

Considerações sobre Ergoespirometria

Salvador Serra

Rio de Janeiro, RJ

Desde o início da década de 60, quando inaugurada a primeira bicicleta ergométrica no Instituto Estadual de Cardiologia Aloysio de Castro, no Rio de Janeiro, o teste ergométrico (TE) tornou-se, em nosso meio, método investigatório em diversas situações clínicas, principalmente das doenças cardiovasculares.

A expansão do procedimento teria alcançado ponto máximo quando, na presente década, sistemas computadorizados cada vez mais sofisticados, passaram a estar presentes nos laboratórios de ergometria.

Entretanto, embora no enfoque eletrocardiográfico e, mesmo na avaliação da capacidade funcional em grande parte das situações clínicas, o procedimento habitual seja satisfatório¹, a análise dos gases expirados durante o TE, procedimento por alguns denominado ergoespirometria e, por outros, teste cardiopulmonar, acrescenta importantes informações de relevância clínica, além de apresentar elevado grau de reprodutibilidade².

O interesse apenas recente da ergoespirometria em nosso país, contrasta com a sua utilização, já há várias décadas, em inúmeros serviços internacionais.

Sua crescente, embora tardia, utilização pode ser atribuída à facilidade tecnológica, permitindo a utilização de equipamentos menores, de fácil manuseio, reduzido custo e boa precisão de dados, embora passíveis de algumas restrições³ e ao maior interesse do clínico em aprofundar conhecimento da funcionalidade cardiorrespiratória, particularmente, porém, não exclusivamente, em portadores de disfunção ventricular esquerda nas diversas classes funcionais.

Método

O teste cardiopulmonar é realizado simultaneamente ao TE, independente do ergômetro ou protocolo utilizado.

Além da rotineira monitorização eletrocardiográfica e da pressão arterial, sistema de máscara ou bocal interligado a equipamento eletrônico, previamente calibrado, irá permitir a passagem de gases expirados, os quais serão analisados e registrados via impressora, a intervalos de tempo va-

riáveis. Clip específico impedirá respiração por via nasal.

Os dados obtidos poderão ser apresentados sob forma de tabelas e/ou gráficos, que facilitarão a identificação de índices e limiares observados durante o exercício.

Oximetria poderá ser também utilizada, visando acompanhar a resposta da saturação de oxigênio durante o exercício, interrompendo-o quando ocorrer redução >5%.

Os protocolos de esforço preconizados devem, como sempre, ser individualizados, independente do ergômetro utilizado.

Tem sido recomendado, pela melhor identificação do limiar anaeróbio e por permitir maiores níveis de VO₂ máximo, os denominados protocolos de rampa^{4,5}. Caracterizam-se por incrementos de carga em reduzido intervalo de tempo - até mesmo de 6s - idealmente com duração total do exercício entre 8 e 12min^{6,7}. Tais limites temporais seriam os adequados⁸ para que o esforço não viesse a ser interrompido por fadiga muscular láctica precoce ou por esgotamento das reservas de glicogênio. A aplicação de questionários preditores da capacidade aeróbica máxima^{9,10} ao indivíduo testado, indicaria qual o VO₂ estimado a ser alcançado aos 10min de exercício, assim como seu grau de incremento.

Relevância clínica dos dados obtidos

Além das informações de caráter clínico, hemodinâmico e eletrocardiográfico, habitualmente obtidas pelo TE clássico, a ergoespirometria, ao fornecer dados adicionais, pode tornar de maior significado diagnóstico pequenas respostas inadequadas durante o TE tradicional, assim como considerar outras respostas como de caráter irrelevante.

Discreta queda tensional sistólica intraesforço, frequentemente pouco valorizada, associada a curva do pulso de oxigênio - elaborada através da ergoespirometria - em platô ou em queda, pode enfatizar a suspeita diagnóstica de disfunção ventricular durante exercício. Por outro lado, paciente desmotivado para a realização do esforço, realizando TE sem as informações do teste cardiopulmonar, poderá ter seu teste considerado máximo e, conseqüentemente, classificado como de baixa tolerância. O teste cardiopulmonar sendo capaz de identificar a intensidade submáxima do exercício realizado, permitirá novo enfoque à avaliação do paciente.

Dos parâmetros analisados durante o procedimento destacam-se como de maior significância clínica:

Instituto Estadual de Cardiologia Aloysio de Castro - Rio de Janeiro
Hospital Procardíaco - Rio de Janeiro
Correspondência: Salvador Serra - Rua David Campista, 326 - Reabilitação
Cardiovascular - 22261-010 - Rio de Janeiro, RJ
Recebido para publicação em 28/11/96
Aceito em 19/2/97

VO₂ máximo ou do pico de exercício e limiar anaeróbio - A interrupção precoce de um TE que se deseja máximo pode decorrer de fatores físicos de origem cardíaca ou não, psicológicos ou por avaliação subjetiva inadequada do paciente ou do médico, quanto ao que se consideraria verdadeiramente máximo.

