

## II. O papel das provas de esforço na exploração funcional respiratória

ISABEL MELO

Departamento de Pneumologia  
Centro Hospitalar de Vila Nova de Gaia

### INTRODUÇÃO

Os Testes de Exercício (TE) começaram por servir essencialmente para o estudo dos atletas em Medicina Desportiva, mas são hoje largamente aplicados a indivíduos doentes, quer por cardiologistas quer por pneumologistas. Neste contexto, vou limitar-me a abordar a sua vertente de aplicação clínica.

Qual a razão de ser dos TE? O organismo humano tem enormes reservas funcionais. É necessário que a doença o atinja numa grande extensão para que se declare clinicamente. O exercício permite verificar até onde chega a capacidade de resposta dos vários sistemas, funcionando como um stress, entendido aqui como a imposição de exigências ou necessidades aumentadas com o objectivo de pôr à prova uma capacidade potencial. Antes de abordar a fisiologia do E, importa considerar alguns aspectos:

**A tolerância ao exercício depende da capacidade funcional.** O desempenho das actividades diárias não é comprometido enquanto a capacidade funcional não estiver muito diminuída. Portanto, numa fase inicial da doença, só um exercício extenuante pode ser revelador de manifestações sub-clínicas.

**A tolerância ao exercício depende de vários sistemas.** Um sistema em défice pode ser suprido e mascarado por outro. Por exemplo: uma insuficiência cardíaca pode até certo ponto, ser ocultada por um aumento da extracção de  $O_2$  na periferia, por desvio do sangue das zonas que não estão em exercício; um

defeito da difusão alveolar pode, dentro de certo limite, ser compensado por um aumento da ventilação.

**O exercício do dia-a-dia não é "steady-state".** Algumas actividades são de grande intensidade, porém breves, e por isso não há oportunidade para uma verdadeira adaptação.

Quando se pergunta a um doente qual o número máximo de degraus que é capaz de subir, procura-se saber qual é o desempenho máximo num exercício "não-steady-state". O subir escadas pode ser feito a uma velocidade tal que represente um trabalho impossível de tolerar, de modo sustentado, pelos sistemas circulatório e respiratório. É que o custo desse esforço não é suportado de imediato, isto é, o indivíduo "compra agora e paga depois". É a experiência desse "preço", *pago em dispneia*, mais tarde, que entra muitas vezes na avaliação que o doente faz da sua própria incapacidade.

**A tolerância ao exercício depende de todo o organismo.** A avaliação em termos fisiológicos não deve dispensar os aspectos subjectivos, menos mensuráveis, tais como a sensação de esforço, *a dispneia e a dor*. Estes sintomas experimentados durante uma prova traduzem a maneira como o indivíduo, no seu todo, responde às exigências do meio.

### FISIOLOGIA DO EXERCÍCIO

O exercício requer a interacção coordenada de

vários sistemas (representada classicamente pela figura das rodas-dentadas de Wasserman). Para realizar trabalho, os substratos metabólicos têm de ser queimados para produzir compostos de alta energia necessários à contração muscular. O fornecimento de lípidos e hidratos de carbono não é habitualmente um factor limitante, mas o seu processamento requer um bom fornecimento de  $O_2$ , e a eliminação do  $CO_2$ .

Todo o organismo se mobiliza para a troca efectiva de gases entre a atmosfera e as células musculares, constituindo uma verdadeira "cadeia de transporte de gases". O coração tem de bombear o sangue a um débito apropriado, inicialmente por aumento do volume sistólico e depois por aumento da frequência cardíaca (FC). O sangue deve ser dirigido para os músculos pela dilatação do seu leito vascular. Em resposta ao aumento do débito do ventrículo direito, o leito vascular pulmonar dilata-se, e há recrutamento de vasos até aí não perfundidos. A ventilação aumenta inicialmente à custa do volume corrente (VT) e depois por aumento da frequência respiratória (FR).

