
PARTICULARIDADES DO TESTE CARDIOPULMONAR NA INSUFICIÊNCIA CARDÍACA E NA INSUFICIÊNCIA CORONÁRIA

JOÃO MANOEL ROSSI¹, LUIZ EDUARDO MASTROCOLLA¹, ALMIR SÉRGIO FERRAZ¹, ROMEU SÉRGIO MENEGHELO¹

Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo. 2009;19(3):455-64
RSCESP (72594)-1804

O teste cardiopulmonar é hoje exame complementar quase que obrigatório, quando disponível, de pacientes com insuficiência cardíaca. Ele permite estabelecer o prognóstico, avaliar a terapêutica e orientar a indicação correta de transplantes cardíacos. Além do consumo pico de oxigênio, a relação ventilação/produção de gás carbônico é outra variável de grande destaque nessa síndrome. Com as duas pode-se tomar condutas de modo mais objetivo se são consideradas condições peculiares dos pacientes, como intensidade do exercício realizado, presença ou não de medicação otimizada, uso de betabloqueadores e índice de massa corporal. Na insuficiência coronária, o comportamento do pulso de oxigênio é a variável mais importante para identificar modificações do volume sistólico que acontece quando da vigência de isquemia miocárdica, permitindo um diagnóstico mais acurado em relação às variáveis tradicionais do teste ergométrico convencional.

Descritores: Teste cardiopulmonar. Insuficiência cardíaca. Consumo de oxigênio. Insuficiência coronária.

CARDIOPULMONARY EXERCISE TESTING IN HEART FAILURE AND ISCHEMIC HEART DISEASE

Cardiopulmonary exercise testing has become an established and complementary tool in the management of patients with heart failure, evaluating therapy, stratifying risk, determining prognosis and providing support for the indication of heart transplants. In addition to maximal oxygen uptake, the minute ventilation/carbon dioxide production ratio is another important variable in this syndrome. Both indices evaluated together allow medical decisions to be made more objectively, specially if exercise intensity, use of optimized medications, betablockers and body mass index are taken into consideration. In coronary failure, O₂ pulse is one of the most important parameters to identify decreased stroke volume caused by myocardial ischemia during exercise and might improve the diagnostic accuracy of an exercise stress test.

Key words: Cardiopulmonary exercise testing. Heart failure. Oxygen consumption. Coronary artery disease.

¹ Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia – São Paulo, SP.

Endereço para correspondência:

João Manoel Rossi – Setor de Transplante Cardíaco – Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia –
Av. Dr. Dante Pazzanese, 500 – Vila Mariana – São Paulo, SP – CEP 04012-909

TESTE CARDIOPULMONAR NA INSUFICIÊNCIA CARDÍACA

A limitação na capacidade de realizar exercícios, mais conhecida como capacidade funcional, é uma das manifestações principais da insuficiência cardíaca, e a redução dos valores máximos ou pico alcançados durante prova de esforço está associada a piora da classificação funcional da *New York Heart Association* (NYHA), dos sintomas, da qualidade de vida e da sobrevida dos pacientes¹. Nesse contexto, o teste cardiopulmonar tem importante papel no diagnóstico, na quantificação dos sintomas, no prognóstico e na avaliação do sucesso da terapia em pacientes com insuficiência cardíaca.

Diagnóstico de insuficiência cardíaca

Mesmo na condição de insuficiência cardíaca leve a capacidade ao exercício é reduzida, com a possibilidade de débito cardíaco relativamente normal em repouso, mas sem aumento adequado mesmo aos esforços pequenos. O maior consumo de oxigênio (VO_2) alcançado geralmente não preenche os critérios para ser classificado como máximo em pacientes com insuficiência cardíaca, o que torna o termo VO_2 pico mais adequado para eles². Além do VO_2 pico, o pulso de oxigênio (VO_2 /frequência cardíaca), que traduz o comportamento do volume sistólico, pode ter seu valor máximo abaixo do predito e não ter elevação a cada incremento de carga.

Avaliação para transplante cardíaco

Apesar dos avanços terapêuticos na insuficiência cardíaca, os pacientes em estágios avançados da doença não usufruem dessas melhorias e permanecem com alta morbidade e mortalidade. O transplante cardíaco torna-se a única opção terapêutica nos casos avançados, cuja mortalidade hoje ultrapassa 50% em dez anos. O maior número de casos encaminhados para avaliação de transplante cardíaco tem aumentado a necessidade de marcadores prognósticos confiáveis para determinar o melhor candidato para transplante dos órgãos disponíveis.

A maioria dos centros e diretrizes preconiza a utilização combinada da avaliação clínica com o teste cardiopulmonar. Adicionalmente, podem ser utilizados escores prognósticos e, por fim, a cateterização do ventrículo direito para aferição das pressões de enchimento.

Atualmente, o teste cardiopulmonar é empregado rotineiramente na determinação dos candidatos a transplante cardíaco (Classe I de indicação) e vem sendo cada vez mais utilizado nos serviços de cardiologia, por apresentar enorme

potencial para aperfeiçoar a estratificação do risco nos pacientes com insuficiência cardíaca. Dentre as diversas variáveis disponíveis no teste cardiopulmonar, destacam-se três principais:

1. Consumo de O_2 (VO_2), que reflete o débito cardíaco, ou seja, quanto maior melhor, desde que o esforço físico realizado tenha sido máximo.
2. Quociente respiratório ou razão de trocas respiratórias (RER ou RQ para a nomenclatura internacional ou QR para a nacional), que representa a relação entre produção de dióxido de carbono (VCO_2) e oxigênio (VO_2) ou $\text{RER} = \text{VCO}_2/\text{VO}_2$, que traduz de forma simplificada o substrato energético utilizado durante o exercício e o teor de ácido láctico vigente no sangue, discutido em detalhes na abordagem sobre variáveis fisiológicas. A *International Society of Heart and Lung Transplantation* (ISHLT) considera que o exercício seja eficaz para a plena valorização do VO_2 pico quando se atingem valores de RQ superiores a 1,05.
3. Razão entre a ventilação-minuto e a produção de gás carbônico (VE/VCO_2), expressa como a inclinação da reta representativa da relação VE/VCO_2 ou slope, que se associa a pior prognóstico e tem como vantagem não depender da intensidade alcançada de exercício, traduzida pelos valores de RQ.

