

Equações para a Previsão da Potência Aeróbia (VO_2) de Jovens Adultos Brasileiros

Equations for Predicting Aerobic Power (VO_2) of Young Brazilian Adults

Paula Magrani^{1,2} e Fernando Augusto Monteiro Saboia Pompeu^{1,2}

Universidade Federal do Rio de Janeiro¹; Hospital dos Servidores do Estado², Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Resumo

Fundamento: O VO_2 pode ser previsto, com base em parâmetros antropométricos e fisiológicos, para determinadas populações.

Objetivo: Propor modelos preditivos do VO_2 submáximo e máximo para jovens adultos brasileiros.

Métodos: Os 137 voluntários (92 homens) foram submetidos ao teste progressivo de esforço máximo (GXT) no ciclo ergômetro (Monark®, Br). Medidas de trocas gasosas e ventilatórias foram realizadas em circuito aberto (Aerosport® TEEM 100, EUA). Em outro grupo, 13 voluntários foram submetidos ao GXT e a um teste de onda quadrada (SWT), para avaliar a validade externa das fórmulas do ACSM, de Neder *et al* e do nomograma de Åstrand-Ryhming. Adotou-se o delineamento experimental de validação cruzada e o nível de significância de $p \leq 0,05$.

Resultados: Para homens durante esforços submáximos deduziu-se um modelo matemático, com base na carga de trabalho, massa corporal e idade, que explicou 89% da variação do VO_2 com o EPE (erro padrão da estimativa) = 0,33 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$. Para a carga máxima do grupo masculino outro modelo, com as mesmas variáveis, explicou 71% da variação VO_2 com EPE = 0,40 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$. Para as mulheres foi possível explicar 93% da variação VO_2 com EPE = 0,17 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, no esforço submáximo e máximo, com apenas uma equação que empregava as mesmas variáveis independentes.

Conclusão: Os modelos derivados no presente estudo demonstraram ser acurados para a previsão do VO_2 submáximo e máximo em jovens adultos brasileiros. (Arq Bras Cardiol. 2010; [online]. ahead print, PP.0-0)

Palavras-chave: Ventilação voluntária máxima, esforço físico, exercício, teste de esforço.

Abstract

Background: VO_2 may be predicted with base on anthropometric and physiological parameters for determined populations.

Objective: To propose models for submaximal and maximal VO_2 prediction in young Brazilian adults.

Methods: A total of 137 volunteers (92 men) underwent graded maximal exercise test (GXT) in a cycle ergometer (Monark™, Br). Gas exchange and respiratory measurements were performed in an open circuit (Aerosport™ TEEM 100, USA). In another group, 13 volunteers underwent GXT and a square wave test (SWT) in order to evaluate the external validity of Neder *et al*'s formula, ACSM's formula, and of Åstrand-Ryhming nomogram. The study design chosen was a cross-validation and the significance level was set at $p \leq 0.05$.

Results: For men during submaximal exercises, a mathematical model was deduced with base on workload, body mass, and age, which explained 89% of the VO_2 variation, with SEE (standard error of the estimate) = 0.33 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$. For the maximum load in the male group, another model with the same variables explained 71% of VO_2 variation, with SEE = 0.40 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$. For women, 93% of VO_2 variation could be explained, with SEE = 0.17 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, both in submaximal and maximal exercise, with only one equation by use of the same independent variables.

Conclusion: The models derived in the present study proved to be accurate to predict submaximal and maximal VO_2 in young Brazilian adults. (Arq Bras Cardiol. 2010; [online]. ahead print, PP.0-0)

Key words: Maximal voluntary ventilation; physical exertion; exercise; exercise test.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Fernando A. M. S. Pompeu •

Av. Carlos Chagas Filho, 540 - Ilha do Fundão - 21941-599 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil
E-mail: pompeu_fernando@hotmail.com

Artigo recebido em 31/01/09; revisado recebido em 24/08/09; aceito em 22/10/09.

Introdução

A tolerância ao exercício é um importante preditor da saúde cardiovascular, pulmonar, metabólica e músculo-articular. A capacidade dos músculos de consumir oxigênio durante o esforço é também um índice de aptidão física¹. Para mensuração desse parâmetro (VO₂) geralmente realiza-se um teste de esforço máximo, contínuo e escalonado (GXT) na esteira ou no ciclo ergômetro². No Brasil utiliza-se em maior escala a esteira ergométrica, porém muitos laboratórios também utilizam o ciclo ergômetro. Esse equipamento apresenta vantagem no caso de lesão ortopédica e proporciona poucos artefatos no eletrocardiograma e na medida de pressão arterial. O ciclo ergômetro mecânico é também vantajoso pelo menor custo, peso e por não necessitar de eletricidade³.

A potência aeróbia (VO₂) é uma medida prioritária no teste ergométrico por sua estreita correspondência com o débito cardíaco, pelo princípio de Fick, e por sua aplicação na calorimetria indireta^{1,4}. A calorimetria indireta é um método não invasivo utilizado para a medição do VO₂ através de um ergoespirômetro⁵. O acesso pouco frequente e o alto custo da avaliação ergoespirométrica, no entanto, fazem com que os métodos preditivos sejam mais utilizados que a ergoespirometria na avaliação da capacidade funcional⁶. Consequentemente foram propostas várias equações para estimar o consumo de oxigênio, máximo e/ou submáximo, baseadas em variáveis morfofuncionais facilmente mensuráveis, tais como: massa corporal, idade, gênero, estatura, percepção de esforço, tempo da caminhada, tempo da corrida e carga em watt^{1,7-15}. Essas equações podem ser usadas para determinar a intensidade do exercício. Esses métodos, no entanto, apresentam consideráveis erros (15-20%)¹, que são incrementados de forma imprevisível quando aplicados em populações diferentes daquela utilizada para desenvolvê-los. Até o presente momento, as equações geralmente utilizadas neste país provêm de populações com características antropométricas, cardiopulmonares e biomecânicas diferentes da brasileira.

