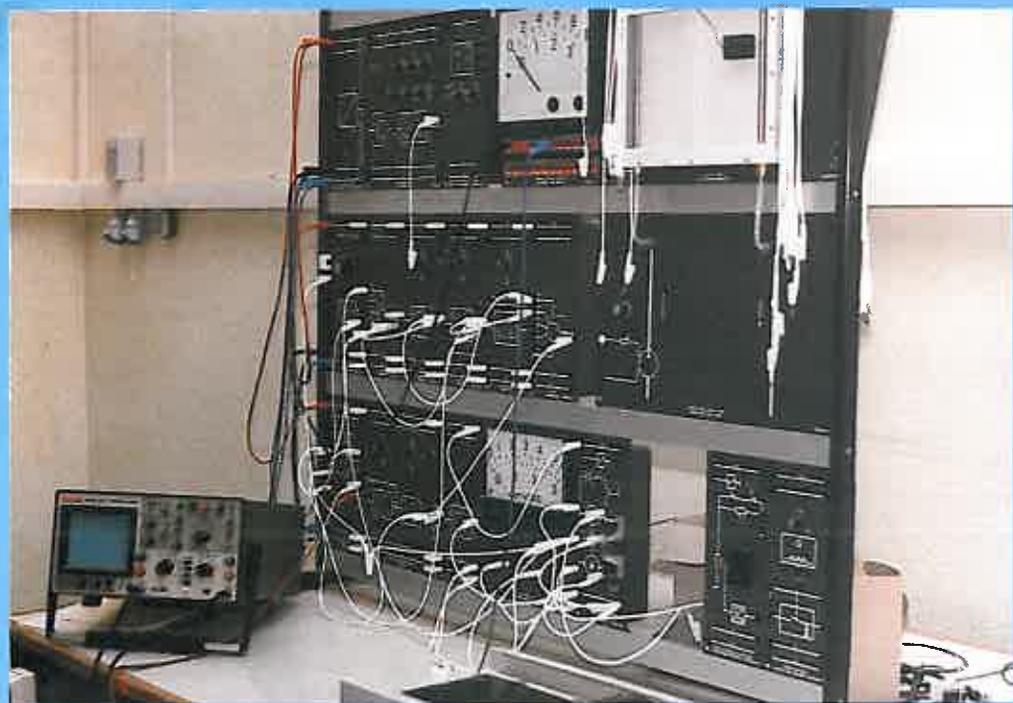


# EDUCAÇÃO e --- TECNOLOGIA



Revista do Instituto Politécnico da Guarda

## **EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA**

**Propriedade**  
Instituto Politécnico da Guarda

**Director**  
João Bento Raimundo

**Redacção**  
Serviços Centrais do I.P.G. - Av. Francisco Sá Carneiro nº 50  
6300 Guarda  
Telef. 222634 \* Telecópia 222690

**Composição**  
Gabinete Editorial do I.P.G.

**Execução Gráfica e Impressão**  
Secção de Reprografia do I.P.G.

**Periodicidade**  
Semestral

**Tiragem**  
1.000 ex.

**Depósito Legal**  
nº 17.981/87

nº XIV - Agosto de 1994

# Evoluir e Agir

A valorização e o enriquecimento da nossa Revista tem sido uma preocupação constante, desde a sua primeira edição. Poderemos dizer que esta publicação tem caminhado a par com a própria evolução desta instituição de ensino superior, reflectindo a sua dinâmica, traduzindo a qualidade do ensino ministrado, incentivando a investigação, a edição de trabalhos inéditos, tracejando novas perspectivas.

Para além disso, e mercê da sua regularidade, do seu conteúdo, do seu contributo científico-cultural, a Revista "Educação e Tecnologia" é já hoje um título consagrado no contexto deste género de publicações, e com uma progressiva procura por parte de docentes, investigadores, homens de cultura e instituições.

É uma realidade que nos apraz registar. Sobretudo quando se trata de uma publicação, com estas características, editada no interior do País onde gera um diálogo cultural e onde intervém de forma idónea e responsável no processo subjacente ao papel do Instituto Politécnico da Guarda; instituição que no próximo ano lectivo aumentará substancialmente o seu número de alunos, que actualmente ultrapassa os três milhares.

É um número significativo, que confere à Guarda e à região toda uma vitalidade académica e social que honra os seus pergaminhos e as suas tradições estudantis de outrora, que a projecta, cada vez mais, no espaço nacional e europeu.

A Educação e a Tecnologia surgem, pois, como o quadro global em que se desenrola a actividade deste Instituto; daí que esta publicação seja sentida como um verdadeiro pilar e testemunho da sua acção, da sua capacidade interventiva. É sempre nesse sentido que continuaremos a caminhar.