Dentro do processo de decisão clínica, a variável ainda de maior utilização para a indicação do transplante cardíaco é o consumo de oxigênio no pico do exercício. As diretrizes indicam de modo consensual o transplante quando o VO_2 é $< 10 \text{ ml.kg.min}^{-1}$, desde que o paciente esteja com a terapia otimizada e realize exercício máximo. A sobrevida dos pacientes com insuficiência cardíaca aumentou com o uso dessa abordagem terapêutica, que inclui inibidores da enzima de conversão e betabloqueadores. Entretanto é compreensível esperar que em pacientes em vigência de medicação betabloqueadora o VO_2 pico seja menor, pois interfere na frequência cardíaca, que é um dos componentes do débito cardíaco. No entanto, mesmo considerando-se a utilização plena da farmacoterapia disponível, o VE/VCO_2 slope > 35 é de ótima acurácia na caracterização de pior prognóstico em relação ao VO_2 pico, e recentemente seu valor para a identificação de pacientes de alto risco para óbito tem sido confirmado na literatura. Por esses motivos, a ISHLT³ indica como requisitos para a inclusão de pacientes com insuficiência cardíaca em lista de espera para transplante cardíaco os dados constantes na Tabela 1. Após a publicação da ISHLT em 2006, novos estudos da variável VE/VCO_2 slope foram publicados, com a possibilidade da recomendação de sua utilização incluída nas próximas

diretrizes, como indicação independente do VO_2 pico e principalmente nos casos de $\text{VO}_2 > 10 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ e $\text{VO}_2 < 14 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ ou no caso de dúvidas no estabelecimento do prognóstico⁴⁻⁶.

cardíaca. Atualmente duas classificações são consideradas: a) Weber-Janicki⁷, baseada nos valores de VO_2 em ml.kg.min^{-1} no limiar anaeróbico ou limiar ventilatório 1 de Wasserman e no VO_2 pico; e b) classes ventilatórias de acordo com o

Tabela 1 - Graus de recomendação e evidências de variáveis obtidas durante a realização de testes cardiopulmonares

Indicação	Recomendação	Nível de evidência
TCP máximo: teste com RER $> 1,05$ e definição do limiar anaeróbico em ótima terapia farmacológica	I	B
Intolerantes a betabloqueador: utilizar o valor de VO_2 pico $\leq 14 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ para inclusão em lista de TX	I	B
Tolerantes a betabloqueador: utilizar o valor de VO_2 pico $\leq 12 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ para inclusão em lista de TX	I	B
Em pacientes < 50 anos e mulheres: razoável utilizar variáveis alternativas em conjunto com o VO_2 pico para orientar listagem, incluindo porcentual predito do VO_2 pico ($\leq 50\%$)	IIa	B
No TCP submáximo (RER $< 1,05$): equivalente ventilatório de dióxido de carbono ou VE/VCO_2 slope > 35 pode ser considerado determinante para a inclusão em lista de TX	IIb	C
Em obesos ($\text{IMC} > 30 \text{ kg/m}^2$): o VO_2 pico ajustado para a massa corporal magra $< 19 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ pode servir como limiar ótimo para orientar prognóstico	IIb	C
Somente baseados nos critérios VO_2	III	C

IMC = índice de massa corporal; RER = razão de trocas respiratórias; TCP = teste cardiopulmonar; TX = transplante cardíaco; VO_2 = consumo de oxigênio.

Quantificação dos sintomas

O teste cardiopulmonar é capaz de avaliar de forma objetiva os sintomas dos pacientes e oferece vantagens em relação aos outros métodos, pois a classificação da NYHA é puramente subjetiva. As alterações hemodinâmicas centrais em repouso nem sempre têm boa correlação com a capacidade funcional reduzida no exercício e os sintomas da intolerância ao exercício, como dispneia, fadiga ou ambos, podem ser resultado de efeitos adversos do tratamento ou de outras condições que podem ou não estar relacionadas com a doença

VE/VCO_2 slope⁵ (Tabela 2; Figura 1).

Avaliação do prognóstico de pacientes com insuficiência cardíaca

Os dados obtidos dos testes cardiopulmonares usados na indicação de listagem para transplante cardíaco já são suficientes para demonstrar a gravidade dos pacientes. Em 2004, Corrà et al.⁸ idealizaram novo algoritmo prognóstico, acrescentando os valores de RER nos pacientes com $\text{VO}_2 \leq 10 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ (Figura 2).

Tabela 2 - Classificação funcional de Weber-Janicki para insuficiência cardíaca baseada nos valores obtidos de VO_2 no limiar anaeróbico e no pico do exercício pelo teste cardiopulmonar e nos valores de índice cardíaco

Gravidade	Classe	VO_2 pico ml.kg.min^{-1}	VO_2 no LA ml.kg.min^{-1}	Índice cardíaco máximo l.min/m^2
Nenhuma ou leve	A	> 20	> 14	> 8
Leve a moderada	B	16-20	11-14	6-8
Moderada a grave	C	10-16	8-11	4-6
Grave	D	6-10	5-8	2-4
Muito grave	E	< 6	< 4	< 2

LA = limiar anaeróbico.