Com a finalidade de melhorar a predição do consumo de oxigênio, para a nossa população, dois estudos foram realizados. O objetivo do estudo 1 foi desenvolver equações para a previsão do VO₂ no GXT, em intensidades submáximas e/ou máximas, com a mesma ou superior validade externa das equações desenvolvidas por Storer e cols.¹⁵. O estudo 2 teve o objetivo de confrontar a validade externa das equações aqui desenvolvidas com as previsões obtidas pelo ACSM⁸, Nedder e cols.¹⁴ e Åstrand-Ryhming¹⁶.

Métodos

Estudo 1 - Proposta de modelo preditivo do VO₂

Foram sujeitos deste estudo 137 voluntários adultos aparentemente saudáveis, não tabagistas e não atletas. Os sujeitos foram ordenados através da massa corporal e divididos em dois grupos, por amostragem aleatória sistemática. Setenta e sete homens (24 ± 5 anos, 76,6 ± 10,9 kg, 178,4 ± 6,8 cm, VO₂ = 3,68 ± 0,74 l·min⁻¹, W_{máx} = 271 ± 57 watts e LAN = 1,63 ± 0,31) e trinta mulheres (25 ± 6 anos, 58,4 ±

6,9 kg, 162,7 ± 7,1 cm, VO₂ = 2,29 ± 0,48 l·min⁻¹ e W_{máx} = 184 ± 39 watts e LAN = 1,13 ± 0,22) foram sorteados para o grupo de validade interna (VI), e quinze homens (27 ± 7 anos, 75,6 ± 9,3 kg, 176,9 ± 6,7 cm, VO₂ = 3,92 ± 0,70 l·min⁻¹, W_{máx} = 273 ± 44 watts e LAN = 1,67 ± 0,34) e quinze mulheres (25 ± 6 anos, 59,3 ± 7,9 kg, 161,9 ± 8,1 cm, VO₂ = 2,22 ± 0,55 l·min⁻¹, W_{máx} = 182 ± 35 watts e LAN = 1,08 ± 0,23) formaram o grupo de validade externa (VE). Antes da realização dos testes, os voluntários preencheram um Termo de Consentimento e Esclarecimento. O protocolo experimental deste ensaio foi aprovado pela Comissão de Ética para Estudos com Seres Humanos da instituição a que pertence o nosso laboratório. Recomendou-se, para o dia prévio ao exame, a abstinência de atividades físicas extenuantes (> 5 METs) e a manutenção da dieta mista. Recomendou-se, também, evitar cafeína e alimentos nas três horas antecedentes ao esforço.

Protocolo de teste

Empregou-se o protocolo escalonado contínuo e máximo¹⁷ (GXT), constituído do repouso inicial por seis minutos, sentado sobre o ciclo ergômetro (Monark®, Brasil), seguido pelo aquecimento de quatro minutos, pedalando sem carga, e pela etapa progressiva, com incrementos de 10%VO_{2máx} por min¹⁸. A carga máxima foi estimada por parâmetros antropométricos¹⁹. A fase escalonada teve duração máxima ocorrendo entre 8 e 12 minutos e a cadência do pedal não foi alterada durante o esforço (aprox. 1,23 Hz). O teste que não foi interrompido por fadiga na faixa de tempo estabelecida foi descartado.

As variáveis de trocas gasosas e ventilatórias foram computadas a cada 20 segundos e medidas por um analisador metabólico (Aerosport® TEEM 100, EUA) com pneumotacógrafo (Hans Rudolph®, EUA). A frequência cardíaca (FC) foi medida por um cardiotacômetro (Polar® Vantage NV, Finlândia) a cada cinco segundos.

Os procedimentos de calibragem dos equipamentos foram feitos previamente à realização de cada teste. Todos os testes foram realizados no mesmo ciclo ergômetro e a cadência do pedal controlada por meio de um metrônomo audiovisual. Calibrou-se o ergoespirômetro através de uma mistura certificada de gases (AGA®, Brasil) contendo 17,01% de oxigênio, 5,00 % de dióxido de carbono e balanceada com nitrogênio. O fluxo foi calibrado através de uma seringa de três litros (Hans Rudolph®, EUA) e o ciclo ergômetro por meio de um lastro de 3kg.

Os testes foram considerados máximos quando observados pelo menos três dos seguintes critérios, conforme Howley e cols.⁴: platô no VO₂ (aumento ≤ 150ml·min⁻¹ ou 2 ml·kg⁻¹·min⁻¹), RER (*respiratory exchange ratio*) ≥ 1,15, FC_{máx} ≥ 90% da prevista pela idade (220 - idade), índice de percepção de esforço ≥ 18, e fadiga voluntária máxima com incapacidade de manutenção do ritmo preestabelecido. O VO_{2máx} foi determinado como o valor mais alto obtido durante o esforço máximo. No presente estudo, a carga máxima foi definida como aquela observada no VO_{2máx}. O limiar anaeróbio (LAN) foi determinado a partir do método *V-slope*²⁰, determinando-se o ponto de inflexão na curva VO₂ x VO₂²¹. As medições

referidas foram feitas por dois observadores independentes e o LAN foi a média das duas observações.

Estudo 2 - Validade externa dos modelos do ACSM⁸, Neder e cols.¹⁴ e de Åstrand-Ryhming¹⁶ para previsão do VO₂

Participaram do segundo estudo 13 voluntários adultos, oito homens (24 ± 3 anos, 81,5 ± 13,6 kg, 181,9 ± 5,6 cm) e cinco mulheres (22 ± 3 anos, 63,2 ± 11,7 kg, 163,9 ± 2,2 cm), aparentemente saudáveis, não tabagistas e não atletas.