João Raimundo  
Presidente do IPG

# **Reacção Ventilatória e Circulatória Pulmonares em Atletas Após Esforço**

---

Maria Cristina Fidalgo Sequeira\*

---

Quando o organismo humano se move, e isto graças às interacções musculares, implica trabalho.

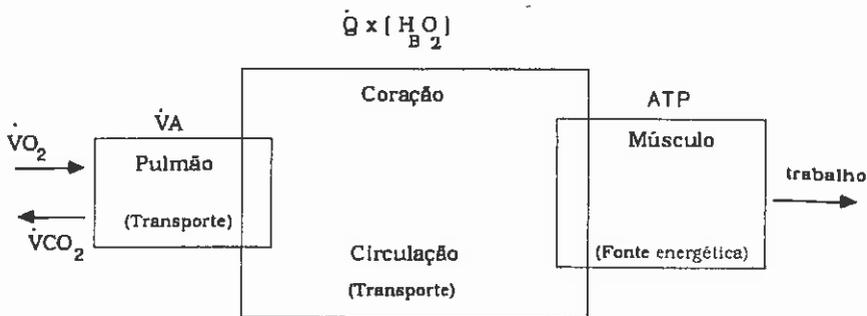
Para a realização de qualquer tipo de trabalho, incluindo o trabalho muscular, há dispêndio de energia; esta pode apresentar-se de várias formas: energia química, mecânica, térmica, luminosa, eléctrica e nuclear. Cada uma destas energias pode ser convertida noutra; interessa-nos, em particular, a transformação da energia química em energia mecânica, porque esta se pode manifestar em movimento.

O ser humano passa grande parte do seu tempo em movimento, sendo as actividades diárias traduzidas numa sobrecarga constante dos sistemas neuromusculares e cardiorespiratório. Por isso é importante conhecer a reposta destes ao acréscimo de necessidades energéticas requeridas pelo aumento de trabalho muscular, concretamente pelo exercício físico, neste caso no âmbito da prática desportiva.

---

\* Assistente da E.S.E.

Este trabalho tem por base a comunicação apresentada no V Congresso Nacional de Medicina Nuclear.



Interação de sistemas durante o trabalho corporal.

A. Couto

Figura 1

existe, assim, uma relação estreita entre a função neuro-muscular, cardiorespiratória e a capacidade de produzir trabalho corporal.

Cada um destes sistemas tem um mecanismo de adaptação ao esforço. O sistema muscular necessita de energia, havendo necessidade de transformar a energia química em energia mecânica através do seu mecanismo de contração muscular.

Existe, assim, uma relação estreita entre a função neuro-muscular, cardiorespiratória e a capacidade de produzir trabalho corporal.

Cada um destes sistemas tem um mecanismo de adaptação ao esforço. O sistema muscular necessita de energia, havendo necessidade de transformar a energia química em energia mecânica através do seu mecanismo de contração muscular.

O ser humano para obter energia tem que se alimentar, de plantas e outros animais; mas a energia libertada da degradação dos alimentos não é directamente utilizada no trabalho muscular, ela contribui para a formação do ATP (trifosfato de adenosina) composto químico completo, que é armazenado na fibra muscular.

O ATP é um complexo de alta energia; quando a ligação entre os dois átomos de fósforo terminais é quebrada são libertados entre 7.000 / 12.000 calorias e forma-se ADP (difosfato de adenosina) + fósforo livre (Pi). Esta energia libertada durante o desdobramento do ATP representa a energia que pode ser utilizada de imediato pela célula muscular para a realização de um trabalho da contração muscular.

## ESTRUTURA DO ATP

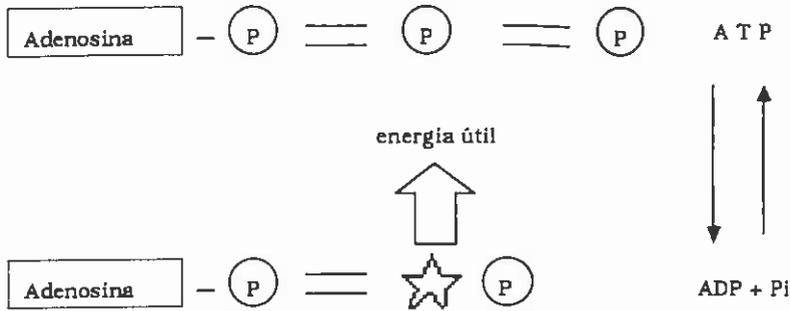


Figura 2

Existem três vias químicas para fornecimento de ATP à célula muscular, utilizadas pelo homem: o sistema ATP-PC; o sistema do ácido láctico, ou anaeróbico, e o sistema oxidativo ou aeróbico.

