

Resposta da Cinética de Consumo de Oxigênio e da Eficiência Mecânica Delta de Homens e Mulheres em Diferentes Intensidades de Esforço

CIÊNCIAS DO EXERCÍCIO
E DO ESPORTE



ARTIGO ORIGINAL

Oxygen Uptake Kinetics and Delta Mechanical Efficiency Response of Men and Women at Different Exercise Intensities

Lucenildo S. Cerqueira^{1,2}
Fernando S. Nogueira^{1,2}
Joyce Carvalho^{1,3}
Fernando A.M.S. Pompeu^{1,2}

1. Laboratório de Biometria – Ladebio – PPGEF/ UFRJ
2. Laboratório de Ergoespirometria, Serviço de Pneumologia, HSE – UFRJ
3. Laboratório de Fisiologia Aplicada à Educação Física – LafisaeF – IEFD/ UERJ

Correspondência:

Fernando A.M.S. Pompeu
Programa de Pós-Graduação em Educação Física – EEFD/ UFRJ
Av. Carlos Chagas Filho, 540 – Cidade Universitária – 21941-599 – Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: ladebio@eefd.ufrj.br

RESUMO

Introdução: A eficiência mecânica delta ($EM\Delta$) e a cinética do consumo de oxigênio ($K\dot{V}O_2$) são influenciadas por parâmetros metabólicos musculares e pelo transporte de O_2 . O objetivo do presente estudo foi determinar a diferença na $K\dot{V}O_2$ e na $EM\Delta$ em três intensidades de esforço nos dois gêneros. **Métodos:** 56 sujeitos (26 mulheres) foram submetidos ao protocolo de esforço escalonado, contínuo e máximo (GxT) no cicloergômetro mecânico para determinação da potência aeróbia máxima ($\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$), carga máxima ($W_{m\acute{a}x}$), limiar anaeróbio (AT) e ponto de compensação respiratória (PCR). O AT foi determinado através dos métodos V-slope e $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$; o PCR através da relação $\dot{V}O_2$ versus \dot{V}_E ; ambos por dois avaliadores. A $EM\Delta$ e a $K\dot{V}O_2$ foram consideradas como a inclinação entre $\dot{V}O_2$ versus Watts e $\dot{V}O_2$ versus tempo (s), respectivamente, do começo do teste até o AT (S_1), do AT ao PCR (S_2) e do PCR ao $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ (S_3), determinada por análise de regressão linear. **Resultados:** Para a $EM\Delta$, diferenças significativas foram observadas entre S_1 versus S_2 ($p = 0,001$), S_1 versus S_3 ($p = 0,001$) e S_2 versus S_3 ($p = 0,006$). Não foi observada diferença ($p = 0,060$) ou interação significativa ($p = 0,062$) entre homens versus mulheres. Para a $K\dot{V}O_2$, diferenças significativas foram observadas entre S_1 versus S_3 ($p = 0,001$) e S_2 versus S_3 ($p = 0,001$) em ambos gêneros. Diferenças ($p = 0,001$) e interação significativa ($p = 0,006$) foram observadas entre homens versus mulheres, no último parâmetro. **Conclusões:** A $EM\Delta$ decresce com o incremento da intensidade de trabalho, porém, não há diferenças quando se compara homens e mulheres. Por outro lado, as mulheres apresentam $K\dot{V}O_2$ mais rápida do que os homens.

Palavras-chave: ergoespirometria, teste de esforço, componente lento de $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$.

ABSTRACT

Introduction and objective: Delta efficiency (DE) and oxygen uptake kinetics ($K\dot{V}O_2$) are influenced by muscle metabolic parameters and oxygen transport. The aim of this study was to determine the difference in DE and $K\dot{V}O_2$ in three intensities of effort in both genders. **Methods:** Fifth six subjects (26 women) were submitted to a graded maximal exercise test (GXT) on cycle ergometer to determine the maximum oxygen uptake ($\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$), maximal power output ($W_{m\acute{a}x}$), anaerobic threshold (AT) and respiratory compensation point (RCP). The AT and RCP were determined using the V-slope and $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$ methods; the RCP using the relationship $\dot{V}O_2$ versus \dot{V}_E both for two investigators. The DE and $K\dot{V}O_2$ has been considered as a slope between $\dot{V}O_2$ versus Watts and $\dot{V}O_2$ versus time (s), respectively, of start of test until AT (S_1), of AT to RCP (S_2) and of RCP to $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ (S_3), determined by linear regression analysis. **Results:** For the DE, significant differences were observed between S_1 versus S_2 ($p = 0.001$), S_1 versus S_3 ($p = 0.001$) and S_2 versus S_3 ($p = 0.006$). There was no significant difference ($p = 0.060$) or interaction ($p = 0.062$) between men and women. For $K\dot{V}O_2$, significant differences were observed between S_1 versus S_3 ($p = 0.001$) and S_2 versus S_3 ($p = 0.001$) in both genders. Significant differences ($p = 0.001$) and interaction ($p = 0.006$) were observed between men and women, in the last parameter. **Conclusions:** The DE decreases with increasing intensity of power output, but there are no differences when comparing men and women. On the other hand, women have $K\dot{V}O_2$ more fast than men.

