

Fisioter Bras 2019;20(4):578-91  
<https://doi.org/10.33233/fb.v20i4.2411>

## ATUALIZAÇÃO

### Importância do teste cardiopulmonar para a fisioterapia cardiovascular *Importance of cardiopulmonary testing for cardiovascular physical therapy*

Rafael Santiago Floriano\*, Marco Orsini\*\*, Michel Silva Reis\*\*\*

*\*Grupo de pesquisa em Avaliação e Reabilitação Cardiovascular (GECARE), Departamento de Fisioterapia da Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro/RJ, Programa de Pós-Graduação em Cardiologia/ Instituto do Coração Edson Saad, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro/RJ, \*\*Programa de Mestrado em Ciências Aplicadas em Saúde, Universidade de Vassouras, Universidade Iguazu – UNIG, Programa de Mestrado em Mapeamento Cerebral e Funcionalidade – UFPI, \*\*\*Grupo de pesquisa em Avaliação e Reabilitação Cardiovascular (GECARE), Departamento de Fisioterapia da Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro/RJ, Programa de Mestrado e Doutorado em Educação Física e Cardiologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro/RJ*

Recebido 10 de fevereiro de 2019; aceito em 14 de maio de 2019.

**Correspondência:** Prof. Michel Silva Reis, Grupo de Pesquisa em Avaliação e Reabilitação Cardiorrespiratória (GECARE), Departamento de Fisioterapia da Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco, s/n, 2º andar, Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular, Ilha do Fundão 21941-913 Rio de Janeiro RJ, E-mail: msreis@hucff.ufrj.br; Rafael Santiago Floriano: rafael\_floriano@hotmail.com; Marco Orsini: orsinimarco@hotmail.com

## Resumo

O teste de exercício cardiopulmonar (TECP) é um método não invasivo de avaliação global da integridade dos ajustes fisiológicos no organismo humano durante a execução do exercício físico. Na prática clínica, o TECP tem sido utilizado com as mais diversas finalidades. O profissional capacitado pode utilizá-lo principalmente para avaliar a capacidade funcional dos indivíduos submetidos ao teste, mas também pode ser realizado com a finalidade diagnóstica, prognóstica e principalmente para a reabilitação, na qual a prescrição de exercícios é determinada de forma segura e individualizada. Nos últimos anos este teste tem se tornado uma importante ferramenta para os fisioterapeutas e educadores físicos para a prescrição de exercício físico. Os índices de limitação funcional mais observados são: 1) o consumo de oxigênio pico ( $VO_{2pico}$ ) ou consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ); 2) limiar anaeróbico ventilatório (LAV) em níveis de exercício físico submáximo. Desta forma, o objetivo do nosso trabalho foi disseminar o conhecimento sobre o TECP entre os nossos pares e outros profissionais da saúde. Neste sentido, promovendo a possibilidade de discussão sobre a potencial inserção do TECP nos programas de reabilitação cardíaca ambulatorial de forma precisa e segura, para melhora da capacidade funcional e a qualidade de vida dos pacientes.

**Palavras-chave:** teste de esforço, consumo de oxigênio, desempenho físico funcional, limiar anaeróbico.

## Abstract

The cardiopulmonary exercise test (CPT) is a noninvasive method of evaluating the overall integrity of the physiological adjustments in the human body during the execution of the physical exercise. In clinical practice the TECP has been used for a wide range of purposes. The trained professional can use it mainly to evaluate the functional capacity of the individuals submitted to the test. But it can also be performed for diagnostic purposes, prognosis and mainly for rehabilitation, in which the prescription of exercises is determined in a safe and individualized way. In recent years this test has become an important tool for physiotherapists and physical educators to prescribe physical exercise. The most observed functional limitation indices are: 1) peak oxygen consumption ( $VO_{2peak}$ ) or maximal oxygen consumption ( $VO_{2max}$ ); 2) Ventilatory threshold

(VT) at submaximal physical exercise levels. In this way, the objective of our work was to disseminate the knowledge about CPT among our peers and other health professionals. In this sense, promoting the possibility of discussing the potential insertion of CPT in ambulatory cardiac rehabilitation programs is a precise and safe way to improve functional capacity and quality of life of patients.

**Key-words:** exercise test, oxygen consumption, functional capacity, anaerobic threshold.

## Introdução

O teste cardiopulmonar (TECP) também conhecido como teste de esforço ou teste ergoespirométrico ou cardiorrespiratório é uma metodologia não invasiva de avaliação global da integridade dos ajustes cardiovasculares, respiratórios, musculares periféricos, neurofisiológicos, humorais e hematológicos do organismo humano durante a execução do exercício físico [1-3]. Na prática, a grande utilidade do TECP é a determinação da capacidade funcional [4-6] ou potência aeróbia pela obtenção de dois índices de limitação funcional mais empregados, que são: 1) o consumo do oxigênio no pico do exercício ( $VO_{2pico}$ ); 2) Consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$ ). Além disso, o TECP permite a identificação do limiar anaeróbico ventilatório (LAV) e o ponto de compensação respiratório (PCR) em níveis de exercício físico submáximo ou pico, respectivamente [7]. Embora as indicações deste teste sejam as mais variadas e crescentes [2-5], a sua aplicação tem sido realizada em algumas manifestações clínicas não explicadas totalmente pelos dados da anamnese, exame físico, exames de imagem, teste de função pulmonar e eletrocardiografia convencional, como o exemplo na constatação e avaliação do fator etiológico, assim como o grau de intolerância ao esforço [2,4,5,8]. É válido salientar que atletas, indivíduos saudáveis e pacientes têm se beneficiado do TECP independente da finalidade para que o teste seja realizado [2,4,5]. No entanto, para a Fisioterapia Cardiovascular, este teste possui uma finalidade peculiar quando se trata da prescrição individualizada de exercícios físicos [2,3] e grande valia no processo de reabilitação. A determinação da capacidade funcional, através do TECP, traz informações precisas da capacidade de transporte e utilização do oxigênio, isto é, da capacidade dos pulmões e do sistema cardiovascular, muscular e metabólico, combinados para tentar garantir a homeostase durante o exercício [2].

A utilização do TECP tem natureza limitada, por exigir um local em condições e com características apropriadas (laboratório próprio, refrigerado com a temperatura entre 22 e 24°C e com a umidade relativa do ar entre 50 e 70%), equipamentos caros e complexos, equipe de pelo menos três profissionais bem capacitados para a realização deste teste [2,3,8]. Hoje, o TECP ainda é considerado a melhor alternativa disponível, denominado, ainda nos dias atuais, como o padrão ouro [2,3,9]. Existem condições necessárias para a realização do teste e estas devem ser seguidas para que seja possível sua boa execução [1]. Um bom ambiente para a realização deste teste preza por uma sala de exames que deverá conter espaço suficientemente amplo para acomodar todo o equipamento necessário à realização dos testes, além de todo o material a ser usado durante eventuais emergências médicas, como uma maleta ou carrinho pequeno com medicações e equipamento para possível ressuscitação elétrica cardíaca. No ambiente de testes é necessário um suporte de emergência calibrado e testado previamente a realização dos testes (contendo: desfibrilador, ambu, oxigênio e medicamentos), que devem estar à disposição para o rápido manuseio, caso seja necessário [3].

