

# Análise da estabilidade de uma variável submáxima em teste cardiopulmonar de exercício: ponto ótimo cardiorrespiratório

## Analysis of the stability of a submaximal variable in the cardiopulmonary exercise testing: Cardiopulmonary optimal point

Plínio Santos Ramos<sup>1,2</sup>

Claudio Gil Soares de Araújo<sup>1,3</sup>

### Resumo

O presente estudo teve por objetivo investigar a estabilidade do ponto ótimo cardiorrespiratório (POC) em dois testes cardiopulmonares de exercício máximos (TCPEs), realizados em cicloergômetro de membros inferiores. Para tanto, foram analisados retrospectivamente os dados de 1334 indivíduos avaliados por no mínimo duas vezes entre 1995 e 2013, sendo identificados, a partir de rígidos critérios de inclusão, 222 pacientes (159 homens) com a idade de 55±11,6 anos. Logo, foram verificados os dados do POC obtidos a partir da análise da ventilação e do consumo de oxigênio em cada minuto do TCPE, o VO<sub>2</sub> máximo, e as curvas de eficiência do consumo de oxigênio (OUES) e do equivalente ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO<sub>2</sub> slope), sendo a estabilidade avaliada pelos coeficientes de correlação intraclasse. A mediana do intervalo de tempo entre os dois TCPEs foi de 1,6 anos. Os valores de cada uma das variáveis obtidas nos dois TCPEs apresentaram altas e significativas associações ( $p < 0,01$ ), sendo: VO<sub>2</sub>max  $r_i = 0,93$  (IC95% = 0,91 a 0,94); POC  $r_i = 0,87$ ; (IC95% = 0,82 a 0,90); OUES  $r_i = 0,90$  (IC95% = 0,87 a 0,93) e VE/VCO<sub>2</sub> slope  $r_i = 0,74$  (IC95% = 0,67 a 0,80). Concluímos que, em condições controladas, o POC é um índice ventilatório bastante estável em TCPEs realizadas em indivíduos adultos, com níveis de estabilidade similar ou superior de outras variáveis ou índices consagrados na literatura, corroborando, dessa forma, seu potencial de utilização em pesquisas fisiológicas e na prática clínica.

### Palavras-chave

Teste de esforço; Consumo de oxigênio; Exercício; Relação ventilação-perfusão.

### Abstract

The present study aimed to assess the stability of the cardiorespiratory optimum point (COP) in two maximum cardiopulmonary exercise testing (CPET), performed in a lower limbs cycling ergometer. Therefore, we retrospectively analyzed data from 1334 subjects that were evaluated by at least twice between 1995 and 2013, and identified after rigid inclusion criteria, 222 subjects (159 men) aged 55 ± 11.6 years. COP results were obtained from the ventilation and oxygen consumption data averaged at each minute during CPET as well as maximum oxygen uptake, efficiency curves of oxygen consumption (OUES) and ventilatory equivalent for carbon dioxide (VE/VCO<sub>2</sub> slope), and their stability assessed by intraclass correlation coefficients. The median time interval between two CPETs was 1.6 years. The values of the variables obtained in the two CPETs showed high and significant associations ( $p < 0.01$ ), being: VO<sub>2</sub>max  $r_i = 0.93$  (CI95% = 0.91 a 0.94); COP  $r_i = 0.87$ ; (CI95% = 0.82 a 0.90); OUES  $r_i = 0.90$  (CI95% = 0.87 a 0.93) and VE/VCO<sub>2</sub> slope  $r_i = 0.74$  (CI95% = 0.67 a 0.80). We conclude that, under controlled conditions, COP is a very stable ventilatory index in CPET performed in adults, with stability levels similar or higher than other variables well-established in the literature, confirming thus its potential for use in physiological research and clinical practice.

### Keywords

Exercise testing; Oxygen uptake; Exercise; Ventilation-perfusion ratio.

