

# EL PULSO DE OXÍGENO EN EL PEQUEÑO ESFUERZO. APROXIMACIÓN A SU SIGNIFICADO

F.J. Gómez-Terreros Sánchez, M.F. Puerro Vicente, M.C. Caro de Miguel, L.M. Callol Sánchez y J. Calderón Álvarez

Servicio de Neumología. Hospital del Aire. Madrid.

Se estudia el comportamiento del pulso de oxígeno en 30 hombres de 21 a 41 años, sanos, no entrenados y no fumadores, sometidos a un test ergométrico de baja potencia. Los valores del pulso de oxígeno en reposo fueron de  $2,26 \pm 0,96$  ml O<sub>2</sub>/pulsación en reposo y  $11,32 \pm 1,68$  ml O<sub>2</sub>/pulsación tras el esfuerzo. Se calcula de forma indirecta el comportamiento de los dos factores que lo definen, volumen sistólico y diferencia arteriovenosa en el contenido de oxígeno. Para el volumen sistólico, los valores de reposo fueron de  $75,41 \pm 15,85$  ml en reposo y  $115,04 \pm 14,21$  ml tras el esfuerzo. La diferencia en el contenido arteriovenoso de oxígeno fue de  $2,94 \pm 1,27$  ml O<sub>2</sub>/100 ml en reposo y pasó a ser de  $9,81 \pm 1,21$  ml O<sub>2</sub>/100 ml tras el esfuerzo.

Se establece la diferencia arteriovenosa en el contenido de oxígeno que corresponde a cada volumen sistólico en cada nivel de pulso de oxígeno en la población normal, y se considera que su alteración es índice más precoz de patología que el valor absoluto del pulso de oxígeno.

*Arch Bronconeumol 1991; 27:78-82*

Oxygen pulse in slight exercise. Approach to its significance.

This study analyzes the behaviour of oxygen pulse in 30 males aged 21 to 41 years, healthy, untrained and nonsmokers who underwent an ergometric test of low power. Baseline values of oxygen pulse at rest were  $2,26 \pm 0,96$  ml O<sub>2</sub>/pulsation and following exercise  $11,32 \pm 1,68$  ml O<sub>2</sub>/pulsation. The two factors that determine the oxygen pulse (systolic volume and oxygen arteriovenous difference) were indirectly measured. Systolic volume at rest was  $75,41 \pm 15,85$  ml and during exercise  $115,04 \pm 14,21$  ml. Oxygen arteriovenous difference at rest was  $2,94 \pm 1,27$  ml O<sub>2</sub>/100 ml and during exercise it increased to  $9,81 \pm 1,21$  ml O<sub>2</sub>/100 ml. The oxygen arteriovenous difference that corresponds to each systolic volume at a given oxygen pulse value was established for a normal population in this study. It is suggested that this parameter is more sensitive than the absolute value of the oxygen pulse in detecting pathological conditions.

## Introducción

La medida del consumo de oxígeno ( $\dot{V}O_2$ ) durante el esfuerzo permite el cálculo del llamado pulso de oxígeno (pulso O<sub>2</sub>), que no es más que el resultado de dividir aquél por la frecuencia cardíaca (Fc). Su valor es la cantidad de oxígeno que capta el organismo en cada ciclo cardíaco y viene definido por la ecuación:

$$\text{pulso O}_2 = V_s \times AVO_2$$

siendo V<sub>s</sub> el volumen sistólico y AVO<sub>2</sub> la diferencia en el contenido arterio-venoso de oxígeno.

Hasta ahora se ha considerado el comportamiento del pulso O<sub>2</sub> como una variable dependiente del volumen sistólico, de tal manera que se afirma que un valor alto durante el ejercicio siempre implica un V<sub>s</sub> alto, y un pulso O<sub>2</sub> bajo siempre se acompaña de un V<sub>s</sub> pequeño<sup>1</sup>. Sin embargo, el primer paso compensador de un deficiente aporte tisular a los tejidos se realiza mediante un incremento en la captación hísti-

ca del oxígeno que se traduce en un aumento de la AVO<sub>2</sub>, sin afectación del V<sub>s</sub><sup>2</sup> y ésto puede cursar con un valor normal para el pulso O<sub>2</sub>.