Sendo assim, essas exigências restringem a realização somente do teste máximo [10] por outros profissionais da área de saúde não médicos, todavia estes mesmos profissionais de saúde não médicos (fisioterapeutas e educadores físicos) poderão utilizar esta importante ferramenta para subsidiar a prescrição do exercício físico. A área livre da sala deve permitir no máximo a circulação de três pessoas, para que não sature demais o ar daquele ambiente com dióxido de carbono [2].

## Ergômetros

Os ergômetros utilizados na execução do TECP devem ser, preferencialmente, eletrônicos ou eletromagnéticos e dispor de interface de comunicação com o computador central, através de saída analógica ou digital, para onde deverão ser enviados os dados de velocidade, inclinação, ciclos, sinais vitais, assim como as variáveis ventilatórias e metabólicas e recebidos os comandos de variação de carga. Como dito anteriormente, existem alguns tipos de ergômetros para a realização do TECP, como a cicloergômetro, esteira rolante, escada, ergômetro de membros superiores e remoergômetro [2]. Os dois mais comumente utilizados são

o cicloergômetro e a esteira rolante [2,9], todavia devemos salientar que a escolha do ergômetro deve ser feita através da atividade que o indivíduo que será submetido ao teste tenha mais familiaridade.

É fundamental que os ergômetros também disponibilizem: 1) controle manual ou automático, através de comando próprio ou de interface com um computador (no caso de sistema de ergometria computadorizado); 2) programação, através do comando da esteira ou do computador (no caso de sistema de ergometria computado), de protocolos em rampa com indicação da velocidade inicial e final, inclinação inicial e final, tempo de exame, sexo do paciente, coeficiente de aumento de carga e consumo em METs previsto [3]. As esteiras ergométricas devem ser equipadas com chave de desligamento de emergência, devendo a mesma ser de fácil acesso tanto para o operador quanto para o paciente. Para maior segurança é fundamental o equipamento possuir chaves de desligamento automático. Essas chaves ficam conectadas ao paciente por um pequeno cabo, que desliga o sistema caso o mesmo se afaste demasiadamente do braço frontal da esteira, sofra uma queda ou não consiga vencer a velocidade imposta pelo protocolo escolhido, além de ser útil em caso de ocorrer algum mal súbito que determine a imediata parada da esteira.

Já os cicloergômetros podem ser uma alternativa à esteira quando se realiza o exame em pacientes com limitações ortopédicas, neurológicas ou vasculares periféricas. Além disto, a qualidade do traçado eletrocardiográfico e a medida da pressão arterial tendem a ser melhores do que na esteira [2]. O cicloergômetro utilizado deverá apresentar a capacidade de incrementos no trabalho, seja de forma automática ou manual, deverá apresentar guidom e selim ajustáveis de acordo com a altura do paciente; além disso, quanto mais confortável for melhor para o indivíduo realizar o teste, já que uma das maiores queixas durante o teste é a dor provocada pelo selim.

No entanto, torna-se importante ressaltar que as respostas fisiológicas e o estresse metabólico ao exercício em cicloergômetros diferem daqueles do exercício em esteira [2,3]. Adicionalmente, os ergômetros possuem vantagens e limitações que possam comprometer a interpretação desejada dos testes. Neste sentido, antes da realização do exame, há necessidade de se ter claro os objetivos para a sua execução.

#### *Analizador de gases*

O aparelho para a medida da ventilação deverá ter acurácia suficiente para medidas de diferentes volumes e velocidades de fluxos e baixa resistência e inércia. Além disso, é desejável que o aparelho permita sua conexão ao computador para maior facilidade da correlação dos dados obtidos. A medida da ventilação durante o exercício requer que o indivíduo testado tenha suas narinas fechadas por um clipe nasal e que o bucal não permita qualquer escape de ar [2]. Atualmente são utilizadas máscaras de um tecido conhecido como neoprene que engloba tanto o nariz quanto a boca (material usado em nosso trabalho), sendo neste segundo caso desnecessário a utilização de clipe nasal, porém a vedação dessa interface deve ser suficientemente justa no contorno da face (Figura 1 e Figura 2), vedando de tal forma que não haja, em hipótese alguma, escape de ar durante a realização do teste. Por este motivo que indivíduos de barba deverão ser submetidos a tricotomia, enquanto os que tiverem somente bigode poderão realizar o teste normalmente. O espaço morto do equipamento também é importante (máximo =100 ml) [2]. Atualmente, com os dispositivos mais modernos a análise de gases é realizada *on-line*. Vários tipos de fluxômetro podem ser utilizados: transdutores de massa, pneumotacômetros de Fleish ou de Pitot [1,2,3,9] e anemômetro. Esses sistemas permitem medidas de trocas gasosas a cada ciclo respiratório [4] (respiração por respiração - do inglês *breath-by-breath*).

Como os sistemas disponíveis apresentam diferentes especificações para a realização da calibração dos gases, deve-se sempre seguir o protocolo de calibração indicado no manual do equipamento [1-3]. Para garantir a exatidão dos valores medidos, o analisador deve prover meios de executar sua calibração tanto por meios automáticos quanto por meio de misturas de gases para a calibração [2]. Para prevenir a contaminação entre os pacientes, as peças que entram em contato com os pacientes devem ser descartáveis ou serem adequadamente preparadas, com a utilização de soluções enzimáticas desinfetantes.



incrementação (8-12 min.); 4) um período de recuperação ativa na carga próxima ao zero (3-6 min.) para que o indivíduo recupere seus níveis pressóricos diastólicos gradativamente para que não ocorra uma síncope por baixo débito; e, 5) um período de recuperação passiva em repouso final (2-3 min.). Neste sentido, embora a estimativa da carga de incremento durante o protocolo de rampa (com duração entre 8-12 min) [2,4,9] possa ser realizada pela fórmula proposta pelo *American College Sport of Medicine (ACSM)*, em 1980, carga (watts) = [(altura-idade)\*12] – [(150+6\*peso)]/100. Torna-se importante ressaltar que tal proposição se aplica de forma mais adequada a indivíduos saudáveis e ativos, sugerindo que a incrementação por meio da dedução da carga a partir da capacidade funcional relatada, somada a sensibilidade dos avaliadores, tem se mostrado mais adequada para exames em indivíduos sedentários e com disfunções.

### *Variáveis do TECP*

Durante o TECP serão fornecidas algumas variáveis como a carga ou potência (cicloergômetro), em que a potência do cicloergômetro representa a quantidade de trabalho (força aplicada x à distância) que é realizada num dado período de tempo. A potência geralmente é expressa em Watts (1 W=1 J/s) ou (1 W=6,12 kpm/min – kilopondsmetro por minuto). Vale ressaltar que a velocidade (km/h) é a medida utilizada como a potência na esteira rolante. Valores bastante diferentes podem ser obtidos num mesmo indivíduo, caso se usem incrementos mais rápidos (geralmente valores de incremento de cargas maiores) ou mais lentos (incrementos de cargas com menores valores).