## INTRODUÇÃO

O teste cardiopulmonar de exercício máximo (TCPE), também chamado de ergoespirometria, permite uma avaliação integrada das respostas cardiorrespiratórias durante o exercício. Os resultados provenientes da análise do volume expirado e das respectivas frações de oxigênio ( $O_2$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) contribuem importantemente para o diagnóstico<sup>1</sup> e o prognóstico em diversas doenças<sup>1,2</sup>. Para tanto, diversas variáveis obtidas durante a realização do TCPE são alvo de investigação como, por exemplo, o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ )<sup>3</sup>, o limiar anaeróbico (LA)<sup>4</sup>, as curvas geradas pelo equivalente ventilatório de dióxido de carbono ( $VE/VCO_2 slope$ )<sup>5,6</sup> e de oxigênio (OUES)<sup>7,8</sup> e o ponto ótimo cardiorrespiratório (POC)<sup>9</sup>. Entretanto, algumas medidas obtidas durante o TCPE, como o  $VO_{2max}$ , requerem um teste verdadeiramente máximo para que possam ser quantificadas de maneira precisa, o que pode ser mais difícil na presença de algumas doenças pré-existentes, como, por exemplo, na síndrome do pânico ou, principalmente, pelas motivações de avaliado e avaliador.

Neste sentido, Ramos et al.<sup>9</sup> em 2012 descreveram o comportamento do POC, uma variável submáxima obtida durante o TCPE, que é determinada pelo valor mínimo do equivalente ventilatório de oxigênio ( $VE/VO_2$ ). O POC, representa a melhor integração entre os sistemas respiratório e cardiovascular ou da relação ventilação-perfusão, correspondendo, na prática, ao momento durante o exercício incremental em que há a menor ventilação (VE) para que seja consumido um litro de oxigênio ( $VO_2$ ). Estes autores verificaram que o POC ocorre muito precocemente em um exercício incremental sendo bastante anterior à ocorrência do LA. Em adendo, por representar um número facilmente identificável – o menor valor da variável – em uma simples tabela de dados, passa a ser avaliador independente e eliminando assim uma possível e frequentemente importante fonte de erro na identificação ou cálculo de variáveis ou índices ventilatórios no TCPE<sup>9</sup>.

Para uma aplicação mais ampla do POC e uma avaliação mais consistente desta variável, parece muito oportuno conhecer sua reprodutibilidade tardia ou estabilidade e a variabilidade intra-individual em um espectro amostral heterogêneo, assim como já realizado com outras variáveis do TCPE –  $VO_{2max}$ <sup>10,11</sup>, OUES<sup>12,13</sup>,  $VE/VCO_2 slope$ <sup>10,14</sup>, LA<sup>11,15</sup> e o pulso de oxigênio<sup>16,17</sup>. Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar a estabilidade do POC em TCPEs máximos clínicos realizados em cicloergômetro de membros inferiores.

## MÉTODOS

### Amostra

Foram analisados retrospectivamente os dados de 1334 indivíduos avaliados, por no mínimo duas vezes, em uma clínica privada e especializada em Medicina do Exercício no período entre 1995 e 2013. A quase totalidade dos indivíduos submeteu-se à avaliação para obter subsídios de segurança clínica e de orientação para a prática de exercício física regular. Foram então identificados 222 pacientes (159 homens) com a idade média de  $55 \pm 11,6$  anos (20 – 82), que foram classificados de acordo com a sua condição clínica em: 1) assintomáticos do ponto de vista cardiorrespiratório; 2) obesos (índice de massa corporal (IMC)  $> 30 \text{ kg/m}^2$ ) e/ou hipertensos e/ou dislipidêmicos (colesterol total  $> 200 \text{ mg/dL}$  e/ou estar sendo tratado farmacologicamente para dislipidemia) e/ou diabéticos sem doença coronariana; 3) doença arterial coronariana (DAC); 4) outras doenças cardiovasculares e 4) ou-

tras doenças como câncer, pânico e doenças respiratórias, baseado na classificação proposta por Cabral de Oliveira et al.<sup>18</sup>.

Todos os pacientes selecionados preenchem concomitantemente os seguintes critérios de inclusão: 1) ter realizado no mínimo dois TCPEs máximos em cicloergômetro de membros inferiores, que não foram interrompidos precocemente por critérios clínicos ou eletrocardiográficos ou baseado em quaisquer limites de frequência cardíaca; 2) todos os TCPEs terem sido realizados sob a supervisão direta e presencial de um único médico; 3) apresentar as mesmas condições clínicas e de uso de medicações relevantes nas duas avaliações utilizadas no estudo; 4) não ter apresentado limitação locomotora capaz de afetar o desempenho nos TCPEs.

