

## TESTE CARDIOPULMONAR DE EXERCÍCIO: NOÇÕES BÁSICAS SOBRE O TEMA

Ricardo Stein

Laboratório de Fisiopatologia do Exercício (LaFiEx)  
Serviço de Cardiologia  
Hospital de Clínicas de Porto Alegre – UFRGS

RUA JOÃO CAETANO, 20/402 BAIRRO: PETRÓPOLIS  
CEP: 90470-260 - PORTO ALEGRE – RS  
TEL.: (51) 9806 2423  
FAX: (51) 3333 6135  
E-mail: kuqui2@terra.com.br

### Introdução

A identificação de fatores que atuam sobre a disponibilidade e a necessidade de oxigênio a ser consumido pelo miocárdio, a análise de diferentes distúrbios do ritmo e/ou da condução, o comportamento da pressão arterial, entre outras possibilidades propedêuticas, fazem parte de um amplo rol de indicações para que testes de exercício sejam solicitados. Esses exames têm sido usados como instrumentos úteis, tanto para o diagnóstico quanto para estabelecer prognóstico, além de poderem avaliar com maior ou menor grau de precisão a capacidade funcional de indivíduos enfermos, assim como de saudáveis. No Brasil, estima-se que mais de 5.000.000 de testes ergométricos convencionais (TEc) sejam realizados por ano. Por meio desse exame é possível realizar análise das respostas clínicas, eletrocardiográficas e hemodinâmicas do indivíduo testado, mas não se pode avaliar, de forma direta, uma gama importante de variáveis ventilatórias. Dentro desse cenário, e em especial quando se objetiva identificar a(s) razão(ões) para a interrupção do esforço ou quantificar esta limitação, o TEc não tem sido elencado como método de escolha a ser utilizado, pois é incapaz de fornecer informações que sejam acuradas o suficiente em situações clínicas ou esportivas nas quais se necessite de dados mais esclarecedores.

Por sua vez, o teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) mensura de forma direta alguns dados que, acrescentados à ergometria convencional, se tornam relevantes: são exemplos a quantificação da ventilação pulmonar (volume de ar corrente x frequência respiratória = VAC x FR) e a análise das pressões expiradas de oxigênio e gás carbônico durante o esforço. A utilização associada da oximetria de pulso pode quantificar a saturação de hemoglobina e, em situações especiais, no mais das

vezes associadas à pesquisa, procedimentos como re-inalação de gases, ou ainda, testes invasivos, com a colocação de cateteres intra-arteriais e de Swan-Ganz, podem ser factíveis. Sendo assim, o médico responsável pela realização e interpretação do TCPE deverá ser dotado de conhecimentos fisiológicos e fisiopatológicos mais aprofundados do que os necessários para a realização do TEc.

Nesta breve revisão procurarei passar aos leitores uma idéia geral sobre alguns aspectos relevantes relacionados ao TCPE, desde sua indicação conforme a II Diretrizes da SBC (Tabela I), como sobre o que significam alguns parâmetros que são usados no dia a dia de quem realiza ou recebe exame cardiopulmonar sob a ação do exercício.

Uma das vantagens do TCPE, em relação ao TEc, se relaciona à possibilidade de identificação não-invasiva de alguns parâmetros muito importantes sob ponto de vista clínico ou para prescrição do exercício. O consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2\max}$ ), considerado padrão-ouro para avaliação da capacidade funcional, é obtido com maior precisão por meio do TCPE. Com a análise de curvas ventilatórias, o limiar anaeróbico e o ponto de compensação respiratório também podem ser obtidos. No entanto, pela falta de homogeneidade na literatura internacional, a terminologia relacionada a esses 2 pontos acaba por gerar dificuldades para que os leitores de trabalhos científicos compreendam exatamente o que estão lendo, assim como os profissionais que recebem laudos os possam entender com maior precisão. Sendo assim, optei por utilizar, de forma simplificada, os conceitos estabelecidos por Wassermann.