A ergoespirometria, concomitante também a fatores subjetivos, como a sensação de cansaço em escala de 0 a 10^{11,12}, e a fatores objetivos, como a mobilização adequada da reserva de frequência cardíaca, poderá identificar a não significativa elevação do consumo de oxigênio durante o esforço¹³ e, também, caracterizar o real consumo máximo de oxigênio do indivíduo avaliado.

A interrupção do exercício antes desta observação, particularmente quando a elevação fisiológica da produção de CO₂ pelo organismo não ultrapassa em 10% aos também valores crescentes de VO₂, ou seja, quando o equivalente respiratório, correspondente à relação VCO₂/VO₂, não ultrapassa a 1,1, caracteriza a interrupção do esforço como em nível submáximo.

A obtenção ou não da frequência cardíaca pré-máxima teórica através de equações não permite, isoladamente, caracterizar como máximo ou não o esforço desenvolvido.

A análise da elevação do VO₂ em relação à intensidade progressiva do exercício - delta VO₂/delta carga de trabalho, que se espera linear até próximo do VO₂ máximo, pode auxiliar no diagnóstico de uma resposta inadequada, como, por exemplo, isquemia miocárdica durante o esforço¹⁴. Em presença de alteração eletrocardiográfica apenas sugestiva de isquemia, em ausência de angina ou outras manifestações, porém de aparecimento concomitante à súbita redução na elevação do VO₂, apesar da elevação da intensidade do esforço, reforça a real etiologia isquêmica das alterações.

Por outro lado, a mais acurada definição de insuficiência cardíaca tem sido associada à impossibilidade do sistema cardiovascular de transportar oxigênio à mitocôndria, em quantidade suficiente para síntese de ATP necessária às necessidades do organismo¹⁵.

Sob esta ótica, a limitação do sistema cardiovascular pode ser identificada através do VO₂ máximo, obtido em relação ao estimado e do ponto de mudança de predomínio do metabolismo aeróbio para o anaeróbio, classicamente denominado limiar anaeróbio ou, talvez mais adequadamente, limiar ventilatório ou limiar láctico, em razão de alguns autores questionarem a implicação de anaerobiose, como o real mecanismo de seu surgimento^{16,17}. Tal limiar, indivíduos normais, é observado em torno de 55% do VO₂ máximo¹⁸.

A não ocorrência do limiar anaeróbio, porém com a evidência de limitação de prosseguimento do exercício devido a dispnéia e/ou fadiga, embora não afastando em definitivo doença cardíaca, indicará muito possivelmente, a origem respiratória para a interrupção do TE, principalmente quando associado a reduzida reserva respiratória, a qual relaciona a ventilação voluntária máxima em repouso com a do pico do esforço. Índices de reservamenores que 20% - reforça a possibilidade diagnóstica de comprometimento pulmonar¹⁶.

Devemos lembrar que a ampla reserva respiratória, em indivíduos normais, permite não ter a função pulmonar como elemento limitante à prática de exercícios.

A monitorização através de oxímetro durante o esforço, poderá, em caso de simultânea queda importante da saturação de oxigênio, enfatizar a presença de doença pulmonar, facilitando também no diagnóstico diferencial de dispnéia ao esforço.

Alguns autores têm demonstrado acentuação da disfunção ventricular em portadores de insuficiência cardíaca crônica submetidos a atividade física em intensidade superior ao limiar anaeróbio¹⁹. Tal resposta permite-nos associar a presença de fadiga precoce e maior potencial de risco acima deste ponto, o que, nesses casos, justifica maior precisão de sua identificação através da análise das trocas dos gases respiratórios ao exercício.

VCO₂ e ventilação pulmonar - Durante a fase inicial de exercício de intensidade progressiva e constante, a produção de CO₂ é crescente e relativamente linear e paralela ao consumo de oxigênio - VO₂.

O limiar anaeróbio, através da ergoespirometria, pode ser identificado através do registro do ponto em que se inicia a exacerbação da produção de CO₂. Tal observação decorre do tamponamento sanguíneo do ácido láctico pelo bicarbonato resultando H₂O e CO₂, como elementos finais.

O CO₂ produzido em relação ao oxigênio consumido - VCO₂/VO₂ - relação denominada quociente respiratório (fig. 1), é utilizado na ergoespirometria como uma das referências na identificação do limiar anaeróbio.

