

## EFICIENCIA VENTILATORIA EN PERSONAS SANAS CON DISTINTO NIVEL DE CONDICIÓN FÍSICA.

Silvia Cañete Carmona, Alejandro Ferrer San Juan y Margarita Pérez Ruiz.

Universidad Europea de Madrid, Villaviciosa de Odón (España). Facultad de Cc. de la Actividad Física y el Deporte.

### RESUMEN

**Introducción:** El equivalente de la ventilación ( $V_E$ ) para el dióxido de carbono ( $V_E/V_{CO_2}$ ) en el umbral ventilatorio (UV) es un índice indirecto de la eficiencia ventilatoria. **Objetivo:** Determinar la influencia de la edad y el acondicionamiento físico sobre la eficiencia ventilatoria (estimada a través del valor  $V_E/V_{CO_2}$  en el UV) en 103 personas saludables. **Métodos:** Participaron 103 personas, divididas en 4 grupos: de 17-40 años, de 41-64 años, de más de 65 años, y deportistas de élite jóvenes. Se les realizó un test incremental en cicloergómetro o tapiz. **Resultados:** Tanto la eficiencia ventilatoria como la  $V_E$  al UV y la  $V_{E_{max}}$  disminuyeron significativamente con la edad. **Conclusiones:** Con el envejecimiento disminuye la eficiencia ventilatoria de los humanos durante el ejercicio. **Palabras Clave:** Eficiencia Ventilatoria, equivalente de dióxido de carbono, Ventilación, personas saludables, deportistas de élite.

### INTRODUCCIÓN:

La ventilación ( $V_E$ ) y la perfusión (Q) pulmonar son los principales determinantes de la eficiencia ventilatoria. Así, un pulmón eficiente muestra cambios uniformes en el cociente  $V_E/Q$ . La eficiencia de la  $V_E$  es definida como la  $V_E$  necesaria para eliminar el  $CO_2$  producido metabólicamente. Durante el ejercicio, los índices más utilizados para medir la eficiencia ventilatoria son la pendiente de la  $V_E$  vs al volumen espirado de dióxido de carbono ( $V_{CO_2}$ ) y/o el equivalente de  $CO_2$  ( $V_E/V_{CO_2}$ ) en el umbral ventilatorio (UV). Más concretamente la pendiente  $V_E$  vs.  $V_{CO_2}$  es medida durante los test de esfuerzo para caracterizar a los pacientes con capacidad funcional disminuida de origen cardíaco o pulmonar (24), a nivel del UV y ejercicio máximo (4,23), aunque algunos estudios están en desacuerdo (16,17). Sun et al (24), tratan de determinar en 474 personas saludables como influencia la edad, el nivel de condición física y el tipo de ergómetro en la eficiencia ventilatoria, comparando 3 métodos ( $V_E$  vs.  $CO_2$  en el punto más bajo de compensación ventilatoria, comúnmente utilizado por los cardiólogos,  $V_E/V_{CO_2}$  al UV, comúnmente utilizado por los neumólogos, y el punto más bajo  $V_E/V_{CO_2}$  durante el ejercicio, concluyendo que el método más adecuado no invasivo para la medición de la eficiencia ventilatoria es el resultado de calcular el punto más bajo  $V_E/V_{CO_2}$  con una excelente correlación con el  $V_E/V_{CO_2}$  al UV. El envejecimiento afecta a numerosos mecanismos fisiológicos, incluyendo el control del sistema respiratorio (13, 21,3) en reposo y durante el ejercicio (14) como consecuencia de numerosos cambios estructurales, funcionales y vasculares que acontecen con el aumento de la edad (11). La respuesta ventilatoria al ejercicio, en las personas mayores es elevada, y las pendiente  $V_E$  vs  $V_{CO_2}$ ,  $V_E/V_{CO_2}$  y  $V_E/V_{O_2}$  son entre un 11 a 19% mayor en la década de los 70 y 80 años con respecto a las personas jóvenes (3,10,17,20) aunque según Poulin et al.(20), en los hombres el  $\Delta V_E/\Delta V_{CO_2}$  es un 22% superior desde los 58 a los 83 años y en las mujeres un 8%. La mayoría de las investigaciones han demostrado que a determinada carga de trabajo, la  $V_E$  es más elevada en las personas mayores con respecto a personas jóvenes (3, 5, 19, 25), debido a un mayor espacio muerto fisiológico y a la no uniformidad de la  $V_A/Q$  (12), aunque otros estudios lo atribuyen a una menor tolerancia a la acidosis láctica (10, 22). Asimismo, para una determinada  $V_E$  el coste energético es mayor en las personas de edad avanzada siendo necesario un mayor flujo de sangre a los músculos respiratorios, y

restando parte del flujo a los músculos locomotores en ejercicio (11). El control respiratorio es muy importante en el intercambio gaseoso en reposo y durante el ejercicio. Una disminución de la demanda ventilatoria durante el ejercicio podría mejorar el rendimiento (15), aunque diferentes estudios (6,15,18) no encuentran diferencias significativas en los equivalentes de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> a UV entre maratonianos, ciclistas y grupo control. El propósito de este estudio ha sido determinar la influencia de la edad y el nivel de acondicionamiento físico sobre la eficiencia ventilatoria en 103 personas saludables.