KeyWords: ergospirometry, effort test, $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ slow component.

INTRODUÇÃO

O exame ergoespirométrico com cargas escalonadas até o limite da capacidade do indivíduo, realizado para mensurar o consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$)⁽¹⁾, limiar anaeróbio (AT)⁽¹⁻³⁾, carga máxima ($W_{m\acute{a}x}$) e eficiência mecânica⁽⁴⁾ é prática comum em laboratórios de fisiologia do exercício^(2,5). A análise dessas variáveis adquire maior importância durante a realização de exercícios físicos de longa duração, visto que

a eficiência mecânica é um dos principais parâmetros observados em eventos de *endurance*⁽⁶⁾. A eficiência mecânica reflete a porção da energia química potencial estocada no músculo convertida em trabalho mecânico. Essa eficiência é geralmente estimada a partir do consumo de oxigênio^(4,7). Na avaliação desse parâmetro, o cicloergômetro é preferível, pois apresenta leituras de potência física mais próximas ao valor real^(1,4).

A manutenção do exercício físico depende de um adequado fornecimento de oxigênio para os músculos ativos⁽⁶⁾. A disponibilidade de oxigênio para o tecido muscular durante o exercício pode ser mensurada através da eficiência mecânica delta (EMr), que corresponde ao quociente entre a variação do gasto energético e a variação da potência gerada^(4,7,8). Nos exercícios de alta intensidade a EMr pode inferir a capacidade de mover altas cargas de trabalho com predomínio do metabolismo oxidativo, observando-se um consumo extra de oxigênio^(7,8). Estas observações comumente não são realizadas em mulheres⁽⁸⁻¹¹⁾ devido a motivos não muito claros, tais como: efeitos do ciclo menstrual e oscilações hormonais sobre a eficiência mecânica. Índices inferiores de hemoglobina e hematócrito observados em mulheres também podem contribuir para o desenvolvimento da anemia⁽¹²⁾, elevando-se os níveis de 2,3 difosfoglicerato (2,3-DPG) e, assim, diminuindo-se a afinidade do oxigênio pela hemoglobina^(13,14). A intensificação do efeito Bohr significa um desvio maior da curva de dissociação da oxiemoglobina para a direita^(13,14), podendo resultar em baixos índices de inclinação da relação $\dot{V}O_2 \cdot \text{tempo}^{-1}$ e rápidas cinéticas de consumo de oxigênio.

Recentemente, uma técnica para determinação da cinética do consumo de oxigênio ($K\dot{V}O_2$) através de um protocolo de incrementos baseados na relação $\dot{V}O_2 \cdot \text{tempo}^{-1}$ foi proposta por Boone *et al.*⁽⁹⁾, porém, foram avaliados somente sujeitos do sexo masculino. Considerando-se que o comportamento da relação $\dot{V}O_2 \cdot \text{tempo}^{-1}$ pode fornecer importantes informações sobre a velocidade de oferta de oxigênio para os tecidos ativos, em eventos esportivos e na prática clínica, e que em mulheres tal mecanismo precisa ser melhor elucidado, o objetivo da presente investigação retrospectiva foi analisar a resposta da $K\dot{V}O_2$ e observar a diferença na EMr entre homens e mulheres em diferentes níveis metabólicos durante um teste de incrementos no cicloergômetro.

MÉTODOS

Sujeitos

A presente investigação foi constituída por 56 voluntários, estudantes de educação física, sendo 30 do gênero masculino (25 ± 1 ano; $74,3 \pm 2,1$ kg) e 26 do feminino (27 ± 1 ano; $57,4 \pm 1,1$ kg), aparentemente saudáveis, não tabagistas e não atletas. Foi recomendada para as 24h prévias ao exame à abstinência de atividades físicas extenuantes (>5 METs) e da ingestão de álcool. Recomendou-se também a manutenção da dieta mista nas 48h precedentes ao esforço. Solicitou-se a abstinência de alimentos que contenham cafeína nas três horas prévias ao esforço. Cada sujeito foi informado quanto aos riscos associados aos procedimentos adotados. Um termo de esclarecimento e consentimento foi lido e assinado. Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética Local para Experimentos com Seres Humanos (Rio de Janeiro, CEP/HSE 000.021/99). Este estudo foi realizado conforme a Declaração de Helsinki.