O sistema ATP-PC é o sistema menos complicado, de utilização imediata pela fibra muscular: A fosfocreatina e ATP encontram-se armazenadas na célula muscular; a energia libertada pela remoção do átomo de fósforo da creatina é imediatamente utilizada para a resíntese de ATP. No entanto, há limitações porque o ATP e PC só são armazenados em pequenas quantidades e rapidamente se esgotam.

## FOSFOCREATINA (PC)

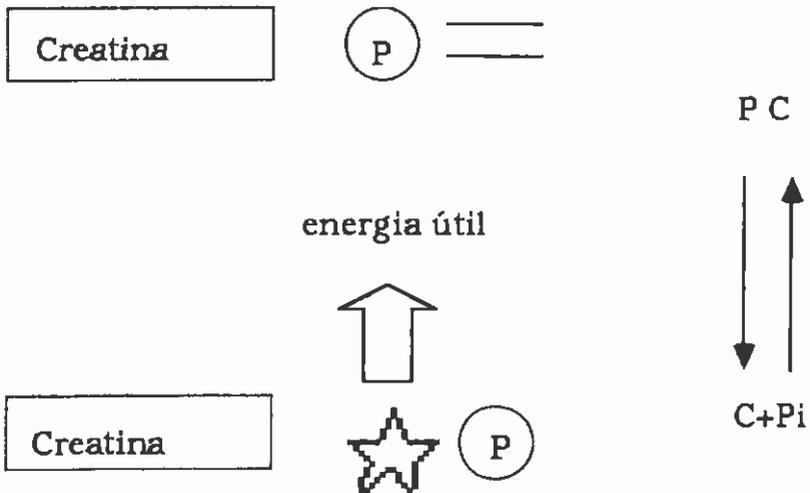


Figura 3

Assim, é um sistema apenas usado em exercícios de curta duração, inferior a dez segundos, como por exemplo a corrida de 100 metros, salto, etc.

O sistema do ácido láctico ou anaeróbico é um sistema mais complexo, pressupondo reacções químicas com degradação do glicogénio ou glicose, proporcionando ao organismo energia que permite a resíntese de três moléculas de ATP. O glicogénio é transformado em ácido pirúvico e este em ácido láctico, acumulando-se no músculo e sendo a principal causa de fadiga muscular.

## TRANSFORMAÇÃO DO ÁCIDO LÁCTICO

### SISTEMAS

#### ANAERÓBICO

#### AERÓBICO

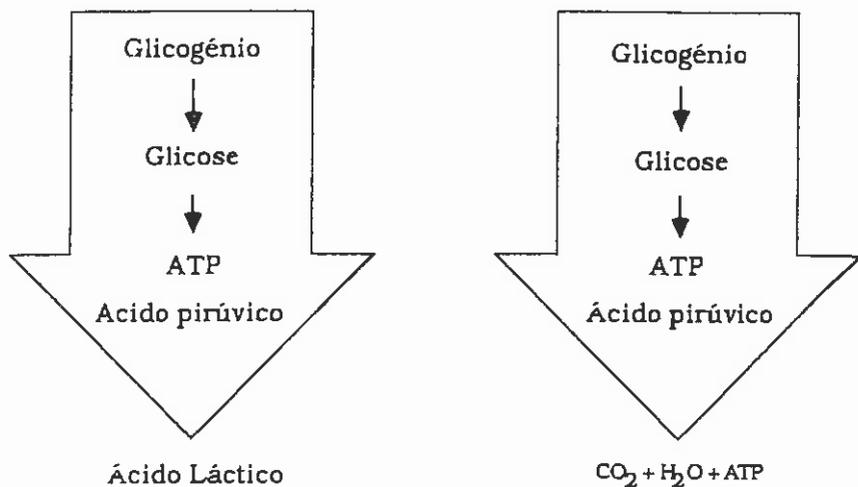


Figura 4

A glicose anaeróbica é um sistema energético, que favorece a obtenção de energia para a realização de esforços de intensidade elevada que duram entre trinta segundos a dois minutos.

A glicólise aeróbica ou fosforilação oxidativa é um sistema mais energético constituído por um conjunto de reacções químicas pelas quais o glicogénio ou glicose se desdobram em outros compostos mais simples dando como resultado final a produção de  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$  e energia suficiente para a formação 36

moléculas de ATP. Este último sistema é utilizado durante o exercício físico de longa duração (acima de três, quatro minutos) com intensidade submáxima como, por exemplo, corrida de fundo.