Es importante en la práctica analizar no sólo el valor del pulso O<sub>2</sub>, sino también el comportamiento de cada uno de sus componentes.

En el presente estudio trataremos de establecer, en una población normal, no entrenada, el comportamiento del pulso O<sub>2</sub> en el pequeño esfuerzo y el de cada uno de los parámetros que lo definen, V<sub>s</sub> y AVO<sub>2</sub>, a fin de establecer unos valores de referencia en el comportamiento de la población sana, para cada valor de pulso O<sub>2</sub> durante el pequeño esfuerzo.

## Material y método

Se ha realizado un estudio ergométrico de baja potencia a 30 hombres no entrenados, de 21 a 41 años, con una edad promedio de 35, en los que tras examen clínico, radiológico y analítico no se detectó ningún tipo de patología. Ninguno de ellos era fumador.



El material utilizado fue un equipo Siregnosf FD 885 Siemens, que consta de armario de medida, bicicleta ergométrica EM 380 y electrocardiógrafo. Incorpora sistema de autocalibración automático.

El armario de medida se compone de: 1) Receptor de flujo respiratorio con adaptador de corrección para los programas de explotación, neumotacografía y espirometría. 2) Calculador analógico tipo A, para la determinación continua del  $\dot{V}O_2$ . 3) Calculador analógico tipo B que determina cociente respiratorio, equivalente respiratorio y pulso  $O_2$ , todos ellos en condiciones STPD. 4) Registrador de puntos "Kompensograph". 5) Cardioscopio para el control de una derivación de ECG. 6) Cardiosfigmotacómetro con indicador acústico del pulso y aditamento de alarma. 7) Aparato medidor del volumen minuto respiratorio. 8) Esfigmomanómetro DIASYST. 9) Aparato de regulación y carga para el ergómetro EM 380. 10) Espirómetro eléctrico.

La cicloergometría se realiza durante 6 minutos, divididos en un primer período de 3 min a 50 watos de potencia y un segundo período de otros 3 min a 100 w, efectuándose anotaciones de los datos recogidos cada 20 segundos más otro inicial correspondiente al reposo.

Obtenemos así directamente entre otros,  $\dot{V}O_2$ , Fc y pulso  $O_2$ .

Para el cálculo del gasto cardíaco ( $\dot{Q}_t$ ), nos basamos en las relaciones directas existentes entre éste y  $\dot{V}O_2$ , y que fueron cuantificadas por nuestro grupo de trabajo según la relación:  $\dot{V}O_2 = 0,14 \times \dot{Q}_t - 0,67^3$ .

Una vez obtenido  $\dot{Q}_t$ , podemos igualmente calcular el Vs, gracias a  $\dot{Q}_t = V_s \times F_c$ .

Conocido así el Vs podemos llevarlo a la ecuación inicial definitiva del pulso de oxígeno, según la cual: Pulso  $O_2 = V_s \times AVO_2$  y de ésta forma deducir los valores de la  $AVO_2$ .

Se practicó una explotación y análisis estadístico e informático para la obtención de los resultados. La grabación de los datos se ha efectuado sobre un registro diseñado con la herramienta Clipper'87, que ha sido asistido por dos programas: -uno de mantenimiento y depuración del fichero de datos, y que generará un fichero de exportación en formato ASCII, y el segundo, de cálculo de valores nuevos a partir de las variables ya existentes en el fichero.