### **Principais parâmetros obtidos no TECP**

#### *Consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>)*

Constitui o volume de O<sub>2</sub> extraído do ar inspirado pela ventilação pulmonar num determinado período de tempo, para em seguida ser difundido, perfundido e extraído do sangue pelos músculos para ser utilizado. Calculado, portanto, como a diferença entre o volume de O<sub>2</sub> inspirado e expirado (Figura 3). É uma das variáveis mais importantes do TECP [1,3,9].

Em protocolo de carga constante, após considerarmos o tempo de atraso músculo-pulmão [2] (carga incremental), o VO<sub>2</sub> pode ser uma estimativa confiável da taxa periférica de troca de O<sub>2</sub>. Expresso em ml/min ou L/min (STPD); correções para a massa corporal total devem ser interpretadas com cautela, principalmente nos indivíduos em sobrepeso. E, como seria de se esperar, o VO<sub>2</sub> depende da intensidade do exercício realizado [1,2] e da quantidade de massa muscular que um determinado indivíduo possua (massa magra).

O VO<sub>2</sub> pode ser analisado através de duas unidades de medidas, em valores absolutos (L/min) e também pode ser expresso em valores relativos (ml/kg/min). Durante o TECP, o voluntário pode alcançar o VO<sub>2máx</sub>, que seria o consumo máximo de oxigênio alcançado, mesmo que a carga de trabalho continue sendo aumentada. Podemos afirmar que um indivíduo alcançou o VO<sub>2máx</sub> [10] quando: 1) Ocorre um platô na curva do VO<sub>2</sub> (aumento ≤ 150 ml/min-1 ou 2 ml/kg1min<sup>-1</sup>); 2) Quando o quociente respiratório (R) ≥ 1,15 FCMax ≥ 90% da prevista pela idade (220-idade [10]); 3) Quando o índice de percepção de esforço ≥ 18 (Escala de BORG [11]) e fadiga voluntária máxima com incapacidade de manutenção do ritmo preestabelecido. É importante salientar que o VO<sub>2máx</sub> pode ser atingido mesmo que não apareça o platô na curva do VO<sub>2</sub>, pois este momento pode corresponder ao início da formação do platô. Nos casos de pacientes que tenham uma ou mais engrenagens do metabolismo (pulmão, coração, cérebro e músculos) comprometidos, o maior valor obtido no final de um exercício exaustivo é caracterizado como VO<sub>2pico</sub>. O VO<sub>2pico</sub> reflete a capacidade de uma pessoa absorver, transportar e consumir O<sub>2</sub> até ser interrompido por algum fator limitante, que pode ser o sedentarismo ou até mesmo estados fisiopatológicos (ex. DPOC, IC e doenças musculares periféricas). Esta limitação não permitirá que o indivíduo alcance o seu VO<sub>2máx</sub>. Na prática clínica os voluntários destreinados e sedentários geralmente também não alcançam o VO<sub>2máx</sub> e por conta disto utilizam o VO<sub>2pico</sub> como parâmetro para a finalidade que o avaliador necessite. O VO<sub>2máx</sub> ou pico é influenciado por alguns fatores como: idade, peso, herança genética, condicionamento físico, altura, treinamento, etnia. O VO<sub>2pico</sub> interpretado como anormal quando estiver abaixo de 15% do valor predito, ou seja, quando for 85% do predito [12]. É considerado o marcador padrão ouro na literatura [9,13-15] e por ter a capacidade de demonstrar a gravidade de doenças como cardiopatias [16] (IC, miocardiopatia hipertrófica) e pneumopatias (hipertensão pulmonar, DPOC

e doença pulmonar restritiva), assim como pode inferir o nível de aptidão física [9,13-15,17]. O  $VO_2$  medido no primeiro limiar ventilatório (LA) é determinado pelo momento em que passa a haver um aumento não linear da ventilação pulmonar (VE) em relação ao  $VO_2$  (logo após o 1ºLA).

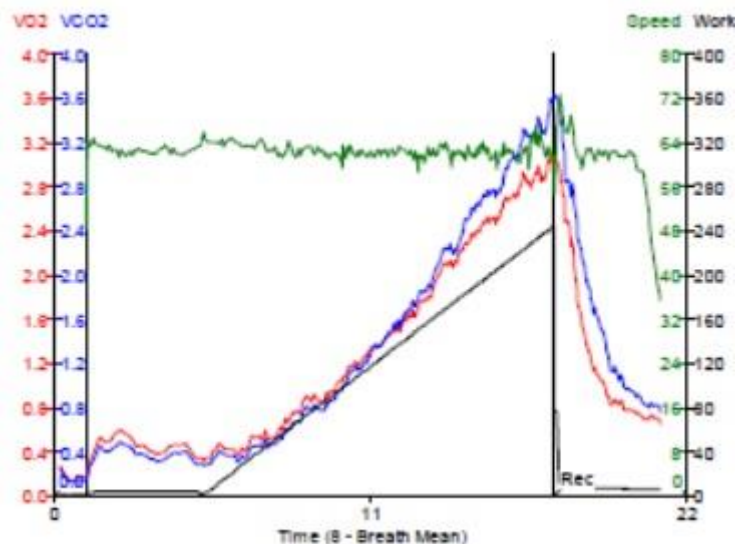
Gráficos		Tabela		Ergoespirometria						
	Tempo min	FC bpm	VE l/min	VO <sub>2</sub> ml(kg.min)	VCO <sub>2</sub> ml(kg.min)	R	VE/VO <sub>2</sub>	VE/VCO <sub>2</sub>	pO <sub>2</sub> mmHg	
1	00:04	100	14,83	8,08	8,63	1,07	23,8	22,3	5,9	
2	00:14	91	14,81	9,32	8,49	0,91	21,8	23,9	7,5	
3	00:24	93	15,35	11,23	9,45	0,84	18,7	22,2	8,8	
4	00:35	92	18,59	14,52	11,51	0,79	17,5	22,1	11,5	
5	00:45	94	15,30	10,82	9,86	0,91	19,4	21,3	8,4	
6	00:55	96	17,81	12,74	10,82	0,85	19,2	22,5	9,7	
7	01:05	97	16,38	10,96	10,27	0,94	20,5	21,8	8,2	
8	01:15	99	16,33	10,96	10,14	0,92	20,4	22,1	8,1	
9	01:25	95	17,12	11,92	10,82	0,91	19,7	21,7	9,2	
10	01:35	97	17,02	11,37	10,82	0,95	20,5	21,5	8,6	
11	01:45	100	18,59	12,74	12,05	0,95	20,0	21,1	9,3	
12	01:55	101	17,17	11,64	11,23	0,96	20,2	20,9	8,4	
13	02:05	104	18,93	14,66	11,78	0,80	17,7	22,0	10,3	

VE:	21,0	l/min	R:	0,90	FeCO <sub>2</sub> :	4,8	%	VExVCO <sub>2</sub> Slope = 18,27
VO <sub>2</sub> :	15,21	ml(kg.min)	VO <sub>2</sub> :	4,34	METS	FeO <sub>2</sub> :	15,6	%
VCO <sub>2</sub> :	13,70	ml(kg.min)	O <sub>2</sub> /FC:	9,5	ml/b			QUES = 2,78,83

Figura 3 - Variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas obtidas durante o teste cardiopulmonar com protocolo do tipo rampa em cicloergômetro (foto do autor).