Resumidamente, referimos como a energia é indispensável à realização do trabalho físico com ou sem a presença de oxigênio. Os combustíveis necessários estão armazenados em certas células do organismo que ao serem utilizados são transportados pelo sangue até à célula muscular.

O oxigênio encontra-se no exterior do organismo, no ar ambiente, tendo de ser transportado até ao interior da célula, mais concretamente à mitocôndria para que seja utilizado na produção de energia.

Deste modo, a captação e transporte do oxigênio até à célula muscular, o transporte e eliminação do  $\text{CO}_2$  dependem muito da conjugação e do equilíbrio existente entre os sistemas cardiocirculatório e respiratório.

O sistema respiratório é um importante sistema de transporte e troca que permite as trocas gasosas entre a atmosfera e o sangue, contribuindo para manter o equilíbrio dos valores sanguíneos de  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}^+$ .

Em condição de repouso existe um equilíbrio entre o volume corrente e o débito sanguíneo funcional pulmonar.

Num indivíduo saudável, que realiza esforço físico de intensidade crescente, a adaptação da ventilação realiza-se essencialmente à custa do aumento do volume corrente (VC), observando-se um aumento progressivo desse volume que estaciona até 50% a 60% da capacidade vital. A partir daí, o aumento da ventilação faz-se à custa do aumento da frequência respiratória. Assim, para esforços ligeiros ou moderados, o volume corrente aumenta progressivamente até um esforço submáximo, até que em esforços mais acentuados e a partir daí o aumento da ventilação faz-se exclusivamente à custa do aumento da frequência respiratória.

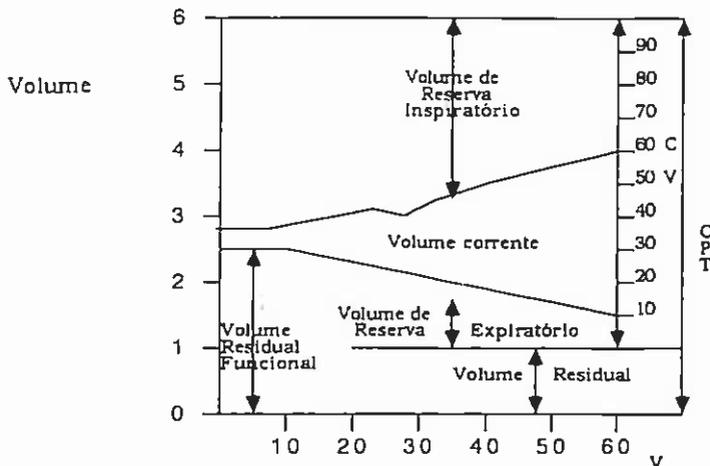


Figura 5

No caso do exercício físico a ventilação varia antes, durante e após o exercício para qualquer carga de trabalho. Imediatamente antes de se iniciar o exercício a ventilação aumenta; obviamente, este aumento é devido ao estímulo proveniente do córtex cerebral em virtude da antecipação do exercício que se irá seguir.