### Protocolo de Avaliação

A avaliação consistiu de uma anamnese detalhada e dirigida, incluindo perguntas específicas sobre doenças diagnosticadas, medicações prescritas e de uso regular, e um exame físico antes da realização do TCPE máximo. Os indivíduos submeteram-se voluntariamente a avaliação conforme solicitação 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 da instituição, e seguiram as normas propostas pela declaração de Helsinque e da resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde.

### Avaliação Antropométrica

As variáveis de massa e estatura corporal foram mensuradas utilizando, respectivamente, uma balança digital (Filizola, Brasil ou Welmy, Brasil) e um estadiômetro. O IMC foi obtido através da razão entre a massa corporal em quilogramas e o quadrado da estatura em metros.

### 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 oito e 12 minutos. A carga em watts foi incrementada de forma contínua e gradativa com o objetivo de levar o indivíduo à exaustão, representada pela incapacidade de continuar pedalando a não menos que 60 rotações por minuto. Os indivíduos foram fortemente encorajados através de estímulos verbais a atingir o seu máximo verdadeiro durante o TCPE. A natureza máxima do TCPE foi definida pelo médico que supervisionou o procedimento e corroborada por indicadores fisiológicos – ocorrência do limiar anaeróbico (LA), 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, por um quociente respiratório maior do 1,05 e padrão em U das curvas dos equivalentes ventilatórios – e perceptivos – obtenção de um escore de 10 na escala de 0-10 de Borg. Os TCPEs dos pacientes que não alcançaram simultaneamente todos esses critérios foram considerados como submáximos e excluídos do estudo. Durante todo o TCPE foi monitorada a pressão arterial e a saturação arterial de oxigênio e registrado o eletrocardiograma em uma única derivação, CC5 ou CM5, de onde foi medida a frequência cardíaca (FC) (Ergo Elite PC versão 3.2.1.5 ou 3.3.6.2, Micromed, Brasil)<sup>19</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). Esses equipamentos eram periodicamente calibrados e checados através do uso de uma seringa de 2-L e de gases de concentrações conhecidas. O analisador metabólico possibilitou a quantificação da ventilação pulmonar e das frações parciais de oxigênio e de gás carbônico, analisadas e reportadas a cada 10 s. Esses resultados foram recalculados e expressados como valores médios para cada minuto do TCPE.

## Ponto Ótimo Cardiorrespiratório (POC)

POC é definido como o menor valor da razão entre a ventilação em L/min (VE) e o consumo de oxigênio em L/min ( $VO_2$ ), portanto uma variável adimensional, durante um TCPE incremental e máximo. Corresponde assim a menor quantidade de ar inspirado para que seja consumido um litro de oxigênio. O POC representa a integração ótima cardiorrespiratória durante um exercício, sendo que quanto menor o valor para essa variável melhor a eficiência do indivíduo ao extrair  $O_2$  durante a realização de um exercício com carga incremental. A identificação do resultado do POC é bastante simples e objetiva a partir da tabela de dados expressos para cada minuto gerada durante o TCPE e independe de decisão do avaliador. Os resultados do POC para uma ampla faixa etária em homens e mulheres foram publicados em 2012<sup>9</sup>.

## Curva de eficiência do consumo de oxigênio (OUES)

O OUES foi determinado pela regressão linear em razão da transformação logarítmica da VE e do  $VO_2$  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>7,20</sup>.

## Curva do equivalente ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO<sub>2</sub> slope)

O VE/VCO<sub>2</sub> slope foi calculado pela regressão linear em função da VE e do VCO<sub>2</sub> obtidos a cada minuto do TCPE, utilizando a seguinte equação ( $VCO_2 = aVE + b$ ). Nessa equação, a constante 'a' representa o coeficiente de regressão (VE/VCO<sub>2</sub> slope), e 'b' representa a interceptação<sup>21,22</sup>.

## Análise Estatística

Inicialmente utilizamos o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade da distribuição das variáveis e o teste de Levene para verificar a homogeneidade de variâncias. Posteriormente foi utilizado o coeficiente de correlação intraclass ( $r_i$ ), para quantificar o grau de associação das variáveis obtidas no primeiro e no segundo TCPEs. Em adendo, para a comparação das variáveis investigadas, apresentadas por média  $\pm$  erro padrão da média, utilizamos o teste-t emparelhado bicaudal. Os cálculos estatísticos foram efetuados nos programas SPSS versão 17 (IBM, Estados Unidos) e no Prism versão 5.01 (GraphPad, Estados Unidos), considerando um nível de significância de 5%.

