

Modelos para Predição da Carga Máxima no Teste Clínico de Esforço Cardiopulmonar

Maximal Workload Prediction Models in the Clinical Cardio-pulmonary Effort Test

Fernando dos Santos Nogueira e Fernando Augusto Monteiro Sabóia Pompeu
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - Rio de Janeiro, RJ

OBJETIVO

Este estudo buscou derivar equações generalizadas para predição da carga máxima para homens e mulheres jovens.

MÉTODOS

O método da ergoespiometria direta (Aerosport® TEEM 100, Estados Unidos da América do Norte) foi empregado para determinar o VO_{2max} e a carga máxima (W_{max}), no cicloergômetro (Monark®, Brasil), de 30 homens (25 ± 5 anos, $75,0 \pm 10,7$ kg; $48,4 \pm 8,8$ mL · kg⁻¹ · min⁻¹ e 243 ± 51 Watts) e 30 mulheres (26 ± 5 anos, $56,7 \pm 5,9$ kg, $39,8 \pm 7,6$ mL · kg⁻¹ · min⁻¹ e 172 ± 37 Watts). A idade e a massa corporal foram empregadas como variáveis independentes. Para todos os testes estatísticos aceitou-se o nível de significância de $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

No ajuste linear múltiplo a carga máxima foi explicada pela da idade e massa corporal em 54% ($r = 0,73$), para homens, e em 76% ($r = 0,87$), para mulheres, com erros padrões respectivamente de $0,66$ W · kg⁻¹ e de 25 Watts. As equações propostas passaram pela validação cruzada, empregando-se outra amostra com características similares de idade e VO_{2max} composta por 15 homens e 15 mulheres. A correlação intraclasse entre os valores de W_{max} preditos e os medidos através da ergoespiometria foram de 0,70 e 0,69, com erros padrões de 28,4 e 15,8 Watts, respectivamente, para homens e mulheres.

CONCLUSÃO

Este estudo exhibe equações generalizadas válidas para determinação da carga máxima no cicloergômetro para homens e mulheres.

PALAVRAS-CHAVE

Consumo de oxigênio, esforço físico, teste de esforço, limiar anaeróbio, limiar ventilatório.

OBJECTIVE

This study sought to derive generalized equations for predicting maximal workload for young men and women.

METHODS

Direct ergospirometry (Aerosport® TEEM 100, USA) was used to determine VO_{2max} and the maximal work load (W_{max}) on the cycle ergometer test (Monark®, Brazil) of thirty men (25 ± 5 years, 75.0 ± 10.7 kg; 48.4 ± 8.8 mL · kg⁻¹ · min⁻¹ and 243 ± 51 Watts) and thirty women (26 ± 5 years, 56.7 ± 5.9 kg, 39.8 ± 7.6 mL · kg⁻¹ · min⁻¹ and 172 ± 37 Watts). Age and body mass were used as independent variables. For all statistic tests, a $p \leq 0.05$ significance level was adopted.

RESULTS

In the multiple linear adjustment, the maximal workload was explained by age and body mass as 54% ($r = 0.73$) for men, and as 76% ($r = 0.87$) for women, with standard errors of 0.66 W · kg⁻¹ and 25 Watts. The proposed equations were cross-validated using another sample with similar age and VO_{2max} characteristics comprised of fifteen men and fifteen women. The intraclass correlation between the predicted W_{max} values and those measures by ergospirometry were 0.70 and 0.69, with standard errors of 28.4 and 15.8 Watts, respectively, for men and women.

CONCLUSIONS

This study exhibits valid generalized equations for determining the maximal cycle ergometer workload for men and women.

KEY WORDS

Oxygen consumption, physical exertion, stress test, anaerobic threshold, ventilatory threshold.

O termo ergoespirometria ou espiroergometria nasceu em 1929, sugerido por Knipping & Brauer (veja a abrangente revisão de Hollmann & Prinz¹). A principal medida metabólica nesse exame é a potência aeróbia (VO_2). A potência aeróbia máxima ($VO_{2máx}$) é a mais elevada captação de oxigênio que o indivíduo pode alcançar, durante um trabalho físico, respirando ar no nível do mar². Essa variável, segundo o princípio de Fick, é determinada pelo débito cardíaco e pela diferença arteriovenosa mista do oxigênio. O teste ergoespirométrico, portanto, permite um valioso estudo da integração entre os sistemas pulmonar, cardiovascular e músculo-esquelético^{2,3}, sendo, em alguns casos, o único meio para compreensão de mecanismos fisiopatológicos, como na severa doença vascular pulmonar sem hipertensão direita, no forame oval aberto com desenvolvimento de *shunt* esquerda-direita durante o exercício, na dispnéia de esforço, na hipoxemia de esforço, entre outras⁴. Sua aplicação em grandes grupos de cardiopatas e pneumopatas é vantajosa antes de procedimentos invasivos ou de alto custo^{3,4}.

