

INDICAÇÕES DO TESTE CARDIOPULMONAR NA AVALIAÇÃO DE PACIENTES COM INSUFICIÊNCIA CORONÁRIA

CARLOS ALBERTO C. HOSSRI, HORÁCIO ARAKAKI

Serviço de Ergometria e Reabilitação Cardiopulmonar — Hospital do Coração —
Associação do Sanatório Sírio

Endereço para correspondência: Rua Afonso de Freitas, 550 — ap. 23 — CEP 04006-052 —
São Paulo — SP

O teste cardiopulmonar é um método não-invasivo de crescente aplicação dentro da prática clínica, especialmente na avaliação funcional cardíaca e respiratória. Com os avanços tecnológicos obtidos pelos novos equipamentos, sua utilização tem sido ampliada e os vários parâmetros fornecidos, de forma integrada, incrementam suas indicações e valorizam ainda mais sua aplicabilidade.

Na doença arterial coronária obstrutiva, ocorre desequilíbrio entre a oferta e o consumo de oxigênio, que pode ser identificado por manifestações clínicas e/ou alterações eletrocardiográficas obtidas pelo teste ergométrico convencional, o qual está inserido no teste cardiopulmonar. Este último expressa, de forma direta, o valor do consumo de oxigênio, a produção de gás carbônico, além de outras variáveis metabólicas e ventilatórias.

Vários trabalhos na literatura demonstram o valor do teste cardiopulmonar na avaliação da capacidade funcional em portadores de insuficiência cardíaca congestiva e miocardiopatia isquêmica, e variáveis como pulso de oxigênio e relação entre o VO_2 e a carga (DVO_2/DWR) podem traduzir um comprometimento na função ventricular induzida pelo esforço.

Nos pacientes portadores de insuficiência coronária, a prescrição adequada do exercício é fundamental para os programas de reabilitação cardíaca. Por meio da análise de parâmetros obtidos diretamente, como o limiar anaeróbico, evidencia-se uma das principais aplicações clínicas do teste cardiopulmonar.

Palavras-chave: teste cardiopulmonar, insuficiência coronária, consumo de oxigênio.

(Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo 2002;1:14-22)

RSCESP (72594)-1188

INTRODUÇÃO

Hollmann e Prinz⁽¹⁾, em revisão histórica, asinalam que os primeiros estudos ergoespirométricos foram feitos por Lavoisier, em 1790, e que o termo ergoespirometria foi introduzido por Knipping, em 1929.⁽²⁾

O teste cardiopulmonar alia as variáveis cardiocirculatórias da ergometria convencional com as variáveis cardiorrespiratórias obtidas pela análise direta dos gases expirados⁽³⁾. Assim, obtém-se, de forma integrada, tanto a avaliação cardíaca como a pulmonar durante o exercício^(3,4).

O teste ergométrico convencional é certamente o método diagnóstico mais utilizado para o diagnóstico de insuficiência coronária⁽⁴⁾, e sua associação com a quantificação da ventilação pulmonar e das frações expiradas de oxigênio e gás carbônico durante o esforço compõe o chamado método ergoespirométrico ou teste cardiopulmonar.

Atualmente, as diretrizes do American College of Cardiology e da American Heart Association^(5,6) descrevem as aplicações da ergoespirometria na prescrição da intensidade do exercício para condicionamento físico e reabilitação

cardíaca,⁽⁷⁾ na avaliação funcional de atletas e pacientes,⁽⁸⁾ na estratificação de risco antes de cirurgias de grande porte,^(9, 10) na determinação da eficácia de intervenções terapêuticas,^(11, 12) e no estudo da fisiopatologia e do diagnóstico diferencial de limitação funcional ao exercício.^(13, 14) Apesar de não estar clara, no consenso, a indicação do teste cardiopulmonar na insuficiência coronária, sua primordial aplicação encontra-se implícita na prescrição de programas de reabilitação cardiovascular. As indicações do teste cardiopulmonar estão descritas na II Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre o Teste Ergométrico, apresentadas na Tabela 1.⁽¹⁵⁾

Tabela 1. Indicações para o teste cardiopulmonar. (Grau A = há evidência ou consenso favorável; Grau B1 = há divergências de opiniões, mas as evidências favorecem sua utilidade/eficácia; Grau B2 = há divergências de opiniões, com utilidade não muito bem estabelecida).