## RESULTADOS

A mediana do intervalo de tempo entre as duas avaliações realizadas foi de 1,6 anos variando individualmente entre 0,3 e 11,4 anos, e os dados demográficos mais relevantes assim como os valores de repouso e durante o TCPE para as principais variáveis cardiopulmonares investigadas são apresentadas na tabela 1.

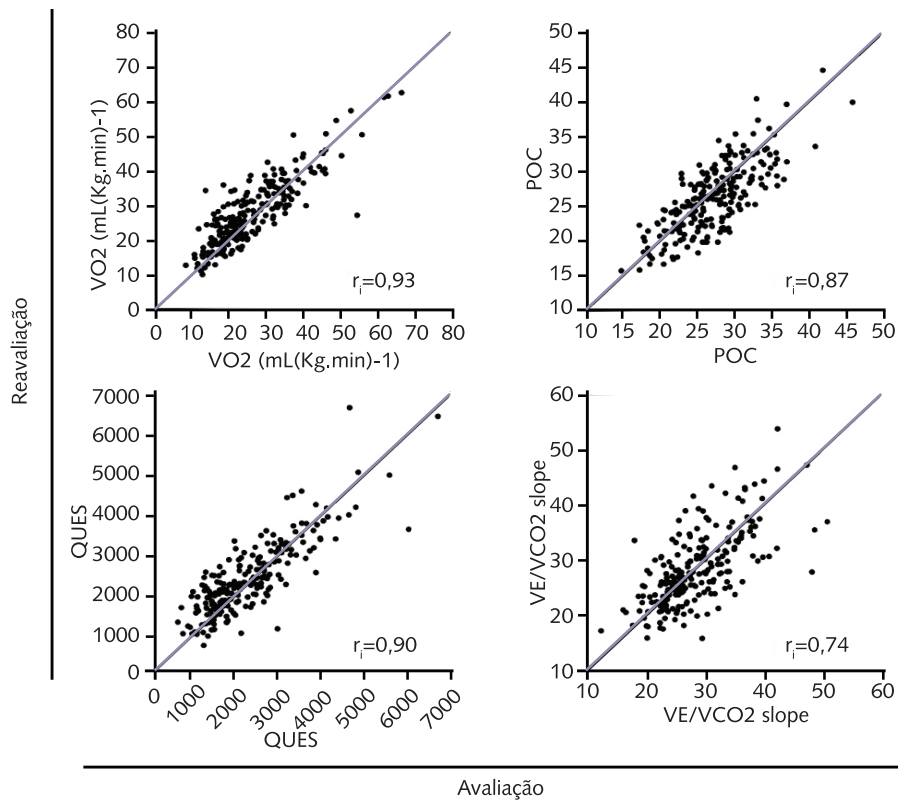
**Tabela 1** – Principais características da amostra e comparação dos dados mais relevantes em repouso e do teste cardiopulmonar de exercício máximo (TCPE) (n = 222)

Variáveis	Primeiro TCPE	Segundo TCPE	p
Características demográficas			
Idade (anos)	54,9±0,8 (20 - 82)	56,7±0,8 (20 - 84)	0,00
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	26,9±0,27 (17,8 - 45,3)	26,8±0,3 (17,4 - 42,7)	0,22
Altura (m)	1,70±0,1 (1,47 - 1,89)	1,70±0,1 (1,47 - 1,90)	0,08
Peso (kg)	78,8±0,96 (45,2 - 122,6)	78,4±0,96 (44,3 - 126)	0,15
Variáveis de Repouso			
Frequência cardíaca (bpm)	71,6±0,9 (44 - 109)	69,6±12,9 (39 - 112)	0,04
PAS (mmHg)	129,0±1,24 (92 - 210)	129,0±18,0 (92 - 206)	0,97
PAD (mmHg)	77,5±0,7 (51 - 118)	77,6±10,0 (54 - 106)	0,83
TCPE			
Duração (minutos)	9,7±0,1 (3 - 16)	10,4±0,1 (4 - 17)	0,00
FC máxima (bpm)	154±1,8 (73 - 220)	154±1,7 (81 - 220)	0,58
VO <sub>2</sub> max (mL.(kg.min) <sup>-1</sup> )	25,9±0,7 (8,1 - 65,8)	27,7±0,7 (9,9 - 61,9)	0,00
POC	27,1±0,3 (15,0 - 45,8)	26,3±0,3 (15,9 - 44,6)	0,01
OUES	2166±66,3 (523 - 6606)	2296±61,2 (633 - 6579)	0,00
VE/VCO <sub>2</sub> slope	28,6±0,42 (9,2 - 50,6)	28,7±0,44 (16,3 - 53,8)	0,71

