

Tema 1 Prova de Esforço Cardiopulmonar em Praticantes Desportivos

Dr. José Pedro Marques^{1,2}, Dra. Diana Ferreira^{1,3}, Dr. Marcos Miranda^{3,4}, Dr. João Beckett^{3,4,5,6}, Prof. Dr. João Páscoa Pinheiro^{2,4,5,7}

¹Interno complementar de Medicina Desportiva; ²Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra; ³Centro de Medicina Desportiva de Lisboa; ⁴Medicina Desportiva; ⁵Medicina Física e Reabilitação; ⁶Centro de Alto Rendimento Jamor; ⁷Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra.

RESUMO / ABSTRACT

A prova de esforço cardiopulmonar (PECP) mede a ventilação, o consumo de oxigénio, a produção de dióxido de carbono e a frequência cardíaca e permite monitorizar a resposta fisiológica ao exercício. As descontinuidades do comportamento linear da $\dot{V}CO_2$ e da $\dot{V}E$ indicam dois limiares, que delimitam os domínios de intensidade moderado, pesado e severo. O consumo máximo de oxigénio é um parâmetro que se correlaciona com a capacidade funcional cardiorrespiratória. A frequência cardíaca é a variável fisiológica monitorizada numa PECP de utilização mais acessível no treino. A determinação do lactato sanguíneo tem uma boa correlação com o $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ e $\dot{V}E$ e, por sua vez, com os limiares.

(CPET) measures ventilation, O_2 uptake, CO_2 production, and heart rate, and allows the monitoring of the physiological response to exercise. The discontinuities in the linear $\dot{V}CO_2$ and $\dot{V}E$ behaviour define two thresholds, that bound intensity domains into moderate, heavy and severe. is a parameter that correlates with cardiorespiratory functional capacity. Heart rate is the physiological variable monitored during a CPET most accessible during training. Blood lactate determination correlates well with $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ and $\dot{V}E$ and, in turn, with the thresholds.

PALAVRAS-CHAVE / KEYWORDS

Prova de esforço cardiopulmonar, limiares ventilatórios, domínios de intensidade
Cardiopulmonary exercise test, ventilatory thresholds, intensity domains

- A dispneia desencadeada pelo exercício é um sintoma comum em situações patológicas. Ocorre em doentes com insuficiência cardíaca, com trocas gasosas não eficientes por alteração da ventilação-perfusão, hipoxémia induzida pelo exercício ou outras perturbações ventilatórias;
- A dor precordial, no membro superior ou no pescoço – angina pectoris – é o sintoma mais comum de isquémia do miocárdio em exercício em doentes com coronariopatia. Traduz défice do aporte de O_2 em relação às necessidades do miocárdio;
- A claudicação intermitente manifesta-se por dor, geralmente nos músculos da perna, e é desencadeada também pelo insuficiente aporte de O_2 em relação às necessidades do músculo em exercício.

Quais as variáveis fisiológicas monitorizadas na PECP?

A ventilação ($\dot{V}E$), o consumo de oxigénio ($\dot{V}O_2$), a produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) e a frequência cardíaca (FC) são as quatro variáveis-chave usadas para monitorizar a resposta fisiológica ao exercício, efetuado em condições controladas e obedecendo a um protocolo reprodutível².

No exercício, a relação entre o $\dot{V}O_2$ e o $\dot{V}CO_2$ medido ao nível do ar expirado, reflete o metabolismo muscular. A informação fornecida pelo equipamento corresponde, com um atraso mínimo, ao comportamento instantâneo destas variáveis durante a PECP³.

O que acontece durante uma PECP incremental?

Numa PECP as variáveis são recolhidas de forma contínua para monitorizar a resposta fisiológica aos sucessivos aumentos de carga. O valor obtido e o momento em que ocorrem os fenómenos de interesse são próprios de cada indivíduo e sensíveis à alteração da condição física, mas o comportamento destas variáveis segue padrões conhecidos².

