

Calibração indireta de cicloergômetro pelo consumo de oxigênio

Indirect cycle ergometer calibration by oxygen consumption

Jorge Roberto Perroux de Lima¹
Frederico Castro Branco¹
Francisco Ribeiro Netto¹
José Marques Novo Junior¹

Resumo

LIMA, J. R. P.; BRANCO, F. C.; RIBEIRO NETO, F.; NOVO JÚNIOR, J. M. Calibração indireta de cicloergômetro pelo consumo de oxigênio. **R. bras. Ci. e Mov.** 2003; 11(3): 33-36.

A calibração dinâmica de cicloergômetros de frenagem mecânica (Ciclo-Mec) exige a aplicação de um torquímetro, durante o acionamento do Ciclo-Mec a velocidades conhecidas, para cada um dos ajustes de carga. Na maioria dos centros de avaliação física é feita apenas a calibração, em separado, da velocidade da roda e da resistência aplicada sobre ela. Como a calibração dinâmica exige aparelhos sofisticados, e a fragmentada pode levar a erros, o objetivo deste trabalho foi propor a calibração dinâmica indireta que consiste na comparação do consumo de oxigênio (VO₂), medido em diversas cargas, com valores preditos por equação de regressão amplamente utilizada. Após a calibração da velocidade e da carga resistiva do Ciclo-Mec, sete indivíduos do gênero masculino (70,6 ± 4,3 kg, 177,3 ± 5,0 cm, 25,9 ± 7,7 anos) pedalarão a 50 rpm, com carga resistiva inicial de 0,95 kg (286,9 kgm.min⁻¹) e incrementos de 1,0 kg a cada 3 min (302 kgm.min⁻¹), até a carga de 4,95 kg (1494,9 kgm.min⁻¹). Para controle das rotações do pedal, cada sujeito seguia o ritmo marcado por um metrônomo digital. O VO₂ era medido continuamente pelo Analisador Metabólico Aerosport modelo Teem 100. Para cálculo do VO₂ Predito para carga, aplicou-se à potência nominal a equação: $VO_2 \text{ predito} = \text{potência nominal} \times 2 + (3,5 \times \text{peso corporal})$. A potência nominal foi corrigida pela equação: $\text{potência corrigida} = [VO_2 \text{ medido} - (3,5 \times \text{peso corporal})] / 2$. Comparando-se a potência nominal e a corrigida observou-se que o erro de medida da Ciclo-Mec estudado é maior à medida que aumenta a Potência Nominal aplicada. Corrigiu-se a potência nominal aplicada pela equação: $\text{potência corrigida} = 0,53 \times \text{potência nominal} + 55,12$.

PALAVRAS-CHAVE: potência aeróbia, avaliação aeróbia, gasto energético

Abstract

LIMA, J. R. P.; BRANCO, F. C.; RIBEIRO NETO, F.; NOVO JÚNIOR, J. M. Indirect cycle ergometer calibration by oxygen consumption. **R. bras. Ci. e Mov.** 2003; 11(3): 33-36.

Usually, mechanical cycle ergometers (Cycle-Mec) are calibrated in a fragmented way: speed of the wheel and the applied resistance are calibrated independently. For more accurate calibration, it should be performed the dynamic calibration, using a torquimeter while the Cycle-Mec works at different speeds for each possible load, calibrating the system in the real test situation. As the dynamic calibration demands sophisticated equipments, inaccessible to most of the evaluation centers, the objective of this work was to experiment the indirect dynamic calibration of a Cycle-Mec by comparing the oxygen consumption (VO₂), in several loads, with the VO₂ predicted by regression equation used in aerobic assessment. After speed and resistive load calibration, 7 male individuals (70.6 ± 4.3 kg, 177.3 ± 5.0 cm, 25.9 ± 7.7 years) pedaled at 50 rpm, with initial resistive load of 0.95 kg (286.9 kgm.min⁻¹) and increments of 1.0 kg each 3 min (302 kgm.min⁻¹), until 4.95 kg (1494.9 kgm.min⁻¹). The cadence was marked by digital metronome. Metabolic Analyzer Aerosport Teem 100 measured VO₂. For Predicted VO₂ calculation it was applied the equation: $Predicted\ VO_2 = Nominal\ power \times 2 + (3,5 \times \text{corporate weight})$. Nominal Power was corrected by the equation: $Corrected\ Power = / 2$. Comparing nominal and corrected power it was possible to observe that the error of the studied Cycle-Mec was larger as nominal power increases. Correction of nominal power is obtained by the equation: $Corrected\ power = 0.53 \times Nominal\ Power + 55.12$.