Dados apresentados por média ± erro padrão da média (mínimo e máximo); IMC: índice de massa corporal; PAS: pressão arterial sistólica; PAD: pressão arterial diastólica; FC: frequência cardíaca; VO<sub>2</sub>max: consumo máximo de oxigênio; POC: ponto ótimo cardiopulmonar; OUES: curva de eficiência do consumo de oxigênio; VE/VCO<sub>2</sub> slope: curva do equivalente ventilatório de dióxido de carbono.

Frente a classificação adotada para a condição clínica dos participantes do estudo observamos que 18,5% eram assintomáticos do ponto de vista cardiopulmonar, 33,8% eram obesos e/ou hipertensos e/ou dislipidêmicos e/ou diabéticos sem doença coronariana, 33,8% possuíam DAC, 5,9% tinham outras doenças cardiovasculares e 8,1% da amostra estudada apresentava outras doenças tais como câncer, pânico e doenças respiratórias.

As variáveis VO<sub>2</sub>max, POC e OUES foram estatisticamente diferentes na comparação entre avaliação e reavaliação (p<0,01) e somente o VE/VCO<sub>2</sub> slope não apresentou diferença nas duas avaliações (p=0,71). Por outro lado, na amostra investigada, todas as variáveis obtidas durante o TCPE apresentaram uma forte e significativa associação (p <0,01). O VO<sub>2</sub>max apresentou um coeficiente de correlação intraclasse de 0,93 e um intervalo de confiança de 95% = 0,91 a 0,94. Para o POC tivemos: r<sub>i</sub> = 0,87; IC<sub>95%</sub> = 0,82 a 0,90, enquanto para o OUES esses resultados foram r<sub>i</sub> = 0,90 e ; IC<sub>95%</sub> = 0,87 a 0,93. Já o VE/VCO<sub>2</sub> slope foi a variável investigada que apresentou o menor coeficiente de correlação intraclasse - r<sub>i</sub> = 0,74; IC<sub>95%</sub> = 0,67 a 0,80 - (figura 1).



**Figura 1** – Correlação intraclass para as variáveis obtidas no teste cardiopulmonar de exercício na avaliação e reavaliação.

## DISCUSSÃO

A qualidade e o adequado controle dos métodos e medidas empregadas em situações de pesquisa e na prática clínica são fundamentais, principalmente quando há intenção de utilizar os resultados encontrados com o objetivo de estimar o prognóstico ou estabelecer o diagnóstico de doenças. Neste sentido, diversos estudos já investigaram a reprodutibilidade e/ou a estabilidade de medidas obtidas durante o TCPE como o  $VO_2\max$ <sup>10,11</sup>, o pulso de  $O_2$ <sup>16,17</sup>, o OUES<sup>12</sup> e o  $VE/VCO_2$ <sup>10,14</sup>, justificando desta forma sua utilização com maior segurança na prática clínica. Em nosso estudo, objetivamos ampliar o corpo de conhecimento no tema, ao verificar a estabilidade ou reprodutibilidade tardia do POC, uma variável submáxima obtida durante o TCPE recém-preconizada<sup>19</sup> para uso clínico, a partir de uma amostra de 222 casos com um tempo de seguimento mediano de dois anos entre os dois TCPEs cuidadosamente selecionados de uma base inicial de 1334 indivíduos avaliados e reavaliados por um único médico sem que tenha havido qualquer alteração relevante de condição clínica e de medicação em uso regular, limitando assim possíveis interferências nos resultados obtidos nos TCPEs máximos.