Adicionalmente, outras variáveis mostram-se de importância na determinação do prognóstico de pacientes com insuficiência cardíaca: a) a eficiência na captação do oxigênio, determinada pelo logaritmo da inclinação da reta representativa da relação VE/VO_2 ou *oxygen uptake efficiency slope* (OUES), que, em essência, representa a taxa absoluta de aumento no VO_2 para cada aumento na taxa de ventilação (os pacientes com insuficiência cardíaca necessitam de aumento

maior da ventilação para produzir o mesmo aumento no valor do VO_2 em comparação a indivíduos normais; valores baixos indicam pior prognóstico, e essa variável pode ser útil em pacientes incapazes de realizar teste de esforço máximo)⁹; b) a oscilação ventilatória ou ventilação periódica no exercício, que é uma alteração cíclica no volume corrente, com padrão em crescendo-decrescendo observada no teste cardiopulmonar¹⁰; c) o tempo de seminormalização do VO_2 no período de recuperação ($T_{1/2}$) ou o tempo que o VO_2 pico

leva para diminuir à metade após a interrupção do esforço (tempos superiores a 90 segundos associam-se a menor sobrevida)¹¹; e d) o retorno ou a queda da frequência cardíaca no primeiro minuto da fase de recuperação (frequência cardíaca máxima - frequência cardíaca no primeiro minuto da recuperação) < 6,5 batimentos por minuto associados ao slope de VE/VCO_2 > 34,5 evidenciaram probabilidade aumentada de eventos no seguimento clínico, com razão de azar ou *hazard ratio* de 9,2¹² (Figura 3).

Recentemente Myers et al.¹⁵ desenvolveram escore prognóstico empregando as variáveis mais utilizadas do teste cardiopulmonar, com o objetivo de facilitar a estratificação de risco em pacientes com insuficiência

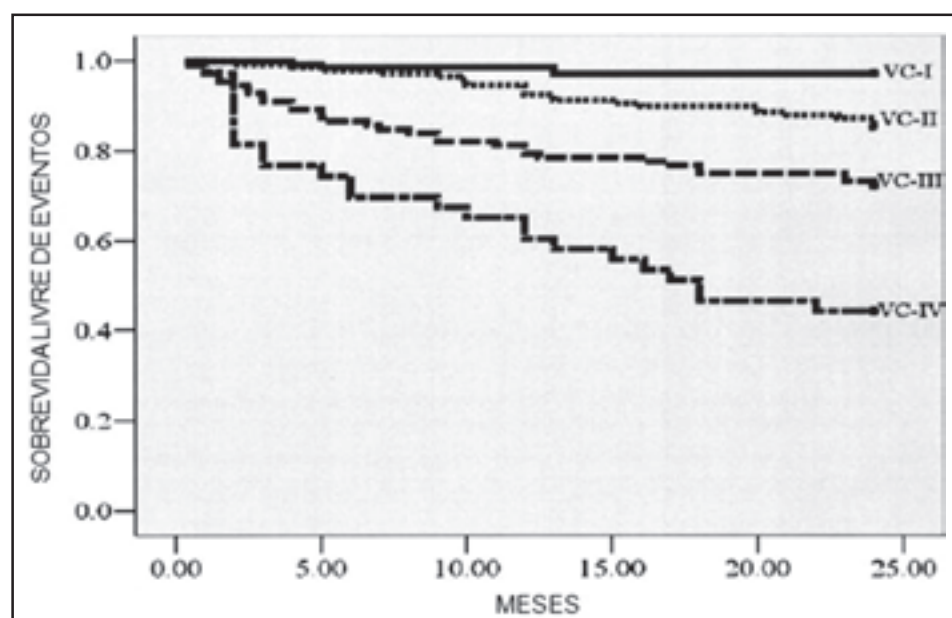


Figura 1. Curva de Kaplan-Meier para eventos cardíacos maiores, no seguimento de dois anos. VC-I = Classe 1 (VE/VCO_2 slope $\leq 29,9$), 97,2% livres de eventos; VC-II = Classe 2 (VE/VCO_2 slope 30,0-35,9), 85,2% livres de eventos; VC-III = Classe 3 (VE/VCO_2 slope 36,0-44,9), 72,3% livres de eventos; VC-IV (VE/VCO_2 slope ≥ 45), 44,2% livres de eventos.

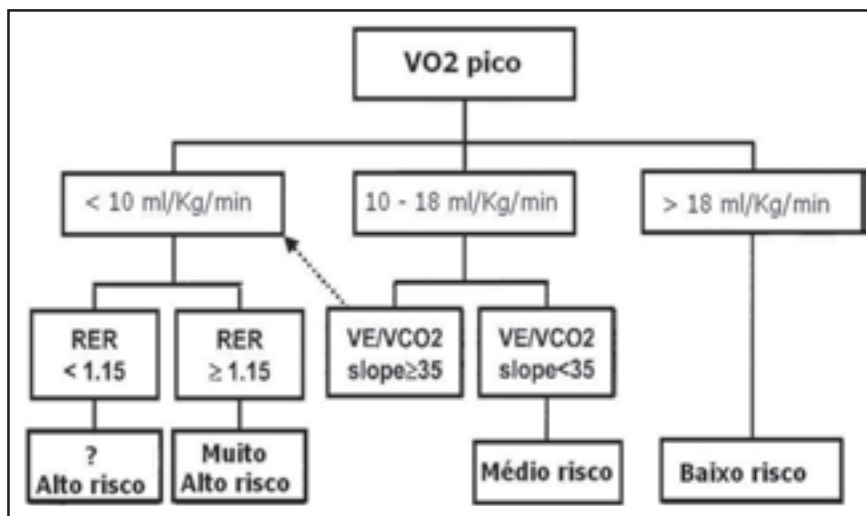


Figura 2. Algoritmo prognóstico de pacientes com insuficiência cardíaca utilizando parâmetros do teste cardiopulmonar. A linha tracejada indica que pacientes com capacidade funcional intermediária e resposta ventilatória (VE/VCO_2 slope) excessiva apresentam mortalidade total comparável à daqueles com $VO_2 \leq 10$ ml.kg.min⁻¹.