Matematicamente é possível exprimir a *adaptação do sistema* cardiovascular ao exercício através da equação de captação de  $O_2$ . O  $\dot{V}O_2$ , a quantidade de  $O_2$  retirada do ar ambiente por unidade de tempo, correntemente designado consumo de  $O_2$ , é proporcional ao débito cardíaco e à extracção muscular de  $O_2$ .

$$\dot{V}O_2 = QT (CaO_2 - CvO_2)$$

A *resposta respiratória* ao exercício, por sua vez, é determinada pela equação de Ventilação. O volume expirado por minuto (VE) é condicionado pela eliminação de  $CO_2$ , correntemente chamada produção de  $CO_2$  ou  $\dot{V}CO_2$ , variando na razão inversa da  $PaCO_2$ , (e dependendo do nível ao qual a  $PaCO_2$  está regulada), e do volume de espaço morto (VD/VT). Quanto maior for o espaço morto, maior o volume minuto (menor portanto a eficiência ventilatória).

$$VE = K \dot{V}CO_2 / PaCO_2 (1 - VD / VT)$$

Conclui-se assim que a medicção das trocas gasosas

durante o TE é fundamental para estudar as respostas dos vários sistemas, em simultâneo, sob condições de stress metabólico.

## BIOQUÍMICA DO EXERCÍCIO

Durante um teste de exercício progressivo, o  $\dot{V}O_2$  aumenta na mesma proporção do aumento gradual de carga imposto, o mesmo acontecendo com a frequência cardíaca. Estas três variáveis -  $\dot{V}O_2$ , CARGA e FC têm normalmente uma relação linear entre si. A ventilação minuto (VE) acompanha o  $\dot{V}O_2$  até determinada altura, a partir da qual começa a aumentar proporcionalmente mais do que o  $\dot{V}O_2$ . Esse ponto está relacionado com determinadas alterações bioquímicas e é um índice do limiar anaeróbico (anaerobic threshold - AT).

O ATP, a energia química produzida nos músculos esqueléticos, é gerado por duas fontes: pela oxidação de hidratos de carbono (HC) e de lípidos, e por uma via secundária, ou de recurso, que é o metabolismo anaeróbico de HC, marcado pela formação de ácido láctico. Quando o fornecimento de  $O_2$  está a começar a ser inadequado, dá-se o recrutamento adicional das fontes anaeróbicas de energia, numa proporção crescente.

O trabalho ao qual o lactato começa a ser produzido é o "limiar anaeróbico" e é maior nos indivíduos treinados que nos sedentários. A quantidade de lactato produzida durante um mesmo trabalho, é maior nos doentes cardíacos que nos indivíduos normais sedentários, e superior nestes relativamente aos indivíduos treinados.

O metabolismo anaeróbico é muito menos eficiente na produção de energia que o metabolismo aeróbico, por isso, quando a via anaeróbica se torna preponderante, o exercício não pode ser levado muito mais longe. O AT é, assim, um importante índice de tolerância ao exercício.

Os hidrogeniões derivados do ácido láctico são tamponados pelo bicarbonato, levando à diminuição deste, e a uma maior produção de  $CO_2$  ( $\dot{V}CO_2$ ). A acidose metabólica estimula a ventilação com aumento

da VE, cuja subida é mais rápida que a do  $\dot{V}O_2$ , como tínhamos visto.

O limiar anaeróbico é medido pelo doseamento seriado do lactato ou do bicarbonato no sangue. Devido às modificações dos parâmetros da ventilação e das trocas gasosas que condiciona, pode ser determinado também por métodos não-invasivos; nesse caso é mais correcto designar-se *limiar de acidose láctica*. Podem usar-se 3 métodos não-invasivos:

1º- O "**limiar ventilatório**" ou método convencional que inclui a comparação das variáveis VE,  $\dot{V}O_2$  e  $\dot{V}CO_2$  nos respectivos gráficos, bem como dos parâmetros deles derivados (o R, relação de trocas gasosas, ou  $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ).