## MATERIAL Y MÉTODOS:

### **Sujetos**

Participaron voluntariamente 103 personas saludables (75 varones y 28 mujeres) con una media de edad de 33 ± 18 años, altura 171 ± 10 cm, de peso corporal 68 ± 11 kg y de IMC de 23.3 ± 3.1, dando su consentimiento por escrito. Los sujetos se dividieron en 4 grupos: grupo 1 (sujetos sanos entre 17-40 años), grupo 2 (sujetos sanos entre 41-64 años), grupo 3 (sujetos sanos de 65 años en adelante), grupo 4 (deportistas de élite). Las características descriptivas de estos grupos se muestran en la tabla 1.

### **Diseño Experimental**

Cada sujeto acudió al laboratorio de Fisiología donde se le realizó un reconocimiento médico (incluyendo electrocardiografía y medición de tensión arterial) y un test incremental (protocolo en rampa) para la determinación de las variables cardiorespiratorias (VO<sub>2max</sub>, RER, V<sub>E</sub>max, V<sub>E</sub>/VCO<sub>2</sub> y V<sub>E</sub>/VO<sub>2</sub>). Todas las pruebas se realizaron sobre el mismo cicloergómetro (Monark, 818 E, Varberg, Sweeden) o tapiz (tecnogym RUNRACE 1400HC, Italy). Todas las pruebas se realizaron bajo las mismas condiciones ambientales (21-24° C de temperatura). El intercambio de gases fue medido respiración a respiración mediante un sistema automático estándar (Vmax 29C, Sensormedics Corporation, California, USA). El analizador de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y flujómetro fue calibrado antes de cada test siguiendo la referencia de 15.99% para el O<sub>2</sub> y 4.00% para CO<sub>2</sub>. La frecuencia cardiaca fue monitorizada durante toda la prueba con un pulsómetro (Polar S810 Polar Electro OY, Finland) (Grupos 1 y 4) o un electrocardiograma (Quest BURDICK, INC. Milton USA) (Grupos 2 y 3).

**Tabla 1.** Comparación de las características físicas (± DE) entre los 4 grupos.

	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>	<b>Grupo 4</b>
<b>EDAD</b>	23±5	53±9	70±4	23±4
<b>TALLA</b>	174±9	167±13	157±8	174±8
<b>PESO</b>	73±11	73±14	65±11	64±9
<b>IMC</b>	24±2	26±2	26±3	21±2

### **Análisis Estadístico**

Los resultados de los 4 grupos fueron comparados por medio de un test de ANOVA de 1 factor (grupo) para determinar si existía efecto del grupo sobre la eficiencia ventilatoria. Las diferencias específicas entre los 4 grupos fueron identificadas *post hoc* con el test de Scheffé. Los resultados se expresaron en Media±DE. EL nivel de significación estadística fue establecido en 0.05.

## **RESULTADOS:**

Los datos ergo-espirométricos máximos son mostrados en la Tabla 2. Los datos ergo-espirométricos en umbral ventilatorio (UV) son mostrados en la Tabla 3. La comparación de los datos ergo-espirométricos V<sub>E</sub>/VCO<sub>2</sub> en el UV se muestra en la Figura 1. Se observó un efecto significativo del grupo en algunas de las variables estudiadas (Tabla 2 y 3). Tanto la V<sub>E</sub>max como la V<sub>E</sub> a UV disminuyeron significativamente con la edad. La eficiencia

ventilatoria medida a través del  $V_E/VCO$  en el UV fue significativamente menor en el grupo 1 que en los restantes grupos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Comparación de los datos ergo-espirométricos máximos ( $\pm$  DE) entre los 4 grupos.