cardíaca. Foram incluídos VO_2 pico, marcadores de eficiência ventilatória (VE/VCO_2 slope e OUES) e respostas hemodinâmicas (queda da frequência cardíaca no primeiro minuto da fase de recuperação e incompetência cronotrópica), além da pressão final expirada de CO_2 ($PETCO_2$). Em um período médio de seguimento de 29 meses (desvio padrão, 25), 710 pacientes com insuficiência cardíaca, 568 homens e 142 mulheres, com média de idade de 56 anos (desvio padrão, 13) e de fração de ejeção em repouso de 33% (desvio pa-

drão, 14) foram acompanhados para morte por causas cardíacas e de modo separado para outros eventos maiores como morte, hospitalização por insuficiência cardíaca, e transplante ou implante de dispositivos de assistência circulatória no ventrículo esquerdo. O VE/VCO_2 slope ≥ 34 foi considerado o maior preditor de risco, sendo atribuído peso relativo de 7; queda da frequência cardíaca de recuperação ≤ 6 no primeiro minuto = 5; OUES $> 1,4 = 3$; $PETCO_2 < 33$ mmHg = 3; $VO_2 \leq 14$ ml.kg.min⁻¹ = 2. A variável incompetência cro-

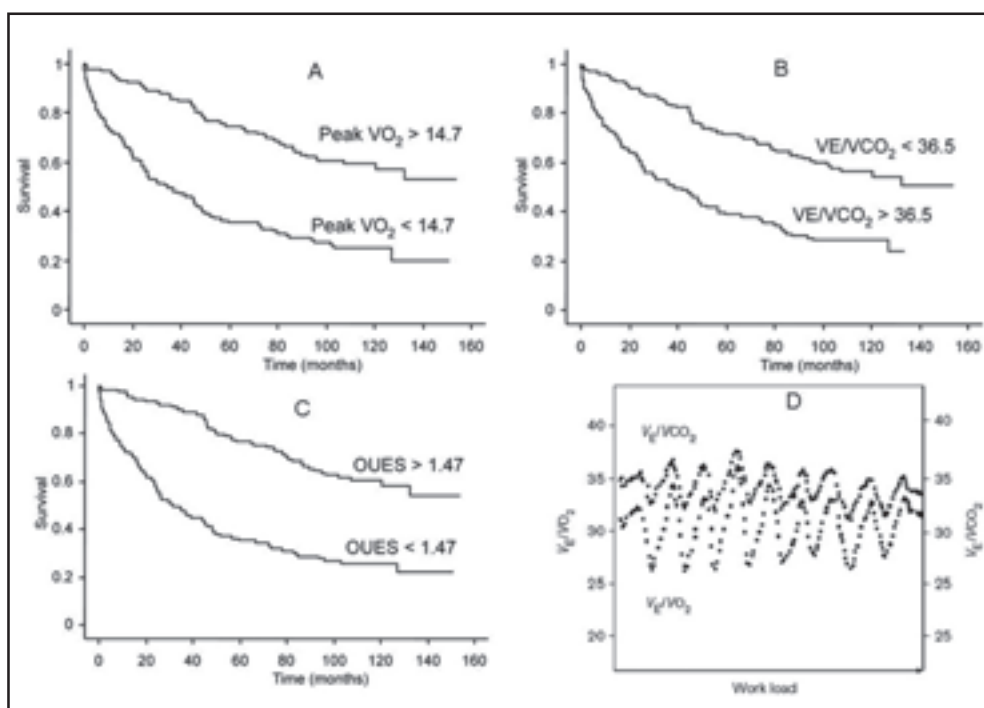


Figura 3. Em A, B e C, exemplos das variáveis do teste cardiopulmonar e valor prognóstico¹³. Em D, presença de oscilação ventilatória¹⁴. OUES = oxygen uptake efficiency slope; Peak = pico.

notrópica não foi considerada significativa, sendo excluída do escore. Resultados do escore > 15 estiveram associados com mortalidade anual de 27% e risco relativo (RR) de 7,6, ao passo que escores < 5 estiveram associados a taxa de mortalidade de 0,4%. O escore obteve a maior acurácia preditiva para os eventos cardiovasculares entre todos os comportamentos isolados considerados das variáveis cardiopulmonares, permanecendo associado de modo significativo com risco aumentado de eventos mesmo após ajustes para idade, sexo, índice de massa corporal, fração de ejeção e tipo de cardiomiopatia. Quanto maior a soma dos pesos pior o prognóstico (Figura 4). Assim como outros escores prognósticos, torna-se necessária a validação em estudos prospectivos nas populações específicas de cada país.

TESTE CARDIOPULMONAR NA INSUFICIÊNCIA CORONÁRIA

A detecção de isquemia durante o esforço utilizando o teste cardiopulmonar baseia-se no princípio fisiológico de que a contratilidade depende da regeneração de compostos de fosfato de alta energia em todas as regiões do miocárdio²⁰. A adenosina trifosfato necessita ser regenerada durante o ciclo cardíaco (contração/relaxamento) pelo metabolismo oxidativo, resultado da adequada oferta de oxigênio ao músculo cardíaco, mantida pelo fluxo coronário. Quando a elevação da carga de trabalho aplicada não é acompanhada pelo aumento do fluxo, configura-se o desbalanço entre a oferta e a demanda de oxigênio, caracterizando-se a situação de isquemia miocárdica induzida pelo exercício. Esta precede