Protocolo de teste

Seguindo os mesmos procedimentos de calibragem e controle usados no estudo 1, os sujeitos foram submetidos ao GXT e a um teste de onda quadrada¹ (SWT), entremeados pelo período de 1 a 14 dias. O SWT foi composto por duas cargas, sendo a primeira submáxima (SWT_{sub}) e a segunda máxima (SWT_{max}). Os indivíduos pedalarão por 6 minutos com a carga submáxima e a média da FC medida nos 2 últimos minutos foi utilizada para estimar o VO_{2max} através do nomograma de Åstrand-Ryhming¹⁶. Após descansar por 10 minutos, sentado sobre o ciclo ergômetro e conectado ao ergoespirômetro, iniciou-se a segunda carga com 110% a 115% da carga estimada para o VO_{2max}. A última carga foi manipulada durante o esforço para gerar exaustão entre dois e três minutos.

Análise estatística

O tratamento estatístico foi realizado por meio dos aplicativos *Statistical Package for the Social Sciences*[®] (SPSS, EUA) e *Microsoft Excel*[®] para *Windows XP*[®] (EUA). Empregou-se a estatística descritiva com a média ± desvio padrão (DP). Derivou-se para o grupo VI equações de regressão para a previsão do VO₂ em diversas intensidades do esforço. A validade externa das equações derivadas foi testada, em validação cruzada, aplicando-as no grupo VE. Os valores previstos e medidos foram confrontados por meio do teste *t* pareado. A validade externa das equações de Storer e cols.¹⁵ para homens e mulheres (03M e 03F, respectivamente), propostas para o mesmo protocolo GXT, foram analisadas no grupo VE através da ANOVA *two-way*, e teste *post-hoc* de Tukey-HSD. Com os valores máximos obtidos do grupo VI foi derivada também uma equação de regressão específica para a previsão do VO_{2max} para o grupo masculino. A validade externa dessa equação foi testada no grupo VE, tendo os valores previstos e medidos confrontados por meio da ANOVA *two-way* e teste *post-hoc* de Tukey-HSD, juntamente com os valores máximos previstos para o mesmo grupo pela equação de Storer e cols.¹⁵.

Os limites de concordância de Bland e Altman²² foram empregados entre os resultados medidos e calculados. O erro da previsão também foi observado por meio do erro técnico da medida ($s = D.P._{dif} \div \bar{O}2$) e do coeficiente de variação (CV).

Os valores medidos no GXT e no SWT foram comparados, por meio da ANOVA *two-way* e teste *post-hoc* de Tukey-HSD, com o VO_{2max} estimado através do nomograma de Åstrand-Ryhming¹⁶ utilizando a carga de trabalho (06M-NC e 06F-NC) e utilizando o valor de VO₂ medido (06M-NV

e 06F-NV). As estimativas do nomograma de Åstrand-Ryhming¹⁶ corrigidas pela idade através das equações propostas por Siconolfi e cols.²³ (07M e 07F) também foram confrontadas com os valores medidos. A acurácia do VO_{2max} e do VO₂ estimados pelas equações recentes (05M e 05F) e antigas (04M e 04F) propostas pelo ACSM⁸ foi checada. O modelo de Neder e cols.¹⁴ (08M e 08F), para a população Brasileira, foi confrontado apenas com os valores medidos no SWT. O nível de significância adotado para todos os teste estatísticos foi ≤ 0,05.

Resultados

Os valores submáximos medidos do VO₂ e Watt para o grupo VE foram 2,01 (±1,11) l·min⁻¹ e 273 (±44) watts para os homens e 1,25 (±0,63) l·min⁻¹ e 182 (±35) watts para as mulheres. A equação para a predição do consumo de oxigênio derivada para o grupo masculino foi:

Equação 01M

$$VO_2 = -0,131 + (0,01103 \times \text{Watt}) + (0,007786 \times \text{Massa Corporal}) - (0,00617 \times \text{Idade})$$

$$R^2 = 0,89 \text{ e } EPE = 0,33 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

Para o grupo feminino foi:

Equação 01F

$$VO_2 = -0,461 + (0,01043 \times \text{Watt}) + (0,007096 \times \text{Massa Corporal}) + (0,01006 \times \text{Idade})$$

$$R^2 = 0,93 \text{ e } EPE = 0,17 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

Sendo: R² - coeficiente de determinação; EPE - erro padrão da estimativa.

Os resultados das predições por meio das equações 01M, 01F e 03F para os valores submáximos não diferiram significativamente dos valores medidos no grupo VE. A diferença significativa entre os valores submáximos medidos e preditos foi detectada para a equação 03M ($p = 0,02$). No pico do esforço, as equações 01F e 03F também não apresentaram diferença significativa entre os valores medidos e preditos. Já as equações 01M e 03M, quando utilizadas para a predição do VO_{2max}, apresentaram diferenças significativas ($p = 0,001$ e $p = 0,04$, respectivamente). A validade externa das equações 01M, 03M, 01F e 03F encontram-se nas Figuras 01 e 02. Para determinar a qualidade das equações 01M e 01F em outras intensidades, confrontaram-se os valores medidos e preditos em três cargas submáximas. Não foram encontradas diferenças significativas para a equação 01M a 40%VO_{2max} ($p = 0,40$), 60%VO_{2max} ($p = 0,72$) e 80%VO_{2max} ($p = 0,13$); nem para a equação 01F a 40%VO_{2max} ($p = 0,06$), 60%VO_{2max} ($p = 0,15$) e 80%VO_{2max} ($p = 0,70$). A fim de aprimorar a predição do VO_{2max} para o grupo masculino foi derivada outra equação a ser aplicada no esforço máximo:

Equação 02M

$$VO_{2max} = 0,518 + (0,01016 \times \text{Watt}_{max}) + (0,01482 \times \text{Massa Corporal}) - (0,0292 \times \text{Idade})$$

$$R^2 = 0,71 \text{ e } EPE = 0,40 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

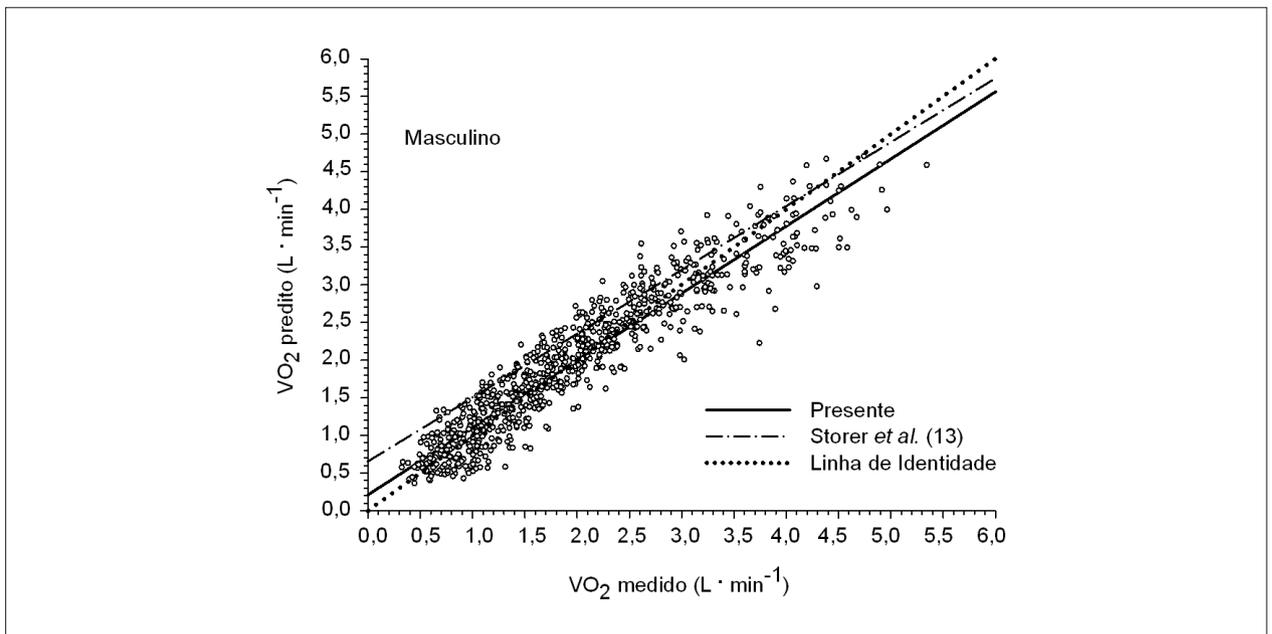


Fig. 1 - Diagrama de dispersão do grupo VE masculino com os valores de VO_2 medidos e preditos pelas equações 01M e 03M - Estudo 1.

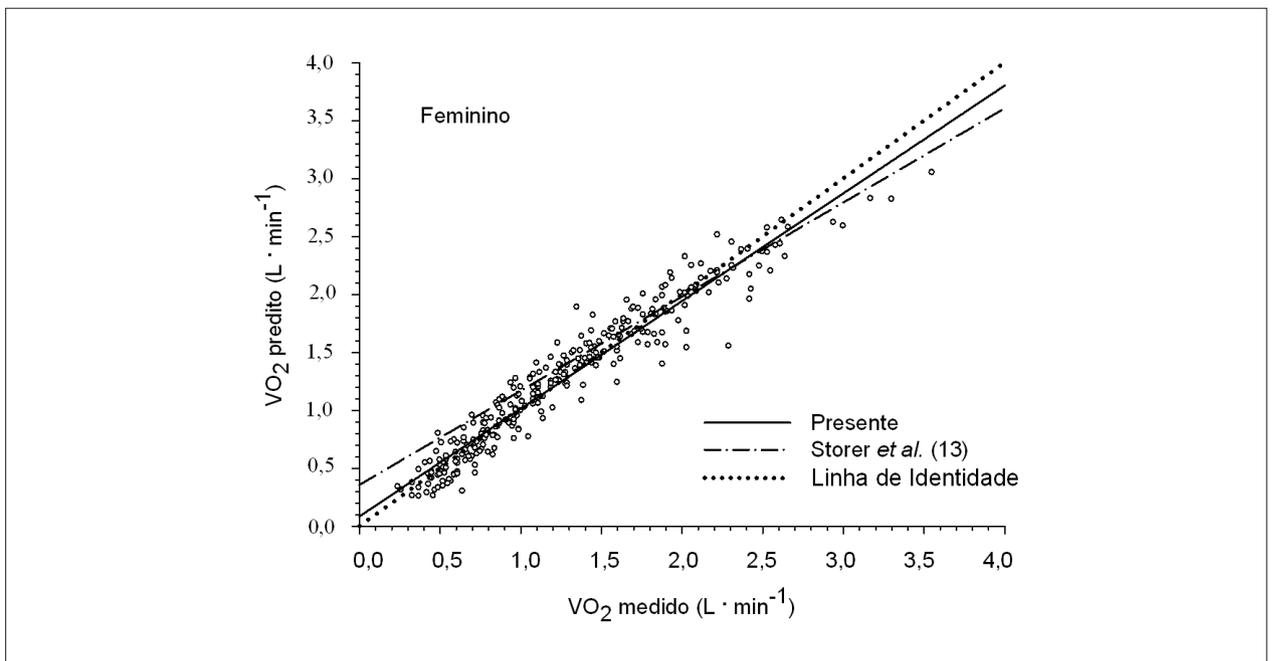


Fig. 2 - Diagrama de dispersão do grupo VE feminino com os valores de VO_2 medidos e preditos pelas equações 01F e 03F - Estudo 1.