O protocolo cicloergométrico de esforço máximo com incrementos de carga de 1 min foi primariamente proposto por Wasserman e cols.⁵ e posteriormente aprimorado por Buchfuhrer e cols.⁶. Tal protocolo consiste em adicionar continuamente incrementos de carga a cada minuto a fim de atingir a carga máxima ($W_{máx}$), caracterizada por critérios objetivos⁷, em 10 ± 2 min. Torna-se necessária, portanto, a predição da $W_{máx}$ a partir de variáveis disponíveis antes do início do teste para os incrementos de 10% da $W_{máx}$ por min. As equações normalmente empregadas⁸⁻¹² não são muito acuradas, uma vez que provêm de populações com características antropométricas, cardiopulmonares e biomecânicas diferentes da brasileira. Valiosos ensaios experimentais e revisões normativas publicadas por grupos de pesquisadores brasileiros, contudo, falharam em apresentar uma alternativa para essas equações¹³⁻¹⁶. Diante dessa dificuldade, o presente estudo teve como objetivo: a) desenvolver equações matemáticas para predição de $W_{máx}$ no cicloergômetro em teste contínuo e escalonado com duração de 10 ± 2 min, e b) testar

a validade externa das equações aqui desenvolvidas e confrontá-las com a validade daquelas derivadas para população estrangeira.

MÉTODOS

Foram sujeitos desse estudo 90 voluntários adultos, 45 homens e 45 mulheres, aparentemente saudáveis, não-tabagistas e não-atletas (tab. 1). Os sujeitos foram divididos randomicamente em dois grupos semelhantes em relação a idade e massa corporal, sendo o número de sujeitos estabelecido conforme o sugerido por Hopkins¹⁷. Trinta homens e 30 mulheres foram sorteados para o grupo validade interna (VI), e 15 homens e 15 mulheres para o de validade externa (VE). 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 a ingestão de alimentos e cafeína nas três horas precedentes ao esforço. Antes da realização dos testes, os sujeitos preencheram um termo de consentimento e esclarecimento. Os procedimentos aqui adotados foram aprovados pelo Comitê de Ética local para estudos com seres humanos.

Protocolo de teste - Empregou-se o protocolo escalonado, contínuo e máximo⁵, constituído do repouso inicial de 6 minutos sentado sobre o cicloergômetro (Monark®, Brasil), seguido pelo aquecimento de 4 minutos pedalando sem carga e, posteriormente, pela fase escalonada com duração máxima ocorrendo entre 8 e 12 minutos⁶. O teste que não foi interrompido por fadiga nessa faixa de tempo foi descartado. Os incrementos na sobrecarga foram determinados, para uma cadência constante, de forma empírica e individualizada. Esses incrementos foram mantidos ao longo do exame (aprox. $25 W \cdot \text{min}^{-1}$). A cadência foi controlada por meio de um metrônomo audiovisual (aprox. $74 \text{ rev} \cdot \text{min}^{-1}$).

As variáveis de trocas gasosas e ventilatórias foram medidas por um analisador metabólico (Aerosport® TEEM 100, Estados Unidos da América do Norte) em circuito

Tabela 1 – Características antropométricas e variáveis ergométricas obtidas no teste máximo no ciclo ergômetro (média \pm DP)

Variáveis	Homens			Mulheres		
	VI (n = 30)	VE (n = 15)	P	VI (n = 30)	VE (n = 15)	P
Idade (anos)	25 \pm 5	28 \pm 7	0,12	26 \pm 5	24 \pm 5	0,35
Massa (kg)	75,0 \pm 10,7	81,3 \pm 10,0	0,06	56,7 \pm 5,9	56,6 \pm 6,8	0,92
Estatura (cm)	176,9 \pm 6,6	180,0 \pm 8,3	0,19	161,7 \pm 8,1	161,3 \pm 8,1	0,89
$VO_{2máx}$ ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	3,61 \pm 0,71	4,03 \pm 0,70	0,07	2,26 \pm 0,71	2,03 \pm 0,45	0,14
$VO_{2máx}$ ($mL \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	48,36 \pm 8,80	50,07 \pm 10,15	0,56	39,81 \pm 7,64	35,91 \pm 6,68	0,10
$W_{máx}$	243 \pm 51	289 \pm 59	0,01	172 \pm 37	163 \pm 26	0,39
$W \cdot \text{kg}^{-1} máx$	3,29 \pm 0,76	3,62 \pm 0,97	0,21	3,02 \pm 0,50	2,88 \pm 0,32	0,33

n - número de voluntários; VI- grupo de validade interna; VE- grupo de validade externa; p- significância da diferença entre os grupos de validade interna e externa.

aberto e por um pneumotacômetro de fluxo médio (Hans Rudolph®, Estados Unidos da América do Norte). Esses dados foram registrados a cada vinte segundos. A frequência cardíaca foi monitorada ao longo do exame por meio de um cardiotacômetro (Polar® Vantage NV, Finlândia).

Previamente a cada exame, realizaram-se os procedimentos de calibragem dos equipamentos. Calibrou-se o ergoespirômetro em circuito fechado, fornecendo uma mistura de gases (AGA®, Brasil) contendo 17,01% de oxigênio, 5,00% de dióxido de carbono e balanceada com nitrogênio. O fluxo de gases foi calibrado através de uma seringa de três litros (Hans Rudolph®, Estados Unidos da América do Norte) e o cicloergômetro por meio de um lastro de 3 kg.

Os testes foram considerados máximos quando observado pelo menos três dos seguintes critérios⁷: platô no VO₂ (aumento ≤ 150 mL · min⁻¹ ou 2 mL · kg⁻¹ · min⁻¹), FC_{máx} ≥ 90% da prevista pela idade (220 - idade), conceito de esforço percebido ≥ 18, RER (*respiratory exchange ratio*) ≥ 1,15 e fadiga voluntária máxima com incapacidade de manutenção do ritmo preestabelecido. O VO_{2máx} foi determinado como sendo o mais alto valor encontrado ao final do teste. No presente estudo, a carga máxima foi definida como sendo aquela observada no VO_{2máx}.