Assim, simultaneamente, eleva-se a ventilação pulmonar, porém sem proporcional elevação do consumo de oxigênio, resultando em aumento da relação VE/VO₂ - equivalente respiratório de O₂ - que é um índice utilizado na avaliação da eficiência respiratória. Valores excessivamente elevados da relação VE/VO₂ caracterizam pacientes com doença pulmonar ou insuficiência cardíaca crônica²⁰.

Em portador de disfunção ventricular este limiar tende a ocorrer precocemente¹⁴, reduzindo a tolerância às atividades habituais e, conseqüentemente, sua qualidade de vida.

Sob estímulo da elevação do CO₂, a ventilação pulmo-

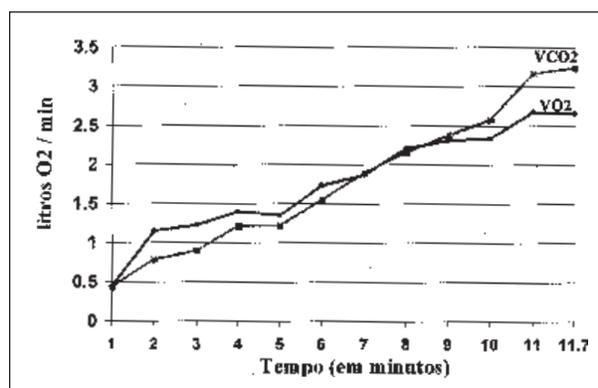


Fig. 1 - Curva do consumo de oxigênio (VO₂) e da produção de CO₂ (VCO₂) em homem de 43 anos saudável, durante exercício.

nar apresenta, posteriormente, elevação adicional, caracterizando o denominado ponto de compensação respiratória ou limiar 2.

Aqui, em resposta compensatória à acidose láctica, como a ventilação pulmonar supera a produção de CO_2 , teremos um aumento da relação VE/VCO_2 - equivalente respiratório de CO_2 - bem como adicional elevação da relação VE/VO_2 .

Embora a informação prestada pelo paciente do grau de cansaço apresentado a cada minuto durante um TE possa fornecer informações indiretas das possíveis respostas metabólicas durante o esforço^{11,12}, freqüentemente a margem de erro dessas observações pode ser considerável.

A ergoespirometria nos permite identificar objetivamente a conseqüência respiratória das modificações metabólicas impostas pelo estresse do exercício.

Testes ergoespirométricos seriados podem ser úteis não apenas na avaliação funcional, como também, na análise detalhada da identificação do agravamento e do prognóstico da doença, na resposta da terapêutica farmacológica ou cirúrgica ou de programas de reabilitação cardíaca, assim como na inclusão ou exclusão de pacientes da possibilidade de transplante cardíaco.

Eficiência mecânica - O desenvolvimento de uma determinada atividade com menor gasto energético caracteriza maior eficiência na sua realização. Apenas 20% do desprendimento de energia é utilizado para a realização da atividade; os demais 80% são desperdiçados em calor¹⁶.

A prática sucessiva de TE ou realizações freqüentes de sessões de atividade física em um dado ergômetro em um mesmo indivíduo, tenderá à redução do consumo de oxigênio frente à mesma intensidade de exercício.

Nos TE habitualmente realizados tal situação não é considerada. As equações que estimam o VO_2 durante os testes têm como variáveis o tempo sobre a esteira em um dado protocolo, a velocidade, a inclinação ou a carga em watts, independente do número de testes já realizados pelo indivíduo.

A medida mais fiel do consumo de oxigênio através do teste cardiopulmonar indicar-nos-á o real VO_2 para, por exemplo, uma determinada intensidade do teste de esforço. O consumo de oxigênio naquela mesma intensidade tende-

rá a ser menor após repetições prévias do uso do ergômetro, evidenciando, portanto, um aumento da eficiência mecânica para aquele exercício, a qual, matematicamente, é definida pela equação: eficiência mecânica = trabalho realizado/ VO_2 .

Indivíduos obesos, como reflexo da sobrecarga de mover os membros mais pesados, tendem a consumir aproximadamente mais 5,8ml de oxigênio/kg/min para semelhante intensidade de exercício em relação aos não obesos²¹.

Programas de reabilitação cardíaca tendem a promover elevação da tolerância ao esforço, quando da reavaliação de pacientes^{22,23}. Entretanto, esse real benefício decorrente daqueles programas, não pode ser atribuído, exclusivamente, ao aumento do VO_2 máximo²⁴. Possivelmente, ao menos em parte, a eficiência mecânica tem importante papel naqueles resultados. Efetivas elevações do VO_2 ao esforço máximo, avaliadas através da ergoespirometria, dirimiriam possíveis dúvidas.