A nossa principal variável, o POC, apresentou uma forte estabilidade com  $r_i = 0,87$ , em TCPEs realizados em cicloergômetro de membros inferiores nos dois TCPEs adotando um protocolo de rampa individualizado. Consoante com a estabilidade do POC, há então evidências suficientes para indicar a magnitude típica de variação normal passível de ocorrer entre dois TCPEs consecutivos quando não há modificação relevante do *status* clínico. É interessante apontar que mesmo havendo uma discreta melhora no valor do POC do primeiro para o segundo



TCPE -  $27,1 \pm 0,3$  vs  $26,3 \pm 0,3$  -, a estabilidade e a associação são bastante fortes. Essa discreta queda (cerca de 3%) no POC e que também foi acompanhada de pequeno aumento no  $VO_2\text{max}$ , deve ter sido, muito provavelmente, causada pelo incremento no padrão regular de exercício físico e esporte entre a primeira e a segunda avaliação dos indivíduos. Embora isso não tenha sido formalmente controlado no presente estudo, sabe-se que muitos dos primeiros TCPEs foram solicitados pelos médicos assistentes como parte de avaliação pré-participação em exercício com e sem supervisão médica, conforme descrito nos métodos. O que pode sugerir que após a participação em programas de exercício físico regular seja possível obter melhores resultados nesta variável, assim como no  $VO_2\text{max}$ <sup>23</sup>. Estudos futuros poderão tentar identificar as adaptações do POC a diferentes estratégias de treinamento e/ou programas de exercício físico regular.

Além do POC, outras variáveis investigadas em nosso estudo também apresentaram uma boa estabilidade, cabendo destaque para o  $VO_2\text{max}$ , que apresentou um  $r_i = 0,93$  o que é suportado por outras evidências científicas<sup>10,11,24</sup>. Por outro lado, cabe ressaltar que para obtermos o  $VO_2\text{max}$  é necessária realização de um TCPE verdadeiramente máximo, e que, conforme comentado anteriormente, para atingir a exaustão máxima é fundamental que existam níveis muito altos de colaboração e de motivação do avaliado e uma ampla experiência e intenção objetiva por parte do avaliador<sup>25</sup>.

Em relação as outras variáveis, encontramos também valores interessantes para a correlação intraclasse do OUES,  $r_i = 0,90$ . Porém, cabe observar que o OUES descrito por Baba et al. em 1996<sup>7</sup> foi obtido pela curva do equivalente ventilatório de oxigênio no TCPE que não apresentou um comportamento linear, portanto, pode-se questionar se isso realmente representa adequadamente o comportamento fisiológico dessa variável. Em adendo, o OUES pode ser obtido a partir de diversas estratégias ou momentos do TCPE máximo (75%, 90%, 100%), o que dificulta sobremaneira uma efetiva padronização da medida dessa variável<sup>26</sup>.

O  $VE/VCO_2$  *slope* uma variável amplamente utilizada na avaliação de pacientes com insuficiência cardíaca<sup>6,21,27</sup> e com atuais evidências atribuindo um importante valor prognóstico<sup>5,6,27</sup> foi a variável que apresentou a correlação intraclasse mais baixa com um  $r_i$  de apenas 0,74. Isso pode ser provavelmente justificado quando se leva em consideração a natureza fisiológica da variável. Considerando que o  $CO_2$  é um subproduto do metabolismo celular e fortemente dependente da dieta antes da realização do TCPE, logo, leituras muito distintas do  $VCO_2$  podem vir a ocorrer e assim interferir no  $VE/VCO_2$  *slope*. Isso foi elegantemente demonstrado por Hugson et al.<sup>28</sup> que verificaram, em um grupo de voluntárias submetidas a exercício constante, que uma dieta pobre em carboidrato gerava maiores valores de  $VE/VCO_2$  do que uma dieta rica em carboidratos. Outro ponto a destacar é que estes autores não observaram diferenças no  $VO_2$  e na VE nas mesmas condições e assim, conseqüentemente, não houve diferença para o  $VE/VO_2$ .

O POC como definido por Ramos et al.<sup>9</sup> apresenta algumas vantagens quando comparado a algumas das variáveis ou índices ventilatórios investigados por outros autores, sendo a principal delas, o momento de obtenção da variável que é realizada em nível relativamente baixo de intensidade do exercício e bem antes do LA, portanto em uma intensidade muito baixa de esforço, em geral algo como 3 a 4 equivalentes metabólicos (METs)<sup>9</sup>, e equivalente ao andar ou andar rápido, sem portanto requerer um TCPE máximo. Além disso, sua determinação não depende da interpretação do avaliador, já que é obtida pela simples identificação da menor razão numérica entre os valores VE e o  $VO_2$  para cada minuto do TCPE. O POC, um índice adimen-

sional e simples de expressar e comparar e, com base nos achados desse estudo, uma medida bastante estável e com magnitude de variação entre avaliações relativamente baixa, permitindo sua utilização e as interpretações fisiológica e clínica e a incorporação no arsenal de medidas a serem analisadas e obtidas durante um TCPE.