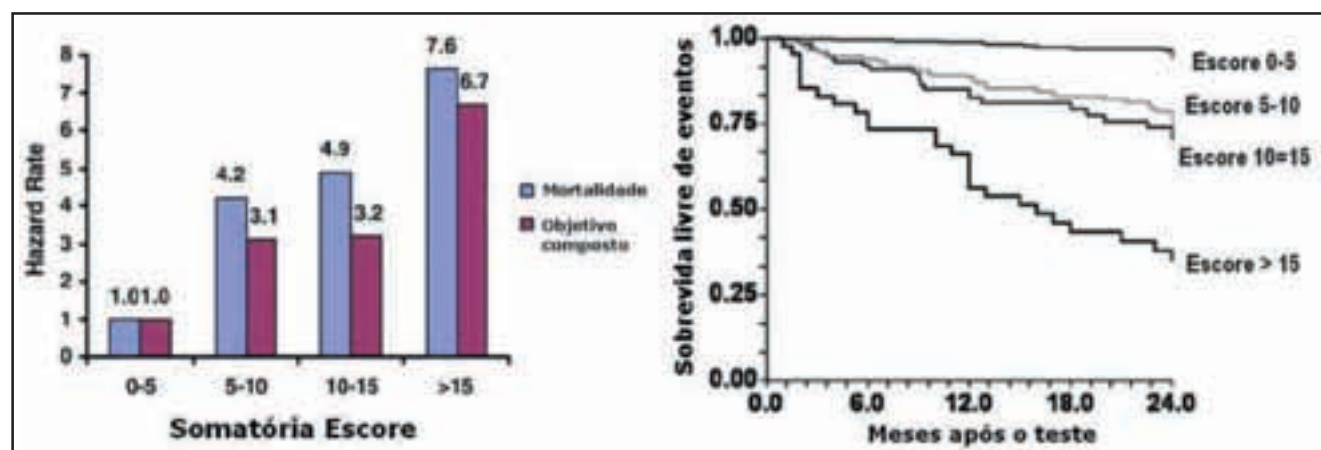


Figura 4. Escore prognóstico do teste cardiopulmonar.

Avaliação do sucesso da terapia em pacientes com insuficiência cardíaca

Pode-se utilizar o teste cardiopulmonar para avaliar a resposta terapêutica em pacientes com insuficiência cardíaca, porém avaliações seriadas podem ser mais difíceis de interpretar que apenas uma avaliação. Se é utilizado o porcentual de variação em relação ao basal ele pode ter interpretações diferentes se não se considera a individualidade dos doentes. O aumento do VO_2 pico de 2 ml.kg.min^{-1} em paciente com $20 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ representa incremento de 10%, mas para um paciente com valor basal de $10 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ o incremento será de 20%. Estudos recentes permitiram avaliar a resposta cardiovascular não só dos medicamentos, mas também da prescrição, e o efeito do exercício no tratamento da insuficiência cardíaca, assim como da terapia de ressincronização¹⁶⁻¹⁹.

a queda abrupta do volume sistólico ventricular esquerdo e a instalação de disfunção ventricular esquerda, refletindo modificações no comportamento de algumas variáveis obtidas em tempo real durante a realização do teste cardiopulmonar, mesmo sem a concomitância, por vezes, de alterações de ST ou manifestações clínicas da isquemia desencadeada.

Embora as medidas do VO_2 durante o exercício sejam feitas a partir dos gases expirados captados na cavidade bucal, o aumento no consumo reflete a utilização de oxigênio pelas células musculares envolvidas na realização do trabalho. A razão entre as elevações do VO_2 e da carga aplicada exhibe padrão característico, a depender do protocolo aplicado, da presença ou não de cardiopatia, da capacidade física, e traduz o quanto de oxigênio está sendo utilizado pelo indivíduo sob condições de estresse físico em relação à quantidade de

trabalho externo que está sendo aplicado²¹. A inclinação da reta resultante da elevação linear entre as duas variáveis, VO_2 em função da carga de trabalho, é estabelecida por uma equação de regressão e mede a eficiência do trabalho aeróbico. Durante a aplicação de protocolos de rampa progressivos com aumentos de carga a cada minuto e com o objetivo de alcançar o esforço ou o VO_2 máximo, o slope ou inclinação é de 10 ml.min.watt em indivíduos normais, independentemente de sexo, idade e altura, sendo ligeiramente maior nos atletas, sugerindo que a razão entre a variação do VO_2 e a variação da carga seja ligeiramente superior quando comparados aos não-atletas^{20,22,23} (Figura 5). Se os músculos não conseguem extrair o oxigênio necessário para a realização do exercício, a inclinação ou o slope é menor, em torno de 7/8 ml.kg.min⁻¹, como acontece em doenças cardíacas, pulmonares e circulatórias, não se alcançando frequentemente o VO_2 pico predito para a idade (Figura 6)²³. Ressalta-se em especial nessas situações a obrigatoriedade da medida direta do VO_2 e não a estimativa a partir da carga pico de trabalho, com valores preditos derivados de fórmulas para indivíduos normais, onde o slope é relativamente constante. Em pacientes submetendo-se a provas submáximas, a razão VO_2 /carga com inclinação normal sugere causa de interrupção não-cardíaca, enquanto diante da redução infere falência circulatória, sugerindo-se valor prognóstico para essa relação²⁴. No entanto, a análise individual apresenta grande variabilidade, limitando sua utilização (Figuras 5 e 6).

Das variáveis envolvidas durante a realização de um teste cardiopulmonar, a alteração no comportamento do pulso de oxigênio durante o exercício, em resposta à aplicação do trabalho externo e ao aumento da frequência cardíaca, ambos relacionados ao aumento do VO_2 , parece ser a chave principal para o diagnóstico da isquemia miocárdica. Calculado como a razão entre o VO_2 e a frequência cardíaca (VO_2/FC), representa a quantidade de oxigênio transportada em cada batimento cardíaco e é igual ao volume sistólico (VS) multiplicado pela diferença arteriovenosa de oxigênio [$\text{VS} \times (A-V)\text{O}_2$]. O volume sistólico pode ser estimado no limiar anaeróbico e no pico do exercício, bem como nos momentos relacionados aos aumentos das cargas, e a diferença arteriovenosa de oxigênio é reproduzível se a hemoglobina e a saturação de oxigênio forem levadas em consideração.^{25,26} Sob condições fisiológicas, o pulso de O_2 apresenta elevação progressiva durante o esforço, de modo curvilíneo predominante. Entretanto, em vigência de isquemia e a depender de sua magnitude, poderá ocorrer disfunção ventricular esquerda, com perda de mecanismos de compensação entre queda do volume sistólico e aumento da