Não houve diferença significativa entre os valores máximos medidos e preditos no grupo VE quando a equação 02M foi utilizada.

No segundo estudo os valores submáximos do VO_2 e da carga obtidos no SWT_{sub} foram $1,55 (\pm 0,46) \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ e $100 (\pm 19)$ watts para os homens, e $0,93 (\pm 0,35) \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ e $70 (\pm 21)$ watts para as mulheres. Os valores submáximos de VO_2 preditos por todos os modelos não diferiram significativamente dos

valores medidos (Tabela 1). O valor máximo de consumo de oxigênio ($VO_{2\text{máx}}$) obtido no teste GXT foi $3,09 (\pm 0,99)$ e $1,49 (\pm 0,13) \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ para homens e mulheres, respectivamente. Para o grupo feminino, não houve diferença significativa entre os valores de $VO_{2\text{máx}}$ preditos e medidos no GXT. Para o grupo masculino, os valores de $VO_{2\text{máx}}$ medidos no GXT foram diferentes estatisticamente dos valores previstos por 07M-NV ($p = 0,04$, $CV = 35,31\%$, $s = 0,90 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, $r^2 = 0,46$)

e por 07M-NC ($p = 0,03$, $CV = 39,3\%$, $s = 1,01 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, $r^2 = 0,25$) quando a correção de Siconolfi e cols.²³ foi aplicada no nomograma de Åstrand-Ryhming¹⁶. O $\text{VO}_{2\text{máx}}$ e $W_{\text{máx}}$ obtidos no teste $\text{SWT}_{\text{máx}}$ foram $3,12 (\pm 0,73) \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ e $215 (\pm 46) \text{ watts}$ para os homens, e $1,63 (\pm 0,14) \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ e $139 (\pm 22) \text{ watts}$, para as mulheres. Para o grupo feminino, não houve diferença significativa entre os valores de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ preditos e medidos em $\text{SWT}_{\text{máx}}$. Já o grupo masculino, no teste $\text{SWT}_{\text{máx}}$ obteve valores de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ estatisticamente diferentes dos valores previstos por 07M-NV ($p = 0,01$) e por 07M-NC ($p = 0,01$), quando a correção de Siconolfi e cols.²³ foi aplicada no nomograma de Åstrand-Ryhming¹⁶. O grupo masculino, além disso, obteve valores de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ estatisticamente diferentes dos valores preditos pela equação 08M ($p = 0,02$). A Tabela 1 apresenta os resultados da análise realizada com os métodos preditivos do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ comparados com os valores medidos no $\text{SWT}_{\text{máx}}$.

Discussão

Apesar do grande número de equações para predição do VO_2 são raras as que não são específicas para uma determinada população. A alta correlação e o moderado erro padrão da estimativa, encontrados no presente estudo, mostraram que o VO_2 pode ser previsto com satisfatória acurácia utilizando a massa corporal, a idade e a carga de trabalho como variáveis independentes.

O controle de qualidade das medidas, através dos procedimentos de calibragem e da operação dos equipamentos por técnicos experientes²⁴, é fundamental para que os parâmetros de trocas gasosas e ventilatórias sejam reproduzidos com precisão. Testes em que esses cuidados são tomados, há baixa variação nas medidas repetidas em momentos próximos^{24,25}. O ergoespirômetro aqui adotado foi validado por outro grupo²⁶. Já a qualidade das medidas realizadas pelo nosso equipamento foi determinada por meio do coeficiente de correlação intraclasse para medidas de teste e reteste das trocas gasosas e ventilatórias, que foram: 0,91 para VE; 0,95 para o VO_2 e 0,93 para o VO_2 . Esses dados foram obtidos em cargas de 15 a 340 watts no ciclo ergômetro. A diferença na precisão da medida obtida por meio dos equipamentos mais sofisticados do que o nosso (3,8%²⁷ versus 5,5%) pode levar a um pequeno erro na aplicação das nossas fórmulas que não pôde ser determinado.

Os resultados obtidos pela validação cruzada das equações 01M e 01F (estudo 1), demonstraram uma predição acurada do VO_2 . Quando utilizadas as equações 01M e 03M para a predição do $\text{VO}_{2\text{máx}}$, foi observada diferença significativa entre os valores medidos e preditos. Diferentemente do resultado encontrado para o grupo masculino, as equações 01F e 03F foram acuradas para a previsão do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ do grupo feminino. Esse resultado pode ser explicado pela maior agressividade masculina durante o esforço máximo, elevando o componente anaeróbio e a ativação de fibras musculares rápidas, conseqüentemente aumentando a produção de força e alterando a relação linear $\text{VO}_{2/\text{watt}}$ ²⁸. A fim de melhorar a predição do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ para o grupo masculino a equação 02M foi proposta e esta demonstrou ser superior a equação 03M.

Malek e cols.²⁹ analisaram a validade externa das equações de Storer e cols.¹⁵ para predição do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ de indivíduos

aerobiamente treinados e elas apresentaram o menor erro padrão da estimativa (EPE) dentre as equações por eles analisadas. O EPE encontrado por Malek e cols.²⁹ foi de 0,32 e 0,27 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ para homens e mulheres, respectivamente, enquanto no estudo original, Storer e cols.¹⁵ encontraram EPE de 0,20 e 0,13 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ para homens e mulheres, respectivamente. No presente estudo, o EPE encontrado para essas equações foram de 0,41 e 0,15 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente para homens e mulheres. Esses valores foram próximos aos encontrados para as equações 01F e 02M aqui derivadas.