Para el análisis estadístico se ha encomendado la explotación de los datos al *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS/PC+ de SPSS Inc. Univ. Chicago), a sus procedimientos Descriptives, Correlation y Plot, que han analizado los datos residentes en el fichero exportado desde Clipper. Para el procedimiento de regresión entre pulso de  $O_2$  y Fc, Vs, y  $AVO_2$ , se ha utilizado el paquete SAS. Como *hardware* se ha utilizado una CPU i80286 con coprocesador i80287,

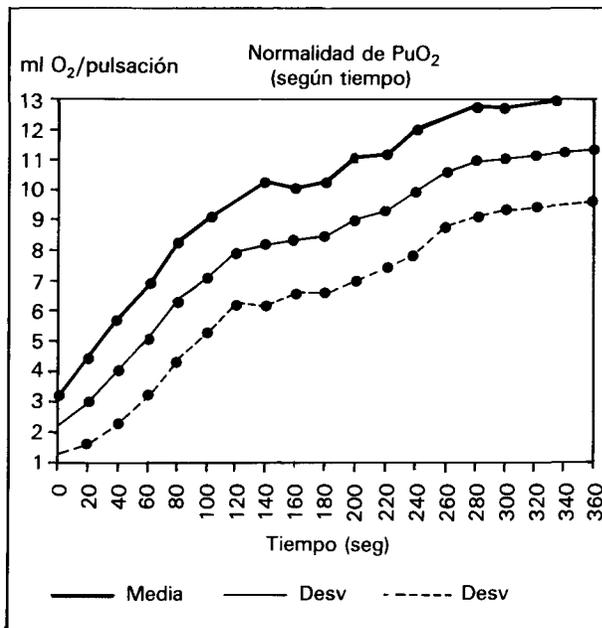


Fig. 1. Comportamiento del pulso de oxígeno durante el esfuerzo.

bajo MS/DOS disco duro de 20 Mb y 2 unidades de disco flexible, recursos *hardware* para ejecutar SPSS/PC+.

## Resultados

Los resultados obtenidos para el pulso  $O_2$  en cada nivel de esfuerzo, una vez calculadas medias y desviaciones estándar y su correspondiente relación con el  $\dot{Q}_t$  existente en aquel nivel, y la cuantificación del Vs y  $AVO_2$ , así como la Fc y  $\dot{V}O_2$  existente en cada escalón, se expresan en la tabla I.

TABLA I

Resultados obtenidos para consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca, pulso de oxígeno, gasto cardíaco, volumen sistólico y diferencia arterio-venosa de oxígeno, desde el reposo y cada 20 segundos hasta el final del ejercicio

Tpo.	$\dot{V}O_2$ (l/min)		Fc (ppm)		Pu $O_2$ (ml $O_2$ /pulsación)		$\dot{Q}_t$ (l/min)		Vs (cc)		AVO $_2$ (ml $O_2$ /100 ml)	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
0"	0,18	0,09	83,64	14,66	2,26	0,96	6,11	0,60	75,41	15,85	2,94	1,27
20"	0,31	0,15	104,33	20,77	3,02	1,42	7,03	1,09	69,08	13,31	4,40	2,13
40"	0,44	0,19	112,85	31,40	4,03	1,75	7,92	1,34	74,78	24,21	5,55	2,33
60"	0,56	0,20	112,46	16,88	5,05	1,83	8,80	1,41	79,47	15,57	6,36	2,21
80"	0,70	0,22	111,03	13,92	6,33	1,95	9,77	1,54	89,00	15,67	7,16	2,18
100"	0,79	0,20	112,13	14,71	7,14	1,88	10,46	1,46	94,42	15,71	7,55	1,93
120"	0,88	0,17	112,17	13,48	7,94	1,68	11,07	1,19	99,97	15,06	7,94	1,49
140"	0,92	0,19	113,95	19,89	8,23	2,03	11,34	1,33	101,96	19,47	8,11	1,65
160"	0,94	0,18	114,66	15,56	8,34	1,75	11,52	1,28	102,08	16,46	8,15	1,54
180"	0,97	0,21	116,36	15,15	8,44	1,83	11,75	1,53	102,15	15,54	8,25	1,80
200"	1,10	0,24	123,09	15,17	9,02	2,07	12,63	1,68	103,95	17,59	8,70	1,84
220"	1,19	0,22	128,85	13,94	9,31	1,87	13,27	1,56	104,08	15,78	8,96	1,62
240"	1,31	0,24	132,52	17,20	9,99	2,05	14,13	1,73	108,07	17,24	9,27	1,69
260"	1,40	0,19	133,19	13,94	10,61	1,82	14,77	1,32	112,12	15,81	9,47	1,24
280"	1,45	0,19	133,95	15,01	10,99	1,83	15,18	1,34	114,72	16,28	9,55	1,22
300"	1,49	0,17	136,17	14,64	11,08	1,69	15,45	1,24	114,71	14,97	9,64	1,10
320"	1,51	0,20	136,40	14,27	11,18	1,71	15,58	1,40	115,31	14,79	9,69	1,24
340"	1,55	0,20	139,14	14,59	11,22	1,71	15,84	1,42	114,92	14,77	9,78	1,26
360"	1,58	0,20	141,13	13,05	11,32	1,68	16,10	1,42	115,04	14,21	9,81	1,21