Logo, a inclinação da relação linear entre o  $VO_2$  e a potência ( $\Delta VO_2/\Delta W$ ) oferece importantes informações relativas à capacidade em suprir, através de vias predominantemente aeróbias, as demandas metabólicas (Figura 4).



Potência (preto), Cadência da pedalada (verde); Consumo de O<sub>2</sub> (vermelho) e Produção de CO<sub>2</sub> (azul)

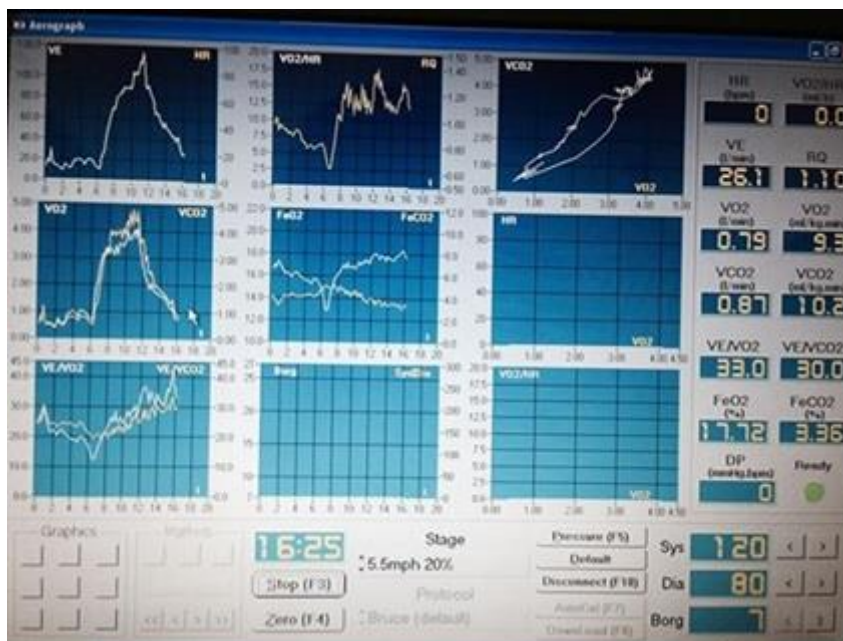
Figura 4 - Variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas obtidas durante o teste cardiopulmonar com protocolo do tipo rampa.

### Produção de dióxido de carbono ( $VCO_2$ )

A  $VCO_2$  pode ser definida como o volume de  $CO_2$  adicionado ao ar inspirado pela ventilação pulmonar num dado período de tempo, calculado, portanto, como a diferença entre o volume de  $CO_2$  expirado e inspirado. No exercício de carga constante, após considerarmos o tempo de atraso músculo-pulmão (carga incremental), o  $VCO_2$  pode ser uma estimativa confiável da taxa periférica de troca de  $CO_2$  ( $QCO_2$ ) [1,2]; no entanto, o  $CO_2$  é cerca de 20 vezes mais difusível que o  $O_2$  (ou seja, tem vastos depósitos corporais), uma dada mudança na  $QCO_2$  demora mais tempo de ser refletida na  $VCO_2$  do que variações na  $QO_2$  modificam o  $VO_2$ . O  $VCO_2$ , tanto no exercício máximo como no submáximo, apresentam escassa importância prática. Podemos ver algumas dessas variáveis diretamente na tela do programa do analisador de gases (Figura 5).

### Quociente respiratório (RQ ou R)

A taxa de troca gasosa (R) ou quociente respiratório reflete a razão entre a liberação de  $CO_2$  e a captação de  $O_2$  pulmonares medidos no ar expirado ( $VCO_2/VO_2$ ). Embora o R tenha sido tradicionalmente utilizado como um indicador de exercício máximo ( $R_{máx} > 1.15$  ou  $1.20$ ), deve-se também analisar criticamente este conceito, considerando que quanto mais rápida for a incrementação para a aptidão de um indivíduo ou maior for a utilização de carboidrato, o R será substancialmente maior. Entretanto, os valores de R ao repouso tem significativa importância na identificação de hiperventilação voluntária ( $R > 0,9$  no repouso, na ausência de hipoxemia); nenhum TECP deve iniciar em tais condições [2,3].

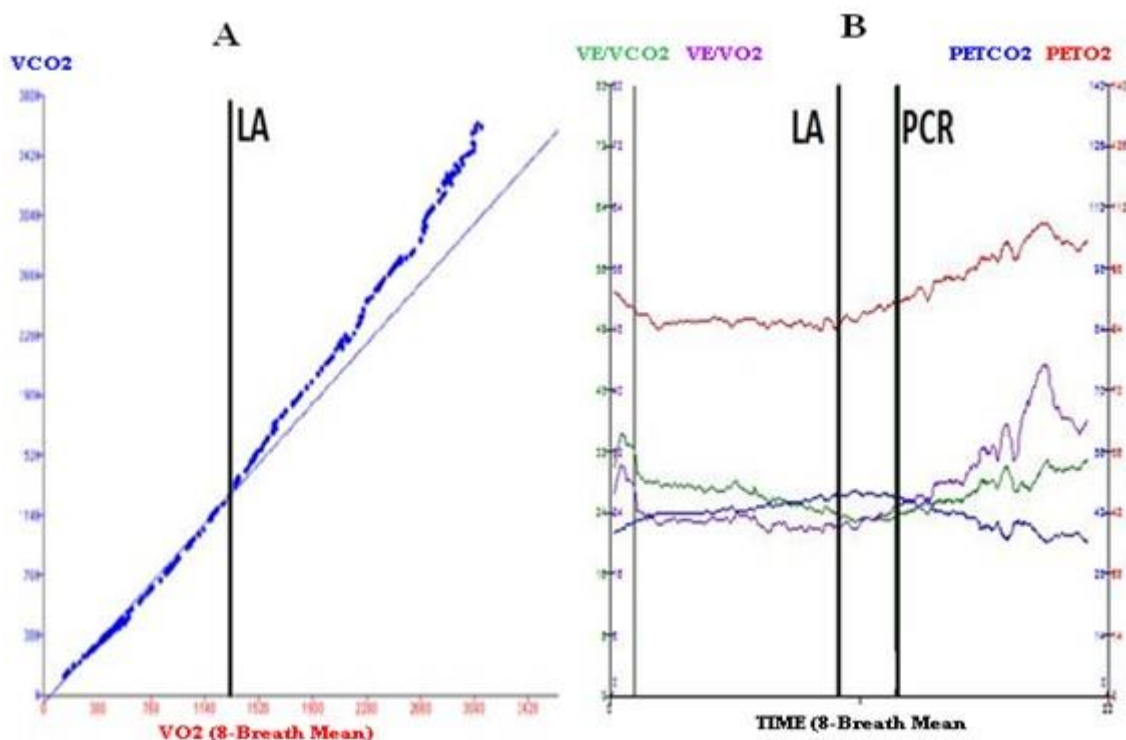


**Figura 5** - Tela do programa (aerograph®) utilizado em nosso trabalho com as variáveis cardiorrespiratórias e metabólicas obtidas durante o teste cardiopulmonar com protocolo do tipo rampa em cicloergômetro.