KEYWORDS: aerobic power, aerobic assessment, energy

¹ Laboratório de Avaliação Motora
Faculdade de Educação Física e Desportos
Universidade Federal de Juiz de Fora. E-mail: jperroux@faefid.ufjf.br

Recebido: 05/06/2002
Aceite: 20/05/2003

Introdução

O cicloergômetro de frenagem mecânica (Ciclo-Mec) da marca Monark® é um dos ergômetros mais utilizados em avaliação metabólica, devido a seu baixo custo e à facilidade de determinação da potência por ele produzida. Neste tipo de ergômetro, a potência é dada pelo produto de dois fatores: velocidade da roda e carga mecânica resistiva aplicada sobre a roda. A velocidade da roda é obtida multiplicando-se o deslocamento da roda em uma rotação completa do pedal pela frequência de rotação do pedal. A carga mecânica resistiva é obtida por meio do atrito provocado por uma cinta que envolve a circunferência da roda. A intensificação do atrito é obtida pressionando a cinta contra a roda, o que pode ser feito por meio de pesos ou por um tensionador e uma balança de pêndulo que mede a diferença de força entre dois pontos da cinta (4).

No Ciclo-Mec Monark, uma rotação completa do pedal faz com que um ponto na circunferência da roda seja deslocado por 6,0 m. Para testes aeróbios, recomenda-se a rotação do pedal de 50 rpm. Desta maneira, pedalando a 50 rpm x 6,0 m de deslocamento, tem-se uma velocidade de 300 m.min⁻¹, que, multiplicada por uma carga resistiva de, por exemplo, 1 kg, resulta em uma potência de esperada 300 kgm.min⁻¹.

Normalmente, há dois processos de calibração do Ciclo-Mec: a calibração fragmentada e a dinâmica. A primeira é composta por calibrações independentes da velocidade da roda e da carga mecânica resistiva. A calibração da velocidade consiste na medição da circunferência da roda e de seu deslocamento em uma revolução completa do pedal e na conferência do equipamento utilizado para determinar a frequência de pedalada (velocímetro ou metrônomo). A calibração da carga mecânica resistiva consiste na comparação do deslocamento do pêndulo da balança com a aplicação de pesos conhecidos.

Entretanto, a calibração isolada dos fatores determinantes da potência (velocidade da roda e carga mecânica resistiva) pode levar a erros. Para que a potência produzida durante o teste seja igual à esperada, deve-se assumir que, durante a calibração, a roda esteja girando a uma velocidade constante e que o aumento do atrito provocado pela cinta sobre a roda seja linear ao aumento da carga mecânica resistiva. Portanto, a calibração fragmentada apenas calibra o dispositivo de medição e não leva em consideração as perdas por atrito no mecanismo de transmissão (2).

Quando medições mais precisas são necessárias, deve ser realizada a calibração dinâmica do Ciclo-Mec (3,6) Por calibração dinâmica entende-se a calibração do sistema enquanto o mesmo está sendo acionado a velocidades conhecidas para cada um dos ajustes de carga, calibrando o sistema na situação real de uso. A calibração dinâmica da potência produzida pelo Ciclo-Mec deve ser feita por torquímetro - equipamento dispendioso e praticamente inacessível aos centros de avaliação. Em vista desta dificuldade, propõe-se, neste estudo, a calibração dinâmica indireta de um Ciclo-Mec por meio da comparação do consumo de oxigênio (VO₂) medido com o VO₂ previsto por equação de predição largamente empregada (1, 5).

Material e Métodos

Foi estudado um Ciclo-Mec cuja carga resistiva é aplicada por meio da colocação de pesos a uma das extremidades da cinta que envolve a roda. A outra extremidade é fixada no quadro do Ciclo-Mec. Este Ciclo-Mec foi escolhido por se tratar de um protótipo, produzido por uma pequena empresa, que, apesar de bastante similar ao modelo fabricado pela Monark®, apresenta algumas modificações na fixação da cinta e no mecanismo de colocação dos pesos. Em todos os testes realizados neste Ciclo-Mec, a potência aeróbia dos indivíduos avaliados era sistematicamente superior à esperada.

Sujeitos – Foram testados sete indivíduos do sexo masculino (estudantes e professores de Educação Física), cujas características são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1- CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA ESTUDADA (N=7)

	Peso (kg)	Estatura (cm)	Idade (anos)
Média	70,6	177,3	25,9
DP	4,3	5,0	7,7

Dimensões do Ciclo-Mec – A roda volante tem circunferência da 1,6265 m. A transferência da rotação do pedal à roda se faz por corrente movimentada por uma coroa de 52 dentes e um pinhão de 14 dentes – relação que multiplica por 3,714 cada rotação do pedal. Por conseguinte, uma rotação do pedal provoca o deslocamento de 6,04 m da roda volante (1,6265 x 3,714).