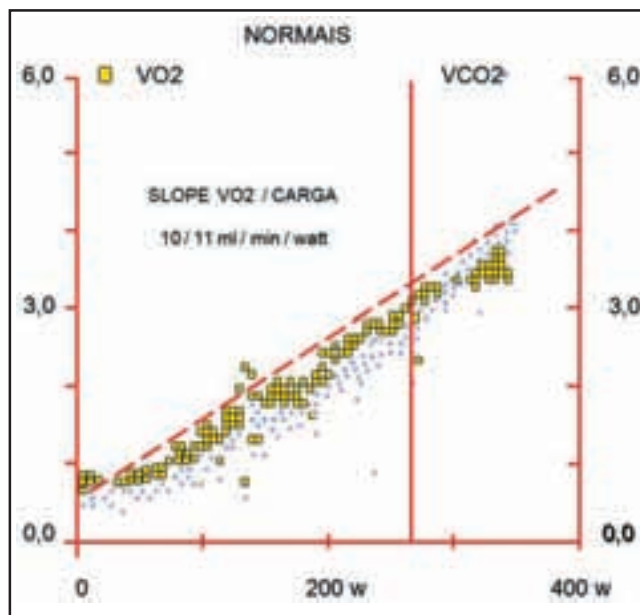


Figura 5. Inclinação da reta ou slope resultante da razão entre consumo de oxigênio (VO_2) e carga aplicada e entre produção de CO_2 e trabalho externo aplicado em watts (w), em indivíduos normais. No eixo das ordenadas (direita e esquerda) estão representados o VO_2 e o VCO_2 em litros por minuto e no das abscissas, a carga externa aplicada em watts.

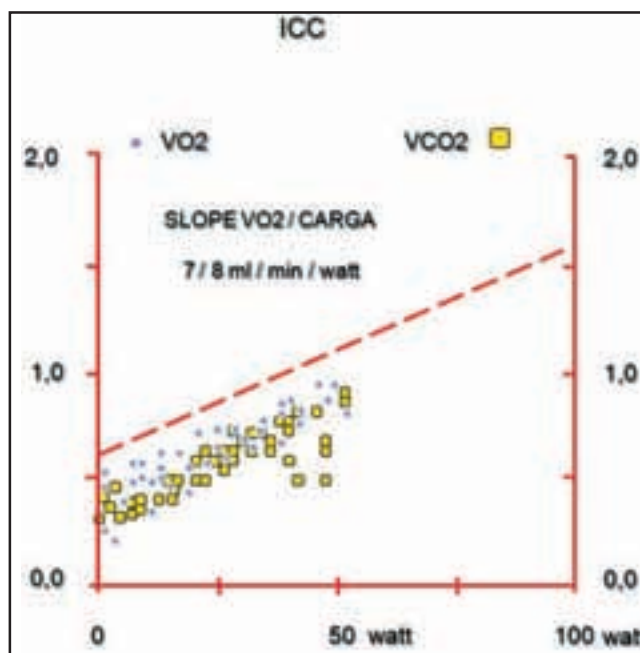


Figura 6. Inclinação da reta ou slope resultante da razão entre consumo de oxigênio (VO_2) e carga aplicada e entre produção de CO_2 e trabalho externo aplicado em watts (w), em cardiopatas. No eixo das ordenadas (direita e esquerda) estão representados o VO_2 e o VCO_2 em litros por minuto e no das abscissas, a carga externa aplicada em watts. ICC = insuficiência cardíaca.

frequência cardíaca, diminuição ou redução do slope da razão $\Delta \text{VO}_2/\Delta \text{carga}$, diminuição ou perda do aumento progressivo do pulso de O_2 com concomitante redução do slope da razão entre frequência cardíaca e captação de oxigênio (Figuras 7 e 8).

Considerando-se que o grau de disfunção ventricular

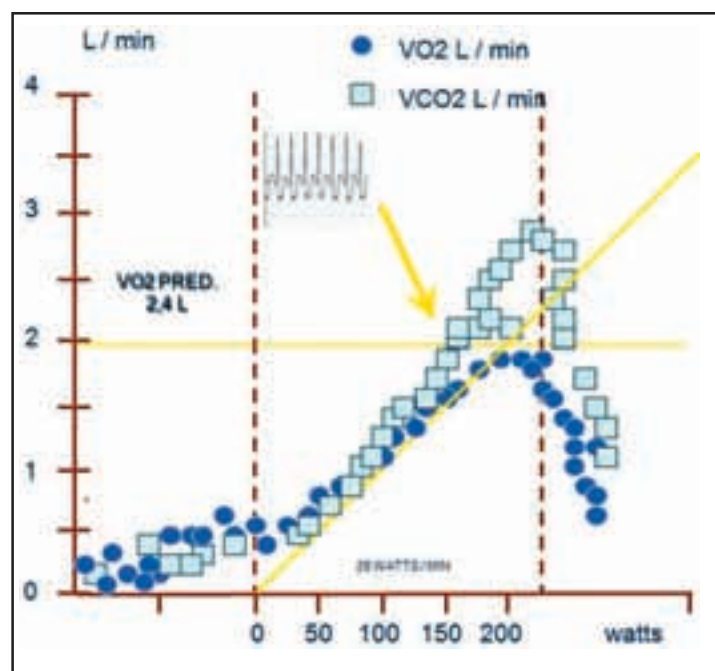
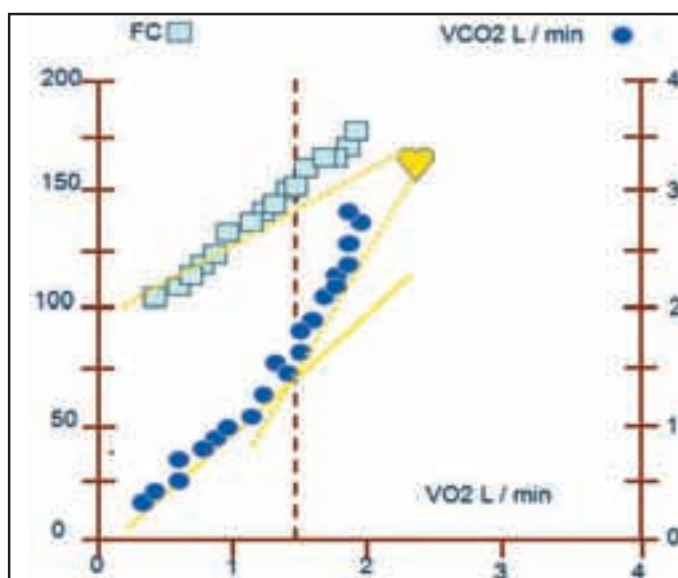