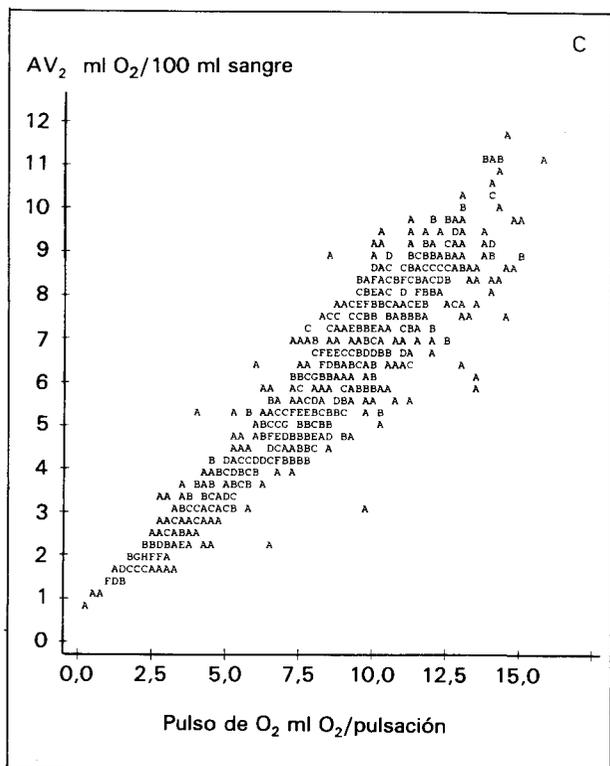
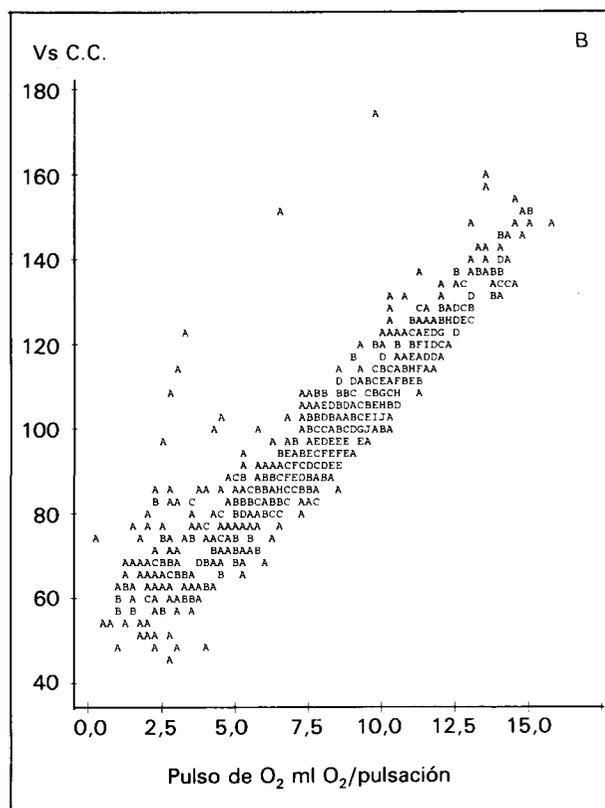
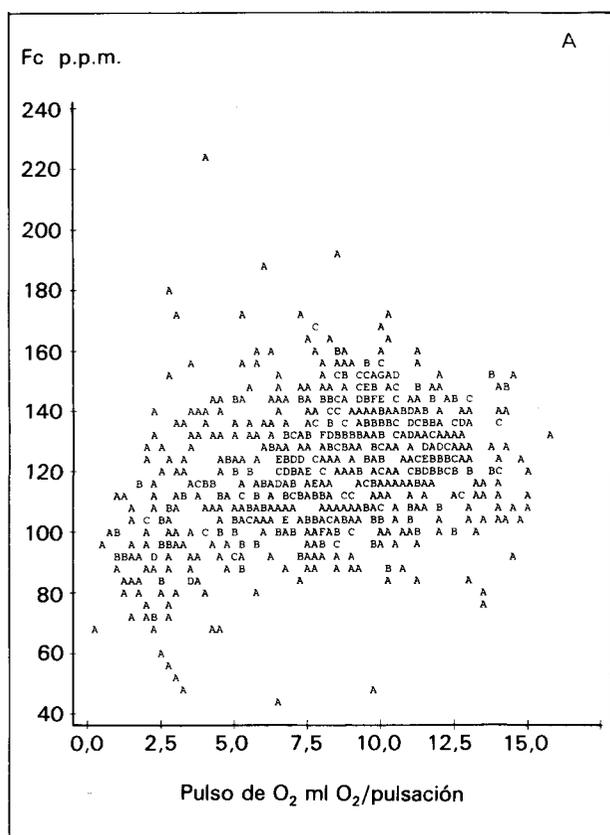