Protocolo – Os indivíduos pedalaram a 50 rpm, com carga resistiva inicial de 0,95 kg (286,9 kgm.min⁻¹) e incrementos de 1,0 kg a cada 3 min (302 kgm.min⁻¹), até a carga de 4,95 kg (1494,9 kgm.min⁻¹). Para controle das rotações do pedal, os avaliados seguiam a cadência marcada por um metrônomo digital. O VO₂ era medido continuamente pelo Analisador Metabólico Aerosport modelo Teem 100, com medições a cada 20 segundos. Antes de cada série de medidas, o analisador metabólico era calibrado com uma mistura de 15,5 % de oxigênio e 5 % de dióxido de carbono.

VO₂ medido – A média da três medidas de VO₂ do último minuto de cada carga foi utilizada como representativa do VO₂ medido da carga.

VO₂ predito – Para cálculo do VO₂ predito para cada carga aplicada, aplicou-se à Potência Nominal a equação do Colégio Americano de Medicina do Esporte (1):

$$VO_2 \text{ predito} = \text{potência nominal} \times 2 + (3,5 \times \text{peso corporal}) \text{ (eq 1)}$$

Potência corrigida – A partir do VO₂ predito para carga, a Potência Nominal foi corrigida pela equação:

$$\text{Potência Corrigida} = [VO_2 \text{ Medido} - (3,5 \times \text{peso corporal})] / 2 \text{ (eq 2)}$$

Carga resistiva corrigida – A carga resistiva nominal foi corrigida pela equação:

$$\text{Carga Resistiva Corrigida} = \text{Potência Corrigida} / (50\text{rpm} \times 6,04 \text{ m}) \text{ (eq 3)}$$

Construção de equações – Equações de regressão lineares foram construídas a partir dos valores médios do grupo, utilizando-se o programa Microsoft Excel.

Resultados

A média do VO₂ medido aumentou de forma linear em função da potência nominal aplicada. Entretanto, os valores de VO₂ medido foram inferiores aos valores preditos, conforme mostram a Tabela 2 e as Figuras 1 e 2. Comparando as equações que ajustam os valores de VO₂ medido ($y = 1,10X + 367,94$) e predito ($y = 2,00X + 248,50$), observa-se que os pontos de interseção das equações apresentam uma diferença relativamente pequena (119,44 ml.min⁻¹). Entretanto, o coeficiente de regressão, que determina a inclinação da reta, da equação do VO₂ medido (1,10) é 45% menor que o coeficiente da equação do VO₂ predito. As retas partem de pontos próximos, mas, como têm inclinações diferentes, se distanciam progressivamente. Sugerindo que o erro de medida da Ciclo-Mec estudado é maior à medida que aumenta a potência nominal aplicada.

TABELA 2- POTÊNCIA NOMINAL E CORRIGIDA E VO₂ MEDIDO E PREDITO, POR CARGA MECÂNICA RESISTIVA NOMINAL E CORRIGIDA APLICADA (RESISTÊNCIA)

Resistência (Kg)		Potência (kgm.min ⁻¹)		VO ₂ (ml.min ⁻¹)	
Nominal	Corrigida	Nominal	Corrigida	Medido	Predito
0,95	0,65	286,9	195,6	638,5	821,4
1,95	1,21	588,9	364,2	975,6	1425,4
2,95	1,80	890,9	541,1	1329,5	2029,4
3,95	2,29	1192,9	688,4	1624,2	2633,4
4,95	2,76	1494,9	826,8	1901,0	3237,4

FIGURA 1 – MÉDIA, ERRO PADRÃO DA MÉDIA E 1,96 X ERRO PADRÃO DA MÉDIA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO MEDIDO, POR POTÊNCIA NOMINAL APLICADA