Os resultados obtidos no estudo 2 demonstraram acurácia na predição dos valores de VO_2 pelas equações 01M, 01F e 02M. As equações 01M e 01F demonstraram ser tão boas quanto às do ACSM⁸ e de Neder e cols.¹⁴ (04M, 04F, 05M, 05F, 08M e 08F) para a predição de valores submáximos (Tabela 1). Na tentativa de analisar a aplicabilidade das equações 01M, 01F e 02M, em diferentes protocolos, foram realizados dois testes máximos, sendo um escalonado (GXT) e um de onda quadrada ($\text{SWT}_{\text{máx}}$). Nos dois protocolos as equações 01M, 01F e 02M previram o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ com acurácia. A equação 02M, porém, foi superior por apresentar menor coeficiente de variação e erro total ($ET = -0,10 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$), quando comparados com a equação 01M ($ET = 0,39 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$). Os valores máximos obtidos em GXT e em $\text{SWT}_{\text{máx}}$ diferiram apenas dos valores preditos pelo nomograma de Åstrand-Ryhming¹⁶, usando a carga de trabalho (NC) e o VO_2 (NV), quando corrigidos pela equação 07M. Siconolfi e cols.²³ derivaram equações (07M e 07F) que modificam os valores de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ obtidos pelo método original do nomograma de Åstrand-Ryhming¹⁶. Percebemos que a equação 07M piora a predição original, feita pelo método de Åstrand-Ryhming¹⁶, produzindo um erro total de $1,03 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Os altos incrementos da carga de trabalho em estágios de 1 min de duração e o critério de platô de $250 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e $\text{RER} \geq 1,00$ no esforço máximo podem ter subestimado o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ no estudo de Siconolfi e cols.²³. Houve também uma significativa diferença entre os valores medidos e preditos de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ quando a equação 08M foi aplicada¹⁴. Este método, que foi desenvolvido para a população brasileira, não apresentou acurácia na predição do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ de sujeitos ativos no SWT .

A análise dos limites de concordância revelou que há uma tendência para superestimar o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ quando é utilizado o nomograma de Åstrand-Ryhming¹⁶ no grupo feminino (Tabela 1). Zwiren e cols.³⁰ analisaram a validade externa do nomograma de Åstrand-Ryhming¹⁶ em mulheres entre 30 e 39 anos com $\text{VO}_{2\text{máx}}$ de $2,4 (\pm 0,45) \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ e os autores concluíram que o método de Åstrand-Ryhming¹⁶ superestimou o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ em 20%. Quando o nomograma de Åstrand-Ryhming¹⁶ foi utilizado para inferência desse parâmetro no grupo masculino os valores preditos não diferiram significativamente dos medidos. Por outro lado, a Tabela 1 mostra que 06M-NC e 06M-NV apresentaram maiores coeficiente de variação, erro típico da medida, e menor correlação, quando comparados com as equações masculinas 01M e 02M. Davies e cols.³¹, em um grupo masculino de $22 (\pm 2)$ anos e com maior $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ($50,7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), encontraram o intervalo de confiança (IC = 95%) de $-0,96 (\pm 0,47) \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($\text{FC} = 120 < 140 \text{ bpm}$) e $-0,64 (\pm 0,39) \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($\text{FC} = 140 < 180$), preditos pela carga de trabalho, usando o nomograma de Åstrand-Ryhming. Para