2º- O "**limiar dos equivalentes ventilatórios**" que analisa a evolução dos Equivalentes de  $O_2$  e de  $CO_2$  (isto é da relação  $VE/\dot{V}O_2$  e  $VE/\dot{V}CO_2$ ); o AT coincide com o ponto mais baixo do Eq de  $O_2$ , valor a partir do qual começa a subir, enquanto o Eq de  $CO_2$  continua a descer.

3º- O "**V-slope**", quer manual quer computadorizado, que se baseia na análise do comportamento da  $\dot{V}CO_2$  em relação ao  $\dot{V}O_2$ ; o AT é o ponto de transição da relação linear destas variáveis, em que a  $\dot{V}CO_2$  aumenta mais que o  $\dot{V}O_2$ .

Os métodos que se baseiam na resposta ventilatória têm, no entanto, algumas insuficiências que resultam, como é lógico, do facto de por vezes essa resposta estar ausente ou disfarçada, sobretudo em patologia pulmonar e concretamente nos casos de DPCO com limitação da capacidade ventilatória. Daí que a anaerbiose, para maior rigor, tenha de ser pesquisada pelo doseamento do bicarbonato e do lactato.

## INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE EXERCÍCIO

Ao interpretar um TE valorizam-se as alterações registadas nalguns parâmetros, salientando-se:

O  $\dot{V}O_2$  máx, o índice da capacidade funcional por excelência, é o valor mais alto que pode ser conseguido durante o E exaustivo e obtem-se, por definição, quando o  $\dot{V}O_2$  não aumenta mais, apesar do aumento

da carga imposta, fazendo um plateau. Este  $\dot{V}O_2$  máx raramente é conseguido, mas isso também não é essencial na avaliação clínica. O  $\dot{V}O_2$  que regra geral obtemos no fim de um teste incremental limitado por sintomas, é o chamado  $\dot{V}O_2$  de pico. Habitualmente os dois termos são usados com o mesmo sentido. É o  $\dot{V}O_2$  máx que estabelece se o doente tem ou não diminuição da capacidade de exercício.

A **RESERVA RESPIRATÓRIA**: No indivíduo normal o exercício termina antes de o volume minuto máximo (VE máx) atingir a Capacidade Ventilatória Máxima do indivíduo, habitualmente expressa pela MVV. A Ventilação minuto máxima exprime-se como fracção da MVV, e no indivíduo normal não ultrapassa os 70%; o que quer dizer que a sua Reserva Respiratória é de cerca de 30% da MVV. A limitação ao E, por exemplo na DPCO, é estabelecida pela redução ou esgotamento da reserva respiratória, podendo a RR, assim determinada, assumir um valor negativo. A estimativa da RR é objecto de controvérsia, uma vez que a avaliação da MVV pode fazer-se de mais do que uma maneira.

O **EQUIVALENTE DE  $CO_2$**  ( $VE/\dot{V}CO_2$ ) indica a eficiência do pulmão como unidade de trocas gasosas. Valores altos significam excesso de ventilação para compensar o aumento do volume do espaço morto, que sucede quando há desequilíbrio V/Q ou aumento da frequência respiratória.

A  $SaO_2$  considera-se anormal quando diminui mais de 3%, e ocorre mais frequentemente nos doentes com defeito do tipo difusão. Tem, regra geral, o mesmo significado que o aumento do *gradiente alveolo-arterial de  $O_2$* .

A **RESPOSTA DE FREQUÊNCIA CARDÍACA** e o **PULSO DE  $O_2$** : A FC máx é um indicador do nível de esforço prestado. A resposta de frequência cardíaca pode ser exagerada em relação ao  $\dot{V}O_2$ . Nesse caso o pulso de  $O_2$  (relação  $\dot{V}O_2/FC$ ) está diminuído. O pulso de  $O_2$  é um índice do débito cardíaco; pode estar diminuído no caso de má forma física ou de doença cardíaca.