A avaliação do POC pode ser um bom indicativo da relação ventilação-perfusão, uma vez que esta variável, na prática, corresponde ao momento durante o exercício incremental em que há a menor ventilação (VE) para que seja consumido um litro de oxigênio<sup>9</sup>. Em algumas doenças, como a vasculite pulmonar, a doença pulmonar obstrutiva crônica e a insuficiência cardíaca congestiva podemos encontrar maiores valores para o POC, dados estes elegantemente demonstrados por Wasserman et al.<sup>29</sup>, muito provavelmente por uma possível alteração na relação ventilação-perfusão que tende a se encontrar prejudicada nas doenças supracitadas. Ademais, a variação dos resultados encontrado para o POC poderão ser diretamente relacionados à severidade da doença<sup>29</sup>.

Apesar de todos os cuidados metodológicos envolvidos neste estudo, podemos pontuar algumas possíveis limitações, como, por exemplo, verificar a estabilidade da medida apenas para testes realizados em cicloergômetros de membros inferiores e, principalmente, o fato de não controlarmos o nível de exercício praticado entre as avaliações pelos indivíduos selecionados, o que pode ter contribuído para encontrarmos diferenças em algumas variáveis na avaliação e na reavaliação.

## CONCLUSÃO

Em condições operacionais e clínicas devidamente controladas o POC é um índice ventilatório com boa estabilidade em TCPEs máximos realizados em indivíduos adultos, com níveis de estabilidade similar ou superior de outras variáveis ou índices consagrados na literatura, tais como o  $VO_{2max}$  e o  $VE/VCO_2$  slope, corroborando, desta forma, seu potencial de utilização em pesquisas fisiológicas e na prática clínica.

## REFERÊNCIAS

1. 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 Jul 13;122(2):191-225.
2. Cahalin LP, Chase P, Arena R, Myers J, Bensimhon D, Peberdy MA, et al. A meta-analysis of the prognostic significance of cardiopulmonary exercise testing in patients with heart failure. *Heart Fail Rev*. 2013 Jan;18(1):79-94.
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 Mar 14;346(11):793-801.
4. Whipp BJ, Ward SA. The physiological basis of the 'anaerobic threshold' and implications for clinical cardiopulmonary exercise testing. *Anaesthesia*. 2011 Nov;66(11):1048-9; author reply 9-50.
5. Brunelli A, Belardinelli R, Pompili C, Xiume F, Refai M, Salati M, et al. Minute ventilation-to-carbon dioxide output ( $VE/VCO_2$ ) slope is the strongest predictor of respiratory complications and death after pulmonary resection. *Ann Thorac Surg*. 2012 Jun;93(6):1802-6.
6. Poggio R, Arazi HC, Giorgi M, Miriuka SG. Prediction of severe cardiovascular events by  $VE/VCO_2$  slope versus peak  $VO_2$  in systolic heart failure: a meta-analysis of the published literature. *Am Heart J*. 2010 Dec;160(6):1004-14.
7. 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 Nov 15;28(6):1567-72.



