

## Ponto Ótimo Cardiorrespiratório: Uma Variável Submáxima do Teste Cardiopulmonar de Exercício

*Cardiorespiratory Optimal Point: a Submaximal Variable of the Cardiopulmonary Exercise Testing*

Plínio Santos Ramos<sup>1,2,3</sup>, Djalma Rabelo Ricardo<sup>1,2,3</sup>, Claudio Gil Soares de Araújo<sup>3,4</sup>

Faculdade de Ciências Médicas e da Saúde de Juiz de Fora – SUPREMA<sup>1</sup> – Juiz de Fora, MG; Hospital e Maternidade Therezinha de Jesus<sup>2</sup> – Juiz de Fora, MG; Programa de pós-graduação em Ciências do Exercício e do Esporte – PPGCEE – Universidade Gama Filho<sup>3</sup> - Rio de Janeiro, RJ; Clínica de Medicina do Exercício (CLINIMEX)<sup>4</sup> - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

### Resumo

**Fundamento:** No Teste Cardiopulmonar de Exercício (TCPE) máximo são analisadas diversas variáveis ventilatórias, incluindo o equivalente ventilatório de oxigênio (VE/VO<sub>2</sub>). O valor mínimo do VE/VO<sub>2</sub> reflete a melhor integração entre os sistemas respiratório e cardiovascular, podendo ser denominado Ponto Ótimo Cardiorrespiratório (POC).

**Objetivo:** Determinar o comportamento do POC em função do gênero e da idade em adultos saudáveis e verificar a associação com outras variáveis do TCPE.

**Métodos:** De 2.237 indivíduos, foram selecionados 624 (62% homens e 48 ± 12 anos de idade), não atletas, saudáveis, submetidos ao TCPE máximo. O POC ou VE/VO<sub>2</sub> mínimo foi obtido a partir da análise da ventilação e do consumo de oxigênio em cada minuto do TCPE. Foi verificada a relação entre idade e POC para os dois gêneros, assim como as associações com: VO<sub>2</sub>máx, VO<sub>2</sub> no limiar anaeróbico (VO<sub>2</sub>LA), eficiência da inclinação de consumo de oxigênio (OUES) e com VE máxima. Comparou-se ainda a intensidade do esforço (MET) no POC, LA e VO<sub>2</sub>máx.

**Resultados:** O POC aumenta com a idade, sendo 23,2 ± 4,48 e 25,0 ± 5,14, respectivamente, em homens e mulheres (p < 0,001). Há associações moderadas e inversas com VO<sub>2</sub>máx (r = -0,47; p < 0,001), com VO<sub>2</sub>LA (r = -0,42; p < 0,001) e com o OUES (r = -0,34; p < 0,001). O POC ocorreu, em média, a (44% do VO<sub>2</sub>máx) e antes do LA (67% do VO<sub>2</sub>máx) (p < 0,001).

**Conclusão:** POC, uma variável submáxima, aumenta com a idade e é discretamente mais alto em mulheres. Sendo modestamente associado a outras medidas ventilatórias, parece haver uma contribuição independente na interpretação da resposta cardiorrespiratória ao TCPE. (Arq Bras Cardiol 2012;99(5):988-996)

**Palavras-chave:** Exercício; teste cardiopulmonar de exercício; espirometria; consumo de oxigênio; relação ventilação-perfusão.

### Abstract

**Background:** At the maximal Cardiopulmonary Exercise Testing (CPET), several ventilatory variables are analyzed, including the ventilatory equivalent for oxygen (VE/VO<sub>2</sub>). The minimum VE/VO<sub>2</sub> value reflects the best integration between the respiratory and cardiovascular systems and may be called "Cardiorespiratory Optimal Point (COP)".

**Objective:** To determine the behavior of the COP according to gender and age in healthy adults and verify its association with other CPET variables.

**Methods:** Of 2,237 individuals, 624 were selected (62% men and 48 ± 12 years), non-athletes, healthy, who were submitted to maximal CPET. COP or minimum VE/VO<sub>2</sub> was obtained from the analysis of ventilation and oxygen consumption in every minute of CPET. We investigated the association between age and COP for both genders, as well as associations with: VO<sub>2</sub>max, VO<sub>2</sub> at anaerobic threshold (VO<sub>2</sub>AT), oxygen uptake efficiency slope (OUES) and with maximum VE. We also compared the intensity of exertion (MET) at the COP, AT and VO<sub>2</sub>max.

**Results:** COP increases with age, being 23.2 ± 4.48 and 25.0 ± 5.14, respectively, in men and women (p < 0.001). There are moderate and inverse associations with VO<sub>2</sub>max (r = -0.47; p < 0.001), with VO<sub>2</sub>AT (r = -0.42; p < 0.001) and with OUES (r = -0.34; p < 0.001). COP occurred, on average, at 44% do VO<sub>2</sub>max and before AT (67% of VO<sub>2</sub>max) (p < 0.001).

**Conclusion:** COP, a submaximal variable, increases with age and is slightly higher in women. Being modestly associated with other ventilation measures, there seems to be an independent contribution to the interpretation of the cardiorespiratory response to CPET. (Arq Bras Cardiol 2012;99(5):988-996)

**Keywords:** Respiratory function tests; exercise; oxygen consumption; spirometry; ventilation-perfusion ratio.

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

Correspondência: Claudio Gil Soares de Araújo •

Rua Siqueira Campos, 93/101. CEP 22031-070, Rio de Janeiro, RJ - Brasil  
E-mail: cgaraujo@iis.com.br

Artigo recebido em 08/05/12; revisado em 19/06/12; aceito em 21/06/12.

## Introdução

Durante um Teste Cardiopulmonar de Exercício (TCPE) máximo são obtidos diferentes dados ventilatórios com implicações clínicas, diagnósticas e/ou prognósticas<sup>1</sup>, como o consumo máximo de oxigênio (VO<sub>2</sub>máx) – uma medida objetiva da função cardiopulmonar<sup>2,3</sup> –, o pulso máximo de oxigênio absoluto e relativo ao peso corporal<sup>4,5</sup>, o limiar anaeróbico (LA)<sup>6</sup>, o equivalente ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO<sub>2</sub>)<sup>7</sup> e a curva gerada pelo equivalente ventilatório de oxigênio (OUES)<sup>8</sup>. Entretanto, há diversas limitações com as medidas dessas variáveis, tais como baixa reprodutibilidade<sup>9</sup>, formas distintas de cálculo ou identificação<sup>10</sup>, e para a obtenção da maioria dessas, a necessidade da realização de um teste verdadeiramente máximo<sup>11,12</sup> que, *a priori*, depende das motivações do avaliador e do avaliado.