O comportamento do $\dot{V}O_2$ é (praticamente) linear, com aumento

O que é prova de esforço cardiopulmonar (PECP)?

É um exame que permite avaliar, de forma quantitativa, as respostas cardiocirculatória, ventilatória e metabólica ao exercício. O exercício é efetuado num ergómetro (bicicleta, tapete rolante ou simulador de remo) que permite medir o trabalho mecânico realizado. Nestas provas é usado um equipamento para medir a ventilação $\dot{V}E$, analisar a composição dos gases, registar o eletrocardiograma e medir a pressão arterial¹. Durante a prova os atletas utilizam uma máscara ligada a um sensor de fluxo para medir a $\dot{V}E$ (em litros/minuto) e a um analisador de oxigénio (O_2) e de dióxido de carbono (CO_2) nos gases expirados (Figura 1). Em atletas o protocolo incremental máximo é o mais utilizado. Neste tipo de protocolo o aumento sucessivo da carga é implementado até à exaustão ou até que se cumpram critérios pré-determinados para dar a prova como concluída².

A prova de esforço cardiopulmonar (PECP) é também um exame sensível na avaliação das causas da intolerância ao exercício, que se manifesta sobretudo por fadiga, dispneia ou dor²:

- A fadiga muscular ocorre quando o trabalho realizado para um determinado estímulo diminui;



Fig. 1

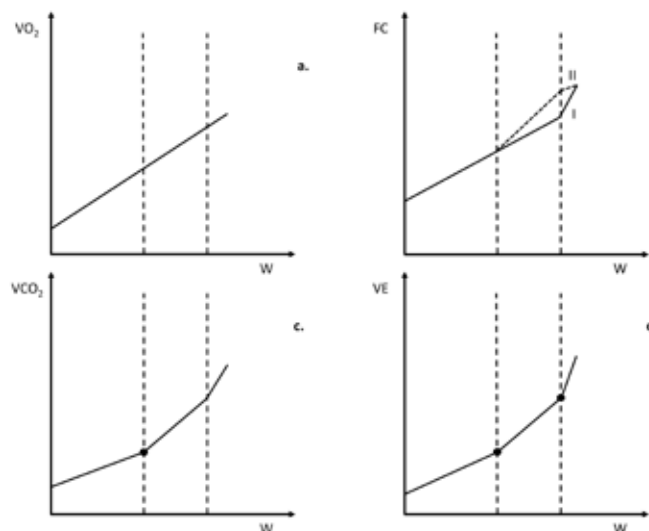


Fig. 2 – Comportamento das variáveis $\dot{V}O_2$ (a), FC (b) com variações interindividuais (I e II, $\dot{V}CO_2$ (c) e VE (d) numa prova incremental (adaptado de⁴).

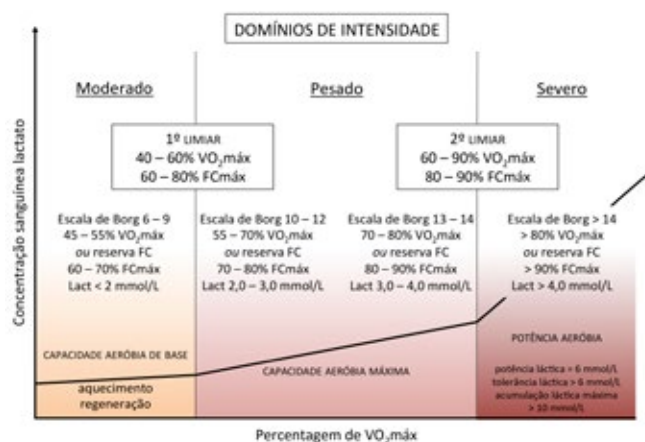


Fig. 3 – Domínios de intensidade, limiares, e comportamento do lactato sérico durante uma PECP incremental e relação com parâmetros usados em metodologia do treino (adaptado de⁴).

proporcional ao aumento da carga (sem “descontinuidades”). A FC tem um comportamento próximo do linear, embora possa apresentar diferenças interindividuais. O comportamento da $\dot{V}CO_2$ e da $\dot{V}E$ apenas é linear na fase inicial, apresentando depois comportamento não linear com “descontinuidades” que marcam transições entre fases (Figura 2)⁴.