## VENTILAÇÃO PULMONAR

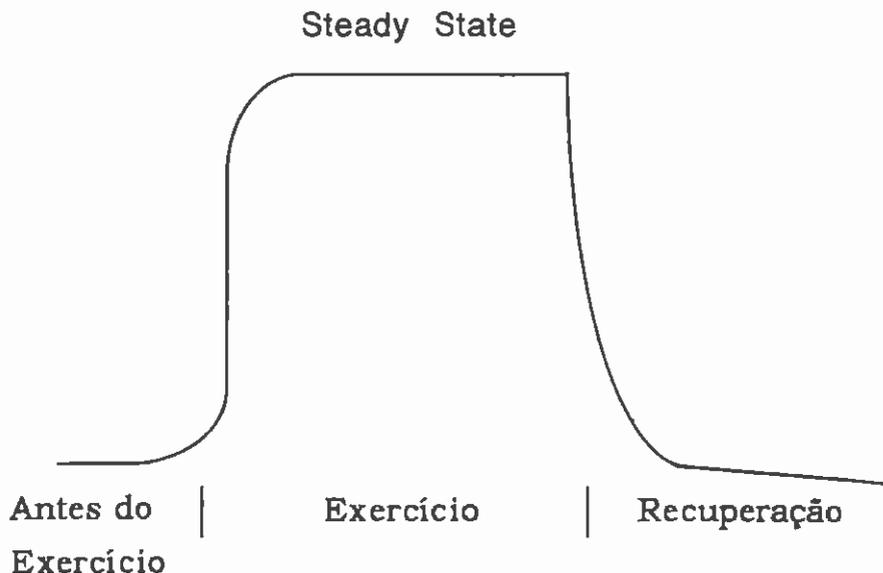


Figura 6

Durante o exercício há duas grandes modificações na ventilação, um aumento muito rápido, dentro de poucos segundos após o início do exercício, provavelmente relacionado com a estimulação SNC, proveniente dos receptores articulares e resultante do movimento gerado pelos músculos em acção. Essa elevação rápida cessa logo e é seguida por uma elevação mais lenta que tende a alcançar um estado de estacionário (*steady-state*) durante um esforço submáximo mas que no exercício máximo continua a aumentar até que o exercício termine; pensa-se que estas variações são mediadas por estímulos químicos, principalmente pelo CO<sub>2</sub> presente no sangue e produzido durante o exercício.

Durante o período de recuperação produzem-se, novamente, duas grandes modificações: logo que o exercício termina verifica-se uma queda brusca na ventilação, isto devido a ter cessado a actividade motora bem como a estimulação nervosa procedente dos receptores do músculo e das articulações; após esta queda brusca na ventilação segue-se uma diminuição mais lenta e gradual da ventilação até aos valores de repouso.

A ventilação máxima pode atingir 130 litros/mn no sexo feminino e 180 l/mn no sexo masculino, o que representa um aumento de 20 a 30 vezes em relação aos valores de repouso; a ventilação sobe à custa do aumento da ventilação alveolar (no exercício passa a 80% da ventilação total) e ligeiro aumento do espaço morto anatómico e com diminuição do espaço morto fisiológico.

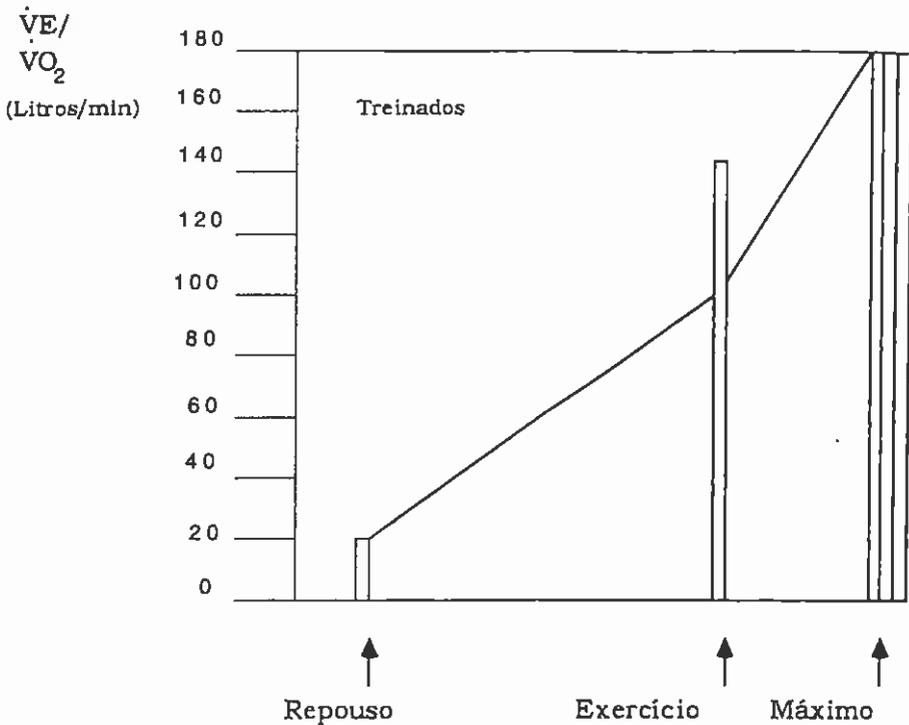


Figura 7

Existe uma relação linear entre a  $\dot{V}_E$  e o trabalho realizado mas a partir de um certo nível de esforço essa relação perde-se tornando-se a ventilação excessiva para o esforço realizado, havendo igualmente uma relação linear entre o aumento da

ventilação e o aumento do consumo de  $O_2$  até ao esforço submáximo ultrapassado o qual o aumento da ventilação faz-se desproporcionalmente, alcançando-se assim o limiar anaeróbico (Lana) resultando do aumento e acumulação acentuado do ácido láctico no sangue, causando acidose metabólica.