O comportamento típico dos equivalentes ventilatórios em um exercício incremental possui um formato em U, caracterizado por níveis subótimos de eficiência no repouso e em esforços muito intensos e uma maior eficiência em níveis submáximos de exercício. Dentre as medidas ventilatórias obtidas durante um exercício incremental, permanece por ser mais bem explorado o valor mínimo do equivalente ventilatório de oxigênio (VE/VO<sub>2</sub> mínimo), ou seja, o valor mais baixo dessa variável em um dado minuto de um TCPE realizado em protocolo de rampa. Em teoria, o momento em que ocorre o VE/VO<sub>2</sub> mínimo representa a melhor relação ou integração entre os sistemas respiratório e cardiovascular ou ventilação-perfusão, podendo ser denominado Ponto Ótimo Cardiopulmonar (POC). Na prática, o POC corresponde ao momento durante o exercício incremental em que há a menor ventilação (VE) para que seja consumido um litro de oxigênio (VO<sub>2</sub>).

Uma característica importante do POC é que – ao contrário da grande maioria de outros índices ou variáveis ventilatórias obtidas ou calculadas no TCPE –, para a sua obtenção, não é necessária a realização de um esforço máximo. Hipoteticamente, o POC é muito menos dependente do avaliador e, muito provavelmente, da escolha do protocolo ou da razão incremental do esforço, proporcionando, assim, maior facilidade e precisão para a sua determinação. Sendo assim, parece oportuno investigar o comportamento do POC em um espectro amostral amplo de indivíduos saudáveis, proporcionando condições objetivas para as interpretações clínicas e fisiológicas dessa variável. Portanto, o objetivo do estudo foi determinar o comportamento do POC em razão do gênero e da idade para indivíduos adultos sem doenças cardiopulmonares. Em adendo, foram determinadas as associações entre o POC e outras variáveis ventilatórias comumente obtidas em um TCPE máximo.

## Métodos

### Amostra

Foram analisados retrospectivamente os dados de 2.237 avaliações médico-funcionais realizadas em uma clínica privada e especializada em Medicina do Exercício entre 2006 e março de 2012, tendo sido identificados 624 adultos (62% homens) não atletas, com a idade de  $48 \pm 12$  anos (média

$\pm$  desvio padrão), que preenchiam concomitantemente os seguintes critérios de inclusão: 1) não apresentarem histórico de doenças cardiopulmonares ou prolapso da valva mitral; 2) não usar regularmente medicação de ação cardiopulmonar; 3) ausência de obesidade (índice de massa corporal  $< 30$  kg/m<sup>2</sup>); 4) apresentar um resultado de VEF1/CVF  $> 70\%$  do valor medido<sup>13</sup> na espirometria de repouso; 5) ausência de alterações eletrocardiográficas sugestivas de presença de isquemia miocárdica significativa ao TCPE; 6) não apresentar limitação locomotora capaz de afetar o desempenho no TCPE; 7) ter realizado o TCPE em cicloergômetro de membros inferiores; e 8) ter completado um TCPE verdadeiramente máximo, ou seja, que não tenha sido interrompido precocemente por critério clínico ou baseado em limites de frequência cardíaca e/ou de pressão arterial.

### Protocolo

A avaliação consistiu em um exame clínico, composto de anamnese detalhada e exame físico. Foram obtidos dados antropométricos, da espirometria e do eletrocardiograma de repouso antes da realização do TCPE máximo. Os indivíduos submetem-se voluntariamente a avaliação, tipicamente feita a pedido dos próprios e por indicação dos seus respectivos médicos assistentes. Todos os indivíduos leram e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido específico, antes da realização dos procedimentos, formalmente autorizando o uso dos dados em pesquisas científicas, preservado o anonimato individual. O termo de consentimento e a análise retrospectiva dos dados foram previamente aprovados pelo comitê de ética em pesquisa institucional, de acordo com a resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde e com a declaração de Helsinque.

### Espirometria de Repouso

Foi realizado um mínimo de três manobras para a determinação da curva de fluxo-volume utilizando um pneumotacógrafo periodicamente calibrado (Cardiovit AT-10, Schiller, Suíça), utilizando o protocolo determinado nas recomendações das American Thoracic Society e European Respiratory Society<sup>14</sup>.

### Teste Cardiopulmonar de Exercício Máximo (TCPE)

Todos os indivíduos foram submetidos a um TCPE máximo em cicloergômetro de membros inferiores (Cateye EC-1600, Cateye, Japão ou Inbrasport CG-04, Inbrasport, Brasil), seguindo um protocolo de rampa individualizado objetivando uma duração entre 8 e 12 minutos. A carga em watts era incrementada gradativamente até que o indivíduo atingisse a exaustão, representada pela incapacidade de continuar a pedalar na frequência de pedaladas previamente estabelecida. Os indivíduos eram fortemente encorajados por meio de estímulos verbais a atingir o máximo durante o TCPE, sendo esse somente interrompido quando os indivíduos atingiam a exaustão voluntária máxima. Conforme mencionado nos critérios de inclusão, somente foram considerados os TCPE que não foram interrompidos por razões clínicas, tais como resposta tensional exagerada e/ou pela ocorrência de resposta cronotrópica incompetente, ou ainda por alterações eletrocardiográficas, hemodinâmicas ou ventilatórias<sup>15</sup>.

### Análise dos Gases Expirados

Durante o TCPE, os gases expirados foram coletados por um pneumotacógrafo Prevent (MedGraphics, Estados Unidos) acoplado a uma peça bucal, com concomitante oclusão nasal, e quantificados por um analisador metabólico VO2000 (MedGraphics, Estados Unidos), periodicamente calibrados por uma seringa de 2-L e por gases de concentração conhecida. O analisador metabólico possibilitou a quantificação da ventilação pulmonar e das frações parciais de oxigênio e de gás carbônico, analisadas e expressas a cada 10 s. Seguindo uma orientação de padronização<sup>16</sup>, os valores de VO<sub>2</sub> foram reportados a cada minuto durante o TCPE, pela média das seis leituras obtidas nesse período. Assim, o valor da maior média encontrada referente a um dado minuto foi considerado o VO<sub>2</sub>máx.