Grau A

- Seleção de pacientes para transplante cardíaco.
- Identificação de mecanismos fisiopatológicos no diagnóstico de dispnéia.
- Avaliação da gravidade da síndrome de insuficiência coronária.
- Prescrição de exercício em atletas de ponta, pacientes com insuficiência cardíaca congestiva, com pneumopatias ou obesos.
- Estimativa de prognóstico em pacientes portadores de IVE sintomáticos.

Grau B1

- Avaliação de resposta a intervenções terapêuticas.
- Quantificação precisa da potência aeróbia em indivíduos em programas de exercício físico.

Grau B2

- Avaliação da resposta a programas de reabilitação

balho, e aumenta linearmente com o exercício muscular crescente até o limite submáximo. O consumo máximo de oxigênio (VO_2 máx) é atingido quando, para um incremento de carga, não se observa aumento apreciável no VO_2 , quantificação máxima da potência aeróbia. A variação do consumo de oxigênio é diretamente proporcional ao produto da frequência cardíaca pelo volume sistólico, considerando-se a pouca variação da diferença arteriovenosa.

A equação de Fick enuncia que $VO_2 = FC \cdot VS \cdot \text{dif (a-v) } O_2$, onde VO_2 é o consumo de O_2 em ml/min, FC é a frequência cardíaca em bpm, VS é o volume sistólico e dif (a-v) O_2 é a diferença arteriovenosa de oxigênio.

A diferença de consumo de O_2 é muito significativa em diferentes grupos de pacientes, como demonstra o estudo de Kasser e colaboradores⁽¹⁶⁾, existindo, ainda, discrepância expressiva entre os valores estimados por equações e os resultados diretos, especialmente nos indivíduos de baixo condicionamento físico. Entre esses indivíduos inclui-se grande parte dos cardiopatas, o que reforça a importância do método ergoespirométrico.

Introduzido por Wasserman e MacIlroy,⁽¹⁷⁾ em 1964, e modificado em 1967, o termo limiar anaeróbio foi definido como “a intensidade de exercício acima da qual a concentração sanguínea de lactato aumenta de forma progressiva e a ventilação pulmonar se intensifica de maneira desproporcional ao oxigênio consumido”⁽¹⁷⁾. Em repouso ou em baixa carga de esforço, o músculo esquelético utiliza o metabolismo aeróbio; no entanto, com o aumento da intensidade de exercício, existe crescente participação da glicólise anaeróbia na liberação de energia. Quando a glicose é metabolizada anaerobicamente, a reação catalisada pela lactato desidrogenase é desviada para a direita, levando maior quantidade de ácido pirúvico a funcionar como receptor de elétrons da co-enzima NAD, quando, então, se forma o ácido láctico.

A célula muscular produz ácido láctico tanto em repouso como em esforço. Seu excesso, liberado na corrente sanguínea, é tamponado pelas reservas alcalinas de bicarbonato, numa tentativa de manter o pH próximo do valor fisiológico de 7,4. Como resultado do tamponamento do ácido láctico, é produzido ácido carbônico, que se dissocia em gás carbônico e água ($H+La + Na+HCO_3 \rightleftharpoons Na+La + H_2CO_3$) e ($H_2CO_3 \rightleftharpoons CO_2 + H_2O$). Durante exercício intenso, o CO_2 proveni-

ASPECTOS FISIOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DO VO_2 , DO VO_2 MÁXIMO E DO LIMIAR ANAERÓBIO

O consumo de oxigênio (VO_2) é uma medida objetiva da capacidade funcional, resultante do metabolismo aeróbio para a produção de um tra-

ente do tamponamento do ácido láctico, além daquele produzido pelo metabolismo oxidativo, obriga o organismo a realizar ajustes respiratórios por estimulação dos quimiorreceptores periféricos, evitando, assim, o aumento da PCO_2 sanguínea e alveolar e conseqüente queda do pH.

Segundo Wasserman e Whipp⁽¹⁸⁾, pode-se determinar o limiar anaeróbio de três formas diferentes: 1) aumento da concentração sanguínea de lactato em relação aos níveis de repouso; 2) diminuição da concentração sanguínea de bicarbonato; e 3) aumento do quociente respiratório, obtido pelo VCO_2/VO_2 (R). Por meio do teste cardiopulmonar, pode-se, pela análise dos equivalentes ventilatórios de O_2 e CO_2 (VE/O_2 e VE/VCO_2), deduzir as duas primeiras formas de determinar o limiar anaeróbio, quando ocorre aumento do equivalente ventilatório de O_2 sem incremento do VE/VCO_2 .