8. Baba R, Nagashima M, Goto M, Nagano Y, Yokota M, Tauchi N, et al. Oxygen intake efficiency slope: a new index of cardiorespiratory functional reserve derived from the relationship between oxygen consumption and minute ventilation during incremental exercise. *Nagoya J Med Sci.* 1996 Mar;59(1-2):55-62.
9. Ramos PS, Ricardo DR, Araujo CG. Cardiorespiratory optimal point: a submaximal variable of the cardiopulmonary exercise testing. *Arq Bras Cardiol.* 2012 Nov;99(5):988-96.
10. Bensimhon DR, Leifer ES, Ellis SJ, Fleg JL, Keteyian SJ, Pina IL, et al. Reproducibility of peak oxygen uptake and other cardiopulmonary exercise testing parameters in patients with heart failure (from the Heart Failure and A Controlled Trial Investigating Outcomes of exercise training). *Am J Cardiol.* 2008 Sep 15;102(6):712-7.
11. Meyer K, Westbrook S, Schwaibold M, Hajric R, Peters K, Roskamm H. Short-term reproducibility of cardiopulmonary measurements during exercise testing in patients with severe chronic heart failure. *Am Heart J.* 1997 Jul;134(1):20-6.
12. Van Laethem C, De Sutter J, Peersman W, Calders P. Intratest reliability and test-retest reproducibility of the oxygen uptake efficiency slope in healthy participants. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2009 Aug;16(4):493-8.
13. Phypers BJ, Robiony-Rogers D, Pickering RM, Garden AL. Test-retest reliability of the oxygen uptake efficiency slope in surgical patients. *Anaesthesia.* 2011 Aug;66(8):659-66.
14. Guimaraes GV, Carvalho VO, Bocchi EA. Reproducibility of the self-controlled six-minute walking test in heart failure patients. *Clinics (Sao Paulo).* 2008 Apr;63(2):201-6.
15. Kothmann E, Danjoux G, Owen SJ, Parry A, Turley AJ, Batterham AM. Reliability of the anaerobic threshold in cardiopulmonary exercise testing of patients with abdominal aortic aneurysms. *Anaesthesia.* 2009 Jan;64(1):9-13.
16. Oliveira RB, Myers J, Araujo CG. Long-term stability of the oxygen pulse curve during maximal exercise. *Clinics (Sao Paulo).* 2011;66(2):203-9.
17. 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 Jul;44(7):700-6.
18. Cabral-de-Oliveira AC, Ramos PS, Araujo CG. Distance from home to exercise site did not influence the adherence of 796 participants. *Arq Bras Cardiol.* 2012 Jun;98(6):553-8.
19. Ramos PS, Araujo CG. Normotensive individuals with exaggerated exercise blood pressure response have increased cardiac vagal tone. *Arq Bras Cardiol.* 2010 Jul;95(1):85-90.
20. Baba R. The oxygen uptake efficiency slope and its value in the assessment of cardiorespiratory functional reserve. *Congest Heart Fail.* 2000 Sep-Oct;6(5):256-8.
21. Tabet JY, Beauvais F, Thabut G, Tartiere JM, Logeart D, Cohen-Solal A. A critical appraisal of the prognostic value of the VE/VCO<sub>2</sub> slope in chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2003 Aug;10(4):267-72.
22. Guimaraes GV, Silva MS, d'Avila VM, Ferreira SM, Silva CP, Bocchi EA. Peak VO<sub>2</sub> and VE/VCO<sub>2</sub> slope in betablockers era in patients with heart failure: a Brazilian experience. *Arq Bras Cardiol.* 2008 Jul;91(1):39-48.
23. Signorelli GR, Duarte CV, Ramos PS, Araújo CGS. Melhoria da Capacidade Funcional Excede à da Condição Aeróbica: dados de 144 pacientes de programa de exercício. *Rev Bras Cardiol.* 2012;25(4):299-308.
24. Fukuba Y, Takahashi H, Usui S. Reproducibility of VO<sub>2</sub>-VCO<sub>2</sub> relationship during incremental exercise protocol. *J Hum Ergol (Tokyo).* 1994 Dec;23(2):159-64.
25. Araújo CGS. Aprimorando o Teste de Exercício: parte 6 – TE Verdadeiramente Máximo? *Cardiologia do Exercício - DERCAD/SOCERJ.* 2013;56:6-7.
26. 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 Jul;36(1):194-201.
27. Sarullo FM, Fazio G, Brusca I, Fasullo S, Paterna S, Licata P, et al. Cardiopulmonary Exercise Testing in Patients with Chronic Heart Failure: Prognostic Comparison from Peak VO<sub>2</sub> and VE/VCO<sub>2</sub> Slope. *Open Cardiovasc Med J.* 2010;4:127-34.
28. Hughson RL, Kowalchuk JM. Influence of diet on CO<sub>2</sub> production and ventilation in constant-load exercise. *Respir Physiol.* 1981 Nov;46(2):149-60.
29. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. Principles of Exercise Testing and Interpretation. 3rd ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 1999.

**Endereço para Correspondência**

Dr. Claudio Gil S. Araújo  
Clínica de Medicina do Exercício –  
CLINI/MEX (www.clinimex.com.br)  
22031-070 - Rua Siqueira Campos,  
93/101 - Rio de Janeiro - RJ  
cgaraujo@iis.com.br

**Recebido** 31/10/2013  
**Revisado** 11/11/2013  
**Aprovado** 11/11/2013