### Determinação do Limiar Anaeróbico (LA)

O LA foi determinado a partir da inspeção gráfica dos dados de VE e VO<sub>2</sub>, pelo ponto em que houve uma quebra na linearidade da VE, enquanto o VO<sub>2</sub> continuava a aumentar linearmente com a carga de trabalho<sup>17</sup>.

### Determinação Eficiência da Inclinação de Consumo de Oxigênio (OUES)

O OUES foi determinado por uma regressão linear em razão da transformação logarítmica da VE e do VO<sub>2</sub> obtidos a cada minuto do TCPE utilizando a seguinte equação ( $VO_2 = a \log VE + b$ ). Nessa equação, a constante 'a' representa o coeficiente de regressão (chamados de OUES), e 'b' representa a interceptação<sup>8,18</sup>.

### Determinação do POC

POC, um resultado adimensional, foi obtido a partir da identificação do menor valor da razão entre os dados de ventilação (VE) e do consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>) obtidos minuto a minuto durante o TCPE máximo, independentemente do momento em que esse ocorreu.

### Análise Estatística

Inicialmente foram testadas a normalidade (Kolmogorov-Smirnov) e a homocedasticidade da distribuição dos dados, validando a utilização da estatística paramétrica. Para a descrição da amostra, a tendência central e a variabilidade dos dados foram expressas por média  $\pm$  desvio padrão (percentis 2,5 e 97,5), enquanto para os dados utilizados na estatística inferencial, os resultados foram apresentados como média  $\pm$  erro padrão da média. Uma análise de variância de medidas repetidas foi utilizada para comparar os valores da intensidade do exercício em MET em três momentos: POC, LA e VO<sub>2</sub>máx. A correlação de Pearson foi utilizada para testar a associação entre o POC e outras variáveis ventilatórias. A influência da idade sobre o POC, separadamente por gênero, foi analisada por regressões lineares. Os cálculos estatísticos foram efetuados nos programas SPSS (IBM, Estados Unidos) versão 17 e no Prism versão 5.01 (GraphPad, Estados Unidos), considerando um nível de significância 5%.

### Resultados

As características demográficas, assim como os resultados da espirometria de repouso e do TCPE em razão do gênero são apresentados na Tabela 1.

As associações entre POC e VO<sub>2</sub>máx, assim como com o OUES e com o VO<sub>2</sub>LA foram significativas, porém apenas moderadas, enquanto o coeficiente de correlação entre o POC e a VE máxima foi fraca (Tabela 2).

Em todos os indivíduos testados, o POC ocorreu sempre antes do LA, sendo identificado em  $4,1 \pm 0,05$  equivalentes metabólicos (MET) (44% do VO<sub>2</sub>máx), bastante abaixo do valor do LA  $6,4 \pm 0,09$  MET (67% do VO<sub>2</sub>máx), e do esforço máximo  $9,7 \pm 0,12$  MET ( $p < 0,001$ ) (Figura 1).

O POC aumenta progressivamente com a idade, tanto nos homens quanto nas mulheres, não havendo diferença entre a inclinação da regressão (*slope*) ( $p = 0,76$ ); contudo, as mulheres apresentam um POC discretamente maior, dois pontos, para a mesma idade, havendo uma diferença no intercepto da regressão linear ( $p = 0,001$ ) (Figura 2). As equações de regressão linear que explicam a relação entre POC e idade para cada gênero são apresentadas na Tabela 3. Na Figura 3 é apresentado o comportamento do POC em razão da faixa etária e do gênero, e para uma utilização clínica prática, apresentamos na Tabela 4 os percentis para o POC por faixa etária e gênero.

### Discussão

Nosso estudo contribui de forma original para o corpo de conhecimento, sendo o primeiro a abordar o comportamento do POC durante o TCPE em uma coorte ampla e criteriosamente selecionada, determinando as equações de regressão dessa variável em razão da idade para adultos saudáveis dos dois gêneros. Para a seleção de nossa amostra foi feito um controle rígido para a inclusão exclusiva de indivíduos nitidamente saudáveis, onde vários critérios deveriam ser concomitantemente preenchidos incluindo, especificamente, nunca ter sido diagnosticado ou tratado para doenças cardiovasculares e/ou respiratórias e não apresentarem obesidade e até mesmo quaisquer alterações musculoesqueléticas capazes de interferir na realização do TCPE em cicloergômetro de membros inferiores.

Sugerimos também em nosso estudo que o POC possa estar diretamente relacionado com um ponto provavelmente ótimo de integração cardiorrespiratória e metabólica, refletindo uma utilização mais eficiente e menos dispendiosa da VE inspirada, o que é particularmente importante, quando se sabe que há um considerável gasto energético em manter uma ventilação pulmonar alta, podendo alcançar até 15% do VO<sub>2</sub> máximo observado<sup>19</sup>. Particularmente essa variável apresenta algumas vantagens quando comparadas a outras obtidas durante um TCPE, como é o caso do VO<sub>2</sub>máx, da curva do pulso de oxigênio e do LA que são frequentemente abordados em outros estudos relacionados a ergoespirometria e apresentados como bons indicadores prognósticos<sup>3,6</sup>. Todavia, devemos ressaltar que para a obtenção do VO<sub>2</sub>máx e para outros desses índices é necessária a realização de um esforço verdadeiramente máximo<sup>1,12</sup> e a que a determinação

