ao pedal e sistema de referência do pedal.

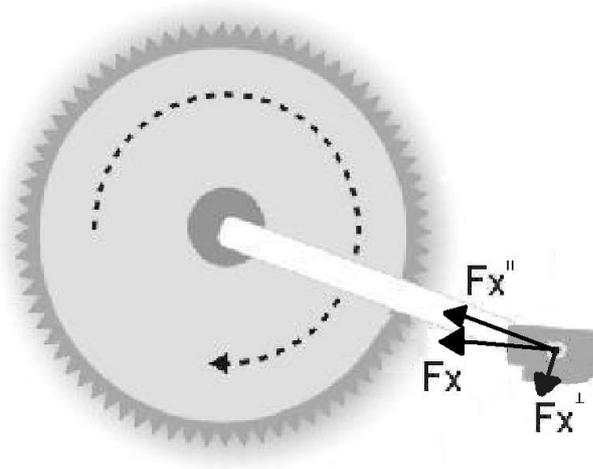


FIGURA 5 - Decomposição da força tangencial aplicada ao pedal.

Para o cálculo da força efetiva (FE), que é a componente de força perpendicular ao pé-de-vela a qual representa o quanto da força resultante aplicada no pedal é transmitida para o movimento, foram somadas as componentes perpendiculares da força normal e tangencial, conforme a EQUAÇÃO 1 (NABINGER, 1997).

$$FE = Fy^{\perp} + Fx^{\perp}$$

EQUAÇÃO 1 - Cálculo da força efetiva.

Resultados

O triatleta avaliado nesse estudo completou os 40 km contra-relógio simulado em 62 min e 34 s. Na FIGURA 6, são representados os resultados da velocidade e da potência, a cada minuto, durante os 40 km.

Na FIGURA 7, são apresentados os resultados do consumo de oxigênio (VO_2) e da frequência cardíaca (FC) a cada minuto do teste.

As forças normal e tangencial aplicadas no pedal são apresentadas na FIGURA 8, em função do ângulo do pé-de-vela. Neste gráfico são representadas as médias de 10 ciclos de pedalada, do primeiro e do último minuto do teste, indicadas respectivamente como início e fim.

Na FIGURA 9 são apresentados os resultados da força efetiva no primeiro (início) e no último minuto (fim) dos 40 km.

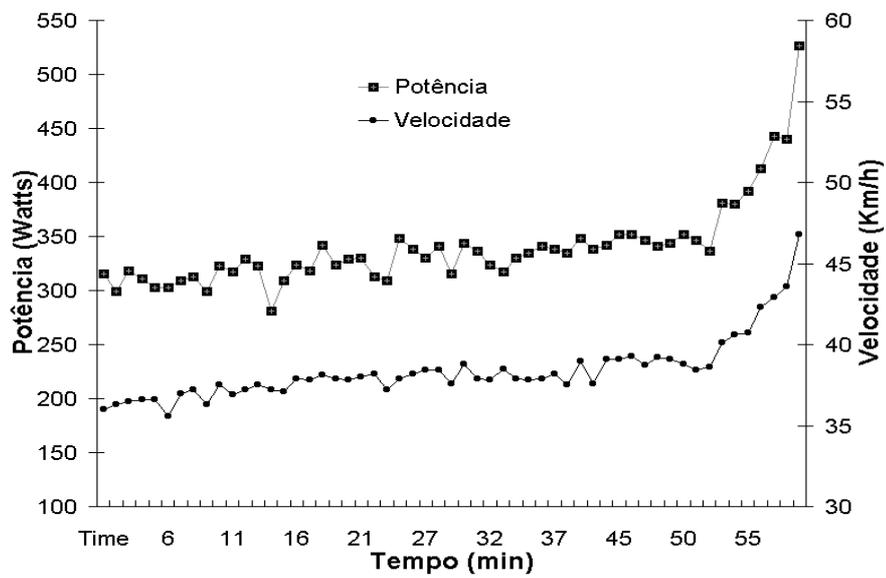


FIGURA 6 - Potência e velocidade a cada minuto nos 40 km contra-relógio.