**Consumo máximo de oxigênio e Consumo de oxigênio de pico:** a identificação do  $VO_{2\max}$  em um teste com aumento progressivo de carga ocorre quando o aumento no trabalho não ocasiona elevação do  $VO_2$  (aumento inferior a  $50 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , ou  $2,1 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Tabela 1

Grau A
Seleção de pacientes para transplante cardíaco (nível 2).
Identificação de mecanismos fisiopatológicos no diagnóstico diferencial de dispnéia (nível 2).
Avaliação da gravidade da síndrome de IC (nível 2).
Prescrição de exercício em atletas de ponta, pacientes com IC, pneumopatias ou obesos (nível 2).
Estimativa de prognóstico em pacientes portadores de IVE sintomáticos (nível 2).
Grau B
Avaliação de resposta a intervenções terapêuticas (nível 2).
Quantificação precisa da potência aeróbia em indivíduos em programas de exercício físico (nível 2).
Grau C
Avaliação da resposta a programas de reabilitação (nível 2).

Quando este critério não é obtido, o termo  $VO_{2\text{pico}}$  é utilizado para identificar o maior  $VO_2$  atingido. O Consenso da SBC recomenda que o  $VO_2$  seja expresso em referência a um valor previsto por equações, para idade, peso e sexo (% do previsto), assim como em relação ao peso ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

**Limiar anaeróbico ou 1º limiar ventilatório:** se caracteriza pela perda da linearidade entre a ventilação (VE) e o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ). 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  $\dot{V}E/VO_2$  em desproporção ao  $VE/VCO_2$ . Além disso, observa-se aumento na razão de trocas respiratórias ( $R = VCO_2/VO_2$ ) e um aumento progressivo da pressão expirada de oxigênio (PET  $O_2$ ). O limiar anaeróbico também pode ser identificado por intermédio de equações de regressão pelo método computadorizado do *V-slope* (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.

**2º limiar ventilatório ou ponto de compensação respiratória (PCR):** se caracteriza pela perda da linearidade da relação entre o produto da VE e o  $VCO_2$  ( $VE/VCO_2$  mais baixo, antes de aumento progressivo), queda da PET  $CO_2$  (PET  $CO_2$  mais alta, precedendo sua queda abrupta). Além disso, é o ponto no qual a VE passa a aumentar em desproporção ao aumento no  $VCO_2$  (hiperventilação).

**Ventilação minuto:** durante o TCPE com 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  $CO_2$ . Esse processo de incremento ventilatório serve como marcador de limitação ao esforço. No pico do exercício, a VE poderá alcançar cifras tão elevadas quanto 200L de ar ventilado por minuto (atletas), sendo normalmente de muito menor monta em cardiopatas e pneumopatas. Sendo resultado do produto do VAC pela FR, a avaliação isolada destes dois parâmetros, muitas vezes, pode ser útil. Cabe salientar que a FR durante o TCPE em raros casos ultrapassa os 50 movimentos/min. Já o VAC, que representa de modo parcial a capacidade de expansibilidade pulmonar, em repouso pode variar de 300 a 600mL por movimento respiratório, 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 VAC. 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.

**Equivalentes ventilatórios de oxigênio e gás carbônico:** as razões  $VE/VO_2$  e  $VE/VCO_2$ , mantendo-se a VE em condições de BTPS (*body temperature and pressure, saturated*) e o  $VO_2$  e o  $VCO_2$  em STPD (*Standard temperature and pressure, dry*), arrolam quantos litros de ar por minuto são necessários e devem ser ventilados para consumir 100mL de  $O_2$  (normal: 2,3 a 2,8L/100mL) ou para produzir em  $CO_2$ . Durante o esforço progressivo, as relações  $VE/VO_2$  e  $VE/VCO_2$  primeiro diminuem, para depois virem a aumentar até o final do esforço.

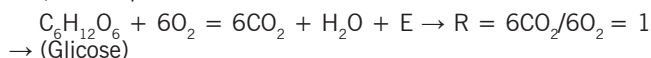
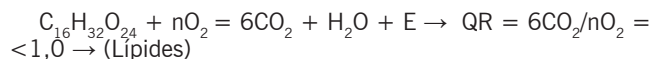
**Pressão expirada de  $O_2$  (PET  $O_2$ ):** a PET  $O_2$  em repouso é de  $\pm 90\text{mmHg}$ , e diminui transitoriamente logo após o início do exercício, desde que o aumento na VE seja mais lento do que o incremento no  $VO_2$ . Ao ser atingido o limiar ventilatório I (limiar anaeróbico), a PET  $O_2$  aumenta 10 a 30mmHg até se alcançar o esforço máximo. Esse aumento se deve à hiperventilação provocada pela diminuição do pH (acidose metabólica a ser compensada).