Análise estatística - O tratamento estatístico foi realizado por meio dos aplicativos *Statistical Package for the Social Sciences*® (SPSS, Estados Unidos da América do Norte) versão 13.0 e *Microsoft Excel*® para *Windows XP*® (Estados Unidos da América do Norte). Empregouse a estatística descritiva com a média ± desvio padrão (DP). Deduziu-se para o grupo VI, mediana análise de regressão múltipla passo a passo, modelos matemáticos para predição da carga máxima expressa em Watts (W). Oito equações⁸⁻¹² (Quadros 1 e 2) para o mesmo fim (gêneros masculino e feminino) foram analisadas em validação cruzada¹⁸ com os sujeitos do grupo VI. Os valores previstos para o grupo VI, por meio das equações estrangeiras e os valores medidos foram confrontados por meio de análise de variância com um fator e teste *post-hoc* de *Tukey-HSD*. A validade externa das equações derivadas na presente investigação foi testada

empregando-as no grupo VE. Os limites de concordância de *Bland-Altman*¹⁹ e *Bland-Altman* modificado²⁰ foram empregados entre os resultados medidos e calculados pelas fórmulas de predição. O grau de associação entre os valores medidos e preditos foi determinado pelo coeficiente de correlação intraclassa (CCI)²¹. O erro da predição também foi observado por meio do erro técnico da medida ($s = D \cdot P_{dif} \div \sqrt{2}$) e do coeficiente de variação (CV %). Todos os testes estatísticos foram realizados no nível de significância ≤ 0,05.

RESULTADOS

As características de VO_{2máx} e W_{máx} dos voluntários encontram-se na tabela 1. A equação de predição da carga máxima derivada para o grupo masculino foi:

Equação 1

$$W \cdot \text{kg}^{-1} = 6,413 - (0,0531 \cdot \text{idade}) - (0,0242 \cdot \text{peso})$$

$$R^2 = 0,54 \text{ e } EPE = 0,66 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Para o grupo feminino foi:

Equação 2

$$W_{\text{máx}} = -115,756 + (2,271 \cdot \text{idade}) + (4,043 \cdot \text{peso})$$

$$R^2 = 0,76 \text{ e } EPE = 25,03 \text{ W}$$

Sendo: R² = coeficiente de determinação e EPE = Erro Padrão da Estimativa.

Os resultados das predições por meio das equações 1 e 2 derivadas nesse estudo não diferiram significativamente dos valores medidos para o grupo VE (fig. 1). Detectou-se para as equações estrangeiras diferença significativa entre valores medidos e preditos, tanto para o grupo masculino quanto para o feminino (fig. 1 e quadro 2).

A tabela 2 apresenta os resultados da análise realizada com as equações estrangeiras. O grupo VI apresentou limites de concordância de 0,93 ± 95,0 W para o grupo masculino e -20,5 ± 47,6 W para o grupo feminino (fig. 2). Esses índices para o grupo VE foram de 34,2 ± 86,0

Quadro 1 – Características das equações de predição de carga máxima para teste de incremento em cicloergômetro

Equação de predição	Participantes (n)	Idade (anos)	Características	Variáveis	
Jones e cols. ⁸	Masculinos Femininos	50 50	15-71	Estudantes universitários /População geral	Idade, estatura, peso
Hsi e cols. ⁹	Masculinos Femininos	55 50	20-75	População geral	Idade, estatura, peso
Neder e cols. ¹⁰	Masculinos Femininos	60 60	20-80	População universitária	Idade, estatura, peso
Ong e cols. ¹¹	Masculinos Femininos	48 47	20-70	População geral	Idade, estatura, peso
Wasserman e cols. ¹²	Masculinos Femininos	NR NR	NR	NR	Idade, estatura, peso
NR, não-relatado.					

Quadro 2 – Equações de predição de carga máxima para teste de incremento em cicloergômetro				
Eq.	Referência	Equações	R ²	EPE
1	Jones e cols. (a) ⁸ 1M masculino 1F feminino	$kp \cdot m \cdot \text{min}^{-1} = -1909 - 288(G) + 20,4(H) - 8,7(I)$	0,74	216
2	Jones e cols. (b) ⁸ 2M masculino 2F feminino	$kp \cdot m \cdot \text{min}^{-1} = -1569 - 249(G) + 16,2(H) - 9,5(I) + 5,6(P)$	0,74	213
3	Hsi e cols. ⁹ 3M masculino 3F feminino	$W_{\text{máx}} = -161 + 1,7(H) - 1,1(I) + 1,1(P)$ $W_{\text{máx}} = -5 + 1,1(H) - 1,2(I)$	0,67 0,79	20 12
4	Neder e cols. ¹⁰ 4M masculino 4F feminino	$W_{\text{máx}} = -45,4 + 1,36(H) - 1,78(I) + 0,65(P)$ $W_{\text{máx}} = 28,1 + 0,96(H) - 1,19(I)$	0,67 0,72	25 14
5	Ong e cols. ¹¹ 5M masculino 5F feminino	$W_{\text{máx}} = 4,1394 - 0,3131(G) + 0,0076(H) - 0,0103(I) + 0,0058(P)$	0,74	NR
6	Wasserman e cols. ¹² 6M masculino 6F feminino	$W_{\text{máx}} = (VO_{2\text{máx}} - VO_{2(\text{OW})}) \cdot 10^{-1}$	NR	NR

As equações 1 e 2 usaram gênero como preditores (0 para masculino e 1 para feminino); a equação 5 usou gênero como preditor (1 para masculino e 2 para feminino) e utiliza-se de transformação logarítmica; para a equação 6, o $VO_{2\text{máx}}$ é predito em $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} = (H - I) \cdot 20$ para homem sedentário e 14 para mulher sedentária e $VO_{2\text{máx(ow)}}$ em $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} = 150 + 6(P)$; G, gênero; H, estatura (cm); I, idade (anos); P, peso (kg); NR, não-relatado.