### Limiar anaeróbico ventilatório (LAV) ou 1º limiar ventilatório

Caracteriza-se por marcar o início do acúmulo sustentando de lactato na corrente sanguínea, comparados aos valores de repouso. É percebido pela perda da linearidade entre a ventilação (VE) e o  $VO_2$  (primeiro ponto de inflexão - Figura 6). Isso se traduz na prática pelo equivalente de oxigênio mais baixo ( $VE/VO_2$ ) antes de seu aumento progressivo ou pelo início do aumento no  $VE/VO_2$  em desproporção ao  $VE/VCO_2$ . Além disso, observa-se o aumento na razão de trocas respiratórias ( $R = VCO_2/VO_2$ ) e um aumento progressivo da pressão expirada de oxigênio ( $PETO_2$ ) [2,3,18]. O LAV também pode ser identificado por intermédio de equações de regressão pelo método computadorizado V-Slope [2,19,20] (técnica que permite a identificação

não invasiva do início da lactacidose durante um teste incremental), devendo este sempre ser comparado àquele observado pela análise visual.



(A) V-slope. VO<sub>2</sub> = consumo de oxigênio, VCO<sub>2</sub> = produção de gás carbônico; (B) Variáveis VE/VO<sub>2</sub> (equivalente ventilatório de oxigênio), VE/CO<sub>2</sub> (equivalente ventilatório de gás carbônico), PETO<sub>2</sub> (pressão expirada de oxigênio) e PETCO<sub>2</sub> (pressão expirada de gás carbônico) plotadas em função do tempo utilizadas. LAV, limiar anaeróbio; PCR, ponto de compensação respiratória. (Adaptado de Reis MS, Quitério RJ. Teste Cardiopulmonar. Sociedade de Cardiologia do Estado de São Paulo, Departamento de Fisioterapia 2015).

**Figura 6 - Determinação dos limiares metabólicos pelo método visual gráfico.**

Diversas metodologias têm sido utilizadas na determinação do LA [21] tais como a análise da lactacidemia, na qual o LAV é determinado pelo ponto onde o acúmulo de ácido láctico no sangue é de 2 mmol/L [22,23], análise das variáveis ventilatórias. Os estudos referem o LAV como ponto onde ocorre um aumento desproporcional da ventilação pulmonar (VE) e da produção de dióxido de carbono (VCO<sub>2</sub>) em relação ao VO<sub>2</sub> pela perda da linearidade do comportamento dessas variáveis, apesar da manutenção da linearidade do VO<sub>2</sub>, pela análise do comportamento da frequência cardíaca (FC) e pelo estudo da eletromiografia [22,24] (EMG).

#### A Potência Circulatória (PC)

É obtida pelo produto da pressão arterial sistólica (PAS) pico pelo VO<sub>2</sub> pico e a Potência Ventilatória (PV), que é PAS pico dividida pelo VE/VCO<sub>2</sub> slope [25,26]. Mais recentemente, Forman *et al.* [27] introduziram e avaliaram o uso de um novo índice obtido por meio da divisão da PA sistólica pico pelo índice VE/VCO<sub>2</sub> slope, sendo denominada como Potência Ventilatória (PV). Ambas têm valor prognóstico na IC. Baixos valores da PC prevê um pior prognóstico da doença [28-30]. De acordo com os autores, um melhor prognóstico é refletido quando a PV apresenta maior valor, ou seja, maior PA e/ou menor VE/VCO<sub>2</sub> slope.

#### Ponto de compensação respiratória (PCR) ou 2° limiar ventilatório

O segundo limiar ventilatório ou ponto de compensação respiratório (PCR) é caracterizado pela perda da linearidade da relação entre a VE e o VCO<sub>2</sub> (VE/VCO<sub>2</sub> mais baixo, antes do aumento progressivo), queda da PETO<sub>2</sub> (PETO<sub>2</sub> mais alta, precedendo sua queda abrupta). Além disso, é o ponto na qual a VE passa a aumentar em desproporção ao aumento no VCO<sub>2</sub> (hiperventilação) [2,3]. Durante o TECP, com o aumento progressivo da carga, a VE progride de maneira numérica até poder alcançar um platô máximo, o qual se caracteriza por



uma grande produção de CO<sub>2</sub>. Esse processo de incremento ventilatório serve como marcador de limitação do esforço.

#### *Ventilação pulmonar (VE)*

O VE é o resultado do produto do volume corrente (VC) pela frequência respiratória (FR). A avaliação isolada destes parâmetros, muitas vezes, pode ser útil. Cabe ressaltar que a FR durante o TECP dificilmente ultrapassa 50 irpm (incursões respiratórias por minuto) [2]. Já o VC, que representa de modo parcial a capacidade de expansibilidade pulmonar, em repouso pode variar de 300 a 600 ml por incursão respiratória por minuto (irpm), podendo aumentar em até 70% da capacidade vital quando o indivíduo é exposto ao esforço. Ainda em relação à ventilação, sabemos que alguns equipamentos fornecem dados da afinidade entre o espaço morto (VD) e o VC. O comportamento normal do chamado VD/VT diminui durante o esforço em indivíduos normais. O incremento poderá significar modificações significativas na relação VE/perfusão pulmonar, devendo o paciente ser observado com maior atenção nessas situações. Quando os indivíduos estão em repouso, geralmente são ventilados de 7 a 9 ml/min. Entretanto, dependendo da necessidade ou da demanda, alguns atletas podem atingir o incrível valor de 200 ml/min no esforço máximo [12]. A ventilação aumenta continuamente até alcançar valores em torno de 50irpm durante o esforço progressivo no TCPE e sofre aumentos adicionais influenciados pelo metabolismo anaeróbico resultante do acúmulo de ácido láctico bem definido no primeiro e segundo limiares.

#### *Pressão expirada de O<sub>2</sub> (PETO<sub>2</sub>) ou fração expirada de O<sub>2</sub> (FEO<sub>2</sub>)*

Diminui transitoriamente logo após o início do exercício, desde que o aumento na VE seja mais lento do que o incremento no VO<sub>2</sub>. Ao ser atingido o LAV, a PETO<sub>2</sub> aumenta 10 a 30 mmHg até se alcançar o esforço máximo. Esse aumento se deve à hiperventilação provocada pela diminuição do pH (acidose metabólica a ser compensada); a FEO<sub>2</sub> tem o mesmo comportamento, diminuindo no início do esforço e atingindo um valor mínimo, aumentando de maneira progressiva com o aumento na carga até o pico do esforço [2].