**Pressão expirada de dióxido de carbono (PET  $CO_2$ ):** o valor da PET  $CO_2$  ao nível do mar varia de 36 a 42mmHg. Eleva-se 3 a 8mmHg durante exercício de intensidade leve a moderada, atinge um valor máximo, quando é caracterizado o limiar

ventilatório II (ponto de compensação respiratória), e pode em seguida diminuir.

**Quociente respiratório (QR ou  $R = VCO_2/VO_2$ ):** esta variável traduz a razão entre o  $CO_2$  produzido e o  $O_2$  consumido. Ao se iniciar o esforço o QR encontra-se entre 0,65 e 0,85. Neste momento, o indivíduo estará utilizando lipídeos como fonte de energia. Com o aumento na intensidade do esforço e com os valores se aproximando de 1,0, há inversão na rota metabólica preferencial e a tradução disto é que se está consumindo predominantemente carboidratos.

Exemplos:



Durante a combustão de carboidratos, forma-se 830  $\text{cm}^3$  de  $CO_2$  com 1g de lípides e 1430 $\text{cm}^3$  de  $CO_2$ . O valor de  $n$  será sempre incrementado para a produção do  $CO_2$  e, portanto, com gasto energético maior, caracterizando um quociente respiratório menor do que a unidade.

**Observação:** utiliza-se a sigla QR até que o 1º limiar ventilatório seja atingido. Após esse momento, usa-se a sigla R para referência ao quociente respiratório.

**Pulso de oxigênio ( $VO_2/FC$ ):** considerada uma das mais importantes variáveis utilizadas pela ergoespirometria, pois demonstra a quantidade de  $O_2$  que é transportada a cada sístole cardíaca. Uma diminuição do desempenho do ventrículo esquerdo pode ser detectada pelo TCPE, mediante observação do pulso de  $O_2$ .

**Crítérios de maximalidade no TCPE:** com esse exame é possível determinar, com relativa precisão, que o  $VO_2$  atingido preencha critérios de maximalidade: a) presença de  $R (VCO_2/VO_2) > 1.1$ ; b) evidência da presença do PCR (segundo limiar ventilatório); c)  $VE > 60\%$  da máxima prevista; e) eventual presença de um platô na curva do  $VO_2$  diante de aumento na carga progressivo. Estes dados, concomitantes à avaliação de frequência cardíaca atingida e à sensação subjetiva de esforço, podem refletir um teste verdadeiramente máximo.

**Classificação Funcional de Weber:** Weber e colaboradores descreveram que a classificação funcional de pacientes portadores de insuficiência cardíaca congestiva (ICC) deveria ser baseada nas respostas ao esforço, sendo elas observadas no primeiro limiar ventilatório (LVI) e no momento em que se alcança o  $VO_2$  max ou de pico. Os indivíduos que apresentam valores de  $VO_2$  no LVI entre 11 e 14 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $VO_2$  max entre 16 e 20 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  foram considerados com portadores ICC leve a moderada sob ponto de vista funcional, enquanto os que tiveram valores de  $VO_2$  entre 5 e 8 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  no LA e  $VO_2$  max < 10 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  foram classificados como sendo portadores de ICC grave. Além disso, nesse estudo, o  $VO_2$  max correlacionou-se intimamente com o índice cardíaco (IC) durante o exercício. Pacientes com  $VO_2$  max > 20 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  obtiveram IC > 8 $\text{L}/\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^2$ , entretanto, aqueles com  $VO_2$  max < 10 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$

Classe A	> ou = 20 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
Classe B	< 20 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ e > ou = 15 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
Classe C	< 15 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ e > 10 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
Classe D	< ou = 10 $\text{mL}/\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$

$\text{mm}^{-1}$ , apresentaram IC baixo (< 4 $\text{L}/\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^2$ ).

**Competência clínica na realização do teste cardiopulmonar de exercício:** por envolver maior complexidade das variáveis e parâmetros a serem analisados e interpretados, bem como maior sofisticação tecnológica dos equipamentos utilizados, para obter competência clínica para realização de testes ergoespirométricos

**Tabela 2 - Habilidades para a realização competente de teste ergoespirométrico.**

**A - Características necessárias à realização do exame**

**Todas as existentes na tabela 1, item A, acrescidas de:**

Conhecimento dos procedimentos de calibração do equipamento e manipulação de gases.

Conhecimento das técnicas de realização de espirometria simples.