	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>	<b>Grupo 4</b>
<b>VO<sub>2MAX</sub> (l/min)</b>	3.4 $\pm$ 0.9 †‡	2.6 $\pm$ 1.5 †‡	1.2 $\pm$ 0.3 &	4.1 $\pm$ 0.7&
<b>VO<sub>2MAX</sub> (ml/kg/min)</b>	46 $\pm$ 8 &	34 $\pm$ 15&	19 $\pm$ 4&	64 $\pm$ 7&
<b>VE<sub>MAX</sub></b>	109 $\pm$ 26 †‡	88 $\pm$ 43 †‡	51 $\pm$ 10 &	134 $\pm$ 24 &
<b>RQ<sub>MAX</sub></b>	1.08 $\pm$ 0.01 ‡	1.05 $\pm$ 0.01	1.01 $\pm$ 0.13 *	1.06 $\pm$ 0.01

La diferencia media es significativa al nivel  $p < 0.05$  y se representa en la tabla de la siguiente manera:

- \* Diferencia significativa con el grupo 1 (17-40 años)
- # Diferencia significativa con el grupo 2 (41-64 años).
- † Diferencia significativa con el grupo 3 (65 años en adelante)
- ‡ Diferencia significativa con el grupo 4 (deportistas de élite)
- & Diferencias significativas con todos los grupos.

Abreviaturas: VO<sub>2max</sub> (consumo máximo de oxígeno), VE<sub>MAX</sub> (ventilación máxima), RQ<sub>MAX</sub> (cociente respiratorio máximo)

**Tabla 3.** Comparación de los datos ergo-espirométricos en umbral ventilatorio (UV) ( $\pm$  DE) entre los 4 grupos.

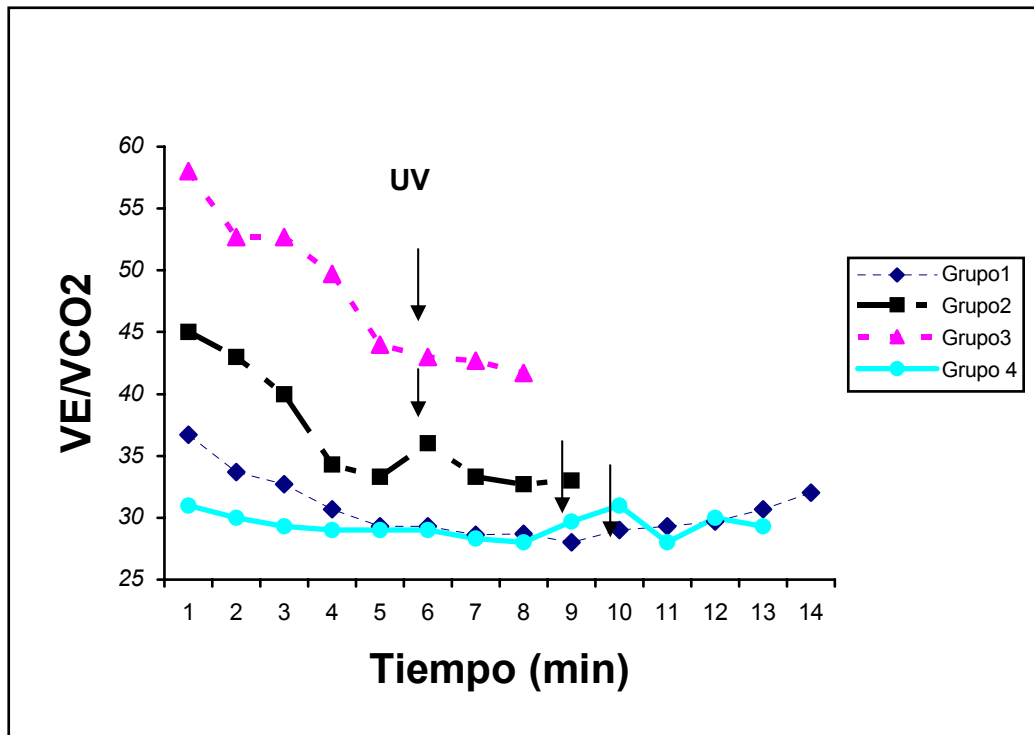
	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>	<b>Grupo 4</b>
<b>VE (l/min)</b>	56 $\pm$ 15.8 †‡	47.7 $\pm$ 28.7 †‡	25.6 $\pm$ 5.4&	71.1 $\pm$ 12.7&
<b>VO<sub>2</sub> (l/min)</b>	2.3 $\pm$ 0.7 †‡	1.9 $\pm$ 1.3 †‡	0.8 $\pm$ 0.2&	3 $\pm$ 0.6 &
<b>VO<sub>2</sub> (ml/kg/min)</b>	31.2 $\pm$ 8.2 †‡	24.1 $\pm$ 13.7 †‡	12.2 $\pm$ 2.2&	46.8 $\pm$ 7.3&
<b>%VO<sub>2</sub></b>	68 $\pm$ 11	69 $\pm$ 12	64 $\pm$ 7 ‡	73 $\pm$ 9 †
<b>VE/VO<sub>2</sub></b>	24.3 $\pm$ 4.4 †	27.5 $\pm$ 6.5 †	32.9 $\pm$ 3.6&	23.7 $\pm$ 2.9 †
<b>VE/CO<sub>2</sub></b>	28.6 $\pm$ 4.5 # †	33.6 $\pm$ 7.6&	41.4 $\pm$ 4.3&	28.3 $\pm$ 3.3 # †