**Tabela 1 - Características demográficas e principais resultados da espirometria de repouso e do TCPE (n = 624)**

Variáveis	Todos (n = 624)	Feminino (n = 237)	Masculino (n = 387)
<b>Características</b>			
Idade (anos)	48,0 ± 12,2* (23,0 - 73,0)	48,8 ± 12,6 (22,8 - 73,0)	47,6 ± 11,9 (24,0 - 73,0)
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	24,7 ± 2,7 (19,0 - 29,4)	23,4 ± 2,7 (18,6 - 28,8)	25,6 ± 2,4 (20,5 - 29,5)
FC repouso (bpm)	65 ± 11,30 (45 - 91)	67 ± 11,30 (46 - 94)	65 ± 11,30 (48 - 89)
PAS repouso (mmHg)	126 ± 15,0 (99 - 158)	120 ± 15,80 (96 - 152)	130 ± 13,3 (108 - 160)
PAD repouso (mmHg)	75 ± 9,9 (58 - 96)	73 ± 10,2 (58 - 96)	77 ± 9,3 (61 - 96)
<b>Espirometria</b>			
VEF <sub>1</sub> (L)	3,1 ± 0,78 (1,7 - 4,6)	2,4 ± 0,49 (1,5 - 3,4)	3,5 ± 0,67 (2,3 - 4,7)
CVF (L)	3,8 ± 0,95 (2,1 - 5,7)	3,0 ± 0,60 (2,0 - 4,2)	4,3 ± 0,78 (2,8 - 5,8)
VEF1/CVF (%)	81,9 ± 5,02 (72,2 - 90,9)	81,9 ± 5,09 (72,8 - 92,0)	81,8 ± 4,99 (72,1 - 90,6)
<b>TCPE</b>			
VO <sub>2</sub> máx (mL.(kg.min) <sup>-1</sup> )	33,8 ± 10,60 (16,1 - 56,0)	27,5 ± 8,52 (16,8 - 35,4)	37,6 ± 9,93 (20,5 - 58,2)
MET máximo	9,7 ± 3,03 (4,6 - 16,00)	7,9 ± 2,44 (4,1 - 13,2)	10,76 ± 2,84 (5,9 - 16,6)
VE <sub>máx</sub> (L.min <sup>-1</sup> )	89,0 ± 30,1 (34,9 - 149,1)	63,7 ± 16,5 (32,5 - 97,4)	104,0 ± 25,9 (49,3 - 155,3)
POC	23,9 ± 4,81 (16,1 - 34,3)	25,0 ± 5,14 (16,8 - 35,4)	23,2 ± 4,48 (15,6 - 32,3)
OUES	2521,9 ± 1000,71 (1006,7 - 4725,5)	1749,4 ± 616,41 (790,1 - 3485,0)	2994,9 ± 903,29 (1398,9 - 5024,8)
Tempo total (min)	10,8 ± 2,23 (6,6 - 16,0)	10,0 ± 2,24 (6,0 - 15,0)	11,2 ± 2,10 (8,0 - 16,0)
Tempo para LA (min)	6,3 ± 2,07 (2,0 - 11,0)	5,7 ± 2,02 (2,0 - 10,1)	6,7 ± 2,00 (2,0 - 11,0)
Tempo para POC (min)	2,8 ± 1,28 (1,0 - 6,0)	2,9 ± 1,38 (1,9 - 6,0)	2,7 ± 1,20 (1,0 - 6,0)

\*valores expressos como média ± desvio padrão (percentis 2,5 e 97,5).

TCPE: teste cardiopulmonar de exercício; IMC: índice de massa corporal; FC: frequência cardíaca; PAS: pressão arterial sistólica; PAD: pressão arterial diastólica; VEF1: volume expiratório forçado no primeiro segundo; CVF: capacidade vital forçada; VO<sub>2</sub>máx: consumo máximo de oxigênio; MET: equivalente metabólico; VE<sub>máx</sub>: ventilação máxima; POC: Ponto ótimo cardiopulmonar; OUES: Eficiência da inclinação de consumo de oxigênio; LA: Limiar anaeróbico.

**Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre POC e as variáveis ventilatórias selecionadas obtidas no TCPE**

Variável	r	p
VO <sub>2</sub> máximo	-0,47	0,0001
VO <sub>2</sub> LA	-0,42	0,0001
OUES	-0,34	0,0001
VE máxima	-0,14	0,0001

TCPE: teste cardiopulmonar de exercício; POC: Ponto ótimo cardiopulmonar; OUES: Eficiência da inclinação de consumo de oxigênio; LA: Limiar anaeróbico; VO<sub>2</sub>máx: consumo máximo de oxigênio.

do momento do LA pode ser influenciada pelo protocolo utilizado, pelo escolha do método de detecção<sup>10</sup> desse e pela experiência e conhecimento do avaliador<sup>20</sup>. Já para a determinação do POC, não é necessária a realização de um exercício verdadeiramente máximo, tendo em vista que essa variável foi sempre identificada em nível relativamente baixo de intensidade do exercício e bem antes do LA, e que a determinação desse não depende da interpretação do avaliador, já que é obtido simplesmente pela identificação da menor razão numérica entre os valores VE e o VO<sub>2</sub> para cada minuto do TCPE, sendo assim, um índice adimensional e simples de expressar e comparar.