Protocolo ergométrico

Foi empregado um protocolo de esforço escalonado, contínuo e máximo (GxT)⁽³⁾ no cicloergômetro mecânico (Monark[®], São Paulo, SP, Brasil) para determinação da potência aeróbia máxima ($\dot{V}O_{2\text{máx}}$), carga máxima ($W_{\text{máx}}$), limiar anaeróbio (AT) e ponto de compensação respiratória (PCR). A altura do selim foi ajustada para cada sujeito, de maneira que o joelho mantivesse um ângulo próximo à extensão total (aproximadamente 175°). A potência máxima foi estimada previamente para cada indivíduo, a fim de viabilizar incrementos de 10% da carga máxima a cada minuto⁽¹⁵⁾. O protocolo GxT constou do repouso inicial por seis minutos sentado sobre o selim do cicloergômetro, seguido pelo aquecimento de quatro minutos pedalando sem carga e, posteriormente, pela fase escalonada (aproximadamente $25 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$). A duração máxima do exercício foi de 10 ± 2 min. Os sujeitos mantiveram uma cadência fixa ao longo do exame (aprox. 1,23Hz), controlada por

um metrônomo audiovisual (Wittner Junior Plast 826, Isny/Allgäu, Alemanha).

A ventilação minuto (\dot{V}_E) e a fração expirada de oxigênio e dióxido de carbono foram continuamente medidas através de calorimetria indireta de circuito aberto (TEEM 100[®] Total Metabolic Analysis System, Aerosport[®], Ann Arbor, MI., EUA)⁽¹⁶⁾. Os sujeitos utilizaram um clipe de nariz e um pneumotacômetro de fluxo médio (Hans Rudolph Inc[®], Kansas City, MO, EUA). O consumo de oxigênio por minuto ($\dot{V}O_2$) e a excreção de gás carbônico por minuto ($\dot{V}O_2$) foram apresentados a cada 20 segundos. A frequência cardíaca (FC) foi monitorada continuamente ao longo do teste através de telemetria (Vantage NV[®], Polar Electro Oy[®], Kempele, Finlândia) e o conceito de esforço percebido (CEP), na escala de Borg de seis a 20, foi coletado ao final de cada estágio.

Controles e calibrações

O analisador metabólico e o cicloergômetro foram calibrados antes de cada teste. O ergoespirômetro foi calibrado em circuito fechado, através de uma mistura certificada de gases contendo 17,01% de oxigênio, 5,00% de gás carbônico e balanceada com nitrogênio (AGA[®], Rio de Janeiro, RJ, Brasil). O fluxo foi calibrado utilizando-se uma seringa de ar de três litros (Hans Rudolph Inc[®], Kansas City, MO, EUA). Ao final de cada teste, foi realizada a medida das frações percentuais de oxigênio e gás carbônico na mistura de gases empregada para calibragem. O erro máximo admitido foi de índices entre 16,16 a 17,86% para FO_2 e de 4,75 a 5,25% para FCO_2 . O cicloergômetro foi calibrado através de um lastro de 3kg.

Os testes foram considerados máximos quando observou-se pelo menos três dos seguintes critérios⁽¹⁷⁾: a) platô no $\dot{V}O_2$ (aumento $\leq 150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ou $2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$); b) razão de trocas respiratórias (RER) $\geq 1,15$; c) 90% da $FC_{\text{máx}}$ prevista pela idade ($220 - \text{idade}$); d) conceito de esforço percebido ≥ 19 (6-20); e) fadiga voluntária máxima com incapacidade de manutenção do ritmo pré-estabelecido. O $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ foi determinado como sendo o mais alto valor encontrado ao final do teste.

Análise dos dados

Foram utilizados dois métodos para detecção do AT por inspeção visual: o método equivalente ventilatório (EqV)⁽¹⁸⁾ e o V-slope simplificado (V-slope)⁽¹⁹⁾.

O EqV foi caracterizado como o momento em que ocorre um aumento no equivalente ventilatório para consumo de oxigênio ($\dot{V}_E / \dot{V}O_2$) sem o concomitante aumento no equivalente ventilatório para excreção de dióxido de carbono ($\dot{V}_E / \dot{V}O_2$).

O método V-slope simplificado foi analisado em um gráfico de coordenadas cartesianas, tendo no eixo das abscissas o consumo de oxigênio por minuto ($\dot{V}O_2$) e no das ordenadas a excreção de gás carbônico por minuto ($\dot{V}O_2$), sendo observado o momento em que os pontos ultrapassaram a linha paralela à bissetriz do ângulo reto.