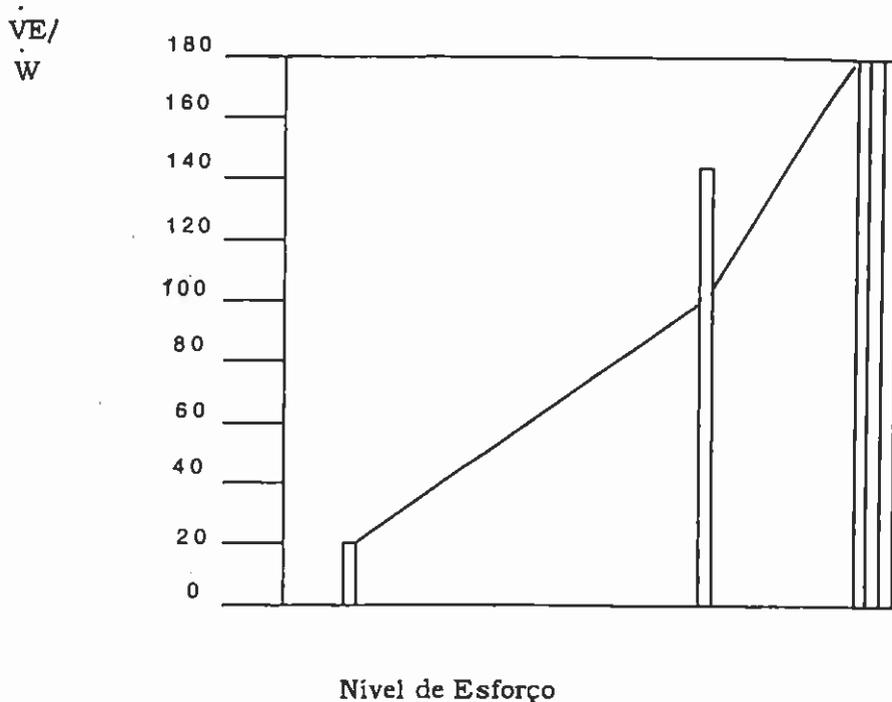


Figura 8

A acumulação de valências ácidas, conduz à necessidade da sua remoção, aqui representada pela eliminação de maiores quantidades de  $CO_2$  através do pulmão, por meio da hiperventilação; para o  $CO_2$  eliminado existe igualmente uma relação linear com o aumento da ventilação.

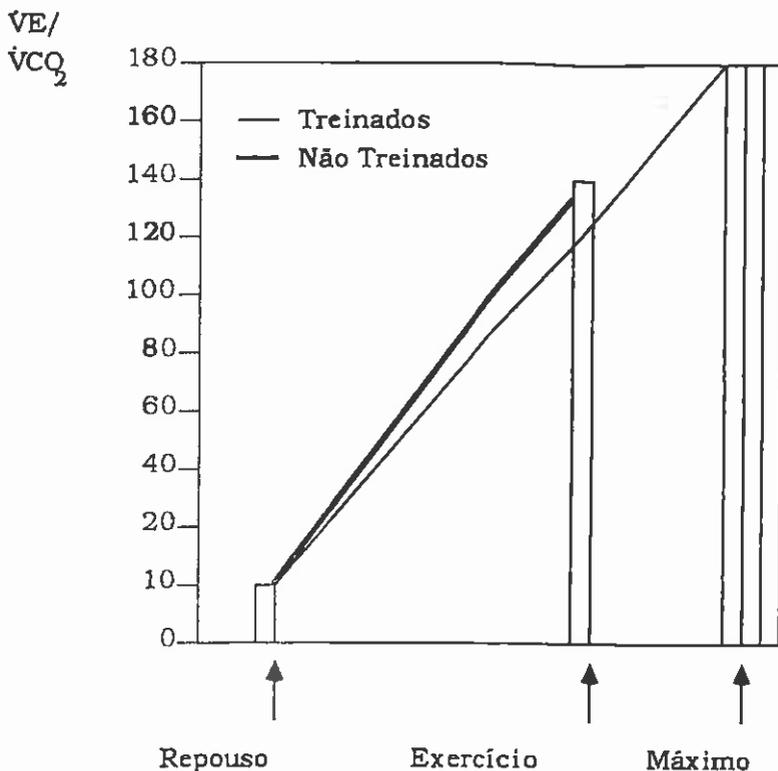


Figura 9

Na realidade, a ventilação nunca constitui no indivíduo saudável factor limitante ao esforço físico; ela aumenta sempre, ainda que de modo excessivo, qualquer que seja o nível de esforço.

Pode afirmar-se que a resposta respiratória ao esforço físico consiste num aumento da ventilação com o fim de garantir a manutenção de níveis normais de  $PaO_2$  e  $PaCO_2$ . Em exercícios moderados existe uma relação linear entre o esforço e a ventilação, permanecendo as pressões parciais de  $O_2$  e  $CO_2$  dentro dos limites da normalidade. Em exercícios mais violentos (máximo) assiste-se a um aumento desproporcionado da ventilação com conseqüente queda da  $PaCO_2$  enquanto a  $PaO_2$  se mantém constante à custa do  $PAO_2$ . Este aumento reflecte-se na troca por difusão que, por sua vez, também aumenta nitidamente durante o esforço ao aumentar a superfície de contacto entre o gás e o sangue por recrutamento de unidades alveolo-capilares que se encontram inactivas em repouso.