Durante a prova ergoespirométrica, é possível identificar o momento da perda da linearidade entre o VO_2 e o VCO_2 e determinar o limiar anaeróbio pelo método do V-slope⁽¹⁹⁾.

Embora ainda exista grande discussão conceitual sobre os mecanismos fisiológicos exatos do acoplamento entre fenômenos celulares e bioquímicos e as respostas ventilatórias⁽²⁰⁾, é normalmente aceito que a curva exponencial da ventilação em relação à intensidade do esforço, observada em protocolo progressivo, tende a representar a ocorrência imediatamente anterior do aumento na lactacidemia.

É fundamental a avaliação criteriosa dos parâmetros ventilatórios e metabólicos envolvidos, pois, em suma, estaremos analisando a integridade dos sistemas cardiovascular e pulmonar, que mantêm o processo de respiração celular.⁽²¹⁾

O sistema utilizado na ergoespirometria atual é o chamado sistema aberto por calorimetria indireta, em que se inspira o ar atmosférico em condições adequadas de temperatura ambiente e de umidade relativa do ar, e em que se analisam os gases expirados.

ASPECTOS CLÍNICOS E PRINCIPAIS VARIÁVEIS DA ERGOESPIROMETRIA

Os principais parâmetros fornecidos pela ergoespirometria, para avaliação clínica dos portadores de insuficiência coronária, são o VO_2 máx, o limiar anaeróbio e o pulso de oxigênio, além dos marcadores eletrocardiográficos convencionais de isquemia miocárdica. O VO_2 máx

pode ser expresso, em valores absolutos, em litros por min (l/min). Isso reflete o consumo energético corporal e o gasto calórico, em que cada litro de O_2 consumido equivale, aproximadamente, a 5 kcal.

O consumo de O_2 expresso em mililitros de O_2 por quilograma de peso corporal por minuto ou MET (1 MET= 3,5 ml/kg/min) permite comparação mais equilibrada entre os indivíduos de diferentes tamanhos. Essa variável é considerada o melhor índice isolado de capacidade física de trabalho ou capacidade aeróbia cardiopulmonar.

A análise direta do consumo de oxigênio isolado e em conjunto com outras variáveis mostra-se útil no seguimento clínico e na avaliação prognóstica de pacientes cardiopatas⁽²²⁾. O VO_2 máx é um dos mais importantes marcadores prognósticos em portadores de insuficiência cardíaca⁽²²⁾.

Outros parâmetros inseridos, como ventilação, equivalentes ventilatórios de O_2 e de CO_2 , relação delta VO_2 /delta carga, limiar anaeróbio e reserva respiratória, auxiliam na diferenciação entre a limitação cardiocirculatória ou pulmonar ao exercício⁽²³⁾.

A determinação da intensidade de treinamento, para programas de atividade física em coronariopatas, propicia uma prescrição fisiológica baseada no consumo direto de oxigênio, além do limiar anaeróbio⁽²⁴⁾ e do limiar de isquemia, fornecendo maior segurança nas sessões de reabilitação, com conseqüente incremento no VO_2 máximo⁽²⁵⁾ (Fig. 1).

Pulso de oxigênio (pulso de O_2)

É a relação entre o consumo de oxigênio e a frequência cardíaca (VO_2/FC) expressa em ml por batimento cardíaco e representa o volume sistólico. Os valores habitualmente aceitos como normais estão acima de 10 ml/bat, durante o esforço máximo; são menores na criança, em razão da frequência cardíaca elevada, em condições que reduzem o conteúdo arterial de O_2 (anemia ou hipoxemia), e em condições clínicas como disfunção ventricular esquerda secundária a isquemia ou infarto. O comportamento da curva do pulso de O_2 em platô ou com queda durante o exercício reflete deficiência inotrópica e, portanto, relacionada à cardiopatia⁽²⁶⁾. Em termos práticos, quando se observa queda no pulso de O_2 durante um teste cardiopulmonar, comparado a um teste prévio, em paciente portador de insuficiência coronária, pode significar a pro-



Figura 1. Teste cardiopulmonar na avaliação de paciente portador de doença arterial coronária em programa de reabilitação cardíaca.

gressão da doença pela conseqüente redução da reserva miocárdica⁽²⁷⁾ (Fig. 2).