As descontinuidades do comportamento linear da $\dot{V}CO_2$ e da $\dot{V}E$ permitem identificar duas importantes transições no padrão da resposta fisiológica ao esforço, designadas como **limiares**, que delimitam **três domínios de intensidade** (Figura 3):

- Domínio de intensidade MODERADO
- Domínio de intensidade PESADO
- Domínio de intensidade SEVERO

consiste no aumento da função cardíaca e pulmonar para assegurar a disponibilização de oxigénio ao músculo, a remoção do dióxido de carbono produzido, o fornecimento dos nutrientes e a regulação do pH e da temperatura². No **domínio de intensidade moderada**, a energia química para a atividade mecânica provém da fosforilação oxidativa (sistema energético aeróbio) e a relação entre o $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ é tendencialmente constante. No **domínio pesado**, a fosforilação oxidativa não é suficiente. A contribuição do sistema energético anaeróbio láctico permite a manutenção da atividade à custa da formação de valências ácidas. O tamponamento pelo bicarbonato (HCO_3^-), para assegurar a regulação do pH, produz CO_2 adicional. Sendo o CO_2 um estímulo para o aumento da $\dot{V}E$, a partir do 1.º limiar

Designa-se como **1.º limiar** o momento da transição entre o domínio de intensidade moderado e o pesado e como **2.º limiar** o momento da transição entre o pesado e o severo. Deste modo, a determinação dos domínios de intensidade baseia-se na identificação do momento em que o $\dot{V}CO_2$ e $\dot{V}E$ aumentam mais do que a carga (1.º limiar) e do momento em que a $\dot{V}E$ apresenta uma segunda descontinuidade, com aumentos superiores aos do $\dot{V}CO_2$ (2.º limiar)⁴ (figura 2c e 2d).

Em que se fundamenta a categorização dos domínios de intensidade?

A resposta fisiológica ao esforço

observa-se um incremento mais acentuado da $\dot{V}CO_2$ como da $\dot{V}E$. No **domínio severo**, a taxa de acumulação das valências ácidas (provenientes do sistema energético anaeróbio láctico) é superior à capacidade de tamponamento do HCO_3^- . Nesta fase, ocorre uma marcada acumulação do lactato sanguíneo e diminuição do pH. Como a diminuição do pH é um estímulo potente para a $\dot{V}E$ observa-se, a partir do 2.º limiar, um aumento acentuado da $\dot{V}E$ ².

Relevância dos dados obtidos numa PECP para as diferentes modalidades

Após realizar a PECP, os dados recolhidos são analisados e interpretados, obtendo-se os seguintes parâmetros de resumo:

- Valores máximos:
 - $\dot{V}O_{2max}$ (ml O_2 /kg)
 - Potência aeróbia máxima – valor em watts (W) registado no momento do $\dot{V}O_{2max}$
 - Potência máxima em prova – maior valor em watts (W). É igual à potência aeróbia máxima em provas máximas mas pode ser inferior ou superior em provas submáximas ou supramáximas, respetivamente.
- Valores relativos no 1.º e 2.º limiares:
 - % $\dot{V}O_{2max}$; % $\dot{V}O_2$ reserva
 - %FCMáxima; %FC reserva
 - W (potência)
 - Custo energético da componente aeróbia.