Em condições de repouso há um equilíbrio entre a quantidade de ar que ventila os alvéolos e o débito sanguíneo que os perfunde. Nas mesmas condições as necessidades de  $O_2$  dos tecidos são cerca de 1/4 litro/mn, que durante o exercício essas necessidades podem aumentar para 4 litros/mn. Para que uma quantidade suficiente de  $O_2$  alcance os tecidos, em condições de esforço, o débito cardíaco aumenta de 5/6 litros para 30 litros/mn e o mesmo acontece para o volume respiratório como foi já referido.

Em situação de repouso, a distribuição do débito sanguíneo pulmonar é heterogêneo e depende de factores como sejam o efeito da pressão hidrostática e a presença de vasos colapsáveis e distensíveis; essa distribuição não depende apenas do gradiente de pressão existente entre artérias e veias mas também dos efeitos da gravidade. Com o indivíduo na posição de pé a perfusão aumenta do vértice para a base dos pulmões.

O estudo destas relações permitiu definir quatro zonas:

- zona 1 - apical — onde a pressão alveolar (PA) excede a pressão arterial (Pa); nestas condições os capilares estão colapsados e o débito sanguíneo mantém-se muito reduzido ou mesmo nulo;

- zona 2 - intermédia — onde a Pa é maior do que PA; mas esta é ainda maior do que a pressão venosa (Pv). Nesta zona os vasos estão distendidos no segmento arterial e colapsados no venoso; este gradiente possibilita que o débito aumente no sentido vértice-base.

- zona 3 - basal — onde PA é menor do que Pa e Pv, o que possibilita que os vasos tenham as paredes sólidas, em "túnel"; o débito aumenta nesta zona por recrutamento da unidade microcirculatória.

Considera-se ainda uma zona 4 (basal) onde o débito sanguíneo se reduz por efeito de edema perivascular em casos de falência ventricular esquerdo.

VENTILAÇÃO E DÉBITO SANGÜÍNEO/  
UNIDADE DE VOLUME PULMONAR

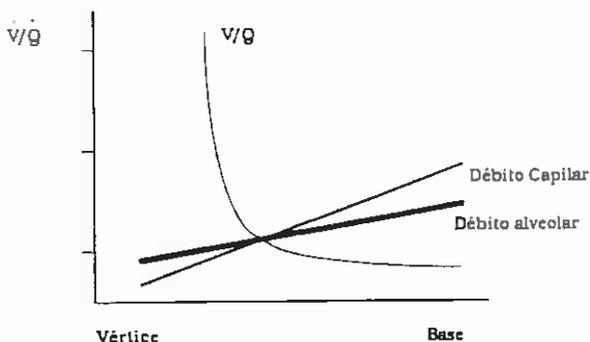


Figura 10

Na zona 3 um aumento do débito é conseguido à custa do recrutamento de novas unidades microcirculatórias das zonas 1 e 2 visto que em condições de repouso é só a zona 3 que funciona; durante o esforço vão sendo gradualmente utilizados vasos da zona 2 e 1 conforme a intensidade do exercício.

A perfusão pulmonar é directamente influenciada pelo balanço entre a pressão alveolar, arterial e venosa. Na zona 1 e 2 o débito é determinado pela diferença da pressão artério-alveolar ao passo que na zona 3 é controlada pela diferença de pressão artério-venosa.

Em repouso, num adulto normal, o débito pulmonar é igual a 5/6 litros por minuto; com o exercício pode elevar-se para 30 litros por minuto, isto é pode aumentar 5 vezes. Com o esforço, verifica-se um aumento do fluxo sanguíneo pulmonar assegurando-se o transporte de O<sub>2</sub> até ao tecido muscular.

Esse aumento experimentado no exercício é notável, devendo-se a um aumento da frequência cardíaca; ao aumento do retorno venoso, que é proporcional à intensidade do exercício; a um aumento do volume sistólico e a uma diminuição das resistências pulmonares que faz com que o aumento do fluxo pulmonar não produza variações consideráveis das pressões pulmonares.

Num pulmão normal existem cerca de 300 milhões de alvéolos que perfazem uma área superficial alveolar de cerca de 70 m<sup>2</sup> disponível para as trocas gasosas.