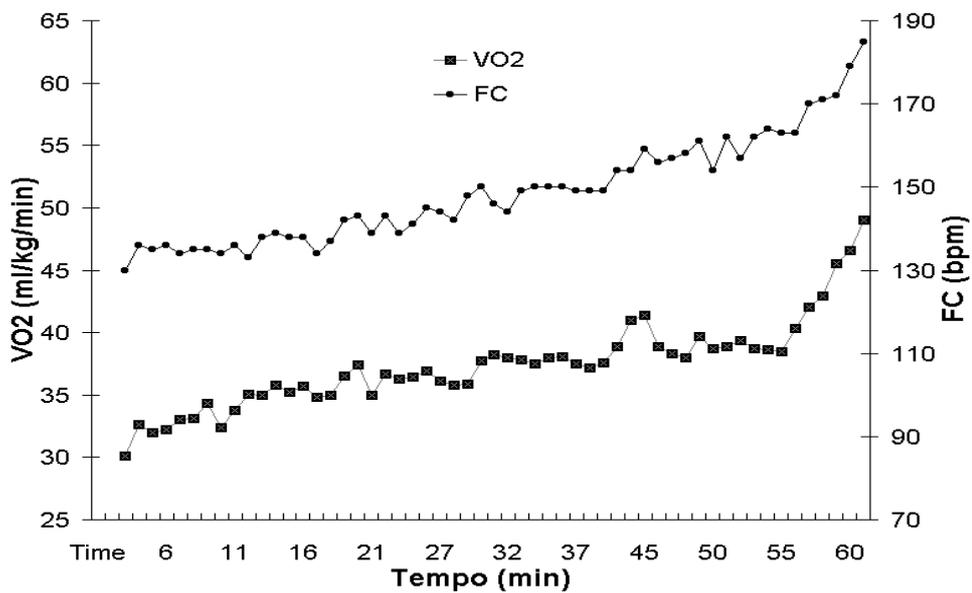


FIGURA 7 - Consumo de oxigênio (VO2) e frequência cardíaca (FC) a cada minuto nos 40 km contra-relógio.

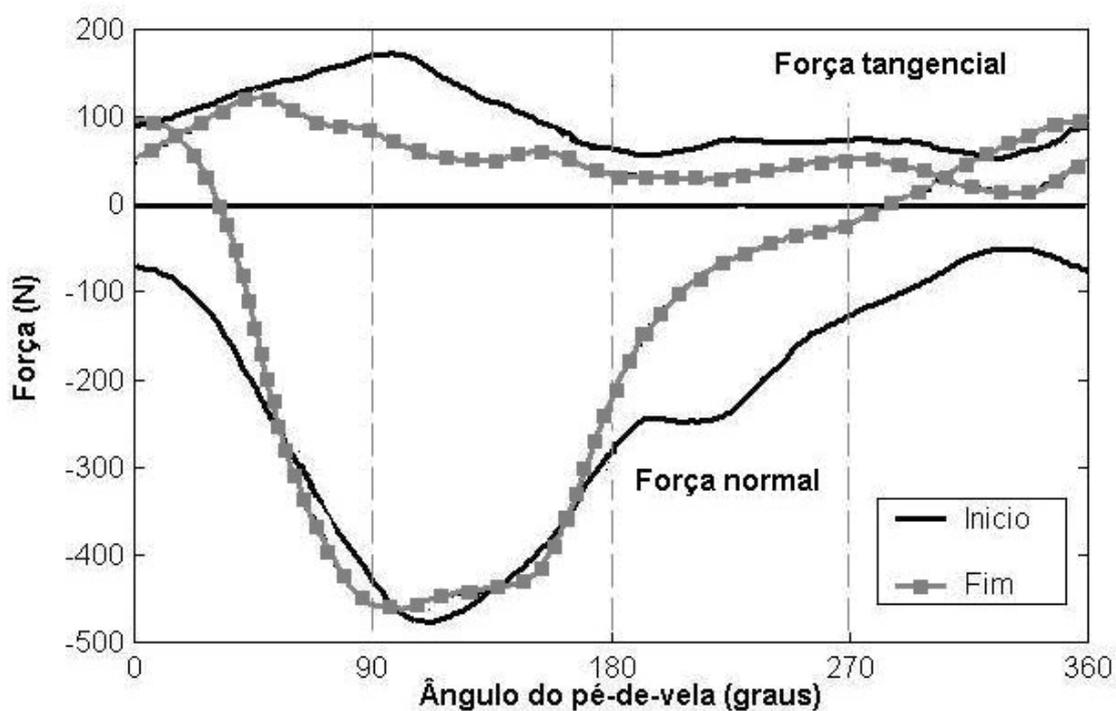


FIGURA 8 - Forças normal e tangencial ao pedal no início (primeiro minuto, curvas em preto) e no fim dos 40 km (último minuto, curvas em cinza).