Análise do PCR⁽²⁰⁾: no gráfico de coordenadas cartesianas, tendo no eixo das abscissas o $\dot{V}O_2$ e no das ordenadas a \dot{V}_E , observou-se a interseção de dois segmentos de retas abaixo e acima desse ponto. Abaixo desse ponto a \dot{V}_E aumenta linearmente com o $\dot{V}O_2$, mas acima a \dot{V}_E aumenta mais rapidamente.

Para cada indivíduo, os dois métodos de determinação do AT e o método de identificação do PCR foram analisados visualmente por dois investigadores experientes.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

O tratamento estatístico foi realizado através dos aplicativos *Statistical Package for the Social Sciences*[®] (SPSS[®] Inc., Chicago, IL, EUA), *SigmaPlot*[®] (*Systat*[®] Software Inc, Chicago IL, EUA) e Microsoft Excel[®] para Windows[®] (Microsoft[®], Redmond, WA, EUA). Foi empregada a estatística descritiva através da média \pm erro padrão da média (EPM). A média dos resultados obtidos pelos dois avaliadores a partir dos métodos EqV e

V-slope foi considerada como o AT⁽²¹⁾. Para o PCR também foi utilizada a média dos dois investigadores.

A eficiência mecânica delta (EMr) foi determinada em três diferentes intensidades: do início do teste até o AT (S₁), do AT ao PCR (S₂) e, do PCR ao VO₂²² (S₃). A EMr foi considerada como o coeficiente angular da relação VO₂ versus carga de trabalho (W) determinada por análise de regressão linear. O coeficiente angular da relação VO₂ versus tempo (em segundos) também foi determinado a fim de mensurar a KVO₂⁽⁹⁾.

Testou-se os dados à distribuição normal através do teste de Shapiro Wilk. Quando não foi observada distribuição normal, conduziu-se uma transformação logarítmica. Empregou-se ANOVA de dois fatores e teste *post-hoc* de Tukey-HSD para determinar se houve diferenças significativas entre os coeficientes angulares em cada nível metabólico e entre os gêneros. O nível de significância adotado foi $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Os resultados do AT, PCR, VO₂²² e RER foram apresentados na tabela 1. Diferenças significativas foram observadas nos três níveis metabólicos (S₁, S₂ e S₃) tanto em homens quanto em mulheres.

Relação VO₂ · W⁻¹ – Foi observado um aumento progressivo do S₁ ao S₂ e do S₂ ao S₃ (tabela 2; figura 1). Diferenças significativas foram observadas entre S₁ versus S₂ ($p = 0,001$), entre S₁ versus S₃ ($p = 0,001$) e entre S₂ versus S₃ ($p = 0,006$) em ambos os gêneros (tabela 2; figura 1). Não foram observadas diferenças significativas entre homens versus mulheres ($p = 0,060$) ou interação significativa ($p = 0,062$) intensidade versus gênero (tabela 2). Esse resultado mostrou a diminuição da EMr com o aumento da intensidade de esforço independentemente do gênero.

Cinética de VO₂ – Diferenças significativas foram observadas entre o S₁ versus S₃ ($p = 0,001$) e entre o S₂ versus S₃ ($p = 0,001$) em ambos os gêneros (tabela 3; figura 2). Não foi observada diferença significativa entre o S₁ versus S₂ ($p = 0,753$). Diferenças significativas ($p = 0,001$)

Tabela 1. Variáveis ergométricas obtidas no teste máximo em cicloergômetro.

	Masculino			Feminino		
	VO ₂ (L · min ⁻¹)	Watts	RER	VO ₂ (L · min ⁻¹)	Watts	RER
AT	1,64 (0,06) ^a	148 (6) ^a	0,87 (0,02)	1,10 (0,05)	87 (4)	0,86 (0,01)
PCR	2,79 (0,11) ^{**a}	237 (10) ^{**a}	0,99 (0,01) ^{**}	1,63 (0,07) ^{**}	141 (5) ^{**}	0,99 (0,02) ^{**}
VO ₂ ²²	3,84 (0,14) ^{**a}	297(10) ^{**a}	1,11 (0,02) [*]	2,26 (0,09) [*]	183 (7) [*]	1,09 (0,02) [*]

Média ± (EPM). limiar anaeróbio (AT); ponto de compensação respiratória (PCR); potência aeróbia máxima (VO₂²²).
^a Diferença significativa entre homens e mulheres; ^{*}Diferença significativa para as variáveis na intensidade do AT ($p \leq 0,05$); [†] Diferença significativa para as variáveis no esforço máximo ($p \leq 0,05$).

Tabela 2. Parâmetros da eficiência mecânica delta (mL · min⁻¹ · W⁻¹) durante o teste graduado de esforço máximo (GxT).