Apenas uma parte dessa área está ocupada por capilares pulmonares, facto que reduz em cerca de metade a superfície efectiva para as trocas.

Durante o exercício físico dá-se um recrutamento dos vasos que em repouso se encontram fechados, o que permite utilizar o leito capilar em maiores proporções, aumentando assim as superfícies de trocas. Como já referimos, em condições de repouso mantêm-se constante a corrente de ar que ventila os alvéolos e o débito sanguíneo que os perfunde.

Deste modo, a relação ventilação/perfusão em repouso, oscila à volta de 4/5 (0.8) na unidade de tempo. Em média o ar alveolar é de 4 litros por minuto, entrando em contacto com 5 litros de sangue bombeado pelo ventrículo direito. Num indivíduo normal na posição de pé tanto o fluxo sanguíneo como a ventilação são muito menores na parte superior do pulmão que no inferior. Contudo, o fluxo sanguíneo está diminuído muito mais do que a ventilação. Assim, no vértice pulmonar a relação ventilação/perfusão é até 3 vezes maior que o valor normal; na parte mais inferior do pulmão a ventilação é deficiente em relação ao fluxo sanguíneo com uma relação ventilação/perfusão mais baixa, 0.6 vezes o valor normal. Nesta área há uma pequena fracção de sangue que não se oxigena normalmente. Esta desigualdade de ventilação e perfusão diminui ligeiramente a eficácia pulmonar para as trocas gasosas de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>.

Durante o exercício, o fluxo sanguíneo na porção superior do pulmão aumenta notavelmente de tal forma que há muito

menos espaço morto fisiológico e a eficácia das trocas gasosas aproxima-se do ótimo; resulta, assim, com o exercício, uma diminuição do espaço morto fisiológico; com isto a relação ventilação/perfusão na zona superior do pulmão aproxima-se mais do normal. Podemos ainda referir que com o exercício leve o fluxo sanguíneo aumenta nas zonas superiores e inferiores e as diferenças regionais diminuem, o que leva a dizer que o fluxo se torna mais homogêneo.

No decorrer do exercício físico a referida relação vai aumentando sobretudo à custa da ventilação, uma vez que enquanto esta pode aumentar 20/30 vezes, a circulação só pode aumentar 5/7 vezes, em relação ao normal.

Isto conduz a que possamos afirmar que a reserva ventilatória é consideravelmente maior do que a reserva circulatória, o que é lógico, pois o sistema respiratório funciona em "circuito aberto" enquanto que o sistema circulatório representa um "circuito fechado".

Do que ficou dito, tanto o aumento da ventilação como do débito circulatório têm por finalidade aumentar a captação e o transporte de O<sub>2</sub> em quantidades suficientes para assegurar as combustões necessárias à realização de trabalho muscular e garantir um eficiente transporte e eliminação do CO<sub>2</sub> em excesso, resultante das referidas combustões.

Concluindo, e tendo em conta aquilo que de forma sintética atrás referimos, podemos afirmar que **o pulmão normal nunca é limitante ao esforço.**

#### Bibliografia.

- Astrand, Per-olof, Rodahl, Kaane, "Textbook of work physiology - Physiological bases of exercise", Ed. Mc Graw-Hill, Inc., New Work, 1977.
- Botelho, M<sup>a</sup> Filomena Rabaça Roque, "Novos Métodos de Avaliação da Função Pulmonar com Radionuclídeos", Faculdade de Medicina de Coimbra, 1992.
- Caro, D. Martinez, "Corazón y ejercicio", Barcelona, Edições Doyna, 1990.
- Costa, M. Fontes, "Pneumologia na Prática Clínica", 1<sup>o</sup> volume, Faculdade de Medicina de Lisboa e Centro de Investigação CNC3 - INIC, Lisboa, 1988.
- Couto, A. e Ferreira, J. M. Reis, "Diagnóstico Funcional Respiratório na Prática Clínica - (Introdução à Fisiopatologia Respiratória)", Edição Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.
- Fox, Edward L. and Mathews, Donald K., "The Physiological Basis of physical education and athletics.", 1981.
- Levitzhy, Michael G., "Pulmonary Physiology", Ed. Mc Graw-Hill International Editions, 1991, 3<sup>a</sup> edição.
- McArdle, D. William, Katch, Frank I. e Katch, Victor L., "Fisiologia del ejercicio", Alianza Deporte.
- Ortega, Ricardo, Pirilla, Sanchez, "Medicine del ejercicio físico y del deporte para la atención de la salud", Ediciones Diaz de Santos, S.A., Madrid, 1992.
- West, J.B., "Respiratory Physiology", William and Wilkins Company, Baltimore, 2<sup>a</sup> Edição.