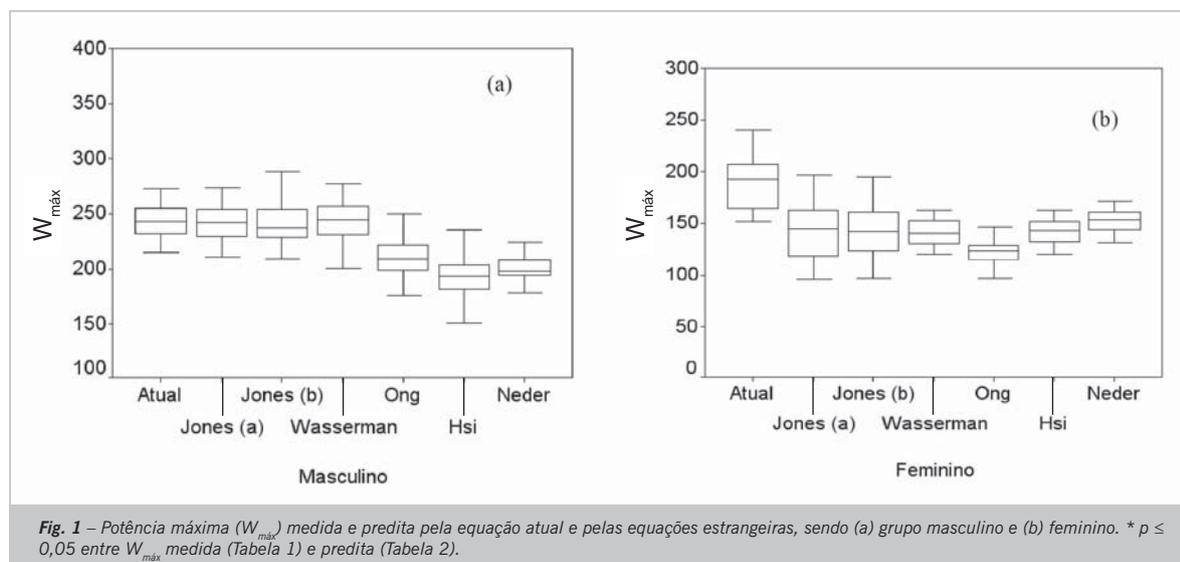


Fig. 1 – Potência máxima ($W_{\text{máx}}$) medida e predita pela equação atual e pelas equações estrangeiras, sendo (a) grupo masculino e (b) feminino. * $p < 0,05$ entre $W_{\text{máx}}$ medida (Tabela 1) e predita (Tabela 2).

W para o grupo masculino e $-4,14 \pm 47,87$ W para o grupo feminino (fig. 3). Houve moderada associação entre valores medidos e preditos ($CCI = 0,70$ e $0,69$), respectivamente para homens e mulheres. O *EPE* para o grupo masculino foi de $28,42$ W ($CV = 10,45\%$) e para o grupo feminino de $15,78$ W ($CV = 9,55\%$).

DISCUSSÃO

Recomenda-se a progressão de 10% da carga máxima por minuto no protocolo escalonado, contínuo e máximo em cicloergômetro para detecção do limiar anaeróbico e $VO_{2\text{máx}}$. O teste deve ser finalizado por meio de critérios de esforço máximo⁶ entre 8 e 12 minutos⁶. Baseando-se

nessas exigências, diversas equações foram apresentadas para determinação da $W_{\text{máx}}$, geralmente utilizando-se de variáveis antropométricas obtidas em repouso, tais como: gênero, idade, peso e estatura. Apesar do grande número de equações de predição encontradas na literatura, nenhuma se apresentou suficientemente adequada para a população brasileira. Parece possível esperar um razoável poder de predição quando a equação é aplicada na população para qual foi derivada. Os resultados do atual estudo sugerem uma boa validade externa para as equações aqui propostas quando comparadas com as equações oriundas de populações estrangeiras.

Buchfuhrer e cols.⁶ observaram em testes curtos (< 8 minutos) uma baixa medida do $VO_{2\text{máx}}$. Possivelmente,

Tabela 2 – Validação cruzada para a $W_{máx}$ no cicloergômetro

Eq.	Referência	$W_{máx}$ predita (Média ± DP)	Limites de Concordância	CCI	s	CV %
1	Jones e cols.(a) ⁸ 1M masculino 1F feminino	242 ± 24 143 ± 29	1,0 ± 104,0 29,2 ± 72,4	0,13 0,37	37,69 26,14	15,52 16,56
2	Jones e cols.(b) ⁸ 2M masculino 2F feminino	242 ± 25 143 ± 27	1,0 ± 102,0 29,6 ± 70,6	0,18 0,38	36,81 25,46	15,18 16,16
3	Hsi e cols. ⁹ 3M masculino 3F feminino	195 ± 20 142 ± 11	48,4 ± 99,5 30,6 ± 71,6	0,17 0,10	35,91 25,82	16,40 16,43
4	Neder e cols. ¹⁰ 4M masculino 4F feminino	200 ± 16 153 ± 10	43,6 ± 97,2 19,8 ± 72,1	0,17 0,07	35,07 26,01	15,84 16,01
5	Ong e cols. ¹¹ 5M masculino 5F feminino	212 ± 22 123 ± 13	31,6 ± 98,0 49,6 ± 68,5	0,23 0,19	35,29 24,73	15,52 16,75
6	Wasserman e cols. ¹² 6M masculino 6F feminino	244 ± 16 141 ± 12	-0,8 ± 101,1 31,4 ± 61,5	0,09 0,01	36,79 27,27	15,10 17,40

$W_{máx}$ predita- carga máxima predita; CCI- coeficiente de correlação intraclassa, s- erro técnico da medida e CV- coeficiente de variação.