	Masculino			Feminino		
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₁	S ₂	S ₃
Inclinação	8,30 (0,24)	11,27 (0,36) ^a	12,12 (0,66) ^{b,c}	8,57 (0,37)	9,16 (0,50) ^a	11,61 (0,77) ^{b,c}
Intercepto	305,17 (34,83)	20,24 (75,07)	263,35 (199,66)	331,03 (21,82)	243,98 (39,61)	- 42,80 (134,33)
EPE	141 (8)	187 (13)	202 (14)	90 (5)	97 (8)	131 (10)
r ²	0,85 (0,01)	0,74 (0,03)	0,64 (0,03)	0,83 (0,02)	0,74 (0,04)	0,64 (0,05)

Média ± EPM (erro padrão da média); EPE = erro padrão da estimativa; VO₂ (mL · min⁻¹) versus W: início do teste até AT (S₁); AT até PCR (S₂); PCR até VO₂²² (S₃). ^aDiferenças significativas entre S₁ versus S₂ ($p = 0,001$); ^bDiferenças significativas entre S₁ versus S₃ ($p = 0,001$) e ^c Diferenças significativas entre S₂ versus S₃ ($p = 0,006$) em ambos os gêneros para o coeficiente angular.

foram observadas entre homens versus mulheres (tabela 3; figura 2) e interação significativa ($p = 0,001$) entre intensidade versus gênero (tabela 2; figura 2). Foi observada uma KVO₂ significativamente mais rápida no gênero feminino comparado ao masculino independente da intensidade de esforço.

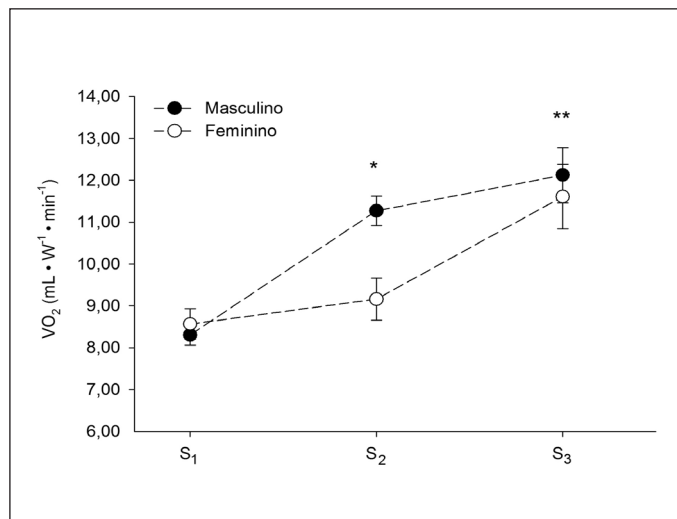


Figura 1. Coeficiente angular da relação VO₂ (mL · min⁻¹) versus W: início do teste até AT (S₁); AT até PCR (S₂); PCR até VO₂²² (S₃). ^{*}Diferença significativa entre S₁ versus S₂ ($p = 0,001$); ^{**}Diferença significativa entre S₂ versus S₃ ($p = 0,006$).

Tabela 3. Índices para a relação VO₂ (mL · min⁻¹) versus tempo (s) durante o teste graduado de esforço máximo (GxT).

	Masculino			Feminino		
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₁	S ₂	S ₃
Inclinação	3,94 (0,20)	5,98 (0,32)	6,58 (0,42) ^a	2,64 (0,13)	3,00 (0,15)	4,08 (0,25) ^{a,b}
Intercepto	369,30 (29,03)	-173,00 (75,47)	-244,40 (203,38)	378,10 (21,87)	237,00 (33,20)	-227,27 (127,30)
EPE	127 (6)	152 (10)	176 (12)	82 (5)	87 (7)	103 (7)
r ²	0,88 (0,01)	0,83 (0,02)	0,74 (0,03)	0,86 (0,02)	0,80 (0,03)	0,78 (0,03)

Média ± (EPM); EPE= erro padrão da estimativa; VO₂ (mL · min⁻¹) versus tempo: início do teste até AT (S₁); AT até PCR (S₂); PCR até VO₂²² (S₃). ^aDiferença significativa entre S₁ versus S₂ ($p = 0,001$); ^bDiferença significativa entre S₂ versus S₃ ($p = 0,001$) em ambos os gêneros para o coeficiente angular.