Fig. 2a, b y c. Plot de regresiones entre pulso O<sub>2</sub> g: Fc(2a), Vs(2b) y AVO<sub>2</sub>(2c).

En la figura 1 se muestra la gráfica del comportamiento seguido por el pulso de O<sub>2</sub> en la población estudiada. En ella podemos observar como primero hay un incremento casi lineal hasta que aproximadamente a los 2 minutos trata de alcanzar un estado estable, que se rompe al incrementarse la potencia del ergómetro a 100 w, cuando de nuevo se acentúa la pendiente aunque de forma más atenuada que al comienzo.

En la figura 2a aparecen las correlaciones existentes entre el pulso O<sub>2</sub> y la Fc, con un valor para "r" de 0,44 y una gran dispersión de puntos.

En la figura 2b se estudia la corrección existente entre el pulso O<sub>2</sub> y el Vs, encontrando valores de "r" de 0,89.

Y en la figura 2c se estudia la correlación entre pulso O<sub>2</sub> y AVO<sub>2</sub> hallando un valor para "r" de 0,98.

En la figura 3 se representa el comportamiento del Vs y AVO<sub>2</sub>, ejes derecho e izquierdo respectivamente para los distintos valores promedios alcanzados en los distintos momentos de la prueba. Destacamos que el Vs y el AVO<sub>2</sub> alcanzan a los 3 minutos un estado estable con valor de 102,15 ± 15,54 ml para el Vs y de 8,25 ± 1,80 ml O<sub>2</sub>/100 ml para la AVO<sub>2</sub>. A los 6 minutos estos valores son de 115,04 ± 14,21 ml para el Vs y de 9,81 ± 1,21 ml O<sub>2</sub>/100 ml sangre para la AVO<sub>2</sub>.

En la figura 4 se aprecia la caída del Vs en los primeros 20 segundos del ejercicio.