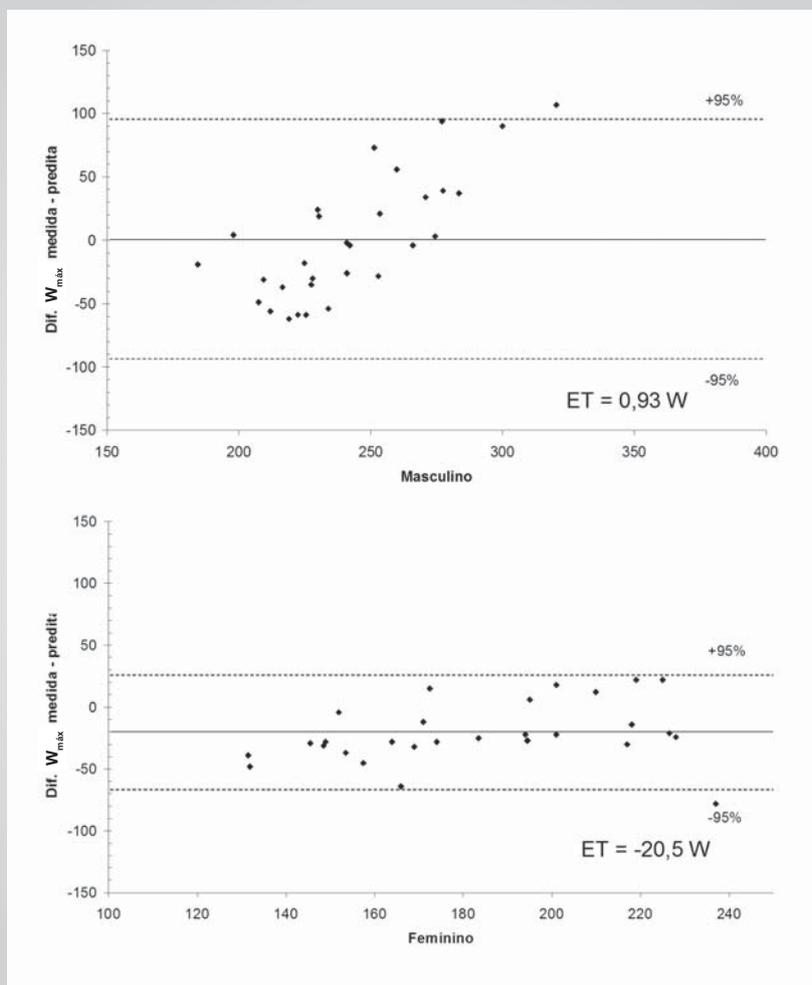


Fig. 2 – Limites de concordância entre valores medidos e preditos para estimativa da carga máxima no grupo VI. A linha sólida é o erro total (ET) a partir de zero, com ± 95% (linhas intermitentes). A figura 3 segue o mesmo formato.

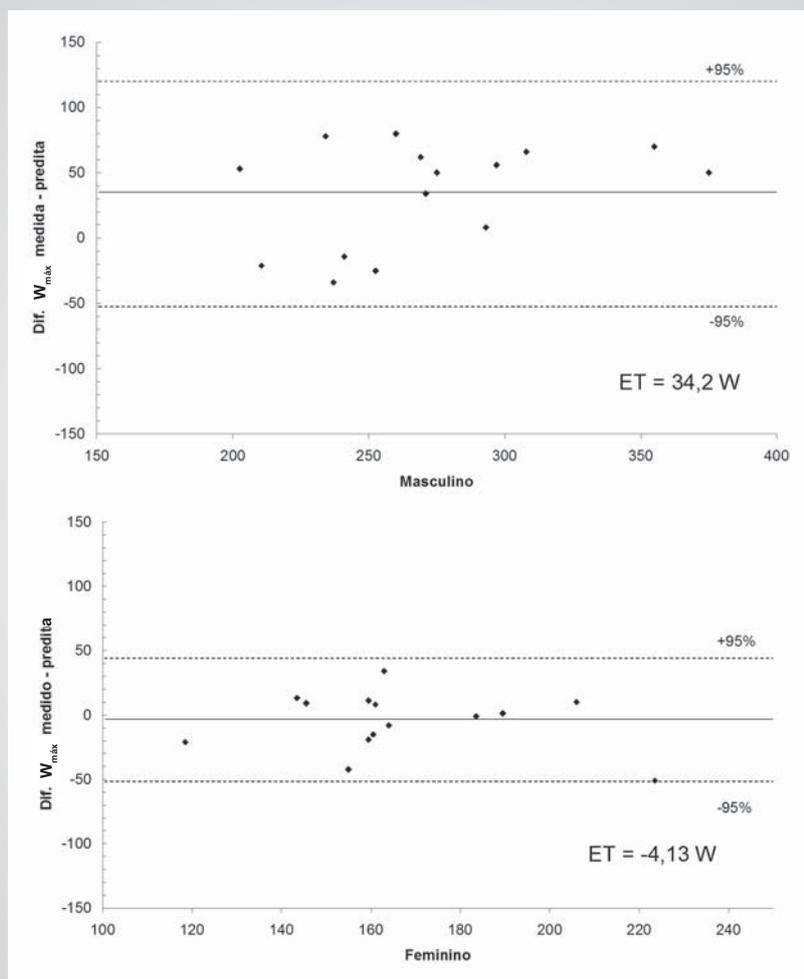


Fig. 3 – Limites de concordância entre valores medidos e preditos para estimativa da carga máxima no grupo VE.