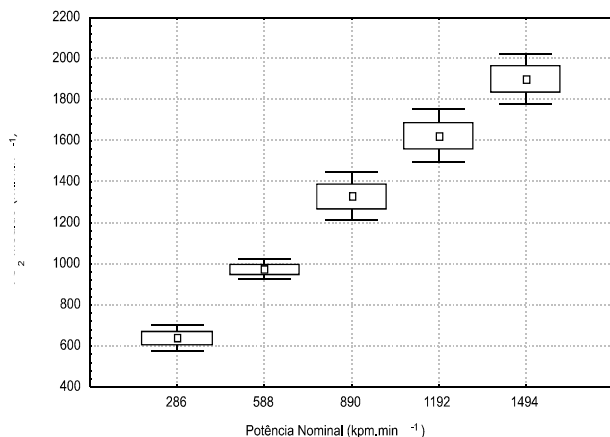
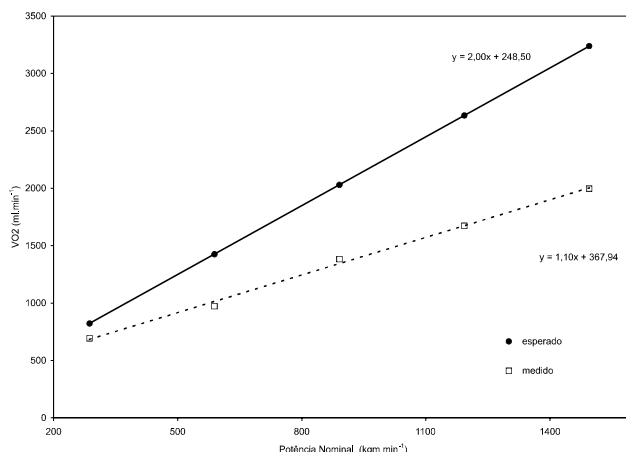


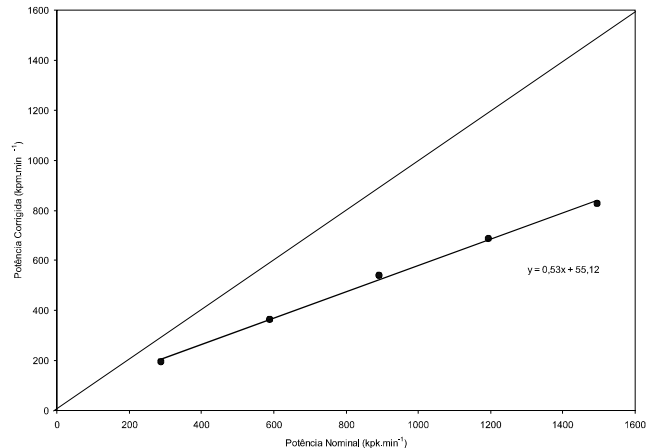
FIGURA 2 – MÉDIA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO MEDIDO E ESTIMADO, POR POTÊNCIA NOMINAL APLICADA



Tomando por base o VO₂ medido para cada carga, corrigiu-se a potência nominal aplicada para se obter a potência corrigida, ou seja, a potência que seria esperada para o VO₂ medido (Figura 3) e obteve-se a equação de correção:

$$\text{Potência corrigida} = 0,53 \times \text{Potência nominal} + 55,12 \text{ (eq 4)}$$

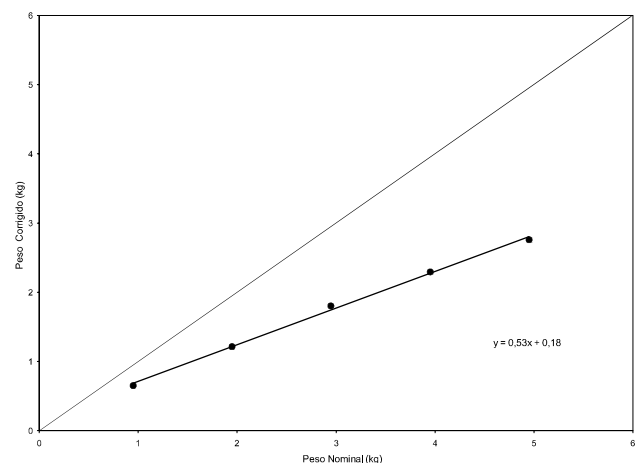
FIGURA 3 – POTÊNCIA NOMINAL APLICADA E POTÊNCIA CORRIGIDA PELO CONSUMO DE OXIGÊNIO PREDITO



A Figura 4 mostra a correção da carga resistiva aplicada, tomando por base a carga resistiva que seria necessária para gerar a Potência Corrigida, mantidos 50 rpm e o mesmo deslocamento da roda por revolução. Para correção da carga resistiva deve-se aplicar a equação:

$$\text{Carga Resistiva Corrigida} = 0,53 \times \text{Carga Resistiva Nominal} + 0,18 \text{ (eq 5)}$$