Figura 7. Modificação da inclinação ou slope da razão VO_2/carga em momento de isquemia. Reta inclinada = slope normal; reta horizontal = modificação do slope a partir da caracterização de isquemia eletrocardiográfica; $\text{VO}_2 \text{ PRED}$ = consumo de oxigênio predito para a idade, em litros por minuto.

Figura 8. Modificação da inclinação ou slope da razão FC/VO_2 e VCO_2/VO_2 na presença de isquemia induzida pelo esforço. As linhas pontilhadas amarelas unindo-se à imagem do coração representam os valores preditos. Eixo das abscissas: $\text{VO}_2 \text{ L min}$ = consumo de oxigênio predito para a idade, em litros por minuto; FC = frequência cardíaca. Eixo das ordenadas, à esquerda = FC em batimentos por minuto. Eixo das ordenadas, à direita = produção de dióxido de carbono em litros por minuto, representada por $\text{VCO}_2 \text{ L/min}$.

esquerda detectado pelo teste cardiopulmonar é diretamente relacionado à quantidade de miocárdio em risco, há maior probabilidade de detecção de doença coronária obstrutiva grave.²⁷ Adicionalmente e de observação recente verifica-se a participação do teste cardiopulmonar na caracterização de doença microvascular, especialmente no sexo feminino, que, em função do prognóstico adverso, tem sido encarada como importante problema de saúde pública.^{28,29} Assim, as alterações características no pulso de oxigênio, na relação $\Delta \text{VO}_2/\Delta \text{carga}$ e o padrão de resposta entre elevações da frequência cardíaca e VO_2 podem ser de utilidade na avaliação seriada de intervenções terapêuticas, como a normalização da função ventricular esquerda após revascularização miocárdica³⁰.

Com o objetivo de identificar os parâmetros do teste cardiopulmonar na identificação de isquemia miocárdica e determinar a acurácia do método para doença arterial coronária, Belardinelli et al.³¹ estudaram 202 pacientes consecutivos, 173 homens e 29 mulheres, com média de idade de 55,7 anos (desvio padrão, 10,8), portadores de doença arterial coronária conhecida. Todos se submeteram a teste cardiopulmonar seguido por novo teste associado à cintilografia do miocárdio com radiofármacos pela técnica de gated-SPECT dois dias após. Curvas ROC selecionaram um modelo de duas variáveis: 1) duração da curva achatada de pulso a partir do início da isquemia até o pico do exercício; 2) slope da razão $\Delta \text{VO}_2/\Delta \text{carga}$, para prever isquemia miocárdica induzida pelo exercício. A cintilografia do miocárdio, considerada padrão para a avaliação, identificou 140 pacientes com defeitos



reversíveis de perfusão e excluiu os restantes 62. A sensibilidade e a especificidade do teste de esforço foram de 46% e 66%, respectivamente, aumentando para 87% e 74% quando as variáveis do teste cardiopulmonar foram incluídas na análise.

Em nosso meio, Fuchs et al.³² estudaram, por teste cardiopulmonar associado a cintilografia miocárdica com ^{99m}TC-MIBI, 39 pacientes com doença arterial coronária estável em programa de reabilitação cardiovascular,