isso se deve as limitações de força muscular. Entretanto, também se espera uma redução no $VO_{2m\acute{a}x}$ em testes longos (> 17 minutos), provavelmente por causa do aumento da temperatura central, desidratação, desconforto ou fadiga dos músculos ventilatórios⁶. Pelo fato de os testes longos despenderem mais tempo, não apresentarem informações adicionais e não produzirem valores máximos, recomendaram-se protocolos com duração de 10 ± 2 minutos.

A precisão das medidas das trocas gasosas e ventilatórias é essencial para que os dados sejam reproduzidos, sendo necessário o controle da qualidade das medidas por meio dos procedimentos de calibragem, de operação e de análise por técnicos experientes¹⁵. Testes em que esses cuidados são tomados apresentam baixa variação nas medidas repetidas em momentos próximos^{15,22-25}. A variação diária intra-indivíduo, em razão do erro e das flutuações fisiológicas do consumo de oxigênio, ventilação-minuto e frequência cardíaca são²⁵, respectivamente, de 3,8%, 8,0% e 3,0%. Granja Filho e cols.²² observaram um índice de variação intra-indivíduo de 5,5% para o $VO_{2m\acute{a}x}$ em trabalho

recentemente realizado. Concluímos que esse resultado deveu-se aos nossos equipamentos, que se destinam a aplicação clínica. Mesmo com a maior imprecisão, o ergoespirômetro aqui adotado foi validado por outro grupo²³ e é amplamente empregado em laboratórios brasileiros por causa do menor custo. Essa diferença na precisão da medida obtida por meio dos equipamentos mais sofisticados e o nosso (3,8% versus 5,5%) pode levar a um pequeno erro na aplicação das nossas fórmulas que não pôde aqui ser determinado.

Os coeficientes de determinação das equações de predição do atual estudo foram moderado para o grupo masculino ($R^2 = 0,54$) e alto para o grupo feminino ($R^2 = 0,76$). Optou-se por enunciar a carga máxima em $W_{m\acute{a}x}$ e em $W \cdot kg^{-1}$, respectivamente para as mulheres e os homens. Esse ajuste na variável dependente foi necessário para se obter maior poder preditivo no segundo caso. Isso provavelmente se deve a menor adiposidade corporal do grupo masculino^{26,27}; portanto, a maior variação do peso implicaria a maior heterogeneidade da massa corporal magra e, conseqüentemente, da força muscular. Esses



índices encontram-se próximos aos de outros estudos⁹⁻¹¹. Ong e cols.¹¹ buscaram aprimorar o modelo preditivo da $W_{máx}$ mediante transformação logarítmica. A utilização de um modelo não-linear foi proposta para corrigir a influência da idade no declínio do condicionamento. O trabalho de Ong e cols.¹¹, no entanto, não obteve resultados mais precisos do que os outros estudos⁸⁻¹⁰.

Os índices de *EPE* para as equações do presente estudo foram similares aos de outras equações⁸⁻¹⁰. Para comparação, em razão da diferença nas unidades adotadas ($W \cdot kg^{-1}$, $W, kp \cdot m \cdot min^{-1}$), dividiu-se o *EPE* pela média do grupo estudado a fim de enunciar o *EPE* em porcentagem da média (*EPE%*). Jones e cols.⁸ encontraram índices de 15% para o grupo masculino e 26% para o grupo feminino. Já Hsi e cols.⁹ e Neder e cols.¹⁰ encontraram valores de 14% e 17% para o grupo masculino, e 12% e 13% para o grupo feminino, respectivamente. No atual estudo, esses índices foram de 20% para o grupo masculino, e de 14% para o feminino. Os índices de *EPE%* para estimativa indireta do $VO_{2máx}$ em vários métodos de campo tais como: teste de banco, teste submáximo no cicloergômetro ou teste de caminhada/corrida em pista representam 10%-20% do $VO_{2máx}$ medido²⁸.

Nenhum outro autor, dentre os aqui levantados, realizou um estudo em validação cruzada das suas equações de predição da $W_{máx}$. Observa-se na tabela 2 que os coeficientes de correlação intraclasse para a validade externa das principais equações levantadas na literatura variaram de $CCI = 0,01$ (6F) até $CCI = 0,38$ (2F). Esses índices, como esperado, foram menores do que aqueles encontrados nos ensaios originais e no estudo atual. Analisando-se a proporção de testes possivelmente invalidados, quando empregadas as equações aqui estudadas⁸⁻¹², nota-se que há perda de 40% a 64% dos testes (tab. 3). As equações aqui propostas apresentaram

índices de 27% e 20% para o grupo masculino e feminino, respectivamente (tab. 3). As figuras 4 e 5 apresentam diagramas de dispersão entre os valores preditos e medidos para as equações com os menores índices de testes invalidados (1M e 1F). Observa-se que a inclinação da linha de tendência é próxima de zero, o que sugere ausência de covariância. Distorções como essas são comuns quando considerada a validade populacional de modelos preditivos^{9,11}.