Razão das trocas respiratórias (quociente respiratório — QR, RER ou R)

É a relação entre a produção de dióxido de carbono e o consumo de oxigênio (VCO_2/VO_2). No repouso, ocorre relação inicial de 0,70 a 0,80; no esforço, quando atinge ou ultrapassa o valor

1, ocorre, habitualmente, o limiar anaeróbio,⁽²⁸⁾ bem como, na seqüência, o ponto de compensação respiratória, importantes para a prescrição do exercício (Fig. 3).

Relação delta VO_2 /delta carga (DVO₂/DWR)

Retrata a proporcionalidade do consumo de oxigênio em relação à carga de esforço realizado e é expressa em ml/min.W. Observa-se redução dessa relação quando a limitação do exercício for cardiocirculatória (Tab. 2).

Saturação da hemoglobina pelo O_2 (SaO₂)

Por meio da oximetria de pulso inserida ao sistema ergoespirométrico, obtém-se a análise do comportamento da perfusão alveolocapilar e transporte de O_2 , que auxilia, junto às outras variáveis ventilatórias, o diagnóstico diferencial das dispnéias de origem cardíaca, pulmonar ou mista. Nos indivíduos normais, a SaO₂ de repouso está acima de 94% e nos pneumopatas pode estar abaixo desse valor⁽²⁹⁾.

Pressões e frações expiradas de O_2 e CO_2 (PETO₂ e PETCO₂; FEO₂ e FECO₂)

Normalmente, quando se atinge a menor fração expirada de O_2 ou PETO₂ durante o exercí-

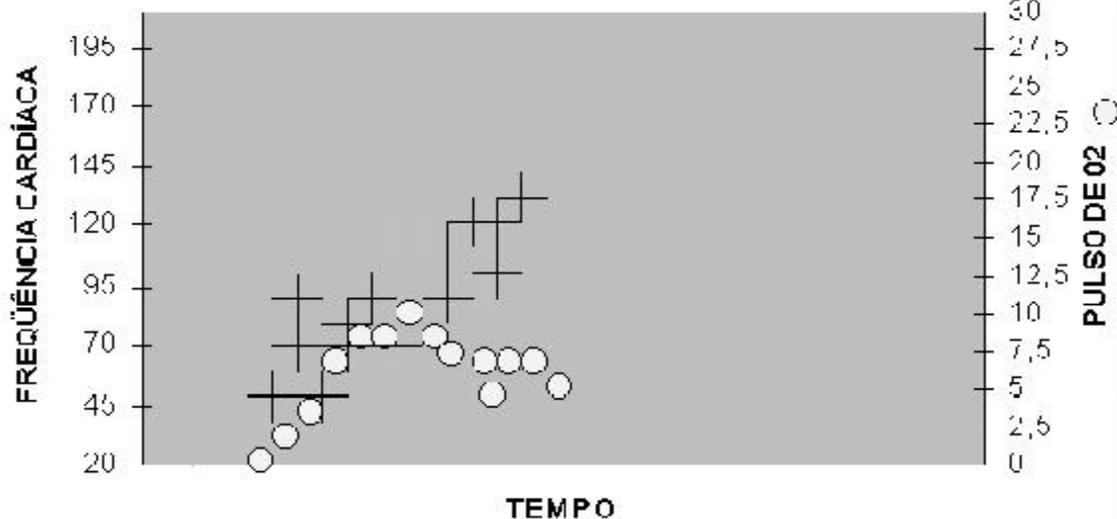


Figura 2. Demonstração gráfica da curva em platô do pulso de O_2 em paciente com doença arterial coronária.