O AT é um índice da função cardiovascular e situa-se habitualmente entre os 50% e os 60% do  $\dot{V}O_2$  máx

nos sedentários, e um pouco mais acima nos indivíduos em boa forma física. Existe ainda alguma controvérsia sobre o seu significado, e sobre os métodos de determinação não-invasiva, sobretudo na DPCO grave em que eles podem sobre-estimar o limiar de ácido láctico. Os 40% do  $\dot{V}O_2$  máx são o limite inferior da normalidade, excepto nos DPCO graves. O AT tem duas virtudes: define a carga acima da qual não pode ser mantido um trabalho sustentado, e não é dependente do esforço. Isto é: o  $\dot{V}O_2$  máx pode estar baixo por causa de um esforço insuficiente, pouca motivação, etc, mas um AT baixo não pode ser resultado de mau esforço.

A combinação das alterações verificadas nos diferentes parâmetros permite estabelecer padrões distintos de anomalia. Resumem-se a seguir os tipos de limitação e de anomalia que podem ocorrer. O padrão de trocas gasosas anormais pode verificar-se isoladamente, isto é, sem que haja limitação do desempenho no exercício. A limitação cardiovascular refere-se ao coração, circulação (pulmonar e sistémica), e ao sangue. Alguns autores fazem questão de considerar também um grupo próprio para a doença vascular pulmonar.

#### PADRÕES DE RESPOSTA ANORMAL AO EXERCÍCIO

##### *Trocas Gasosas Anormais*

- Aparecimento ou acentuação da hipoxémia; aumento de  $P(A-a)O_2$ ; Aumento do Eq  $CO_2$  e de  $VD/VT$
- Diminuição da hipoxémia e de  $P(A-a)O_2$

##### *Limitação Ventilatória*

- Aumento de  $VE_{\text{máx}}/MVV$

##### *Limitação Cardiovascular*

- Diminuição de  $\dot{V}O_2/FC$  (pulso de  $O_2$ )
- Diminuição do AT (limiar anaeróbico)

##### *Doença Vascular Pulmonar*

- Combinação dos anteriores

#### METODOLOGIAS

Muitos equipamentos, protocolos e sistemas de medição existem, sendo os TE efectuados conforme as possibilidades técnicas, o conhecimento e o treino que se tem. O protocolo mais frequentemente praticado em Pneumologia é o de **exercício incremental levado até ao limite permitido pelos sintomas, segundo Wasserman**, em que o doente começa por pedalar 3 min sem carga, após o que, o trabalho imposto aumenta de modo uniforme de minuto a minuto, sendo o incremento calculado de maneira que o teste tenha uma duração total de 8 a 12 minutos, e registando-se ainda a fase precoce da recuperação. Durante o teste são feitas medições dos parâmetros da ventilação, das trocas gasosas, da função cardiovascular e do equilíbrio ácido-base. A estas, há a acrescentar a **avaliação dos sintomas**, habitualmente por meio de uma escala do tipo da escala de Borg modificada, para quantificar a dispnéia e a fadiga muscular.

Os TE com estas características são designados por Wasserman, de **TESTES DE EXERCÍCIO CARDIO-PULMONAR INTEGRATIVOS** ou Integrals (TECPI). São considerados os mais eficientes e mais indicados no estudo do doente com limitação ao E de causa desconhecida, devendo constituir a metodologia base num Laboratório de Prova de Esforço. São os mais eficazes ao mais baixo custo, porque preenchem os requisitos necessários de máxima informação com o máximo rigor, num mínimo de tempo e com o mínimo incómodo para o doente.

A utilização de uma carga constante, num período de tempo suficientemente longo, ou seja um TE "**steady-state**", poderá ser vantajoso quando se quer estudar com rigor a *cinética das Trocas Gasosas*. Nesse caso, pode ter de se fazer TE múltiplos a diferentes cargas, e é obrigatório um sistema de análise de gases do tipo "breath-by-breath".