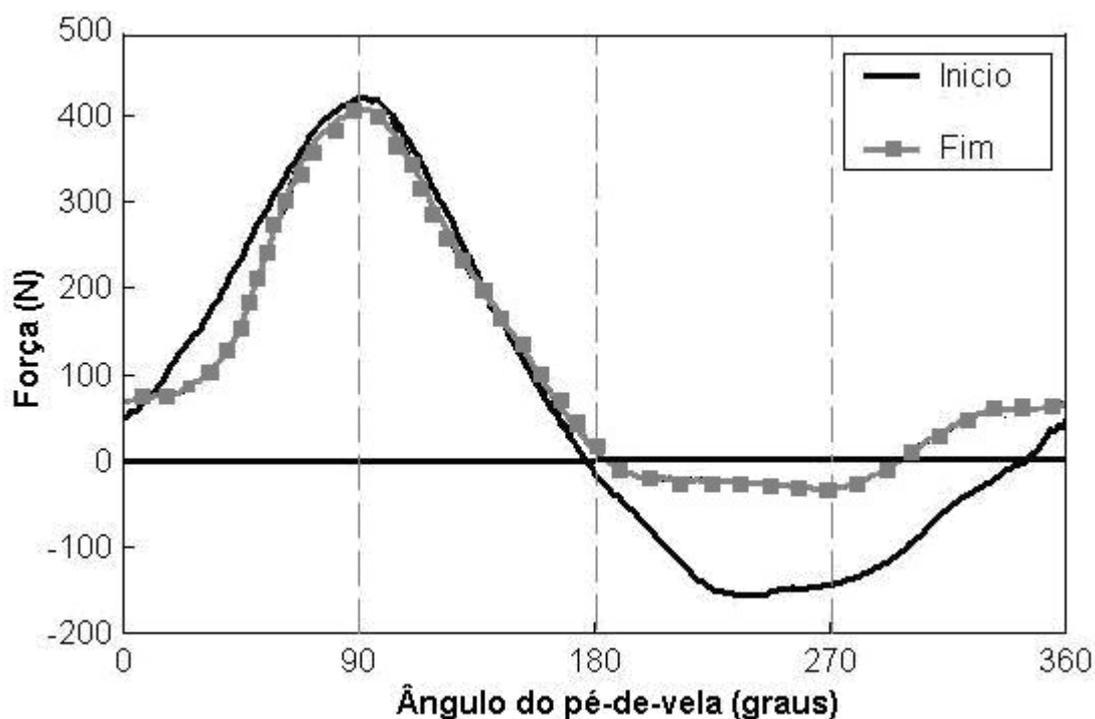


FIGURA 9 - Força efetiva no início (curva preta) e no fim dos 40 km (curva cinza).

Discussão

O tempo do triatleta avaliado para percorrer os 40 km foi muito semelhante aos resultados reportados por outros estudos utilizando triatletas e ciclistas (CARPES, 2004; GARSIDE & DORAN, 2000; HUE et al., 1998), indicando um ótimo nível técnico do triatleta avaliado neste estudo. A velocidade média para os 40 km (38 km.h^{-1}) foi menor do que a de ciclistas em provas contra-relógio (PADILLA et al., 2000a).

Os resultados encontrados neste estudo apresentam concordância com os apresentados por PADILLA, MUJICA, ORBAÑANOS e ANGULO (2000b), que provas no formato contra-relógio apresentam características crescentes de intensidade, que foram refletidas no aumento do VO_2 e da FC. A média de potência (340 Watts) foi menor do que a reportada pela literatura com ciclistas (PADILLA et al., 2000a).