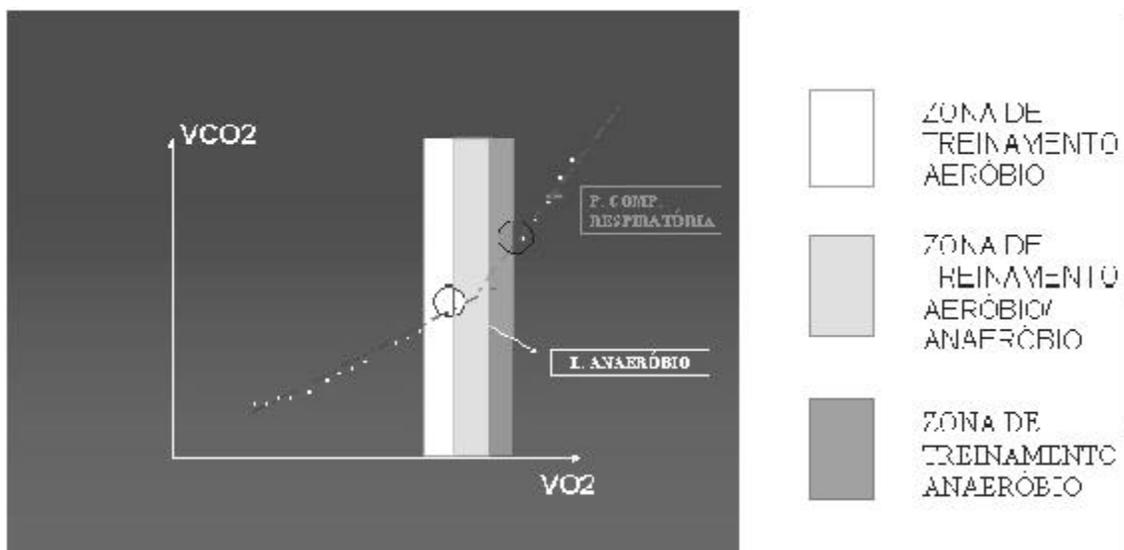


Figura 3. Gráfico de representação dos limiares ventilatórios e das zonas de treinamento físico.

cio, determina-se o limiar ventilatório, também denominado limiar I, antes de sua elevação progressiva. Quando a $PETCO_2$ atinge o máximo durante o teste, localiza-se o ponto de compensação respiratória (ácido-metabólico), também denominado limiar II. Esses valores são utilizados na interpretação dos fenômenos respiratórios ocorridos durante o teste cardiopulmonar.

Equivalentes ventilatórios de O_2 e de CO_2

Representam a relação da ventilação (VE) sobre o consumo de O_2 (VE/VO_2) e sobre o CO_2 (VE/VCO_2); quando suas curvas se cruzam, refletem a transição do limiar ventilatório ou limiar anaeróbio. Nos indivíduos de baixo condicionamento físico, a interseção é normalmente mais precoce (Fig. 4).

O ponto de compensação respiratória encon-

tra-se no menor equivalente ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO_2).

Relação VD/VT (relação entre o espaço morto e o volume corrente)

Essa relação reflete efetivamente a integridade do sistema de troca alveolocapilar, sendo a melhor estimativa do acoplamento entre a ventilação e a perfusão pulmonar, comprometido nos pneumopatas. Habitualmente o valor normal da relação no repouso é de 0,3, havendo queda fisiológica para valores abaixo de 0,20 no pico do esforço.^(6,21)

Reserva respiratória ou ventilatória

É a relação entre a ventilação máxima no esforço e a ventilação voluntária máxima (VVM) obtida pela espirometria convencional. Pode ser

Tabela 2. Achados ergoespirométricos sugestivos de limitação cardiocirculatória ou pulmonar.⁽²⁷⁾

	Limitação cardiocirculatória	Limitação pulmonar
VO_2 máx	Reduzido	Reduzido
Limiar anaeróbio	Reduzido	Normal ou não detectado
Reserva respiratória(%)	> 25	< 20
VE/VCO_2 no limiar	Normal ou -	> 30
$\Delta VO_2/\Delta$ carga (ml/min.W) < 8		> 9
$\Delta D/VT$ (relação entre o espaço morto e o volume corrente)	Normal	-