#### *Pressão expirada de CO<sub>2</sub> (PETCO<sub>2</sub>) ou fração expirada de CO<sub>2</sub> (FECO<sub>2</sub>)*

Na qual o valor ao nível do mar varia de 36 a 42 mmHg e eleva-se 3 a 8 mmHg durante o exercício de intensidade leve a moderada e atinge um valor máximo, quando é caracterizado o PCR e pode em seguida diminuir [2,3]. FECO<sub>2</sub> tem o mesmo comportamento durante exercícios com cargas crescentes.

#### *Pulso de oxigênio - PuO<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>/FC)*

Considerada uma das mais importantes variáveis utilizadas pela ergoespirometria, pois demonstra a quantidade de O<sub>2</sub> que é transportada/consumida a cada sístole cardíaca pela musculatura periférica. Uma diminuição do desempenho do ventrículo esquerdo pode ser detectada pelo TECP, mediante observação da curva do pulso de O<sub>2</sub>. Para entendermos melhor o VO<sub>2</sub>/FC, precisamos recordar da equação de Fick:  $VO_2 = FC \times \text{volume sistólico (VS)} \times \text{diferença arteriovenosa de oxigênio (Dif. A-VO}_2)$ . Considerando que a Dif A-VO<sub>2</sub> em diversas situações clínicas não se altera de forma importante no exercício incremental, o PuO<sub>2</sub> representa o VS e, por este motivo, podemos extrapolar o PuO<sub>2</sub> como o desempenho ventricular esquerdo. Desta forma,  $VO_2 \cong FC \times VS$  ou  $VO_2 / FC \cong VS$ . Pensando com este racional, podemos verificar, em algumas circunstâncias, que a forma da curva do PuO<sub>2</sub> poderá auxiliar no diagnóstico de disfunção ventricular e isquemia miocárdica induzida por esforço importante [9,12,14-16].

#### *Reserva ventilatória (VE/VVM)*

Comumente, a avaliação da limitação ventilatória tem se baseado na reserva ventilatória, ou seja, na razão entre a ventilação máxima de exercício (VE) e a ventilação voluntária máxima (VVM). Representada tradicionalmente pela ventilação máxima alcançada no exercício (V<sub>Emax</sub>) em relação à ventilação máxima voluntária (VVM). A ventilação voluntária máxima (VVM)

normalmente é determinada com o indivíduo em repouso. É considerada o limite da ventilação máxima atingida em condições fisiológicas. Pode ser determinada de forma direta ou indireta (calculada de forma indireta através da fórmula entre o produto do Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo por uma constante – FEV1 ( $FEV1 \times 37,5$ ). Em condições normais, a ventilação no exercício máximo ( $V_{E_{max}}$ ) atinge valores que não ultrapassam 70% da VVM. Uma reserva ventilatória ( $VVM - V_{E_{max}}/VVM$ ) reduzida ou ausente é um dos critérios usados para estabelecer a limitação ventilatória ao exercício. O seu valor normal vai de 20 a 40%, mas considera-se o valor de normalidade acima de 20%. Todavia, tanto em atletas quanto quando se realizam exercícios extenuantes, uma maior fração da reserva ventilatória pode ser utilizada de maneira fisiológica. É útil no diagnóstico diferencial de dispneia relacionado ao mecanismo pulmonar [12].

#### *Relação $\Delta VO_2/\Delta WR$*

É uma variável oriunda do  $VO_2$  (eixo y em mL/min) dividido pela carga de trabalho (eixo x em Watts). Medida somente durante o exercício em cicloergômetro com protocolo do tipo rampa. Esta variável tem utilidade [3] diagnóstica em pacientes com suspeita de isquemia miocárdica com disfunção ventricular esquerda desencadeada pelos esforços. O valor de referência considerado dentro da normalidade em adultos é de 9 mL/min/W (sendo aceito como limite inferior o valor de 8,6 mL/min/W).

#### *A inclinação da eficiência da captação do oxigênio – oxygen uptake efficiency slope (OUES)*

A eficiência ventilatória no consumo de oxigênio (OUES em inglês) vem firmando sua utilidade na estratificação de risco a partir do TECP. Trata-se de uma variável dependente da análise logarítmica entre o  $VO_2$  e a VE, de grande valor prognóstico, independentemente da realização de um esforço máximo ou não. O valor de corte para normalidade é  $\geq 1.400$  mL/min, embora exista fórmula de predição baseada na idade, gênero e superfície corporal, ou seja, quanto mais íngreme essa relação maior seria a eficiência pulmonar na captação de oxigênio [25]. Foi devidamente estudada e é medida pela relação entre o  $VO_2$  e o logaritmo na base 10 da VE. O OUES consegue informar sobre a gravidade dos pacientes com IC [14]. Assim como o  $VE/VCO_2$  slope, não requer que o teste seja máximo para sua obtenção [32].

Nesse sentido, podemos utilizar teste de exercícios físicos denominado de exercício máximo, no qual será observado pelo menos um dos critérios [3]. Para os exercícios considerados submáximos, o parâmetro de avaliação é o percentual de oitenta e cinco por cento da  $FC_{máx}$ , como limite máximo em que a FC poderá chegar durante a execução do exercício [2]. Como por exemplo: 1) TC6M [31,32]; 2) Teste de degrau de seis minutos (TD6M) [32-34]; 3) SWT [35-38]. Por outro lado, os testes de exercícios considerados máximo seriam: o teste de exercício cardiopulmonar (TECP), considerado amplamente na literatura como o padrão ouro [2,8,9]. Uma observação relevante sobre o SWT, é que dependendo da intensidade alcançada durante a realização do teste, este poderá ser considerado um teste de exercício máximo [37].

TECP máximo ou sintoma-limitado está associado ao sistema de ergometria e será realizado com objetivo de avaliar a capacidade funcional [39] dos indivíduos submetidos ao teste [3]. Existem alguns tipos de ergômetros para a realização do TECP, como a bicicleta, esteira, escada, ergômetro de membros superiores e caiaque [2].

O exercício físico desencadeia ajustes complexos e imediatos nos sistemas: cardiovascular, ventilatório, no metabólico e em sintomas subjetivos [6], a fim de manter o melhor funcionamento dos órgãos e sistemas dessa maquinaria praticamente perfeita que é o corpo humano. A integração harmônica desses ajustamentos [40] mostra que o nosso organismo está sempre tentando compensar situações adversas da forma mais eficiente possível e com o menor dispêndio energético [2]. Desta forma é possível inferir que o exercício físico não é tão simples quanto parece. Principalmente quando são analisadas as repercussões sofridas pelo corpo e suas compensações, através de um aparato tecnológico que permite observar importantes marcadores e variáveis que irão fornecer informações valiosas para o melhor entendimento dessa máquina complexa.