Com relação ao incremento de velocidade observado, os achados deste estudo convergem com os reportados por (PADILLA et al., 2000a), que mostraram que com o decorrer do exercício de contra-relógio, a intensidade controlada pelo atleta aumenta, sendo refletida no aumento do VO_2 , ainda que um exercício prolongado leve a fadiga neuromuscular (LEPERS et al., 2002), esta estratégia é comumente observada no ciclismo (CARPES, 2004).

CARPES (2004) reporta ainda que, em uma simulação prova de 40 km contra-relógio, este aumento no VO_2 está relacionado ao aumento

significativo do torque propulsivo na fase final da prova (aproximadamente 15 minutos finais), considerando que a produção de torque é diretamente relacionada a efetividade das forças no pedal, pode-se inferir que os ciclistas em questão tenham alterado sua técnica de pedalada no final da prova simulada.

A análise qualitativa das FIGURAS 8 e 9 mostra que os picos das forças normal e tangencial ao pedal diminuíram no fim da prova simulada. Nota-se também um prolongamento excessivo na aplicação de força no terceiro quadrante do ciclo da pedalada, ou seja, o atleta permanece um intervalo de tempo maior aplicando uma força de magnitude semelhante. No entanto, percebe-se que no fim da prova, o atleta apresentou força normal positiva no quarto quadrante, o que caracteriza a “puxada” do pedal. Provavelmente isso ocorreu com o objetivo de aumento da velocidade e da cadência no fim da prova.

A FIGURA 9 demonstra que a estratégia de “puxar” o pedal na fase de recuperação permitiu que este reduzisse a força resistiva no terceiro quadrante e tornasse a mesma, propulsiva no quarto quadrante, ou seja, agindo no sentido do movimento, a fim de gerar uma força resultante maior e mais bem direcionada. A tentativa de acelerar no final da prova simulada poderia justificar esta estratégia de otimizar a fase de recuperação (GREGOR, 2000).

Conclusão

A análise da aplicação das forças e produção de torque mostra que o aumento na intensidade gera alterações nestas variáveis, que estão relacionadas a aceleração na busca de uma maior velocidade (“sprint”) desenvolvida pelo atleta no fim da prova.

Com este estudo preliminar pôde-se observar que a estratégia adotada pelo atleta possivelmente influencia o direcionamento das forças e seu aproveitamento destas durante a pedalada, consequentemente influenciando sua técnica de pedalada.

É ainda pouco explicado como funciona a interação entre estas variáveis do desempenho durante uma prova, pois como se observou nestes estudos, as mesmas tem similaridades, restando saber quais, e como, as variáveis deveriam ser trabalhadas como objetivo de que o atleta tenha capacidade de gerar esses maiores incrementos antes do estágio final da prova. Acredita-se que nestes casos o treinamento relacionado a técnica de pedalada possa ser uma ferramenta viável e intimamente relacionada ao desempenho fisiológico

Abstract

Pedal forces in a simulated 40 km time-trial: preliminar study

The purpose of this study was to analyze the pedal forces during a simulated cycling 40 km time-trial. One experienced triathlete was evaluated using a road bike mounted on a magnetic cycle simulator. The self-preferred cadence and gear was adopted to complete the 40 km in less time possible. The right regular pedal was replaced by an instrumented pedal to record the normal and tangential components of force applied on it. The effective force (perpendicular component to the crank) was calculated from normal and tangential forces. Oxygen uptake, heart rate, power output and speed were registered. During the time-trial the triathlete's effort increased and this influenced the oxygen uptake and heart rate. The forces magnitude showed a little decreased by the end of the test while the effective force increased on the second half of the recovery phase. Probably the triathlete changed the direction of the forces during the 40 km trial to try to optimize the application of force thus influencing the pedaling technique. The strategy adopted by the triathlete caused a positive change in the pedaling effectiveness.

UNITERMS: Cycling; Pedal force; Effectiveness.