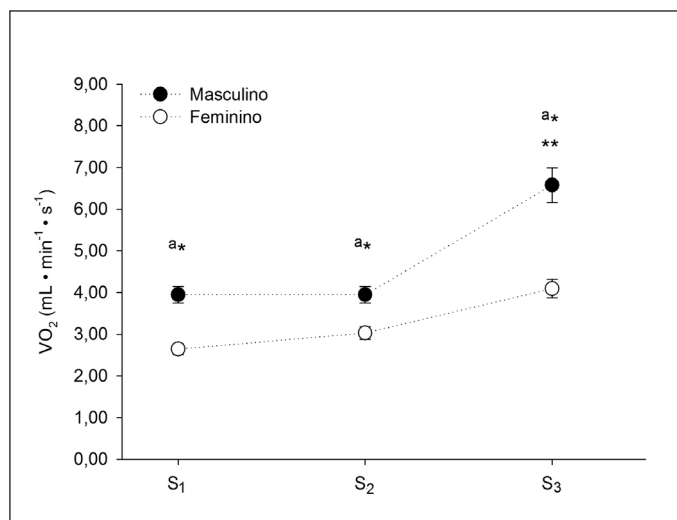


Figura 2. Coeficiente angular da relação VO₂ versus tempo: início do teste até AT (S₁); AT até PCR (S₂); PCR até VO₂²² (S₃). ^aDiferença significativa entre homens versus mulheres ($p = 0,001$). ^{*}Diferença significativa entre S₁ versus S₃ ($p = 0,001$); ^{**}Diferença significativa entre S₂ versus S₃ ($p = 0,001$).

DISCUSSÃO

A presente investigação considerou que a determinação da cinética de $\dot{V}O_2$ em protocolos de incrementos a partir de um método baseado na relação $\dot{V}O_2 \cdot \text{tempo}^{-1}$ precisa ser melhor elucidada em sujeitos do gênero feminino. Até o presente estudo, a resposta da $K \dot{V}O_2$ em testes com incrementos a cada minuto ainda não havia sido investigada em mulheres. Para tanto foi analisado o efeito do aumento da intensidade sobre a resposta da $K \dot{V}O_2$ em homens e mulheres durante o teste de incrementos. Observou-se também a EMr durante o exercício com incrementos a cada minuto para mulheres e homens.

O padrão de recrutamento das fibras musculares tipo II, predominantemente glicolíticas, pode ser apontado como explicação para a redução da eficiência mecânica delta e o aumento do componente lento do $\dot{V}O_2$ em intensidades a partir do AT^(7,8,10,22-26). Bonne *et al.*⁽²⁵⁾ mostraram um aumento progressivo da amplitude da atividade eletromiográfica, demonstrada pela EMG integrada (iEMG) em testes de esforço máximo realizados no cicloergômetro. O RMS vem sendo empregado para estudar o aumento da atividade mioelétrica total em testes de esforço máximo no cicloergômetro e pode ser empregado como um indicador de recrutamento de unidades motoras de elevado limiar de excitação⁽²⁵⁻²⁷⁾. No presente estudo, corroborou-se a hipótese do elevado metabolismo glicolítico e o alto RER (tabela 1) observado nas altas cargas de trabalho.

Embora não se tenha constatado diferença ($p = 0,060$) nem interação ($p = 0,062$) significativa entre os gêneros, foi observado um fenômeno de diferente magnitude da $EM\Delta$ (tabela 2). Um aumento de $2,97 \text{ mL} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ entre S_2-S_1 (S_2-S_1) nos homens e apenas $0,60 \pm 0,51 \text{ (mL} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$ nas mulheres foi observado. Estes resultados sugerem uma importante fase na qual parece existir o maior recrutamento de fibras do tipo II após o AT⁽²²⁻²⁷⁾. Bell e Ferguson⁽²⁸⁾ mostraram, em mulheres jovens, altas correlações da cadeia pesada da miosina do tipo I em 60 e 75 revoluções por minuto no cicloergômetro ($r = 0,80$ e $r = 0,84$, respectivamente), quando confrontados com a eficiência mecânica. Essas cadências foram similares às empregadas na presente investigação. As diferenças entre os gêneros parecem ocorrer fundamentalmente em função do tamanho e composição corporal. Apesar da composição de fibras musculares ser semelhante em ambos os gêneros^(7,28), o volume de cada fibra parece ser maior nos homens.

Boone *et al.*⁽⁹⁾ encontraram em estudantes de educação física do gênero masculino, submetidos a testes progressivos (incrementos de 25 W^{-1}), valores médios de inclinação de $4,09 \text{ mL} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ para a $K \dot{V}O_2$. Estes valores foram similares aos observados nos homens avaliados, na presente investigação, na intensidade do AT (tabela 3). Esta mesma variável apresentou valores de $2,64 \text{ mL} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ nas mulheres, indicando um rápido fornecimento de oxigênio para os tecidos ativos. O componente lento do consumo de oxigênio nos homens de $2,03 \pm 0,22 \text{ mL} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ determinado pela relação $\dot{V}O_2 \cdot \text{tempo}^{-1}$ e, o baixo valor nas mulheres $0,36 \pm 0,14 \text{ (mL} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$ entre S_2-S_1 apresentou comportamento similar à eficiência delta (tabela 2; figura 1). Lamentavelmente, Boone *et al.*⁽⁹⁾ não determinaram a relação do $\dot{V}O_2 \cdot \text{tempo}^{-1}$ nas intensidades acima do AT alegando complexidades adicionais por causa da cinética lenta do $\dot{V}O_2$. A presente investigação foi a primeira, segundo nossas buscas nas bases ISI e Medline, a analisar a relação $\dot{V}O_2 \cdot \text{tempo}^{-1}$ em mulheres, o que dificulta comparações com outros estudos. A decomposição de um teste progressivo em três níveis distintos metabólicos (S_1 , S_2 e S_3) permitiu analisar

e identificar em um teste progressivo o momento onde o componente lento do $\dot{V}O_2$ se tornou mais significativo.