Tabela 1 - Validação cruzada para o VO₂ no ciclo ergômetro - Estudo 2

Equação	VO ₂ Predito (lmin ⁻¹) (Média ± DP)	Limites de concordância	s	r	CV																								
Esforço submáximo																													
Presente estudo																													
01M	1,46 ± 0,25	0,09 ± 0,27	0,19	0,87	12,71																								
01F	0,94 ± 0,18	- 0,01 ± 0,30	0,22	0,50	23,10																								
ACSM [®] r																													
04M	1,67 ± 0,25	-0,12 ± 0,28	0,20	0,85	12,18																								
04F	1,21 ± 0,19	-0,29 ± 0,33	0,23	0,39	12,68																								
ACSM [®] a																													
05M	1,51 ± 0,25	0,04 ± 0,29	0,20	0,82	13,37																								
05F	1,08 ± 0,23	-0,15 ± 0,37	0,26	0,24	26,16																								
Neder e cols. ¹⁴																													
08M	1,48 ± 0,21	0,06 ± 0,66	0,23	0,08	16,43																								
08F	1,15 ± 0,23	-0,22 ± 0,77	0,16	0,14	17,00																								
Esforço máximo																													
Presente estudo																													
01M	2,73 ± 0,55	0,39 ± 0,33	0,23	0,90	7,96																								
01F	1,66 ± 0,29	- 0,07 ± 0,29	0,20	0,22	11,42																								
02M	3,22 ± 0,57	-0,10 ± 0,33	0,23	0,90	7,30																								
ACSM [®] r																													
04M	2,94 ± 0,54	0,19 ± 0,34	0,24	0,90	7,83																								
04F	1,98 ± 0,28	-0,35 ± 0,29	0,21	0,17	11,40																								
ACSM [®] a																													
05M	2,92 ± 0,58	0,21 ± 0,32	0,23	0,90	7,61																								
05F	1,93 ± 0,29	-0,30 ± 0,31	0,22	0,00	12,28																								
Åstrand-Ryhming ¹⁶																													
06M-NC	3,14 ± 0,49	-0,02 ± 0,66	0,47	0,45	14,88																								
06F-NC	2,14 ± 0,31	-0,51 ± 0,42	0,30	0,72	15,89																								
06M-NV	3,15 ± 0,91	-0,03 ± 0,42	0,30	0,89	9,48																								
06F-NV	1,83 ± 0,24	-0,20 ± 0,13	0,09	0,90	5,26																								
Siconolfi e cols. ²³																													
07M-NC	2,09 ± 0,17*	1,03 ± 0,66	0,46	0,52	17,82																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Equação</th> <th>VO₂ Predito (lmin⁻¹) (Média ± DP)</th> <th>Limites de concordância</th> <th>s</th> <th>r</th> <th>CV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>07F-NC</td> <td>1,83 ± 0,15</td> <td>-0,20 ± 0,26</td> <td>0,19</td> <td>0,68</td> <td>10,82</td> </tr> <tr> <td>07M-NV</td> <td>2,10 ± 0,28*</td> <td>1,03 ± 0,48</td> <td>0,34</td> <td>0,92</td> <td>12,99</td> </tr> <tr> <td>07F-NV</td> <td>1,73 ± 0,05</td> <td>-0,10 ± 0,11</td> <td>0,08</td> <td>0,68</td> <td>4,69</td> </tr> </tbody> </table>						Equação	VO ₂ Predito (lmin ⁻¹) (Média ± DP)	Limites de concordância	s	r	CV	07F-NC	1,83 ± 0,15	-0,20 ± 0,26	0,19	0,68	10,82	07M-NV	2,10 ± 0,28*	1,03 ± 0,48	0,34	0,92	12,99	07F-NV	1,73 ± 0,05	-0,10 ± 0,11	0,08	0,68	4,69
Equação	VO ₂ Predito (lmin ⁻¹) (Média ± DP)	Limites de concordância	s	r	CV																								
07F-NC	1,83 ± 0,15	-0,20 ± 0,26	0,19	0,68	10,82																								
07M-NV	2,10 ± 0,28*	1,03 ± 0,48	0,34	0,92	12,99																								
07F-NV	1,73 ± 0,05	-0,10 ± 0,11	0,08	0,68	4,69																								
Neder e cols. ¹⁴																													
08M	2,76 ± 0,52*	0,36 ± 0,69	0,25	0,89	9,23																								
08F	1,92 ± 0,24	-0,29 ± 0,56	0,20	0,84	12,99																								

M - masculino; F - feminino; ACSM[®] r - equação recente; ACSM[®] a - equação antiga; s - erro técnico da medida; r - coeficiente de correlação entre o valor medido e predito; CV - coeficiente de variação; * diferença significativa ($p \leq 0,05$) do valor medido; VO₂ e carga de trabalho medidas em teste de esforço submáximo retangular (SWT).

Davies e cols.³¹ esse método tem o CV de 15% para estimativa através do VO₂ e de 21% pela carga.

Estudos recentes mostraram que a relação entre o consumo de oxigênio e a carga de trabalho é linear até a intensidade de 50% a 60%VO_{2máx}. Após esse ponto a função torna-se exponencial³². Nós analisamos esta relação através do modelo linear com uma ou com duas fases. No último, entende-se que há uma função linear até o ponto de transição, a partir do qual o VO₂ passa a aumentar numa função exponencial. Para o grupo masculino, o modelo linear obteve $R^2 = 0,88$, $EPE = 0,34$ e quadrado médio dos resíduos (MSE) = 0,12. O modelo com duas fases obteve o ajuste de $R^2 = 0,80$, $EPE = 0,34$ e $MSE = 0,11$. Esses resultados foram bem similares e sugerem que o modelo com duas fases não foi superior.

Conclui-se que, os modelos derivados no presente estudo demonstraram ser acurados para a previsão do VO₂ submáximo e máximo em jovens adultos brasileiros. Com base no estudo 1, a equação 01M não demonstrou ser válida em intensidades máximas. As demais equações (01F e 02M) podem ser utilizadas com satisfatória validade externa no pico do esforço. A predição do VO_{2máx} melhorou significativamente para o grupo masculino quando a equação 02M foi utilizada. As equações derivadas por Storer e cols.¹⁵ não apresentaram maior acurácia na previsão do VO_{2máx}. No estudo 2 as equações derivadas foram válidas tanto para intensidades submáximas quanto máximas. A equação proposta por

Siconolfi e cols.²³ (07M), para corrigir o método de Åstrand-Ryhming¹⁶, e as equações de Neder e cols.¹⁴, para homens, não mostraram um resultado satisfatório para a população local. Conclui-se também que as equações derivadas nesse estudo apresentam satisfatória validade externa em protocolos com ou sem *steady state*.

Limitações

Fatores como: variação na eficiência mecânica numa dada carga de trabalho, ingestão de medicamentos ou de álcool, calor, ambientes hipobáricos e indivíduos portadores de patologias ou com massa corporal e idades distintas dos aqui estudados podem aumentar o erro das previsões. Logo, esse estudo não apresenta uma forma de substituir, com a mesma precisão, a medida direta do VO₂. Recomenda-se que outras equações sejam derivadas para as demais faixas etárias e para os diversos grupos de pacientes.

Agradecimentos

À Associação dos Amigos do Centro de Estudos e Aperfeiçoamento do Hospital dos Servidores do Estado do Rio de Janeiro, pela contribuição significativa para a realização deste trabalho, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ. Agradecemos aos colegas Lucenildo Cerqueira e Fernando Nogueira, pela valiosa ajuda técnica.