Habilidade para reconhecer problemas técnicos na coleta de dados respiratórios (vazamento de gases, entupimento de linhas, monitorização adequada).

**B - Características necessárias à interpretação do exame:**

**Todas as descritas na tabela 1, item B, acrescidas de:**

Conhecimento aprofundado de fisiologia respiratória, cardiovascular e circulatória e da interação entre os três sistemas.

Conhecimento de interpretação de espirometria simples.

Conhecimento do metabolismo de substratos energéticos em diferentes condições (saúde e doença, repouso e exercício).

Conhecimento aprofundado de fisiopatologia da limitação funcional na saúde e na doença, para permitir identificação dos mecanismos limitantes do exercício.

Conhecimento sobre o efeito de intervenções terapêuticas sobre as variáveis analisadas no teste.

Conhecimento da interpretação das variáveis dispostas sob a forma tabular e gráfica, incluindo todas as variáveis e parâmetros obtidos direta e indiretamente.

uma gama extra de habilidades precisa ser desenvolvida. De modo geral, todas as habilidades necessárias para a realização do TEC também são necessárias para a realização do TCPE, acrescidas de algumas outras, conforme o descrito na tabela II.

**Considerações finais:**

O teste cardiopulmonar de exercício (ergometria com análise

dos gases expirados) é uma ferramenta útil em cenários tão distintos quanto os da saúde, da doença e do desporto. Para que essa ferramenta possa ser aplicável na prática clínica e na pesquisa é necessário que um aprofundamento em questões fisiológicas e fisiopatológicas seja fato.

As linhas desta *pseudo-revisão* têm como objetivo incentivar colegas a contemplar a idéia de que a *universalização* do método depende também que o mesmo seja compreendido e executado/realizado de acordo com as boas práticas médicas.

**Referências Bibliográficas**

1. American College of Cardiology/American Heart Association - Clinical competence statement on stress testing. J Am Coll Cardiol 2000;36:1441-53.

2. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. Am J Respir Crit Care Med. 2003 Jan 15;167(2):211-77

3. Borg G. - Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scand J Rehabil Med 1970; 2: 92-8.

4. Corra U. - Methodology of exercise test in patients with heart failure. The cardiopulmonary test: mode of execution, instrumentation, protocols, reproducibility. Ital Heart J. 2000 Mar;1(3 Suppl):320-5.

5. Corra U, Bosimini E. - Methodology of exercise test in patients with heart failure. Serial tests: rationale and interpretation of results. Ital Heart J. 2000 Mar;1(3 Suppl):326-31.

6. II Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre teste ergométrico. Arq Bras Cardiol 2002;78(Supl II):1-18.

7. Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA et al. - Exercise Standards for Testing and Training. Circulation. 2001;104:1694.

8. Froelicher VF. - Special methods: Ventilatory gas exchange measurements. In -

9. Exercise and the Heart. Chicago: Year Book Medical Publishers, 1987.

10. Gibbons et al. - ACC/AHA 2002 Guideline update for exercise testing. Circulation 2002;106:1883-1892.

11. Mancini DM, Eisen H, Kussmaul W, et al. - Value of peak exercise oxygen consumption for optimal timing of cardiac transplantation in ambulatory patients with heart failure. Circulation 1991;83:778-786.

12. Normatização de Técnicas e Equipamentos para Realização de Exames em Ergometria e Ergoespirometria. Arq Bras Cardiol 2003; 80: 458-64.

13. Ribeiro JP. - Metabolic and ventilatory thresholds during exercise. Physiological and methodological aspects. Arq Bras Cardiol. 1995 Feb;64:171-81.

14. 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 Apr;13(2):150-64.

15. Statement on cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure due to left ventricular dysfunction: recommendations for performance and interpretation Part II: How to perform cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure.

Eur J Cardiovasc Prev Rehabil. 2006 Jun;13(3):300-11.

16. 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 Aug;13(4):485-94.

17. Taylor HL, Burkirk E, Henschel A - Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. J Appl Physiol 1955; 8: 73-80.

18. Wasserman K. - Measures of functional capacity in patients with heart failure. Circulation 1990; 81:II-1-II-4.

19. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ - Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. Circulation 1990; 81: II-14-II-30.

20. Whipp BJ, Davies JA, Torres F, Wasserman K - A test to determine parameters of aerobic function during exercise. J Appl Physiol. 1981; 50: 217-21.