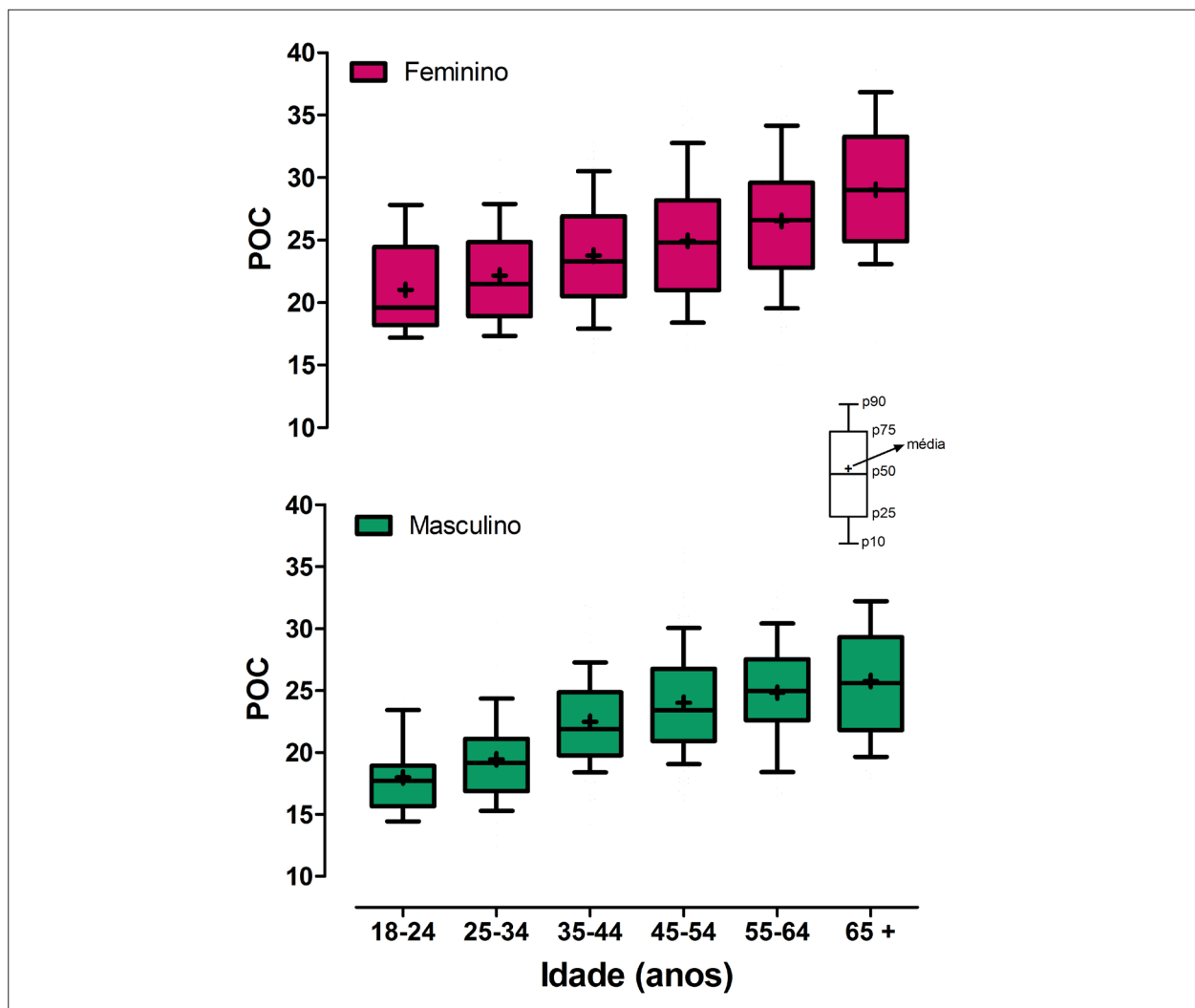


Fig. 1 - Todos os grupos diferiram entre si ( $p < 0,001$ ); POC: ponto ótimo cardiopulmonar.

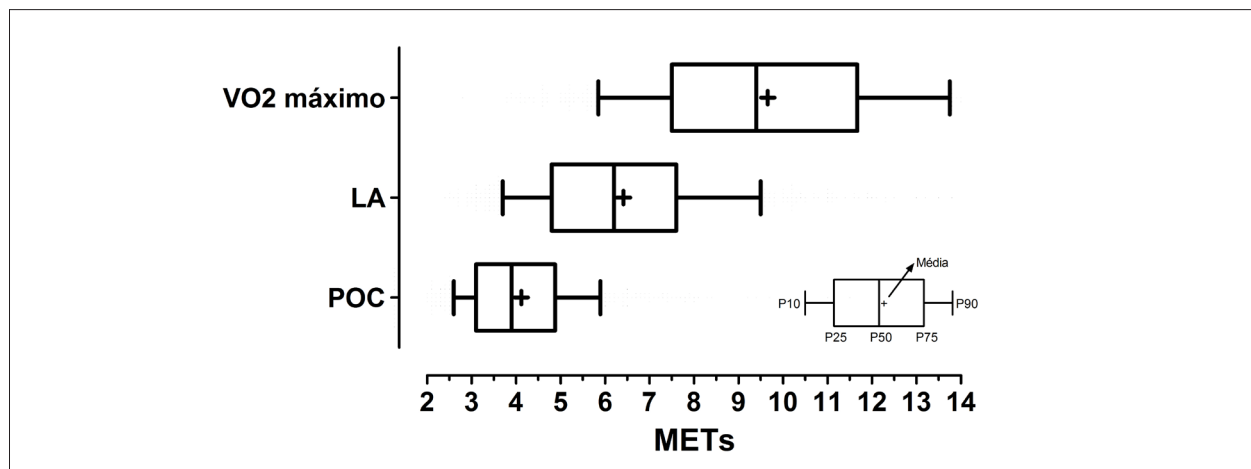


Fig. 2 - Os valores de intensidade de exercício (MET) para POC, LA e esforço máximo; LA: Limiar anaeróbico; POC: ponto ótimo cardiopulmonar; MET: Equivalente metabólico.

**Tabela 3 - Equações de regressão linear para entre POC e idade para o gênero feminino e masculino**

Gênero	Predição do POC pela idade	Erro padrão da estimativa
Mulher	POC = 0,149 x idade (anos) + 17,7	4,79
Homem	POC = 0,158 x idade (anos) + 15,7	4,06

POC: ponto ótimo cardiorrespiratório

**Tabela 4 - Percentis do POC para gênero masculino e feminino**

Feminino		Percentil				
Idade	n	p 10	p 25	p 50	p 75	p 90
18 – 24	9	17,2	18,2	19,6	24,5	27,8
24 – 34	26	17,3	18,9	21,5	24,9	27,9
35 – 44	51	17,9	20,5	23,3	26,9	30,5
45 – 54	76	18,4	21,0	24,8	28,2	32,8
55 – 64	51	19,5	22,8	26,6	29,6	34,2
≥ 65	24	23,1	24,9	29,0	33,3	36,9
Masculino		Percentil				
Idade	n	p 10	p 25	p 50	p 75	p 90
18 – 24	12	14,4	15,6	17,7	18,9	23,4
24 – 34	42	15,2	16,8	19,1	21,1	24,3
35 – 44	97	18,3	19,7	21,9	24,8	27,2
45 – 54	133	19,0	20,9	23,4	26,7	30,0
55 – 64	68	18,3	22,5	24,9	27,5	30,4
≥ 65	35	19,6	21,8	25,6	29,3	32,2

POC: ponto ótimo cardiorrespiratório

Há outros índices ventilatórios no TCPE que tendem a expressar a relação entre os sistemas respiratório e cardiovascular. Em 1996, Baba e cols.<sup>8</sup> propuseram um índice relacionado à reserva cardiorrespiratória funcional, relativo a uma equação que determina a curva de eficiência do consumo de oxigênio (oxygen uptake efficiency slope - OUES), utilizando o equivalente ventilatório de oxigênio (VE/VO<sub>2</sub>). Essa variável apresenta forte associação com o VO<sub>2</sub>máx (r = 0,94; p < 0,001) em pacientes pediátricos e (r = 0,78; p < 0,001) em paciente adultos; contudo, esses autores levaram em consideração diversos momentos da curva VE/VO<sub>2</sub><sup>18,21</sup> e a ajustaram como se ela apresentasse um comportamento linear, fato esse que não reflete o comportamento fisiológico dessa variável. Ademais, o cálculo da equação para a determinação do OUES é matematicamente mais complexo e prático do que a identificação de apenas um único valor, como é o caso do POC proposto pelo nosso estudo.