objetivando determinar a frequência de isquemia miocárdica durante a sessão de ginástica, na intensidade do exercício prescrito correspondente ao limiar anaeróbico. Demonstraram na amostra populacional selecionada 64% de prevalência de isquemia na carga do ginásio estabelecida com base no teste cardiopulmonar, além da observação da curva achatada de pulso de oxigênio a partir desse momento nos pacientes com maior quantidade de isquemia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pina IL, Apstein CS, Balady GJ, Belardinelli R, Chaitman BR, Duscha BD. Exercise and heart failure: a statement from the American Heart Association Committee on exercise, rehabilitation, and prevention. *Circulation*. 2003;107:1210-25.
2. Albouaini K, Egred M, Alahmar A, Wright DJ. Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Heart*. 2007;93(10):1285-92.
3. Mehra MR, Kobashigawa J, Starling R, Russell S, Uber PA, Parameshwar J, et al. Listing criteria for heart transplantation: International Society for Heart and Lung Transplantation guidelines for the care of cardiac transplant candidates – 2006. *J Heart Lung Transplant*. 2006;25(9):1024-42.
4. Guimarães GV, Silva MS, d'Avila VM, Ferreira SM, Silva CP, Bocchi EA. Peak VO₂ and VE/VCO₂ slope in betablockers era in patients with heart failure: a Brazilian experience. *Arq Bras Cardiol*. 2008;91(1):39-48.
5. Arena R, Myers J, Abella J, Peberdy MA, Bensimhon D, Chase P, et al. Development of a ventilatory classification system in patients with heart failure. *Circulation*. 2007 May 8;115(18):2410-7.
6. Myers J, Arena R, Dewey F, Bensimhon D, Abella J, Hsu L, et al. A cardiopulmonary exercise testing score for predicting outcomes in patients with heart failure. *Am Heart J*. 2008 Dec;156(6):1177-83.
7. Janicki JS, Weber KT, McElroy PA. Use of the cardiopulmonary exercise test to evaluate the patient with chronic heart failure. *Eur Heart J*. 1988 Jun;9 Suppl H:55-8.
8. Corrà U, Mezzani A, Bosimini E, Giannuzzi P. Cardiopulmonary exercise testing and prognosis in chronic heart failure. *Chest*. 2004;126:942-50.
9. Van LC, Bartunek J, Goethals M, Nellens P, Andries E, Vanderheyden M. Oxygen uptake efficiency slope, a new submaximal parameter in evaluating exercise capacity in chronic heart failure patients. *Am Heart J*. 2005 Jan;149(1):175-80.
10. Olson LJ, Arruda-Olson AM, Somers VK, Scott CG, Johnson BD. Exercise oscillatory ventilation: instability of breathing control associated with advanced heart failure. *Chest*. 2008 Feb;133(2):474-81.
11. Queiros MC, Mendes DE, Ribeiro MA, Mendes M, Rebocho MJ, Seabra-Gomes R. Recovery kinetics of oxygen uptake after cardiopulmonary exercise test and prognosis in patients with left ventricular dysfunction. *Rev Port Cardiol*. 2002 Apr;21(4):383-98.
12. Arena R, Guazzi M, Myers J, Peberdy MA. Prognostic value of heart rate recovery in patients with heart failure. *Am Heart J*. 2006 Apr;151(4):851.e7-13.
13. 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 Mar;27(6):684-90.
14. Guazzi M, Raimondo R, Vicenzi M, Arena R, Proserpio C, Sarzi Braga S, et al. Exercise oscillatory ventilation may predict sudden cardiac death in heart failure patients. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50(4):299-308.
15. Myers J, Arena R, Dewey F, Bensimhon D, Abella J, Hsu L, et al. A cardiopulmonary exercise testing score for predicting outcomes in patients with heart failure. *Am Heart J*. 2008 Dec;156(6):1177-83.
16. De Marco T, Wolfel E, Feldman AM, Lowes B, Higginbotham MB, Ghali JK, et al. Impact of cardiac resynchronization therapy on exercise performance, functional capacity, and quality of life in systolic heart failure with QRS prolongation: COMPANION trial sub-study. *J Card Fail*. 2008 Feb;14(1):9-18.
17. Myers J. Principles of exercise prescription for patients with chronic heart failure. *Heart Fail Rev*. 2008 Feb;13(1):61-8.
18. Behling A, Rohde LE, Colombo FC, Goldraich LA, Stein R, Clausell N. Effects of 5'-phosphodiesterase four-week long inhibition with sildenafil in patients with chronic heart failure: a double-blind, placebo-controlled clinical

- trial. *J Card Fail*. 2008 Apr;14(3):189-97.
19. 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. Task Force of the Italian Working Group on Cardiac Rehabilitation and Prevention (Gruppo Italiano di Cardiologia Riabilitativa e Prevenzione – GICR), endorsed by Working Group on Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology of the European Society of Cardiology. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2006;13:485-94.
 20. Chaudhry S, Arena R, Wasserman K, Hansen JE, Lewis GD, Myers J, et al. Exercise-induced myocardial ischemia detected by cardiopulmonary exercise testing. *Am J Cardiol*. 2009;103:615-9.
 21. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ. Measurements during integrative cardiopulmonary exercise testing. In: Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ, editors. *Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications*. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 80-1.
 22. Ryley M, Wasserman K, Fu PC, Cooper CB. Muscle substrate utilization from alveolar gas exchange in trained cyclist. *Eur J Appl Physiol*. 1996;72:341-8.
 23. Statement on CPX in Chronic HF due to left ventricular dysfunction. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2006;13:150-64.
 24. Koike A, Itoh H, Kato M, Sawada H, Aizawa T, Fu LT, et al. Prognostic power of ventilatory responses during submaximal exercise in patients with chronic heart disease. *Chest*. 2002;121:1581-8.
 25. Whipp BJ, Higgenbotham MB, Cobb FC. Estimating exercise stroke volume from asymptotic oxygen pulse in humans. *J Appl Physiol*. 1996;81:2674-9.
 26. Crisafulli A, Piras F, Chiappori P, Vitelli S, Caria MA, Lobina A, et al. Estimating stroke volume from oxygen pulse during exercise. *Physiol Meas*. 2007;28:1201-12.
 27. Munhoz EC, Hollanda R, Vargas JP, Silveira CW, Lemos AL, Hollanda RM, et al. Flattening of oxygen pulse during exercise may detect extensive myocardial ischemia. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39:1221-6.
 28. Lerman A, Sopko G. Women and cardiovascular heart disease: clinical implications from the Women's Ischemia Syndrome Evaluation (WISE) study: are we smarter? *J Am Coll Cardiol*. 2006;47:S59-S62.
 29. Humphries KH, Pu A, Gao M, Carere RG, Pilote L. Angina with "normal" coronary arteries: gender differences in outcomes. *Am Heart J*. 2008;155:375-81.
 30. Contini M, Andreini D, Agostoni P. Cardiopulmonary exercise test evidence of isolated right coronary artery disease. *Int J Cardiol*. 2006;113:281-2.
 31. Belardinelli R, Lacalaprice F, Carleb F, Minnucci A, Ciancia G, Perna GP, et al. Exercise-induced myocardial ischaemia detected by cardiopulmonary exercise testing. *Eur Heart J*. 2003;24:1304-13.
 32. Fuchs AR, Meneghelo RS, Stefanini E, De Paola AV, Smanio PE, Mastrocolla LE, et al. Exercise may cause myocardial ischemia at the anaerobic threshold in cardiac rehabilitation programs. *Braz J Med Biol Res*. 2009 Mar;42(3):272-8.