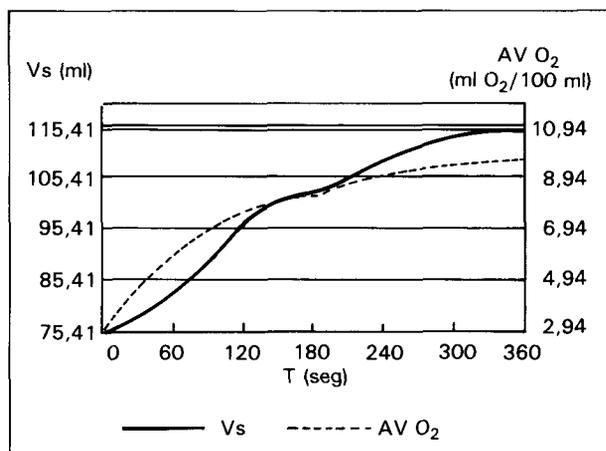


Fig. 3. Comportamiento de Vs y AVO<sub>2</sub> durante el esfuerzo.

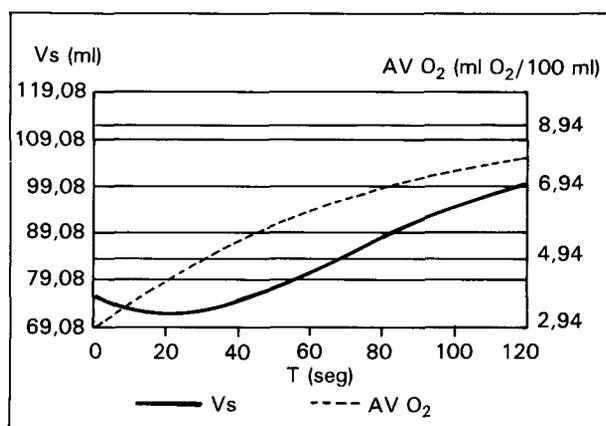


Fig. 4. Primeros 120'' del diagrama de la figura 3; se aprecia la caída en los primeros 20'' del Vs.

## Discusión

El pulso O<sub>2</sub> es utilizado como test funcional del aparato cardiocirculatorio, tanto en reposo como durante el ejercicio, y su comportamiento se relaciona con el comportamiento del Vs<sup>1,4</sup> de tal manera que la caída del pulso de O<sub>2</sub> por debajo de los valores de referencia es atribuida al fracaso del corazón izquierdo para mantener un adecuado Vs<sup>4,5</sup>. Al aceptar este concepto no se tiene en cuenta que la caída del Vs, puede ser paliada por mayor captación de oxígeno por los tejidos, que provoca un incremento en la AVO<sub>2</sub><sup>4</sup>, de tal forma que el producto Vs × AVO<sub>2</sub> conserva los niveles normales de referencia<sup>2</sup>. La caída del pulso O<sub>2</sub>, por fracaso del Vs tan sólo se produce cuando la compensación por el incremento en la AVO<sub>2</sub> se agota.

En vista de ello pensamos que cada valor de pulso O<sub>2</sub> en normales se debe corresponder con un determinado Vs y AVO<sub>2</sub>. Será tan anormal tener un Vs bajo con alta AVO<sub>2</sub>, situación propia de insuficiencia cardíaca, como un Vs alto con baja AVO<sub>2</sub>, como ocurriría en una fístula arteriovenosa; ambas situaciones pueden expresar una misma cifra de pulso O<sub>2</sub>.

Utilizamos para nuestro trabajo el pequeño esfuerzo para que nuestro método sea aplicable al estudio de la población patológica y también evitar la contaminación anaeróbica que conllevan los tests ergométricos de mayor esfuerzo.

Los valores descritos para el pulso O<sub>2</sub> en nuestro grupo son coincidentes con los hallados en la literatura para este tipo de población<sup>6</sup>.

Con unas cifras basales de  $2,26 \pm 0,96$  ml O<sub>2</sub>/ciclo cardíaco, llegamos tras 3 minutos a 50 watos, a  $8,44 \pm 1,83$  ml O<sub>2</sub>/ciclo cardíaco, en donde se consigue la base estable. Podemos decir que el pulso O<sub>2</sub> al pasar de reposo al esfuerzo, se multiplica por cuatro. El segundo escalón, que lo componen otros 3 minutos de esfuerzo a 100 watos, eleva el pulso O<sub>2</sub> a  $11,32 \pm 1,68$  ml O<sub>2</sub>/pulsación, lo que implica multiplicarse por 1,3 en esta segunda fase del ejercicio.