O VO_2 tende também a ser mais reduzido quando ocorre apoio manual durante o teste e, em presença de doença cardíaca, seus valores estimados mostram-se mais elevados, em relação aos obtidos sob forma direta¹⁶.

Relação VO_2 /freqüência cardíaca - Esta relação pode ser entendida como índice de eficiência do sistema de cardiotransporte de oxigênio, pois ela expressa o quanto de oxigênio está sendo consumido pelo organismo para cada batimento cardíaco (fig. 2).

Embora situações como anemia, hipoxemia severa e elevados níveis de carboxihemoglobina, fatores que reduzem o conteúdo de O_2 ao nível arterial, possam influir no pulso de O_2 ²⁵, a importância clínica maior deste índice reside na possibilidade da avaliação não invasiva da função ventricular ao exercício (fig. 3).

A unidade para esta relação é o $\text{ml O}_2/\text{bpm}$ e é originária da mudança de posição dos fatores da equação de Fick, débito cardíaco = $\text{VO}_2/\text{diferença arteriovenosa de O}_2$; logo: volume sistólico x freqüência cardíaca = $\text{VO}_2/\text{diferença arteriovenosa de O}_2$; assim: $\text{VO}_2/\text{freqüência cardíaca}$ = volume sistólico x diferença arteriovenosa O_2 ; considerando a limitação da diferença arteriovenosa, que tende normalmente a se elevar durante o esforço, podemos, nas condições

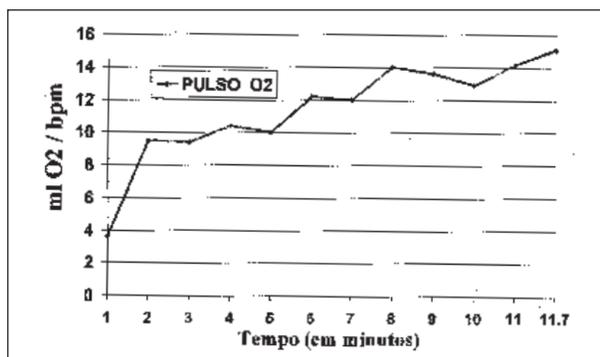


Fig. 2 - Pulso de O_2 durante o exercício em homem saudável de 43 anos. Observa-se tendência a progressiva elevação da curva, por provável aumento do volume sistólico durante o esforço.

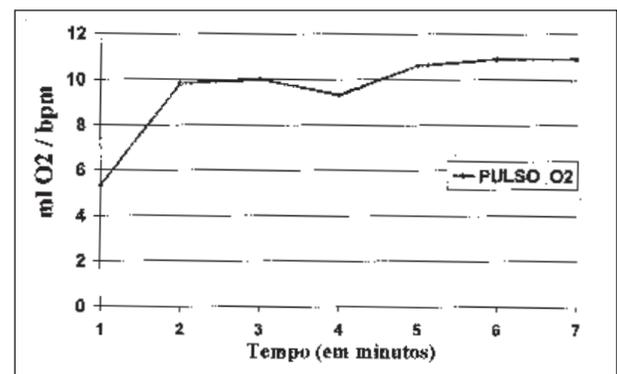


Fig. 3 - Pulso de oxigênio durante o exercício em homem de 53 anos, portador de cardiomiopatia isquêmica, fração de ejeção de 35%. Comparando-se a do indivíduo não cardiopata da figura 2, observam-se valores menores e curva com tendência a platô, indicativos de inadequação da elevação do volume sistólico durante o esforço.

habituais, desconsiderá-la e, desta forma, associar o pulso de oxigênio com o volume sistólico. Portanto, respeitando-se possíveis limitações: pulso de oxigênio ~ = volume sistólico.

A análise deste índice, particularmente, quando avaliada simultaneamente à resposta tensional sistólica, permitirá informações adicionais da função ventricular sob a sobrecarga do exercício.

Conclusão

A ergoespirometria é capaz de expandir e aprofundar a avaliação dos indivíduos saudáveis, atletas, cardiopatas e pneumopatas, particularmente quando a análise acurada dos diversos dados se faz necessária.

A experiência exposta na literatura evidencia amplo espectro na avaliação funcional, diagnóstica e prognóstica em diversas situações clínicas com alto grau de reprodutibilidade.