A discussão entre os adeptos do *cicloergómetro* e os do *treadmill* continua, sem que haja motivos objectivos suficientes para preferir qualquer dos métodos. Deve contudo ter-se em conta que, embora ambos sirvam indiferentemente para os vários tipos de testes,

os resultados obtidos com cada um dos aparelhos, no mesmo doente, não são intermutáveis. Os protocolos dependem logicamente do objectivo do TE. Se, por exemplo, soubermos que a causa dos sintomas é doença coronária, então a monitorização do ECG com 12 derivações e um protocolo de Bruce com tapete rolante é satisfatório; é o que os cardiologistas fazem, as mais das vezes. Mas se houver dúvidas acerca da causa dos sintomas, o TECPI continua a ser o mais indicado.

Pode desenhar-se um protocolo específico à medida das questões que são postas. Por exemplo questões médico-legais tais como a necessidade da avaliação da incapacidade nos termos da legislação em vigor (*Tabela Nacional de Incapacidades*), que se baseia no E a cargas de 30, 60 e 90 watts, tendo como parâmetro de avaliação apenas a PaO<sub>2</sub>. Outro tipo de TE que pela simplicidade de execução e ausência de instrumentação, pode ter muito interesse em determinadas circunstâncias é a *prova de marcha*, utilizada sobretudo em Reabilitação para medir o desempenho de uma actividade com a qual o doente está familiarizado, na avaliação do efeito do programa de Reabilitação Respiratória. É feita de maneira standardizada, registando-se a distância máxima percorrida em 6 min e determinando-se adicionalmente a FC e a SaO<sub>2</sub> por oximetria de pulso, e a dispneia pela escala de Borg.

Metodologias totalmente distintas, testando outros processos fisiopatológicos, são as que se baseiam no E como agente indutor de broncoconstrição. Em crianças com suspeita de asma induzida pelo esforço (AIE) temos usado um protocolo de provocação pela *corrida*

*de 6 min ao livre*, sob condições atmosféricas determinadas, em que é medida a variação do FEV<sub>1</sub> para definir a existência ou não de broncospasma. A prova de provocação pelo E parece ser mais sensível que a provocação farmacológica para o diagnóstico de asma. A corrida ao ar livre mostrou-se mais asmogénica que o E em cicloergómetro dentro do laboratório.

## INDICAÇÕES DOS TESTES DE EXERCÍCIO

*Investigação da intolerância ao exercício e da dispneia*

*Medição objectiva da capacidade de exercício*

*Avaliação da função cardíaca e respiratória*

*Avaliação terapêutica: drogas, treino de exercício, oxigenioterapia*

*Avaliação pré-operatória*

*Diagnóstico da Asma Induzida pelo Exercício*

À excepção da AIE e da d. coronária, os TE têm habitualmente mais interesse na avaliação de uma doença já estabelecida do que no seu diagnóstico. As vezes permitem distinguir entre doença pulmonar e cardíaca. Para além do seu interesse na investigação da dispneia, são indispensáveis na prescrição do treino ao esforço e na avaliação quantitativa da incapacidade e da capacidade para o trabalho, já que os Testes da Função Pulmonar em repouso não permitem prever a capacidade de E. Têm sido também utilizados na previsão de complicações post-operatórias de cirurgia pulmonar.

---

## BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Guidelines for Exercise Testing and Prescription, ed 4. Philadelphia, Lea & Febiger, 1991.
2. CLINICAL EXERCISE TESTING. Clinics in Chest Medicine 15- 2;1994.
3. JONES N L. Clinical Exercise Testing, ed 3. Philadelphia, W B Saunders, 1988.
4. MILLER A. Pulmonary Function Tests in Clinical and Occupational Lung Disease. Orlando, Grune & Stratton, 1986.
5. WASSERMAN K, WHIPP B J. Exercise physiology in health and disease. Am Rev Respir Dis 112: 219-249; 1975.
6. WASSERMAN K, HANSEN J E, SUE D Y, et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation, ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 1994.