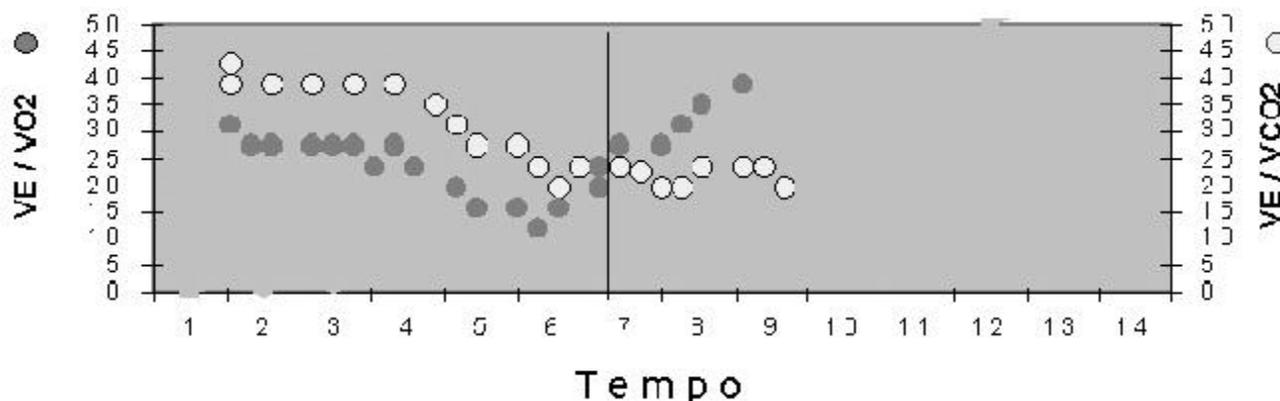


Figura 4. Demonstração gráfica simultânea do comportamento dos equivalentes ventilatórios de O_2 e de CO_2 . Observa-se, no ponto de interseção das curvas, o limiar anaeróbio.

expressa em porcentagem ou litros, segundo a fórmula $1-VE/VVM$. A reserva ventilatória é uma relação útil na diferenciação entre limitação cardiocirculatória e limitação pulmonar (Tab. 2). Indivíduos sedentários e cardiopatas têm sua reserva em torno de 30% a 40%; nos pneumopatas, essa reserva, habitualmente, é inferior a 20%.

Nos atletas de alto nível, a reserva respiratória tende a ser ausente, em decorrência de sua capacidade de atingir elevados níveis de consumo de O_2 e débito cardíaco. Esses indivíduos utilizam toda sua reserva ventilatória⁽³⁰⁾, aliada à extrema eficiência mecânica da musculatura respiratória.

COMENTÁRIOS E ÚLTIMOS ESTUDOS PUBLICADOS

O teste cardiopulmonar fornece dados imprescindíveis para a avaliação real da capacidade funcional, e orienta, de modo individualizado, com base nas informações obtidas, a melhor forma de prescrição do exercício, tanto em indivíduos saudáveis como em cardiopatas⁽³¹⁾. Com relação à prescrição do exercício, o American College of Sports Medicine (ACSM) preconiza, para indivíduos saudáveis, uma intensidade de exercício entre 60% e 70% do consumo máximo estimado (VO_2 máx E) ou entre 70% e 85% da frequência cardíaca máxima (fc máx) atingida no teste ergométrico; em pacientes cardiopatas, preconiza-se a fórmula de Karvonen, que leva em conta a reserva cronotrópica durante o teste⁽³²⁾. Há poucos estudos a respeito da relação existente entre a intensidade

do exercício prescrita, de forma indireta,⁽³³⁾ e a intensidade estabelecida pelos limiares ventilatórios, ou seja, o quanto os limites inferiores e superiores, para a prescrição, são efetivos para representar o início da intensificação do metabolismo anaeróbio e o início da fase de descompensação da acidose metabólica (ponto de compensação respiratória), respectivamente.

Estudo comparativo realizado no Instituto do Coração (InCor/FMUSP) entre a prescrição da intensidade de treinamento físico baseada na avaliação ergométrica convencional e na ergoespirometria⁽³⁴⁾ evidenciou que os cálculos indiretos para a prescrição superestimam o limiar anaeróbio, o que promove menor segurança para as sessões de treinamento físico.

Um estudo do Ochsner Heart and Vascular Institute⁽³⁵⁾ confirma os benefícios da determinação precisa da função cardiopulmonar, especialmente, em programas de treinamento de exercícios físicos; além dos notáveis efeitos da capacidade aeróbia e da qualidade de vida, avaliados com dados obtidos pela ergoespirometria, em jovens e idosos portadores de doença arterial coronária após programa de reabilitação cardíaca.

Outro trabalho em que o teste cardiopulmonar foi imprescindível foi o realizado pela Tokio Medical and Dental University, no qual foram estudados os efeitos do "cool-down" durante a recuperação do exercício em pacientes portadores de doença arterial coronária⁽³⁶⁾. Os dados ergoespirométricos obtidos pelo estudo do The Cardiovascular Institute, de Tóquio ("Aumento da resposta da frequência cardíaca durante o incremento do exercício em pacientes com infarto

agudo do miocárdio e após cirurgia de revascularização miocárdica: avaliação dos coeficientes com a fórmula de Karvonen⁽³⁷⁾) evidenciaram a importância dos parâmetros cardíacos e respiratórios, ajustando de forma correta a prescrição do exercício físico.