É crescente e justificado, em nosso meio, o interesse

pela aplicação do teste cardiopulmonar, o qual redundará em experiências próprias e equilíbrio na interpretação da sua real potencialidade como procedimento propedêutico não invasivo e de custo razoável.

Como talvez o método complementar de mais importante envolvimento clínico em sua prática, o TE clássico tenderá a ser beneficiado quantitativa e qualitativamente em grau de informação.

Cabe, entretanto, refletir quanto à perspectiva de questionamento quanto a importância do TE habitual, como método complementar em cardiologia. Tal procedimento permanece de extremo valor na avaliação de inúmeras doenças, apresenta excelente relação custo/benefício, não se justificando, portanto, uma possível visão excludente em razão da aquisição de novas tecnologias.

A ergoespirometria evidencia-se capaz de acrescentar novas informações em diversas situações específicas. Entretanto, preconizar a universalização do seu uso em detrimento ao TE tradicional, parece-nos, no momento, precipitada.

Referências

1. Foster C, Crowe AJ, Dainese E et al - Predicting functional capacity during treadmill testing independent of exercise protocol. *Med Sci Sports Exerc.* 1996; 28: 752-6.
2. Sullivan M, Genter F, Savvides M et al - The reproductibility of hemodynamic, electrocardiographic and gas exchange data during treadmill exercise in patients with stable angina pectoris. *Chest.* 1984; 86: 375-81.
3. Wideman L, Stoudemire NM, Pass KA et al - Assessment of the aerosport TEEm 100 portable metabolic measurement system. *Med Scic Sports Exec.* 1996; 28: 496-501.
4. 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.
5. Davies JA, Whipp BJ, Lamarr N et al - Effect of ramp slope on measurement of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med Sci Sports Exerc.* 1982; 14: 339-43.
6. Meyers J, Buchanan N, Walsh D et al - Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol.* 1991; 17: 1334-42.
7. Meyers J, Froelicher VF - Optimizing the exercise test for pharmacologic interventions. *Circulation.* 1990; 82: 1839-46.
8. Buchefuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ - Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol* 1983; 55: 1558-64.
9. Myers J, Do D, Herbert W, Ribisl P, Froelicher VF - A nomogram to predict exercise capacity from a specific activity questionnaire and clinical date. *Am J Cardiol* 1994; 73: 591-6.
10. Rankin SL, Briffa TG, Morton AR, Hung J - A specific activity questionnaire to measure the functional capacity of cardiac patients. *Am J Cardiol* 1996; 77: 1220-3.
11. Borg G - Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 1970; 2: 92-8.
12. Borg G, Holgren A, Lindblad I - Quantitative evaluation of chest pain. *Acta Med Scand* 1981; 644: 43-5.
13. Taylor HL, Burkirk E, Henschel A - Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol* 1955; 8: 73-80.
14. Wasserman K, Sue DY - Cardiovascular coupling of external to cellular respiration. - In: Wasserman K - Exercise Gas Exchange in Heart Disease. New York: Futura Publishing, 1996.
15. Wasserman K - Measures of functional capacity in patients with heart failure. *Circulation* 1990; 81:II-1-II-4.
16. Froelicher VF - Special methods: Ventilatory gas exchange measurements. In— Exercise and the Heart. Chicago: Year Book Medical Publishers, 1987.
17. Connett RJ, Gayeski TEJ, Honig GR - Lactate accumulation in fully aerobic working dog gracilis muscle. *Am J Physiol* 1984; 246: H120-H8.
18. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ - Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation* 1990; 81: II-14-II-30.
19. Koike A, Itoh H, Taniguchi K, Hiroe M - Detecting abnormalities in left ventricular function during exercise by respiratory measurement. *Circulation.* 1989; 80: 1737-46.
20. Myers J, Salleh A, Buchanan N et al - Ventilatory mechanisms of exercise intolerance in chronic heart failure. *Am Heart J* 1992; 124: 710-19.
21. Wasserman K, Whipp BJ - Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Respir Dis* 1975; 112: 219-49.
22. Serra S, Loos L - Programa de reabilitação cardíaca aplicado a pacientes com doença coronária crônica. *Rev SOCERJ* 1993; 6: 120-5.
23. Pozzan R, Cruz PDM, Castier MB et al - Reabilitação cardíaca em coronariopatas. Avaliação após 3 e 6 meses de treinamento aeróbico em nível comunitário. *Arq Bras Cardiol* 1988; 50: 305-10.
24. Milani RV, Lavie CJ, Spiva H - Limitations of estimating metabolic equivalents in exercise assessment in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1995; 75: 940-2.
25. Wasserman K - Principles of Exercise Testing and Interpretation. Philadelphia: Lea and Febiger, 1987.