Referências

- BURKE, E.R. Fisiologia do ciclismo. In: GARRET, W.E.; KIRKENDALL, D.T. (Eds.). *A ciência do exercício e dos esportes*. Porto Alegre: Artmed, 2003. p.745-57.
- CARPES, F.P. **Produção de torque no ciclismo: análise da simetria da pedalada em 40 km simulados**. 2004. Monografia (Especialização) - Centro de Educação Física e Desportos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- CHAVARREN, J.; CALBET, J.A.L. Cycling efficiency and pedaling frequency in road cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.80, p.555-63, 1999.
- COYLE, E.F.; FELTNER, M.E.; KAUTZ, S.A.; HAMILTON, M.T.; MONTAIN, S.J.; BAYLOR, A.M.; ABRAHAM, L. D.; PETREK, G.W. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Madison, v.23, n.1, p.93-107, 1991.
- FERNANDEZ-GARCIA, B.; TERRADOS, N.; PÉREZ-LANDALUCE, J.; RODRIGUEZ-ALONSO, M. Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Madison, v.32, n.5, p.1002-6, 2000.
- GARSDALE, I.; DORAN, D.A. Effects of bicycle frame ergonomics on triathlon 10-km running performance. *Journal of Sports Sciences*, London, v.18, p.825-33, 2000.
- GREGOR, R.J. Biomechanics of cycling. In: GERRET, W.E.; KIRKENDALL, D.T. (Eds.). *Exercise and sport science*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2000. p.145-65.
- HUE, O.; LE GALLAIS, D.; CHOLLET, D.; BOUSSANA, A.; PRÉFAUT, C. The influence of prior cycling on biomechanics and cardiorespiratory response profiles during running in triathletes. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v.77, p.98-105, 1998.
- HULL, M.L.; DAVIS, R.R. Measurement of pedal loading in bicycling: I. Instrumentation. *Journal of Biomechanics*, New York, v.14, n.12, p.843-56, 1981.
- LAURSEN, P.B.; SHING, C.M.; JENKINS, D.G. Reproducibility of a laboratory-based 40-km cycle time-trial on stationary wind-trainer in highly trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, Stuttgart, v.24, p.481-5, 2003.
- LEPERS, R.; MAFFIULETTI, N.A.; ROCHETTE, L.; BRUGNIAUX, J.; MILLET, G.Y. Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. *Journal of Applied Physiology*, Washington, v.92, p.1487-93, 2002.
- LUCIA, A.; HOYOS, J.; CHICHARRO, J.L. Preferred pedaling cadence in professional cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Madison, v.33, n.8, p.1361-6, 2001.
- NABINGER, E. **Desenvolvimento de um sistema de medição para análise biomecânica da pedalada de um ciclista**. 1997. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- NEUMAYER, G.; PFISTER, R.; MITTERBAUER, G.; GAENZER, H.; STURM, W.; EIBL, G.; HOERTNAGL, H. Exercise intensity of cycle-touring events. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.23, p.505-9, 2000.
- PADILLA, S.; MUJIKÁ, I.; ANGULO, F.; GOIRIENA, J.J. Scientific approach to the 1-h cycling world record: a case study. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v.89, p.1522-7, 2000.
- PADILLA, S.; MUJIKÁ, I.; ORBAÑANOS, J.; ANGULO, F. Exercise intensity during competitions time-trials in professional road cycling. **Medicine and Science Sports and Exercise**, Madison, v.32, n.4, p.850-6, 2000b.
- SANDERSON, D.; BLACK, A. The effect of prolonged cycling on pedal forces. **Journal of Sports Sciences**, London, v.21, n.3, p.191-9, 2003.
- SMITH, M.F.; DAVISON, R.C.R.; BALMER, J.; BIRD, S.R. Reliability of mean power recorded during indoor and outdoor self-paced 40 km cycling time-trials. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.22, p.270-4, 2001.

Agradecimentos

Ao atleta avaliado pela disponibilidade para a realização do teste. Ao professor Dr. Álvaro de Oliveira pelo auxílio nos procedimentos experimentais; a Cateye Co. pela doação do ciclossimulador magnético. À CAPES, Ministério do Esporte e CNPq pelo apoio financeiro.

ENDEREÇO

Felipe Pivetta Carpes
Laboratório de Biomecânica
Centro de Educação Física e Desportos
Universidade Federal de Santa Maria
Faixa do Camobi, km 9 - Prédio 51 - sala 1007
97110-970 - Santa Maria - RS - BRASIL
e-mail: felipecarpes@gmail.com

Recebido para publicação: 09/05/2005

Revisado: 21/07/2005

Aceito: 01/08/2005