FIGURA 4 – CARGA RESISTIVA (KG) NOMINAL APLICADA E CARGA RESISTIVA CORRIGIDA PELO CONSUMO DE OXIGÊNIO PREDITO



Discussão

Os principais componentes para a determinação da potência mecânica produzida do Ciclo-Mec estudado (roda volante, coroa e pinhão) possuem dimensões semelhantes às dimensões do Ciclo-Mec Monark – considerado como uma referência em avaliação aeróbia. Na aplicação da carga, a cadência do pedal (rpm) foi controlada, e os pesos, aplicados como carga mecânica resistiva, foram previamente calibrados. Mas, como pôde ser inferido pelo VO₂ predito para as cargas aplicadas, a potência real produzida foi menor

que a calculada tomando por base seus determinantes (velocidade da roda volante e carga resistiva aplicada sobre ela). Uma explicação plausível para o resultado encontrado seria que o atrito gerado pela cinta sobre a roda volante não é linear à carga resistiva aplicada. A provável diferença no atrito pode ser o resultado de uma ou das duas adaptações feitas na cinta pelo fabricante do Ciclo-Mec. Na face interna da cinta, que mantém contato com a roda volante, foram fixados segmentos de “lona” de freio utilizada em automóveis e, diferentemente do Ciclo-Mec Monark, no qual as duas extremidades da cinta são unidas, a cinta do protótipo estudado tinha a extremidade oposta àquela na qual eram colocados os pesos, fixada ao quadro do Ciclo-Mec.

Os resultados do estudo ressaltam a importância da calibração dinâmica do Ciclo-Mec, uma vez que o modelo estudado apresentava potência inferior ao que seria esperado para dada velocidade e carga resistiva. Deve-se alertar, também, que alterações, aparentemente sem importância no Ciclo-Mec, podem resultar em grandes diferenças na potência produzida. Devem-se sugerir calibrações dinâmicas periódicas para assegurar a validade dos resultados da avaliação aeróbia feita em Ciclo-Mec.

A estratégia de calibração dinâmica indireta, realizada neste estudo, mostrou-se viável de ser realizada em laboratórios que dispõem de equipamento de espirometria. Porque, nesses laboratórios, a medida de VO₂ já é um procedimento rotineiro, o que não exige nenhum treinamento, ou providências extraordinárias. A estratégia também se mostrou válida, porque os resultados confirmaram a observação de que as avaliações feitas no ergômetro estudado sempre apresentavam resultados superiores ao esperado para o nível de treinamento dos avaliados. Os resultados corrigidos pela equação proposta eram mais condizentes com a condição dos avaliados e com a literatura da área.

O estudo foi realizado com a aplicação de cinco cargas resistivas para 50 rpm, por ser a cadência mais usual em avaliação aeróbia. Não se pode assegurar que, com cadências mais elevadas ou em protocolos com variação de velocidade – como no caso do teste de *Wingate* – a tendência encontrada seja a mesma. Pode-se supor que protocolos com aceleração ampliem a tendência de erro do Ciclo-Mec estudado.

A estratégia proposta, apesar dos cuidados que foram tomados, por ser indireta, deve ser utilizada com um procedimento auxiliar na calibração do Ciclo-Mec. Caso os resultados de VO₂ sejam coincidentes com os preditos pela literatura, provavelmente, não há necessidade de calibração dinâmica direta. Além disso, no caso de a calibração indireta apontar alguma tendência de erro, tal resultado será uma ferramenta importante na investigação e correção do problema que motiva o erro de medida do ergômetro. Nova calibração indireta deve ser feita após a tentativa de correção.

Conclusões

Em suma, pode se concluir que a calibração dinâmica indireta de Ciclo-Mec, por meio da medida do VO₂, pode ser uma estratégia viável de calibração. Mas, por se tratar de estratégia indireta, sugere-se que seja feita a correção dos erros eventualmente encontrados.

Referências Bibliográficas

1. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. **Guidelines for exercise testing and prescription**. 5. ed., Baltimore, Williams & Wilkins, 1995.
2. COLUCCI Jr., J. **Aspectos ergométricos e biomecânicos da propulsão de alta eficiência em cadeira de rodas**. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1995.
3. CUMMING, G.R.; ALEXANDER, W.D. The calibration of bicycle ergometers. **Canadian Journal of Pharmacology**. 1968; 46: 917-919.
4. GLEDHILL, N.; JAMNIK, R. Determining power outputs for cycle ergometers with different sized flywheels. **Medicine and Science in Sport and Exercise**. 1995; 27:134-137.
5. HEYWARD, V.H. **Advanced fitness assessment exercise prescription**. 3. ed, Champaign, Human kinetics, 1994
6. SILVA, J.A.B. *et al.* Calibrador de cicloergômetro: instrumentação para avaliação do desempenho humano. VII CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, Campinas, **ANAIS**, Sociedade Brasileira de Biomecânica. 1997; 49-54.