Estudo publicado em 2000, pela Tokio Medical and Dental University, evidenciou aumento da cinética de oxigênio durante a ergoespirometria em pacientes submetidos a angioplastia transluminal coronária, e comprovou a eficiência do teste cardiopulmonar como método não-

invasivo e com boa relação de custo-efetividade na identificação dos pacientes que não tiveram reestenose coronária no seguimento após angioplastia transluminal coronária⁽³⁸⁾.

Assim, ao se comparar o teste cardiopulmonar com a ergometria convencional, tem-se, de fato, avaliação cardiovascular e respiratória mais fidedigna, em que os valores de consumo de oxigênio e limiares ventilatórios são adquiridos diretamente pela análise das trocas de gases; além disso, é obtida a avaliação real da capacidade física.

INDICATIONS OF CARDIOPULMONARY EXERCISE TESTING IN EVALUATION OF PATIENTS WITH CORONARY ARTERY DISEASE

CARLOS ALBERTO C. HOSSRI, HORÁCIO ARAKAKI

The cardiopulmonary exercise testing is a noninvasive method with an increasing application in clinical use, specially to evaluate cardiac and respiratory functions. With the new technologies developed by the new equipments its application is being more useful with all the parameters obtained by itself, which increases its indication in our medical practice.

In coronary artery disease there is an imbalance between oxygen offering and the oxygen consumption (VO₂) which could be identified by clinical manifestations and/or electrocardiographic alterations obtained by conventional exercise test, which is part of the cardiopulmonary exercise testing, directly expressing the oxygen uptake, the production of CO₂ gas and others varieties.

Many papers in the literature show the importance of cardiopulmonary exercise testing in the evaluation of functional capacity in heart failure and ischemic disease with depressed left ventricular function using the oxygen pulse and the relation between VO₂ and load (**DVO₂/DWR**).

In all patients with coronary artery disease it is proper to prescribe an exercise which is an important indication of cardiopulmonary exercise testing for cardiac rehabilitation by anaerobic threshold and to get more safety exercise training.

Key words: cardiopulmonary exercise testing, heart failure, oxygen consumption.

(Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo 2002;1:14-22)

RSCESP (72594)-1188

REFERÊNCIAS

- Hollmann W, Prinz JP. Ergoespirometry and its history. *Spots Med* 1997;23:93-105.
- Knipping HW. The economy of muscle work in healthy and sick persons. *Z Gesamte Exp Med* 1929;66:517.
- Wasserman K, Hansam JE, Sue DY, Whipp BJ. *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. Philadelphia: Lea & Febiger; 1987. p.34.