Referências

1. Åstrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB. Textbook of work physiology. Champaign: Human Kinetics; 2003. p. 273-97.
2. Sanada K, Midorikawa T, Yasuda T, Kearns CF, Abe T. Development of nonexercise prediction models of maximal oxygen uptake in healthy Japanese young men. Eur J Appl Physiol. 2007; 99 (2): 143-8.
3. American College of Sports Medicine, Davis SE (editor). In: ACSM's health-related physical fitness assessment manual. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
4. Howley ET, Basset Jr DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. Med Sci Sports Exerc. 1995; 27 (9): 1292-301.
5. Marson F, Martins MA, Coletto FA, Campos AD, Basile-Filho A. Correlação entre o consumo de oxigênio obtido pelo método de Fick e pela calorimetria indireta no paciente grave. Arq Bras Cardiol. 2003; 82 (1): 72-6.
6. Rondon MUP, Forjaz CLM, Nunes N, Amaral SL, Barreto ACP, Negrão CE. Comparação entre a prescrição de intensidade de treinamento físico baseada na avaliação ergométrica convencional e na ergoespirométrica. Arq Bras Cardiol. 1998; 70 (3): 159-66.
7. Peterson MJ, Pieper CF, Morey MC. Accuracy of VO_{2máx} prediction equations in older adults. Med Sci Sports Exerc. 2003; 35 (1): 145-9.
8. American College of Sports Medicine – Appendix D: Metabolic calculations. In: Guidelines for exercise testing and prescription. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000. p. 300-12.
9. Bradshaw DI, George JD, Hyde A, LaMonte MJ, Vehrs PR, Hager RL, et al. An accurate VO_{2máx} nonexercise regression model for 18-65-year-old adults. Res Q for Exerc Sport. 2005; 76 (4): 426-33.
10. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. Am Heart J. 1973; 85 (4): 546-62.
11. Faulkner J, Parfitt G, Eston R. Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. Eur J Appl Physiol. 2007; 101 (3): 397-407.
12. Foster C, Jackson M, Pollock L, Taylor MM, Hare J, Sennett SM, et al. Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. Am Heart J. 1984; 107 (6): 1229-34.
13. Malek MH, Housh TJ, Berger DE, Coburn JW, Beck TW. A new nonexercise-based VO_{2máx} equation for aerobically trained females. Med Sci Sports Exerc. 2004; 36 (10): 1804-10.
14. Neder JA, Nery LE, Castelo A, Anderson S, Lerario MC, Sachs A, et al. Prediction of metabolic and cardiopulmonary responses to maximum cycle ergometry: a randomised study. Eur Respir J. 1999; 14 (6): 1304-13.
15. Storer TW, Davis JA, Caiozzo VJ. Accurate prediction of VO_{2máx} in cycle ergometry. Med Sci Sports Exerc. 1990; 22 (5): 704-12.
16. Åstrand PO, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. J Appl Physiol. 1954; 7 (2): 218-21.
17. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J Appl Physiol. 1973; 35 (2): 236-43.
18. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson DY, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. J Appl Physiol. 1983; 55 (5): 1558-64.
19. Nogueira FS, Pompeu FAMS. Modelos de predição da carga máxima no teste clínico de esforço cardiopulmonar. Arq Bras Cardiol. 2006; 87 (2): 137-45.
20. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. J Appl Physiol. 1986; 60 (6): 2020-7.
21. Yazbek Jr P, Carvalho RT, Sabag LMS, Batistella LR. Ergoespirometria: teste de esforço cardiopulmonar, metodologia e interpretação. Arq Bras Cardiol. 1998; 71 (5): 719-24.

22. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986; 1: 307-10.
23. Siconolfi SF, Cullinane EM, Carleton RA, Thompson PD. Assessing $\text{VO}_{2\text{max}}$ in epidemiologic studies: modification of the Åstrand-Ryhming test. *Med Sci Sports Exerc*. 1982; 14 (5): 335-8.
24. Guimarães JJ, Stein R, Vilas-Boas F, Galvão F, Nobrega ACL, Castro RRT, et al. Normatização de técnicas e equipamentos para a realização de exames em ergometria e ergoespirometria. *Arq Bras Cardiol*. 2003; 80 (4): 458-64.
25. Granja Filho PCN, Pompeu FAMS, Ribeiro AP. A acurácia da determinação do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ e do limiar anaeróbio. *Rev Bras Med Esporte*. 2005; 11 (3): 167-71.
26. Novitsky S, Degal KR, Chatr-Aryamontri B, Gubakov D, Katch VI. Validity of a new portable indirect calorimeter: the Aerosport TEEM 100. *Eur J Appl Physiol*. 1995; 70 (5): 462-7.
27. Hopkins WG, Schabert EJ, Hawley JA. Reliability of power in physical performance test. *Sports Med*. 2001; 31 (3): 211-34.
28. Pedersen PK, Sørensen, JB, Jensen K, Johansen L, Levin K. Muscle fiber type distribution and nonlinear VO_2 -power output relationship in cycling. *Med Sci Sports Exerc*. 2002; 34 (4): 655-61.
29. Malek MH, Berger DE, Housh TJ, Coburn JW, Beck TW. Validity of $\text{VO}_{2\text{max}}$ equations for aerobically trained males and females. *Med Sci Sports Exerc*. 2004; 36 (8): 1427-32.
30. Zwiren LD, Freedson PS, Ward A, Wilke S, Rippe JM. Estimation of $\text{VO}_{2\text{max}}$: a comparative analysis of five tests. *Res Q Exerc Sports*. 1991; 62 (1): 73-8.
31. Davies CTM. Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *J Appl Physiol*. 1968; 24 (5): 700-6.
32. Zoladz JA, Szkutnik Z, Majerczak J, Duda K, Pedersen PK. Non-linear relationship between oxygen uptake and power output in the Astrand nomogram - old data revisited. *J Physiol Pharmacol*. 2007; 58 (2): 265-73.