Os determinantes fisiológicos do desempenho em modalidades de resistência (eventos com duração superior a 5 minutos) estão bem caracterizados e incluem os valores do $\dot{V}O_{2max}$, da potência e/ou $\dot{V}O_2$ no 1.º e 2.º limiares e a economia/eficiência³. O $\dot{V}O_{2max}$ é um parâmetro que se correlaciona com a capacidade funcional cardiorrespiratória (CFC) e com o desempenho em desportos de resistência⁵. Durante uma PECP incremental o $\dot{V}O_2$ pode manter-se em crescendo até ao final ou atingir um planalto. No primeiro caso, considera-se que o valor máximo registado é o $\dot{V}O_2$ pico. Convencionou-se que o $\dot{V}O_{2max}$ se calcula fazendo a média dos valores máximos num período de 10 a 60

segundos⁶. Os valores de $\dot{V}O_2$ max em tapete rolante são, em média, 5-10% superiores aos obtidos em cicloergómetro, o que é explicado pelo maior número de grupos musculares ativos durante a corrida⁷.

A capacidade de manter o exercício a uma intensidade máxima apresenta uma relação inversa com a potência debitada. Assim, quanto maior a potência dispendida menor o tempo durante o qual se consegue desempenhar uma determinada tarefa. Na prática, isto significa que a potência aeróbia máxima é o determinante mais importante do desempenho em provas com duração entre 2 a 6 minutos (meio-fundo curto: 1500m corrida e 400m natação). Por sua vez, a potência no 2.º limiar é determinante para o desempenho desportivo em provas com duração entre 20-60 minutos (fundo curto: 10000m corrida e 15000m natação) e a potência no 1.º limiar para provas com duração superior a 60 minutos (Fundo longo: maratona, 25km natação, triatlo, ciclismo). No entanto, atletas de alto nível são capazes de completar a maratona (42,195km) a velocidades iguais ou superiores às do 1.º limiar, e provas de 10km e meias-maratonas a velocidades francamente acima do 1.º limiar³.

Durante o exercício pesado (acima do 1.º limiar), existem condições que favorecem o aparecimento de **fadiga**. Entre estas incluem-se a acumulação de calor e o aumento do consumo de O_2 e de substratos energéticos, que deixa de ser proporcional à intensidade do exercício³.

Como se relacionam os parâmetros obtidos numa PECP com a monitorização das sessões de treino?

Os parâmetros obtidos numa PECP são referências para o treinador delinear o plano de treino. No planeamento das tarefas de treino, o treinador antecipa a resposta fisiológica do atleta e durante o treino compara-a com a resposta observada. Para esta comparação, o treinador guia-se pelo desempenho do atleta durante o treino, pelo registo da FC ou pela perceção subjetiva do esforço. Em determinadas sessões,

podem ser feitas colheitas seriadas de lactatos. Quando se planeia uma sessão de treino, a escolha da intensidade é uma decisão importante. Os três domínios de intensidade estão na base da caracterização da maioria dos programas de treino de atletas de modalidades de resistência (Figura 3). A FC é a variável fisiológica monitorizada numa PECP de utilização mais acessível no treino, sendo frequentemente utilizada para monitorizar a intensidade do treino, com recurso a cardiofrequencímetro. Como orientação muito genérica pode dizer-se que:

- No **domínio moderado** decorrem as tarefas de aquecimento, treino de recuperação e a maior parte do tempo de treino em atletas de resistência⁸. Esta intensidade não coloca exigência significativa sobre o metabolismo aeróbio. Neste domínio, desenvolve-se a capacidade aeróbia de base;
- No **domínio de intensidade pesado**, desenvolve-se a capacidade aeróbia máxima. Vários autores têm realçado a importância das escolhas de intensidade (perto do ou no 2.º limiar) e duração do treino neste domínio⁸.
- No **domínio de intensidade severo** o treino pode ter como objetivo aumentar a potência aeróbia e o tempo de exercício a uma intensidade acima do 2.º limiar. Como a exigência sobre o metabolismo aeróbio e anaeróbio é significativa, o atleta apenas consegue manter esta intensidade por períodos mais curtos. O treino intervalado de alta intensidade é realizado nesta zona⁸. Para o leitor interessado, sugerem-se artigos que aprofundam este tema^{8,9}.