En nuestro caso, las cifras de  $\dot{V}O_2$  han oscilado entre  $0,18 \pm 0,09$  l/min a nivel basal,  $0,97 \pm 0,18$  l/min en la situación de estado estable a los 3 minutos, y  $1,58 \pm 0,20$  l/min en la situación de estado estable al final del esfuerzo. De nuevo, en el primer escalón la cifra se multiplica por 5,2 y en el segundo por 1,6. Estas cifras también son similares a las descritas en la literatura, tanto en lo que se refiere a sus medias como desviaciones estándar<sup>6-8</sup>.

En trabajos previos y para una población similar, hemos establecido en nuestro laboratorio la correlación entre el  $\dot{V}O_2$  y el  $\dot{Q}t^3$ , lo que nos permite una aproximación para su cálculo de gran fiabilidad ya que encontramos entre ambos un coeficiente de regresión de 0,96.

Según la ecuación calculada, el  $\dot{Q}t$  para nuestra muestra en reposo es de  $6,11 \pm 0,60$  l/min que se elevan a  $11,75 \pm 1,53$  l/min en el primer escalón y  $16,10 \pm 1,42$  l/min en el segundo nivel de esfuerzo, de nuevo cifras similares a las descritas por la literatura para una población normal en este pequeño esfuerzo<sup>6,9</sup>.

En ambos escalones, el  $\dot{Q}t$  aumenta ostensiblemente ( $\times 2$  en el primer nivel de esfuerzo y por 1,5 en el segundo), lo que contrasta con el débil incremento del  $\dot{V}O_2$  en el segundo escalón. Esto nos traduce que en la segunda fase del ejercicio, la entrega de oxígeno a los tejidos se realiza de forma predominante a partir del incremento del  $\dot{Q}t$ , o lo que es lo mismo, es más dependiente del flujo y menos de la AVO<sub>2</sub>.

El cálculo del Vs, también ofrece cifras similares a las descritas en la literatura<sup>6,8,9</sup>. En el reposo ha sido de  $75,41 \pm 15,85$  ml, llegando en el primer escalón de ejercicio a  $102,15 \pm 15,54$  ml. En la segunda fase de esfuerzo alcanza valores de  $115,04 \pm 14,21$  ml. Como en el caso del  $\dot{Q}t$ , el Vs tiene un comportamiento de adaptación al esfuerzo similar en el primer y segundo escalón. Estos cálculos detectan la caída inicial del Vs en los primeros segundos del ejercicio, que pasa de 75,41 ml a 69,08 ml a los 20 segundos, (fig. 4), caída que depende de la adaptación neurogénica inicial al ejercicio, por reflejo simpático que origina un brusco aumento de la Fc en detrimento del Vs<sup>10</sup>.



Los valores calculados para  $AVO_2$ , a partir del conocimiento del pulso  $O_2$  por cada ciclo cardíaco, y el cálculo indirecto del  $V_s$  concuerdan con los descritos en la literatura<sup>6,9,11</sup>. En reposo, su valor es de  $2,94 \pm 1,27$  ml  $O_2$ /100 ml de sangre. En el primer escalón el valor se multiplica por 3, en el segundo permanece estático, es decir, la  $AVO_2$  permanece estable.