Durante o teste de incrementos, as alterações hemodinâmicas, principalmente o aumento no fluxo intramuscular, aumento na 2,3-DPG, temperatura corporal e diminuição do pH provocado pelo aumento da intensidade^(3,5) têm potencial efeito sobre a liberação do oxigênio da hemoglobina na musculatura ativa⁽¹⁴⁾. Esses fatores podem causar um desvio à direita da curva de dissociação da oxiemoglobina que indicam uma liberação do oxigênio para atender a maior demanda energética dos músculos esqueléticos em contração. O 2,3-DPG parece apresentar importante papel redutor da afinidade do oxigênio pela hemoglobina^(13,14). As mulheres sexualmente maduras apresentam concentrações de hemoglobina mais baixas do que os homens e frequentemente apresentam quadros anêmicos devido ao sangramento menstrual⁽¹²⁾. Este fenômeno pode explicar os baixos valores da inclinação $\dot{V}O_2 \cdot \text{tempo}^{-1}$ encontrados nas mulheres no presente estudo (tabela 2), indicando que o oxigênio é fornecido rapidamente para atender as demandas metabólicas e, assim, indicando um mecanismo compensatório nas mulheres.

É essencial que haja precisão das medidas das trocas gasosas e ventilatórias para que os dados sejam reproduzidos, sendo necessário o controle da qualidade das medidas através dos procedimentos de calibragem, de operação e de análise por técnicos experientes⁽²⁹⁾. Testes em que esses cuidados são tomados apresentam baixa variação nas medidas repetidas em momentos próximos^(1,15). A variação diária intraindivíduo, devido ao erro e às flutuações fisiológicas do $\dot{V}O_2$, \dot{V}_E e FC, são⁽³⁰⁾, respectivamente, de 3,8%, 8,0% e 3,0%. Granja Filho *et al.*⁽¹¹⁾ observaram um índice de variação intraindivíduo de 5,5% para o $\dot{V}O_{2\text{máx}}$. Nogueira e Pompeu⁽²¹⁾ e Magrani e Pompeu⁽³¹⁾ observaram índices satisfatórios para as medidas analisadas em equipamento usado nesse estudo. Há diferenças nas medidas obtidas, por esse equipamento comparando-as às oriundas de equipamentos mais sofisticados (3,8% versus 5,5%), o ergoespirômetro aqui adotado foi validado por outro grupo⁽¹⁶⁾ e é amplamente empregado em laboratórios brasileiros.

Considerando-se que a determinação da $K \dot{V}O_2$ em protocolos de incrementos a partir de um método baseado na relação $\dot{V}O_2 \cdot \text{tempo}^{-1}$ precisava ser melhor investigada em sujeitos do gênero feminino, conclui-se que a eficiência mecânica delta decresce com o incremento da intensidade de trabalho, quando se analisa o coeficiente angular da relação $\dot{V}O_2 \cdot \text{W}^{-1}$ em diferentes níveis metabólicos, porém, não há diferenças quando comparados ambos gêneros. Por outro lado, as mulheres apresentam $K \dot{V}O_2$ mais rápidas em relação aos homens.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste estudo expressam seus agradecimentos à Associação dos Amigos do Centro de Estudos e Aperfeiçoamento do Hospital dos Servidores do Estado do Rio de Janeiro, na pessoa do Dr. Aluysio S. Aderaldo Jr. pela contribuição significativa para a realização deste trabalho e ao colega Gilberto Sabóia Pompeu Neto. Este estudo recebeu o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (MCT/CNPq).