Como se relacionam os lactatos com os parâmetros obtidos numa PECP?

A colheita seriada de amostras para determinação do lactato sanguíneo foi o primeiro método descrito para a determinação dos limiares e dos diferentes domínios de intensidade. Continua a ser um método muito utilizado, demonstrando boa correlação com os comportamentos dos $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ e $\dot{V}E$ observados durante uma PECP (Figura 3)⁴. No domínio de intensidade moderado, o lactato

aumenta relativamente aos valores de repouso, mas em geral não se eleva mais do que 1,5 mmol/L acima destes. No domínio de intensidade pesado, o lactato ultrapassa este valor, com uma taxa de incremento superior à do domínio de intensidade moderado. Numa representação gráfica, esta primeira inflexão corresponde ao 1.º limiar. A transição entre o domínio pesado e o severo, correspondente ao 2.º limiar, associa-se a incrementos ainda mais acentuados da acumulação de lactato, geralmente acima de $4,2 \pm 0,7$ mmol/L¹⁰.

Numa prova de carga constante, é possível determinar a carga correspondente ao estado estacionário máximo do lactato (MLSS, de *maximal lactate steady state*). O valor do MLSS é muito variável de indivíduo para indivíduo (entre os 1,9 a 7,5 mmol), mas já foi considerado (erradamente) como fixo a 4 mmol/L¹¹. Para que os valores dos lactatos reflitam melhor o estado metabólico muscular é conveniente ter patamares de intensidade constante com pelo menos três minutos de duração. Para além disso, é necessário ter um mínimo de 3 ou 4 recolhas para caracterizar a resposta por domínio de intensidade. Por esta razão, as provas de recolha de lactato não seguem o mesmo protocolo das PECP incrementais e a interpretação da avaliação dos lactatos em provas no terreno requer considerações especiais¹⁰.

Conclusão

A PECP é um exame importante no contexto da medicina desportiva e do exercício. É sensível na avaliação de causas de intolerância ao exercício do praticante desportivo. É particularmente útil ao atleta e seu treinador, na medida em que permite obter dados relevantes para a otimização do controlo de treino. É atualmente um elemento incontornável na avaliação e controlo de treino dos atletas de resistência. Por tudo isto, é essencial que o médico especialista em Medicina Desportiva saiba as indicações, a fisiologia subjacente e como interpretar os resultados da PECP.

Bibliografia

1. McKelvie RS, Jones NL. *Cardiopulmonary exercise testing*. Clinics in chest medicine. 1989; 10(2): 277-291.
2. Wasserman K. *Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications*. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
3. Burnley M, Jones AM. *Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance*. European Journal of Sport Science. 2007; 7(2): 63-79.
4. Binder RK, Wonisch M, Corra U et al. *Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing*. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil 2008; 15: 726-34.
5. Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. *Is there an Optimal Training Intensity for Enhancing the Maximal Oxygen Uptake of Distance Runners?* Sports Medicine. 2006; 36(2): 117-132.
6. Guazzi M, Adams V, Conraads V et al. *Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations*. European heart journal. 2012; 33(23): 2917-2927.
7. Coplan NL, Sacknoff DM, Stachenfeld NS et al. *Comparison of submaximal treadmill and supine bicycle exercise*. American heart journal. 1994; 128(2): 416-418.
8. Seiler S, Tønnessen E. *Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training*. Sportscience. 2009; 13: 32-53.
9. Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. *Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance*. Sports Medicine. 2007; 37(10): 857-880.
10. Billat VL, Sirvent P, Py G et al. *The concept of maximal lactate steady state*. Sports Medicine. 2003; 33(6): 407-426.
11. Beneke R, Hutler M, Leithauser RM. *Maximal lactate-steady-state independent of performance*. Med Sci Sport Exerc. 2000; 32: 1135-1139.