Nossos resultados demonstram que o POC apresenta uma associação modesta com o VO<sub>2</sub>máx (-0,47; p < 0,001) e uma baixa associação com a VE máxima (-0,14; p < 0,001), assim como com o OUES (-0,34; p < 0,001), sugerindo, dessa forma, ser uma variável que apresenta possível independência e potencial contribuição complementar na interpretação da integração cardiorrespiratória durante o TCPE. Outro aspecto igualmente importante é que o POC (Figura 1)

ocorre entre aproximadamente 30% e 50% do VO<sub>2</sub>máx, ou seja, em um esforço de intensidade relativamente baixa, sendo bem menos intenso do que o LA, em um TCPE realizado em protocolo individualizado em rampa, o que pode ser útil quando pensamos em avaliação de pacientes com doença arterial coronariana severa ou até mesmo em pacientes com insuficiência cardíaca avançada. Em nossos resultados de indivíduos saudáveis, o POC ocorreu, em média, em 4,1 MET, compatível com o conceito de ponto ótimo cardiorrespiratório, haja vista que a grande maioria das situações de movimentos cotidianas e em atividades físicas, exercícios e esportes é realizada entre 2 e 6 MET<sup>22</sup>, e não em um esforço verdadeiramente máximo.

Com o envelhecimento ocorrem diversas alterações estruturais e fisiológicas, como a redução da força muscular<sup>23</sup>, a perda de flexibilidade<sup>24</sup> e a redução do VO<sub>2</sub>máx<sup>25</sup>, de forma que poderíamos esperar que esse viesse a ocorrer com o POC. No caso das variáveis ventilatórias, é sabido que, com o passar dos anos, ocorre também uma redução da força dos músculos respiratórios<sup>26</sup> e de alguns indicadores ventilatórios, como o volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF1)<sup>27</sup> e a capacidade vital forçada (CVF)<sup>28</sup>, observando-se também uma resposta menos eficaz ao aumento do PaCO<sub>2</sub> em repouso<sup>29</sup>.

Mais especificamente, em nosso estudo verificamos que com o aumento da idade ocorre um incremento do valor do POC, fato esse que pode ser provavelmente explicado pelas modificações que ocorrem no sistema respiratório<sup>28,30</sup>. Evidências demonstram uma redução da superfície alveolar, aumento do espaço morto, condições que estão associadas com uma hiperinsuflação pulmonar e uma redução da capacidade de difusão alvéolo-capilar<sup>30,31</sup>, além de uma menor VE<sup>29</sup>, o que, em conjunto com o enrijecimento dos vasos sanguíneos<sup>32</sup>, contribui para uma pior relação ou aumento do V/Q<sup>28,30-32</sup>. Em indivíduos mais jovens, provavelmente, o recrutamento de capilares pulmonares ocorre com maior eficiência, permitindo uma expansão da chamada zona III de West para a região das zonas I e II, mantendo uma relação V/Q mais adequada<sup>33</sup>. Cabe ressaltar que o aumento da ventilação no exercício não está relacionado apenas com a concentração de CO<sub>2</sub>, mas também com estímulos aferentes provenientes dos mecanorreceptores<sup>34,35</sup>. Uma evidência desse fato são os dados de Monteiro e Araujo<sup>36</sup> indicando que há diferenças substanciais na VE e também no VE/VO<sub>2</sub>, com estímulos aferentes provavelmente distintos, quando o indivíduo anda ou corre para uma mesma velocidade na esteira.

O comportamento do POC parece ser discretamente distinto de acordo com o gênero; enquanto há um aumento similar do POC com a idade entre homens e mulheres. Com o passar dos anos, pode-se considerar que há uma piora da VE<sup>31</sup> e uma redução no VO<sub>2</sub>máx<sup>25</sup>, ou seja, variáveis diretamente envolvidas no cálculo do POC; parece, contudo, que a