A análise dos limites de concordância revela que há grande variação entre as equações. O erro total (medido *menos* predito) variou consideravelmente entre os modelos preditivos. Observou-se uma tendência em subestimar a $W_{máx}$ empregando-se os modelos estrangeiros. O atual estudo, no entanto, apresentou limites de concordância aceitáveis (fig. 2). Alguns pontos apresentaram um considerável afastamento referente ao erro no grupo masculino. Porém, para essa análise, deve-se considerar a faixa de ± 2 min recomendada previamente⁶ e o índice de testes invalidados apresentados na tabela 3. Para o grupo feminino, observou-se uma pequena supra-estimativa do valor medido.

O erro da técnica preditiva aqui sugerida encontra-se próximo à faixa de variação recomendada por Buchfuhrer e cols.⁶. Conclui-se, assim, que as equações de inferência da $W_{máx}$ derivadas nesse estudo para o protocolo escalonado e contínuo em cicloergômetro, com duração de 8 a 12 minutos, podem ser utilizadas com satisfatória validade externa. Conclui-se também que as equações derivadas para populações estrangeiras aqui estudadas não apresentaram resultados plenamente satisfatórios para a população local. Recomenda-se, no futuro, repetir esse ensaio para outras faixas etárias e para os diversos grupos de pacientes que não puderam ser aqui incluídos.

Tabela 3 – Testes de esforço invalidados* quando aplicadas às equações preditivas

Equação de predição	participantes	Testes invalidados	
		total	(%)
Jones e cols. (a) ⁸	Masculinos	18	40
	Femininos	18	40
Jones e cols. (b) ⁸	Masculinos	19	42
	Femininos	18	40
Hsi e cols. ⁹	Masculinos	20	44
	Femininos	21	47
Neder e cols. ¹⁰	Masculinos	25	56
	Femininos	19	42
Ong e cols. ¹¹	Masculinos	21	47
	Femininos	29	64
Wasserman e cols. ¹²	Masculinos	18	40
	Femininos	21	47
Equação atual	Masculinos	04	27
	Femininos	03	20

*Testes invalidados quando a interrupção ocorria fora da faixa de 10 ± 2 minutos, para $n = 45$ homens e 45 mulheres. Para a equação atual utilizou-se o grupo VE ($n = 15$ homens e $n = 15$ mulheres).

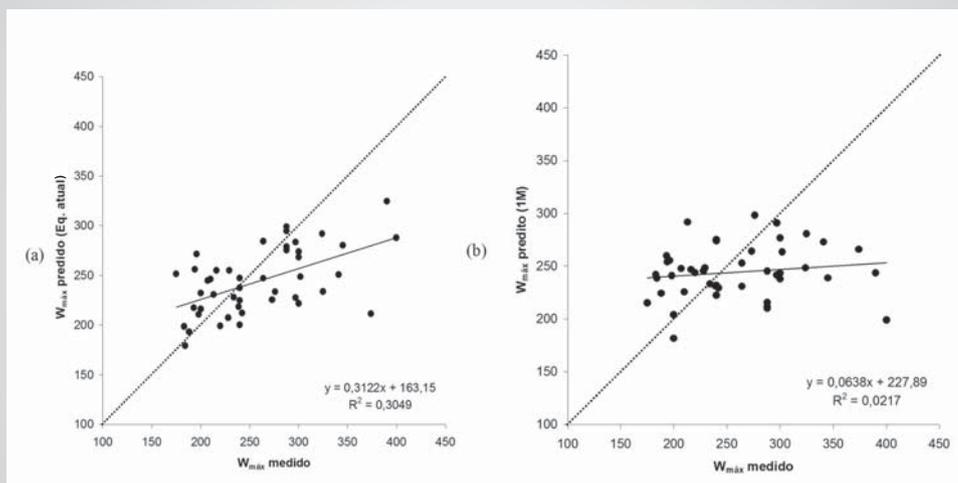


Fig. 4 – Diagrama de dispersão entre valores medidos e preditos pela equação proposta (a) e preditos pela equação 1M (b) para o grupo masculino (n = 45, regressão [—], linha de identidade [·····]).

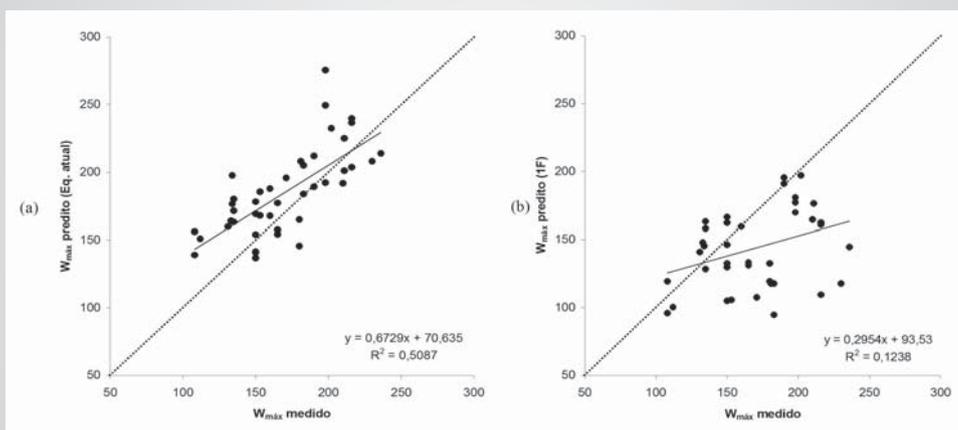


Fig. 5 – Diagrama de dispersão entre valores medidos e preditos pela equação proposta (a) e preditos pela equação 1F (b) para o grupo feminino (n = 45, regressão [—], linha de identidade [·····]).