Durante os testes ergoespirométricos, é impossível a comunicação verbal do paciente com o avaliador [9], pois isso acarretaria em alterações nos gases respirados, sendo assim e por conveniência foi criada uma escala de percepção subjetiva do esforço ou dispneia, que determina a taxa de esforço percebido. Também conhecida como escala de BORG [11]; onde um pôster com as escrituras desta escala (0-20) é utilizada para a indicação manual da sensação subjetiva

de cansaço [11]. No entanto, a taxa de esforço percebido pode ainda ser avaliada através da escala de BORG modificada, *category-ratio* (CR-10), mais concisa (0 – 10) e parece ser mais pragmática e objetiva. Essa ferramenta utilizada na ergoespirometria deverá ser explicada ao paciente antes do início do teste. Poderá ser aplicada antes, durante e depois do TECP. É imprescindível que a escala de BORG esteja legível, no campo visual e ao alcance das mãos do paciente durante o teste, pois assim ele poderá apontar o nível de cansaço com mais facilidade durante a realização do exame (Figura 7).

0	Nenhuma
0,5	Muito, muito leve
1	Muito leve
2	Leve
3	Moderada
4	Pouco intensa
5	Intensa
6	
7	Muito intensa
8	
9	Muito, muito intensa
10	Máxima

(Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales. Humankinetics, 1998.modificada CR-10).

**Figura 7 - Escala de BORG modificada.**

#### *Equações de predição*

Conforme discutido anteriormente, o padrão ouro para avaliação da capacidade cardiorrespiratória é a medida do  $VO_2$  pelo TECP. Quando tais medidas não são acessíveis, alguns procedimentos indiretos como as fórmulas de predição têm sido utilizados para calculá-los. Estas equações de predição são aceitas no cotidiano e validadas pelas correlações existentes entre o  $VO_2$  medido no TECP como estimado através de equações ou testes de desempenho [41]. O método padrão ouro será sempre a primeira escolha, mas a decisão entre usar teste máximo (TECP) ou a fórmula de predição (método indireto) dependerá das disponibilidades inerentes à realização deste exame, como disponibilidade de equipamento ou pessoal treinado apto para realizar o procedimento, além é claro, do indivíduo a ser avaliado.

O TECP proporciona uma determinação mais fidedigna; entretanto, como é sabido, é mais dispendioso, necessita de equipe especializada e tende a ser mais demorado [2]. Em vista disso, a medida direta do  $VO_2$  normalmente é reservada para a pesquisa, para uso no treinamento desportivo ou é utilizada em ambiente clínico específico [1,3]. Outro método utilizado e considerado o mais próximo do TECP seria a estimativa do  $VO_2$  por intensidade de esforço, que tem como desvantagem conduzir o indivíduo até a exaustão máxima com controle limitado das variáveis ventilatórias e metabólicas que possam garantir maior segurança.

O teste de esforço máximo, quando comparado ao teste de esforço submáximo, tem grande valor e utilidade clínica para o diagnóstico de cardiopatia isquêmica em indivíduos assintomáticos [2]. Em alguns cenários o teste de esforço (ergometria) pode não ser usado para avaliação da capacidade cardiorrespiratória máxima [2,3]. Nesse caso, foram desenvolvidos testes de esforço submáximo com o objetivo básico de estimar a relação entre a resposta da frequência cardíaca de um indivíduo e seu  $VO_2$  durante o exercício progressivo e usá-lo para prever o  $VO_{2máx}$ .

Para determinar com exatidão esta relação, é preciso medir a frequência cardíaca e o  $VO_2$  pelo menos duas ou mais intensidades de esforço submáximo [2]. É um método mais prático quando comparado ao TECP, relativamente simples, menos dispendioso, mais célere e de baixo risco [1], embora não tenha a mesma precisão que o padrão ouro [9].

A escolha mais corriqueira do ergômetro para este teste submáximo tem sido o cicloergômetro, apesar disso alguns locais realizam este tipo de teste utilizando também a esteira rolante [2], provavelmente pela semelhança biomecânica entre a marcha e a atividade física realizada na esteira para este tipo de teste. Mas o cicloergômetro tem a vantagem de ser mais preciso em relação à carga oferecida ao indivíduo, ocupa menos espaço no ambiente de testes e mantém os sinais vitais coletados durante o teste com maior estabilidade [2]. Nos testes submáximos realizados em esteira rolante, geralmente terminam com a frequência cardíaca, em regra, 85% da frequência cardíaca máxima prevista ( $[FC\text{ máxima} - FC\text{ em repouso}] \times [0,85] + FC\text{ repouso}$ ), determinada previamente ao início do teste [2].

Os protocolos de Bruce e Ellestad são os mais frequentemente utilizados com ergômetros como esteira rolante [42]. No protocolo de Bruce se preconizam incrementos da carga de forma progressiva a cada três minutos (protocolo de rampa), de modo que, a cada minuto, corresponda ao incremento de 1 MET. Se um indivíduo atingiu 10 minutos no protocolo de Bruce, podemos inferir que atingiu 10 METS ou 35 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>. Já no protocolo de Ellestad, preconiza-se aumentos maiores de velocidade a cada 2 minutos, além disso é utilizado a inclinação fixa até o oitavo minuto e, a partir desse ponto, passa inclinar-se 15%.

## Conclusão

Este estudo foi desenvolvido e realizado com o intuito de facilitar o entendimento do TECP e suas mais diversas formas de utilização e fins propostos. Conquanto, esta ferramenta tem grande valia e sensibilidade na área de treinamento e reabilitação. Utilizando este recurso de forma preventiva, estaremos voltando a nossa atenção para a área de treinamento físico, na qual os resultados acurados do TECP serão utilizados de forma precisa e mais célere. Todavia, poderemos utilizar este teste no tratamento de diversas cardiopatias. Neste contexto, o trabalho de reabilitação será mais seguro e encorajador.

## Referências

1. Powers SK, Howley ET. Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2000.
2. Neder JÁ, Nery LE. Fisiologia clínica do exercício: teoria e prática. São Paulo: Artmed; 2003.
3. Wasserman K, Hansen JE, Sue D, Whipp BJ, Casaburi R. Principles of exercise testing and interpretation. 3ª ed. Philadelphia: Williams & Wilkins; 1999.
4. 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 Society. *Circulation* 2010;(122):191-225.
5. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (7th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
6. Neder JÁ, Nery LE. O teste de exercício cardiopulmonar. *J Pneumol* 2002;28(3):166-206.
7. Thompson PD, Arena R, Riebe D, Pescatello LS. ACSM's new pre participation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. *Curr Sports Med Reports* 2013;12(4):215-7.  
<https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31829a68cf>
8. Stein R. Teste cardiopulmonar de exercício: noções básicas sobre o tema. *Rev Soc Cardiol Rio Grand Sul* 2006;9(1-4).
9. Meneghelo RS, Costa RV. III Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre teste ergométrico. *Arq Bras Cardiol* 2010;95(5):1-26.
10. Karvonen JJ, Kcntala E, Mustala O. The effect of training on the heart rate, a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* 1957;35(3):307-15.
11. Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics*, 1998.
12. Herdy AH, Uhnlerdorf D. Reference values for cardiopulmonary exercise testing for sedentary and active men and women. *Arq Bras Cardiol* 2011;96(1):54-9.  
<https://doi.org/10.1590/s0066-782x2010005000155>
13. Guazzi M, Adams V, Conraads V, Halle M, Mezzani A, Vanhees L et al. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Circulation* 2012;126(18):2261-74.  
<https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e31826fb946>
14. Piepoli MF, Corrà U, Agostoni PG, Belardinelli R, Cohen-Solal A, Hambrecht R, et al. Statement on cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure due to left ventricular dysfunction: recommendations for performance and interpretation Part III: Interpretation of cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure and future applications. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2006;13(4):485-94.  
<https://doi.org/10.1097/01.hjr.0000209812.05573.04>
15. Piepoli MF, Corra U, Agostoni PG, Belardinelli R, Cohen-Solal A, Hambrecht R et al. Statement on cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure due to left ventricular dysfunction: recommendations for performance and interpretation. Part I:

- definition of cardiopulmonary exercise testing parameters for appropriate use in chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2006;13(2):150-64
16. Sorajja P, Allison T, Hayes C, Nishimura RA, Lam CS, Ommen SR. Prognostic utility of metabolic exercise testing in minimally symptomatic patients with obstructive hypertrophic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 2012;109(10):1494-8. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2012.01.363>
  17. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. New York: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
  18. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Applied Physiol* 1986;60(6):2020-7. <https://doi.org/10.1152/jappl.1986.60.6.2020>
  19. Pozzi LG, Melo RC, Quiterio RJ, Milan LA, Diniz CAR, Dias TCM et al. Determinação do limiar de anaerobiose de idosos saudáveis: comparação entre diferentes métodos. *Rev Bras Fisioter* 2006;10(3):333-8.
  20. Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1981;2(3):160-5. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1034604>
  21. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979;42(1):25-34.
  22. Marães VRFS. Determinação do limiar de anaerobiose a partir da análise da frequência cardíaca, da eletromiografia de superfície e das variáveis ventilatórias e metabólicas durante exercício físico dinâmico [Tese]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2004.
  23. WASSERMAN K, Whipp BJ. Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Respir Dis* 1975;112(2):219-49. <https://doi.org/10.1164/arrd.1975.112.2.219>
  24. 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. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(00\)00691-4](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)00691-4)
  25. Davies LC, Wensel R, Georgiadou P, Cicoira M, Coats AJ, Piepoli MF et al. Enhanced prognostic value from cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure by non-linear analysis: oxygen uptake efficiency slope. *Eur Heart J* 2006;27(6):684-90. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehi672>
  26. Cohen-Solal A, Tabet JY, Logeart D, Bourgoin P, Tokmakova M, Dahan M. A noninvasively determined surrogate of cardiac power ('circulatory power') at peak exercise is a powerful prognostic factor in chronic heart failure. *Eur Heart J* 2002;23(10):806-14. <https://doi.org/10.1053/euhj.2001.2966>
  27. Forman DE, Guazzi M, Myers J, Chase P, Bensimhon D, Cahalin LP et al. A novel index that enhances prognostic assessment of patients with heart failure. *Circ Heart Fail* 2012;5(5):621-6. <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.112.968529>
  28. Jaussaud J, Blanc P, Derval N, Bordachar P, Courregelongue M, Roudaut R et al. Ventilatory response and peak circulatory power: new functional markers of response after cardiac resynchronization therapy. *Arch Cardiovasc Dis* 2010;103(3):184-91. <https://doi.org/10.1016/j.acvd.2010.01.003>
  29. Madan N, Beachler L, Konstantinopoulos P, Worley S, Sun Z, Latson LA. Peak circulatory power as an indicator of clinical status in children after Fontan procedure. *Pediatr Cardiol* 2010;31(8):1203-8. <https://doi.org/10.1007/s00246-010-9799-1>
  30. Torchio R, Guglielmo M, Giardino R, Ardisson F, Ciacco C, Gulotta C et al. Exercise ventilatory inefficiency and mortality in patients with chronic obstructive pulmonary disease undergoing surgery for non-small-cell lung cancer. *Eur J Cardiothorac Surg* 2010;38(1):14-9. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2010.01.032>
  31. Enright PL. The six-minute walk test. *Respiratory care* 2003;48(8):783-5.
  32. Marrara KT, Marino DM, Jamami M, Oliveira Junior AD, Di Lorenzo VA. Responsiveness of the six-minute step test to a physical training program in patients with COPD. *J Bras Pneumol* 2012;38(5):579-87.
  33. Pessoa BV, Arcuri JF, Labadessa IG, Costa JNF, Sentanin AC, Di Lorenzo VAP. Validity of the six-minute step test of free cadence in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Braz J Phys Ther* 2014;18(3):228-36. <https://doi.org/10.1590/bjpt-rbf.2014.0041>

34. Travençolo CF, Goessler KF, Polito MD. Correlação entre o teste de caminhada de seis minutos e o teste do degrau em idosos. *Rev Bras Geriatr Gerontol* 2013;16(2):375-83. <https://doi.org/10.1590/S1809-98232013000200017>
35. Monteiro DP, Brito RR, Carvalho MLV, Montemezzo D, Parreira VF. Shuttle walk test como instrumento da avaliação da capacidade funcional: uma revisão da literatura. *Revista Ciência & Saúde* 2014;7(2):92-7.
36. Pulz C, Diniz RV, Alves AN, Tebexreni AS, Carvalho AC, Paola AA, Almeida DR. Incremental shuttle and six-minute walking tests in the assessment of functional capacity in chronic heart failure. *Can J Cardiol* 2008;24(2):131-5. [https://doi.org/10.1016/s0828-282x\(08\)70569-5](https://doi.org/10.1016/s0828-282x(08)70569-5)
37. Singh SJ, Morgan MD, Scott S, Walters D, Hardman AE. Development of a shuttle walking test of disability in patients with chronic airways obstruction. *Thorax* 1992;47(12):1019-24. <https://doi.org/10.1136/thx.47.12.1019>
38. Coelho CC, Aquino ES, Almeida DC, Oliveira GC, Pinto RC, Rezende IM et al. Comparative analysis and reproducibility of the modified shuttle walk test in normal children and in children with cystic fibrosis. *J Bras Pneumol* 2007;33(2):168-74. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132007000200011>
39. Herdy AH, Ritt LEF, Stein R, Araújo CGS, Milani M, Meneghelo RS. Cardiopulmonary exercise test: background, applicability and interpretation. *Arq Bras Cardiol* 2016;107(5):467-81. <https://doi.org/10.5935/abc.20160171>
40. Williamson JL. The relevance of central command for neural cardiovascular control of exercise. *Exp Physiol* 2010;95(11):1043-8. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2009.051870>
41. Peterson MJ, Pieper CF, Morey MC. Accuracy of VO<sub>2</sub> (max) prediction equations in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(1):145-9. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000043547.22724.0B>
42. Bruce RA, Lovejoy FW, Pearson R, Yu PNG, Brothers GB, Velasquez T. Normal respiratory and circulatory pathways of adaptation in exercise. *J Clin Invest* 1949;28(6 Pt 2):1423. <https://doi.org/10.1172/JCI102207>