El comportamiento de los componentes del pulso  $O_2$  en los dos escalones del pequeño esfuerzo, se caracteriza en el inicio por un incremento tanto del  $V_s$  como de la  $AVO_2$  hasta alcanzar el estado estable a los 3 minutos. Podemos decir que para el primer escalón, los valores de la situación estable para el pulso  $O_2$  son de  $8,44 \pm 1,83$  ml  $O_2$ /ciclo cardíaco que se corresponde con un  $V_s$  de  $102,15 \pm 15,54$  ml y una  $AVO_2$  de  $8,25 \pm 1,80$  ml  $O_2$ /100 ml sangre. En la situación estable de la segunda fase del ejercicio el pulso  $O_2$  es de  $11,32 \pm 1,68$  ml  $O_2$ /latido para un  $V_s$  de  $115,04 \pm 14,21$  ml y una  $AVO_2$  de  $9,81 \pm 1,21$  ml/100 ml de sangre. En la figura 3 se aprecia como la  $AVO_2$  permanece más estática en el segundo escalón, con respecto al  $V_s$ .

La detección más precoz del comportamiento anormal se obtendrá por un inadecuado incremento en la  $\dot{V}O_2$  en el segundo escalón del test, siendo compatible con cifra normal del pulso  $O_2$  en dicho nivel.

Este comportamiento explica el por qué los pacientes con grave afectación de la fracción de eyección ventricular izquierda mejoran tras el entrenamiento el pulso  $O_2$ , lo que se consigue, no por un mayor  $V_s$ , sino por un mayor aprovechamiento tisular de  $O_2$  en un músculo entrenado, que incrementa la  $AVO_2$ <sup>5</sup>. Cuando esta vía de adaptación se agota y no se puede incrementar más la  $AVO_2$ , la compensación sólo depende del comportamiento del  $V_s$ ; es entonces cuando la relación con la situación funcional del ventrículo izquierdo se correlaciona con el comportamiento del pulso  $O_2$ <sup>3</sup>.

Por ello la respuesta del  $V_s$  y  $AVO_2$  para los distintos escalones del esfuerzo nos permite un análisis más sensible para la detección precoz de conductas anormales o de adaptación que el valor bruto de pulso  $O_2$ . El conocimiento del  $\dot{V}O_2$  para cada ciclo cardíaco y el cálculo a partir del mismo del  $\dot{Q}t$  hacen posible una aproximación fácil a los valores del  $V_s$  y  $AVO_2$  en la clínica diaria, útil para el mejor estudio de la fisiopatología del esfuerzo.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Jones NL. Prueba de ejercicio, un método integrado. En: Fischman AP. Tratado de neumología. Ed McGraw-Hill: Mexico 1983; 23:335.
2. Conn EM, Sanders WR. Exercise responses before and after physical conditioning in patients with severely depressed left ventricular function. *J Cardiol* 1982; 49:296-300.
3. Callol L, Navarro V, Caro Mc, Gómez de Terreros FJ. Nueva interpretación del equivalente respiratorio. *Arch Med Deporte* 1990; 7:115-125.
4. Lipkin DP, Perrim J, Poole Wilson P. Regulatory gas exchange in the assesment of patients with impaired ventricular function. *Br Heart J* 1985; 54:325-328.
5. Wasserman K. Dyspnea on exercise. *JAMA* 1982; 248:2.039-2.043.
6. Hanson JS, Burton ST, Levy AM. Comparative exercise cardiorespiratory. Performance of normal men in the third, fourth and fifth decades of life. *Circulation* 1968; 37:345-360.
7. Whipp BJ, Ward SA. The normal respiratory response in exercise. En: Left AR. *Cardiopulmonary exercise testing*. Grune-Stratton: Orlando 1986; 45-68.
8. Benegard S, Holm GA, Jonsson D. The effect of body position on the circulation at rest and during exercise, with special reference to the influence on the stroke volume. *Acta Phisios Scand* 1960; 49:279-298.
9. Callol L. Valoración del lecho vascular pulmonar con cicloergometría de baja potencia. Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid 1987.
10. Petro JK, Hollander AP, Bouman LN. Instantaneous cardiac acceleration in man induced by a voluntary muscle contraction. *Jour App Physiol* 1970; 29:794-798.
11. Lupi-Herrera M, Verdejo J, Gómez A, Sandoval J, Barrios R, Martínez W. Hemodynamic effect of hydralazine in interstitial lung disease patients with cor pulmonale. *Chest* 1985; 87:564-573.