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 à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do

Rio de Janeiro - FAPERJ. Agradecemos a valiosa revisão dos colegas Verônica Salerno, Martha M. Sorenson, Ricardo Gancz e Michelle Porto.

Potencial Conflito de Interesses

Declaro não haver conflitos de interesses pertinentes.

REFERÊNCIAS

- Hollmann W, Prinz JP. Ergospirometry and its history. *Sports Méd.* 1997; 23: 93-105.
- Åstrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Strømme SB. Evaluation of physical performance on the basis of tests. In: *Textbook of Work Physiology*. 4th ed. Champaign: Human Kinetics; 2003: 273-97.
- Jones NL. *Clinical exercise testing*. 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders; 1997.
- Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ, Casauri R. *Principles of exercise testing and interpretation*. 2th ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1994: 2-8.
- Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol.* 1973; 35: 236-43.
- Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson DY, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol.* 1983; 55: 1558-64.
- Howley ET, Basset Jr. DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc.* 1995; 27: 1292-301.
- Jones NL, Makrides L, Hitchcock C, Chyphcar T, McCartney N. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis.* 1985; 131: 700-8.
- Hsi WL, Lan C, Lai JS. Normal standards for cardiopulmonary responses to exercise using a cycle ergometer test. *J Formos Med*

- Assoc. 1998; 97: 315-22.
10. Neder JA, Nery LE, Castelo A, Andreoni S, Lerario MC, Sachs A, et al. Prediction of metabolic and cardiopulmonary responses to maximum cycle ergometry: a randomized study. *Eur Respir J*. 1999; 14: 1304-13.
 11. Ong KC, Loo CM, Ong YY, Chan SP, Earnest A, Saw SM. Predictive values for cardiopulmonary exercise testing in sedentary chinese adults. *Respirology*. 2002; 7: 225-31.
 12. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ. Protocols for exercise testing. In: *Principles of exercise testing and interpretation*. Philadelphia: Lea & Febiger; 1987: 58-71.
 13. Guimarães GV, Bellotti G, Wajngarten M, et al. Exercício e insuficiência cardíaca. Estudo da relação da gravidade da doença com o limiar anaeróbio e o ponto de compensação respiratório. *Arq Bras Cardiol*. 1999; 73: 339-43.
 14. Ribeiro JP. Limites metabólicos e ventilatórios durante o exercício. Aspectos fisiológicos e metodológicos. *Arq Bras Cardiol*. 1995; 64: 171-81.
 15. Guimarães JI, Stein R, Vilas-Boas F, et al. Normalização de técnicas e equipamentos para realização de exames em ergometria e ergoespirometria. *Arq Bras Cardiol*. 2003; 80: 458-64.
 16. Yazbek Jr P, Carvalho RT, Sabag LMS, Batistella LR. Ergoespirometria: Teste de esforço cardiopulmonar, metodologia e interpretação. *Arq Bras Cardiol*. 1998; 71: 719-24.
 17. Hopkins WG. A new view of statistics. *Sportscience* [online]. Available from: URL: <http://sportsci.org/resourse/stats> [Accessed 2005 Jan 5].
 18. Malek MH, Berger DE, Housh TJ, Coburn JW, Beck TW. Validity of VO_{2max} equations for aerobically trained males and females. *Med Sci Sports Exerc*. 2004; 36: 1427-32.
 19. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986; 2: 307-10.
 20. Hall C, Figueroa A, Fernhall B, Kanaley JA. Energy expenditure of walking and running: comparison with prediction equations. *Med Sci Sports Exerc*. 2004; 36: 2128-34.
 21. Bartko JJ. The intraclass correlation coefficient as a measure of reliability. *Psych Reports*. 1966; 19: 3-11.
 22. Granja Filho PCN, Pompeu FAMS, Ribeiro AP. A acurácia da determinação do VO_{2max} e do limiar anaeróbio. *Rev Bras Med Esporte*. 2005; 11: 167-71.
 23. Novitsky S, Degal KR, Chatr-Aryamontri B, Gubakov D, Katch VL. Validity of a new portable indirect calorimeter: the Aerosport TEEM 100. *Eur J Appl Physiol*. 1995; 70: 104/1-104/6.
 24. Davies CTM, Tuxworth W, Young IM. Physiological effects of repeated exercise. *Clin Sci*. 1970; 39: 247-58.
 25. Jones NL, Kane JW. Quality control of exercise test measurements. *Med Sci Sports*. 1979; 11: 368-72.
 26. Pollock ML, Laughridge E, Coleman B, Linnerud AC, Jackson A. Prediction of body density in young and middle-aged women. *J Appl Physiol*. 1975; 38: 745-9.
 27. Pollock ML, Hickman T, Kendrick Z, Jackson A, Linnerud AC, Dawson G. Prediction of body density in young and middle-aged men. *J Appl Physiol*. 1976; 40: 300-4.
 28. Zwiren LD, Freedson PS, Ward A, Wilke S, Rippe JM. Estimation of VO_{2max} : a comparative analysis of five exercise tests. *Res Q Exerc Sports*. 1991; 62: 73-8.