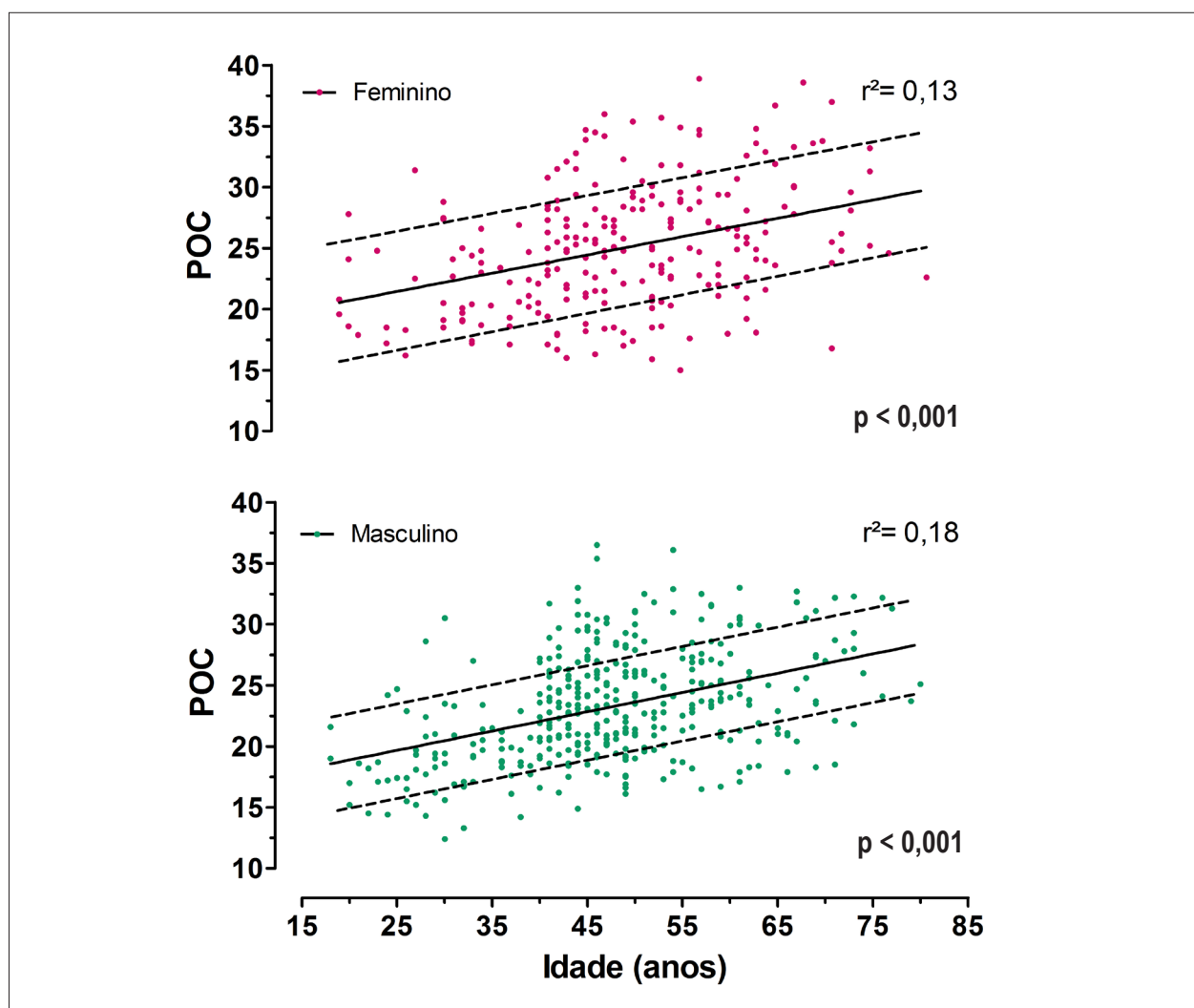


Fig. 3 - POC em função da idade para homens (painel inferior) e mulheres (painel superior), (-----)  $\pm$  1 erro padrão da estimativa; POC: ponto ótimo cardiopulmonar.

piora na ventilação é menos significativa ou numericamente importante do que a redução do VO<sub>2</sub>, explicando assim maiores valores do POC em indivíduos com mais idade.

Em relação ao gênero, os valores discretamente mais altos de POC encontrados nas mulheres provavelmente estão relacionados com o fato de elas apresentarem menores valores de VO<sub>2</sub>máx<sup>37</sup> e de ventilação, quando comparadas aos homens, lembrando também que, tal como acontece com as equações<sup>26,38,39</sup> de predição de variáveis ventilatórias na espirometria de repouso, são levadas em consideração dimensões corporais e que tipicamente as mulheres são menores do que os homens.

Apesar de todos os cuidados metodológicos envolvidos neste estudo, podemos pontuar algumas possíveis limitações para uma maior aplicação clínica e validade externa dos nossos dados, como a caracterização do POC para TCPE realizados apenas em cicloergômetros de membros inferiores. Contudo, isso pode também representar um ponto forte, pois ao evitar as transições de marcha e corrida habitualmente observadas em protocolos

de esteira rolante, talvez tenha sido possível melhor caracterizar o comportamento fisiológico do POC. Outra potencial limitação refere-se ao fato de não ter sido objetivamente testado se os valores de POC eram distintos entre indivíduos habitualmente ativos e sedentários, apesar de algumas evidências demonstrarem diferenças em certas variáveis obtidas no TCPE<sup>40</sup>. Contudo, a associação modesta com o VO<sub>2</sub>máx e com o VO<sub>2</sub>LA sugere que deve haver uma acentuada superposição nos valores de POC entre os ativos e os sedentários. Talvez a forma mais apropriada de estudar a influência do padrão regular de exercício físico sobre o POC seja avaliando o comportamento dessa variável antes e após a participação em um programa de exercício. Outros estudos futuros deverão comparar ergômetros distintos e que podem produzir aferências diferentes e, conseqüentemente, outros resultados. Outro aspecto importante será testar o potencial de contribuição clínico e epidemiológico do POC, seja por meio da quantificação de sua resposta a intervenções, como programas de exercício, ou por seu impacto prognóstico sobre a mortalidade.

## Conclusão

Em conclusão, este estudo propõe a análise de uma nova variável submáxima em um TCPE, de aquisição simples e quantificação observador-independente, fisiologicamente plausível e fundamentada, capaz de agregar informações clínicas relevantes. O valor do POC aumenta com a idade e é discretamente mais alto em mulheres; sendo as associações modestas com outras medidas ventilatórias, sugerindo uma independente e potencial contribuição na interpretação da resposta cardiorrespiratória no TCPE. O estudo também contribui ao apresentar uma ampla base de dados de indivíduos saudáveis dos dois gêneros em um espectro etário amplo que permitirá a análise e interpretação de resultados que forem obtidos em pacientes acometidos de enfermidades cardiorrespiratórias.