4. Mastrocolla LE, et al. Consenso Nacional de Ergometria. *Arq Bras Cardiol* 1995;65:189-211.
5. Myers J. *Essentials of Cardiopulmonary Exercise Testing*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1996. p.176.
6. Gibbons RJ, Balady GJ, Beasley JW, et al. American College of Cardiology/American Heart Association. Guidelines for exercise testing. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:260-315.
7. Bellardinelli R, Georgiou D, Cianci G, Purcaro. Effects of exercise training on left ventricular filling at rest and during exercise in patients with ischemic cardiomyopathy and severe left ventricular systolic dysfunction. *Am Heart J* 1996;132:61-70.
8. Weber KT, Janicki JS. *Cardiopulmonary Exercise Testing — physiologic principles and clinical applications*. Philadelphia: WB Saunders; 1986.
9. Opasich C, Pinna GD, Bobbio M, et al. Peak exercise oxygen consumption in chronic heart failure: toward efficient use in the individual patient. *J Am Coll Cardiol* 1998;31:766-75.
10. Gilbret EM, Weisman IM. Role of the exercise stress testing in preoperative evaluation of patients for lung resection. *Clin Chest Med* 1994;15:389-404.
11. Ribeiro JP, Hartley LH, Colucci WS. Effects of acute and chronic pharmacologic interventions on exercise performance in patients with congestive heart failure. *Heart Failure* 1985;1:102-11.
12. Ribeiro JP, White HD, Hartley LH, Colucci WS. Exercise responses before and after long-term treatment with oral milrinone in patients with severe heart failure. *Am J Med* 1986;81:759-64.
13. Ribeiro JP, Rocco M, Hartley LH, Colucci W. Periodic breathing during exercise in severe heart failure and its reversal after milrinone or cardiac transplantation. *Chest* 1987;92:555-6.
14. Colucci WS, Ribeiro JP, Rocco MB, Quigg R, et al. Impaired chronotropic response to exercise in patients with heart failure: role of postsynaptic beta-adrenergic desensitization. *Circulation* 1989;80:314-23.
15. Andrade J, et al. II Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre o Teste Ergométrico. In press 2002.
16. Kasser IS, Bruce RA. Comparative effects of aging and coronary heart disease on submaximal and maximal exercise. *Circulation* 1969;39:759-74.
17. Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am Med Cardiol* 1964;14:844-52.
18. Wasserman K, Whipp BJ. Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Resp Dis* 1975;112:219-49.
19. Beaves WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986;60:2020-7.
20. Beaves WL, Wasserman K, Whipp BJ. On-line computer analysis and breath-by-breath graphical display of exercise function tests. *J Appl Physiol* 1973;34:128-32.
21. Barros Neto TL. Fisiologia do exercício aplicada ao sistema cardiovascular. *Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo* 1996;6:6-10.
22. Araújo CGS. Respostas cardiorrespiratórias a um exercício submáximo prolongado. *Arq Bras Cardiol* 1983;41:37-45.
23. Weber KT, Janicki JS. *Cardiopulmonary Exercise Testing — physiologic principles and clinical applications*. Philadelphia: WB Saunders; 1986.
24. Miller WC, Wallace JP, Eggert KE. Predicting max HR and HR-VO₂ relationship for exercise prescription in obesity. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:1077-81.
25. Araújo CGS. Importância da ergoespirometria na prescrição do exercício ao cardiopata. *Rev Soc Cardiol Estado do Rio de Janeiro* 1998;11(1):38-47.
26. ACC/AHA Committee on Exercise Testing guidelines for exercise testing. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:260-315.
27. Palange P, Carlone S, Forte S, Gallassetti P, Serra P. Cardiopulmonary exercise testing in the evaluation of patients with ventilatory vs circulatory causes of reduced exercise tolerance. *Chest* 1994;105:1122-6.
28. Wasserman K, et al. *Principles of Exercise Testing and Interpretation*. 3ed. Baltimore: Lippincot Williams & Wilkins; 1999. p.556.
29. Wasserman DH, Whipp BJ. Coupling of ventilation in pulmonary gas exchange during nonsteady-state work in man. *J Appl Physiol* 1983;54:587-93.
30. Pearce DH, Milhorn HT, Holoman GH, Reynolds WJ. Computer-based system for analy-

-
- sis of respiratory responses to exercise. *J Appl Physiol* 1975;42:968-75.
31. Individualized exercise prescription. In: Noble BJ, ed. *Physiology of Exercise and Sport*. St. Louis: Mosby; 1986. p.263.
 32. American College of Sports Medicine. Principles of exercise prescription. In: *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 4ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1991. p.99-100.
 33. American College of Sports Medicine. Appendix D: Metabolic calculations. In: *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 4 ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1991. p.96.
 34. Rondon MUPB, Forjaz CLM, Nunes N, et al. Comparação entre a prescrição de intensidade de treinamento físico baseada na avaliação ergométrica convencional e na ergoespirométrica. *Arq Bras Cardiol* 1998;70(3): 159-66.
 35. Lavie CJ, Milani RV. Disparate effects of improving aerobic exercise capacity and quality of life after cardiac rehabilitation in young and elderly coronary patients. *J Cardiopulm Rehabil* 2000;20(4):235-40.
 36. Koyama Y, Koike A, Yajima T, Kano H, et al. Effects of "cool-down" during exercise recovery on cardiopulmonary systems in patients with coronary artery disease. *Jpn Circ J* 2000;64(3):191-6.
 37. Omya K, Itoh H, Osada N, et al. Impairment heart rate response during incremental exercise in patients with acute myocardial infarction and after coronary artery bypass grafting: evaluation of coefficients with Karvonen's formula. *Jpn Circ J* 2000;63(11):851-5.
 38. Adachi H, Koike A, Niwa A, et al. Percutaneous transluminal coronary angioplasty improves oxygen uptake kinetics during the onset of exercise in patients with coronary artery disease. *Chest* 2000;118(2):285-6.