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Granja Filho PCN, Pompeu FAMS, Ribeiro P. A acurácia da determinação do VO_{2max} e do Limiar Anaeróbio. *Rev Bras Med Esporte*. 2005;11:167-71.
2. Diefenthaler F, Candotti CT, Ribeiro J, Oliveira AR. Comparação de respostas fisiológicas absolutas e relativas entre ciclistas e triatletas. *Rev Bras Med Esporte*. 2007;13:205-8.
3. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic Threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol*. 1973;35:236-43.
4. 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;5:286-90.
5. Denadai BS, Ortiz MJ e Mello MT. Índices fisiológicos associados com a "performance" aeróbia em corredores de "endurance": efeitos da duração da prova. *Rev Bras Med Esporte*. 2004;10:401-4.
6. Basset DR, JR. and Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:70-84.
7. Coyle EF, Sidossis LS, Horowitz JF and Beltz JD. Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24:782-8.
8. Barstow TJ, Jones AM, Nguyen PH, Casaburi R. Influence of muscle fibre type and fitness on the oxygen uptake/ power output slope during incremental exercise in humans. *Exp Physiol*. 2000;85:109-16.
9. Boone J, Koppo K, Bouckaert J. The VO_2 response to submaximal ramp cycle exercise: Influence of ramp slope and training status. *Respir Physiol & Neurobiol*. 2008;161:291-7.
10. Jones AM, Campbell IT, Pringle JSM. Influence of muscle fibre type and pedal rate the VO_2 -work rate slope during ramp exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91:238-45.
11. Marles A, Mucci P, Legrand R, Betteder D, Prieur F. Effect of prior exercise on the VO_2 / Work rate relationship during incremental exercise and constant work rate exercise. *Int J Sports Med*. 2006;27:345-50.
12. Di Santolo M, Stel G, Banfi G, Gonano F, Cauci S. Anemia and iron status in young fertile non-professional female athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2008;102:703-9.
13. Dash RK and Bassingthwaight JB. Blood HbO₂ and HbCO₂ Dissociation Curves at Varied O₂, CO₂, pH, 2,3-DPG and Temperature Levels. *Ann Biomed Eng*. 2004;32:1676-93.
14. Shikama K. Nature of the FeO₂ bonding in myoglobin and hemoglobin: A new molecular paradigm. *Prog Biophys Mol Biol*. 2006;91:83-162.
15. Nogueira FS, Pompeu FAMS. Modelos para predição da carga máxima no teste clínico de esforço cardiopulmonar. *Arq Bras Cardiol*. 2006;87:137-45.
16. Novitsky S, Segal KR, Chatr-Aryamontri B, Guvakov D, Katch VL. Validity of a new portable indirect calorimeter: the Aerosport TEEM 100. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995;70:462-67.
17. Howley ET, Basset Jr. DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27:1292-301.
18. Caiozzo VJ, Davis JA, Ellis JF, Azus JL, Vandagriff R, Prietto CA, *et al*. A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J Appl Physiol*. 1982;53:1184-9.
19. Schneider DA, Phillips SE, Stoffolano S. The simplified V-slope method of detecting the gas exchange threshold. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25:1180-4.
20. Beaver WL, Wasserman K and Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol*. 1986;60:2020-7.
21. Nogueira FS, Pompeu FAMS. Precisão da medida do limiar anaeróbio através do calorímetro portátil. *Arq Bras Cardiol*. 2010 (in press).
22. Lucía A, Hoyos J, Chicharro JL. Kinetics of VO_2 in professional cyclists. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:320-5.
23. Pedersen PK, Sorensen JB, Jensen K, Johansen L and Levin K. Muscle fiber type distribution and nonlinear VO_2 -power output relationship in cycling. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:655-61.
24. Jones AM Carter H. Oxygen uptake-work rate relationship during two consecutive ramp exercise tests. *Int J Sports Med*. 2004;25:415-20.
25. Bonne J, Koppo K, Barstow TJ, Bouckaert J. Aerobic fitness, muscle efficiency, and motor unit recruitment during ramp exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42:402-8.
26. M. Lenti, De Vito G, Sbriccoli P, di Palumbo AS, Sacchetti M. Muscle fibre conduction velocity and cardiorespiratory response during incremental cycling exercise in young and older individuals with different training status. *J Electromyogr Kinesiol*. 2010;20:566-71.
27. Camic CL, Housh TJ, Johnson GO, Hendrix CR, Zuniga JM, Mielke M, *et al*. An EMG frequency-based test for estimating the neuromuscular fatigue threshold during cycle ergometry. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108:337-45.
28. Bell MP, Ferguson RA. Interaction between muscle temperature and contraction velocity affects mechanical efficiency during moderate-intensity cycling exercise in young and older women. *J Appl Physiol*. 2009;107:763-9.
29. Guimarães JI, Stein R, Vilas-Boas F *et al*. Normatização de técnicas e equipamentos para realização de exames em ergometria e ergoespirometria. *Arq Bras Cardiol*. 2003;80:458-64.
30. Jones NL, Kane JW. Quality control of exercise test measurements. *Med Sci Sports*. 1979;11:368-72.
31. Magrani P, Pompeu FAMS. Equações de predição do VO_{2max} de Jovens adultos Brasileiros. *Arq Bras Cardiol*. 2010;94:763-70.