## Referências

1. Meneghelo RS, Araújo CGS, Stein R, Mastrocolla LE, Albuquerque PF, Serra SM, et al.; Sociedade Brasileira de Cardiologia. III Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre teste ergométrico. *Arq Bras Cardiol.* 2010; 95(5 supl.1):1-26.
2. Sharma S, Elliott P, Whyte G, Jones S, Mahon N, Whipp B, et al. Utility of cardiopulmonary exercise in the assessment of clinical determinants of functional capacity in hypertrophic cardiomyopathy. *Am J Cardiol.* 2000;86(2):162-8.
3. Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med.* 2002;346(11):793-801.
4. Oliveira RB, Myers J, Araujo CG. Long-term stability of the oxygen pulse curve during maximal exercise. *Clinics.* 2011;66(2):203-9.
5. Perim RR, Signorelli GR, Araujo CG. Stability of relative oxygen pulse curve during repeated maximal cardiopulmonary testing in professional soccer players. *Braz J Med Biol Res.* 2011;44(7):700-6.
6. Whipp BJ, Ward SA. The physiological basis of the 'anaerobic threshold' and implications for clinical cardiopulmonary exercise testing. *Anaesthesia.* 2011;66(11):1048-9.
7. Poggio R, Arazi HC, Giorgi M, Miriuka SG. Prediction of severe cardiovascular events by VE/VCO2 slope versus peak VO2 in systolic heart failure: a meta-analysis of the published literature. *Am Heart J.* 2010;160(6):1004-14.
8. Baba R, Nagashima M, Goto M, Nagano Y, Yokota M, Tauchi N, et al. Oxygen uptake efficiency slope: a new index of cardiorespiratory functional reserve derived from the relation between oxygen uptake and minute ventilation during incremental exercise. *J Am Coll Cardiol.* 1996;28(6):1567-72.
9. Yeh MP, Gardner RM, Adams TD, Yanowitz FG, Crapo RO. "Anaerobic threshold": problems of determination and validation. *J Appl Physiol.* 1983;55(4):1178-86.
10. Neder JA, Stein R. A simplified strategy for the estimation of the exercise ventilatory thresholds. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(5):1007-13.
11. Araujo CG, Pinto VL. Maximal heart rate in exercise tests on treadmill and in a cycloergometer of lower limbs. *Arq Bras Cardiol.* 2005;85(1):45-50.
12. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2010;122(2):191-225.
13. Nathell L, Nathell M, Malmberg P, Larsson K. COPD diagnosis related to different guidelines and spirometry techniques. *Respir Res.* 2007;8:89.
14. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J.* 2005;26(2):319-38.
15. Ramos PS, Araujo CG. Normotensive individuals with exaggerated exercise blood pressure response have increased cardiac vagal tone. *Arq Bras Cardiol.* 2010;95(1):85-90.
16. Araújo CGS. Analisando os gases expirados no Teste Cardiopulmonar de Exercício Máximo: uma proposta de padronização do intervalo amostral. *Rev DERC.* 2010;49:6-8.
17. Araújo CGS. Respostas cardiorrespiratórias a um exercício submáximo prolongado. *Arq Bras Cardiol.* 1983;41(1):37-45.
18. Baba R. The oxygen uptake efficiency slope and its value in the assessment of cardiorespiratory functional reserve. *Congest Heart Fail.* 2000;6(5):256-8.
19. Dempsey JA, Harms CA, Ainsworth DM. Respiratory muscle perfusion and energetics during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28(9):1123-8.
20. Hopker JG, Jobson SA, Pandit JJ. Controversies in the physiological basis of the 'anaerobic threshold' and their implications for clinical cardiopulmonary exercise testing. *Anaesthesia.* 2011;66(2):111-23.
21. Hollenberg M, Tager IB. Oxygen uptake efficiency slope: an index of exercise performance and cardiopulmonary reserve requiring only submaximal exercise. *J Am Coll Cardiol.* 2000;36(1):194-201.
22. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation.* 2007;116(9):1081-93.
23. Vianna LC, Oliveira RB, Araujo CG. Age-related decline in handgrip strength differs according to gender. *J Strength Cond Res.* 2007;21(4):1310-4.
24. Araujo CG. Flexibility assessment: normative values for flexitest from 5 to 91 years of age. *Arq Bras Cardiol.* 2008;90(4):257-63.
25. Betik AC, Hepple RT. Determinants of VO2 max decline with aging: an integrated perspective. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33(1):130-40.
26. Neder JA, Andreoni S, Castelo-Filho A, Nery LE. Reference values for lung function tests. I. Static volumes. *Braz J Med Biol Res.* 1999;32(6):703-17.
27. Ware JH, Dockery DW, Louis TA, Xu XP, Ferris BG Jr, Speizer FE. Longitudinal and cross-sectional estimates of pulmonary function decline in never-smoking adults. *Am J Epidemiol.* 1990;132(4):685-700.
28. Sharma G, Goodwin J. Effect of aging on respiratory system physiology and immunology. *Clin Interv Aging.* 2006;1(3):253-60.
29. Peterson DD, Pack AI, Silage DA, Fishman AP. Effects of aging on ventilatory and occlusion pressure responses to hypoxia and hypercapnia. *Am Rev Respir Dis.* 1981;124(4):387-91.

## Potencial Conflito de Interesses

O autor Claudio Gil Soares de Araújo declara possuir conflito de interesses da INBRAMED e da MICROMED com cessão de equipamentos.

## Fontes de Financiamento

O presente estudo foi parcialmente financiado por CNPq e FAPERJ.

## Vinculação Acadêmica

Este artigo é parte de tese de doutorado de Plínio Santos Ramos do Programa de Pós-graduação em Ciências do Exercício e do Esporte pela Universidade Gama Filho.



## Artigo Original

30. Oyarzun GM. Pulmonary function in aging. *Rev Med Chil.* 2009;137(3):411-8.
31. Janssens JP, Pache JC, Nicod LP. Physiological changes in respiratory function associated with ageing. *Eur Respir J.* 1999;13(1):197-205.
32. Greaney JL, Farquhar WB. Why do veins stiffen with advancing age? *J Appl Physiol.* 2011;110(1):11-2.
33. West JB. Regional differences in gas exchange in the lung of erect man. *J Appl Physiol.* 1962;17:893-8.
34. McCloskey DI, Mitchell JH. Reflex cardiovascular and respiratory responses originating in exercising muscle. *J Physiol.* 1972;224(1):173-86.
35. Amann M, Blain GM, Proctor LT, Sebranek JJ, Pegelow DF, Dempsey JA. Group III and IV muscle afferents contribute to ventilatory and cardiovascular response to rhythmic exercise in humans. *J Appl Physiol.* 2010;109(4):966-76.
36. Monteiro WD, Araujo CG. Cardiorespiratory and perceptual responses to walking and running at the same speed. *Arq Bras Cardiol.* 2009;93(4):418-25, 410-7.
37. Ogawa T, Spina RJ, Martin WH 3<sup>rd</sup>, Kohrt WM, Schechtman KB, Holloszy JO, et al. Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation.* 1992;86(2):494-503.
38. Evans JA, Whitelaw WA. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. *Respir Care.* 2009;54(10):1348-59.
39. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J.* 1993;16:5-40.
40. Herdy AH, Uhlendorf D. Reference values for cardiopulmonary exercise testing for sedentary and active men and women. *Arq Bras Cardiol.* 2011;96(1):54-9.