La diferencia media es significativa al nivel  $p < 0.05$  y se representa en la tabla de la siguiente manera:

- \* Diferencia significativa con el grupo 1 (17-40 años)
- # Diferencia significativa con el grupo 2 (41-64 años).
- † Diferencia significativa con el grupo 3 (65 años en adelante)
- ‡ Diferencia significativa con el grupo 4 (deportistas de élite)
- & Diferencias significativas con todos los grupos.

Abreviaturas: V<sub>E</sub> (ventilación), VO<sub>2</sub> (consumo de oxígeno), V<sub>E</sub>/VO<sub>2</sub> (equivalente ventilatorio de O<sub>2</sub>), V<sub>E</sub>/VCO<sub>2</sub> (equivalente ventilatorio de CO<sub>2</sub>).

**Figura 1.** Comparación de la respuesta del equivalente de CO<sub>2</sub> (VE/CO<sub>2</sub>) en el umbral ventilatorio (UV) entre los 4 grupos.



## DISCUSIÓN

Este estudio muestra que la eficiencia ventilatoria disminuye con la edad al igual que ocurre con el resto de los parámetros ergo-espirométricos, algunos de ellos indicadores de la capacidad funcional del sujeto ( $VO_{2max}$ ), coincidiendo con otros estudios (3,8,10,20,24,26). Esto es debido a que el envejecimiento afecta a numerosos mecanismos fisiológicos, incluyendo el control del sistema respiratorio (3,13,21) en reposo y durante el ejercicio (14) como consecuencia de numerosos cambios estructurales, funcionales y vasculares que ocurren con el aumento progresivo de la edad (11).

La eficiencia ventilatoria es definida como la  $V_E$  necesaria para eliminar el  $CO_2$  producido metabólicamente. Durante el ejercicio puede ser medida utilizando la pendiente de la  $V_E$  vs.  $CO_2$  y/o el  $VE/VC_{O_2}$ . La respuesta ventilatoria al ejercicio en las personas mayores es elevada: los cocientes  $VE/VC_{O_2}$  y  $VE/VO_2$  son entre un 11 a 19% mayores en la década de los 70 y 80 años que en las personas jóvenes (3,10,17,20). Aunque según Poulin et al. (20), en los hombres el  $\Delta VE/\Delta VCO_2$  es un 22% superior desde los 58 a los 83 años y en las mujeres un 8%.

En nuestro estudio la  $V_{Emax}$  disminuyó progresivamente con la edad (1,2,3,7,9) a un ritmo de 0.93 l/min por año, ligeramente superior a la observada por Inbar et al 1994., que encuentran una disminución de 0.74 l/min. Los datos de la  $V_{Emax}$  en nuestro estudio son menores en el grupo 1 y 4 con respecto al estudio de Folinsbee et al. (6), quizá debido a la peor condición física de nuestros sujetos ( $<VO_{2pico}$ ) y/o a las diferencias en los instrumentos de medida.

Según Brischetto et al. (3) la respuesta ventilatoria en un ejercicio submáximo a carga constante por debajo del UV es mayor en personas entre 67-79 años que en sujetos jóvenes (22-37años). Realizando un programa de entrenamiento aeróbico regular se minimiza este deterioro ocasionado por la edad y el sedentarismo, mejorando los parámetros ergo-espirométricos (26). Según Yerg et al. (26) el  $VE/VO_2$  disminuye significativamente y el

$V_E/V_{CO_2}$  disminuye ligeramente en personas mayores. Los valores de  $V_E/V_{O_2}$  y  $V_E/V_{CO_2}$  que observamos en nuestro estudio son mayores en el grupo 1 y 3 que los encontrados por Prioux et al. (22), quizá debido a la peor condición física de nuestros sujetos ( $< V_{O_{2pico}}$ ) o a las diferencias en los instrumentos de medida. Sí que coinciden los equivalentes ventilatorios a UV del grupo 1 y 4 de nuestro estudio con los de Mahler et al. (15), no encontrando diferencias en la eficiencia ventilatoria entre estos grupos quizás debido al alto nivel de condición física de los sujetos del grupo 1 ( $V_{O_{2max}}$  de 46 ml/kg/min). Con la edad el cociente respiratorio no varía significativamente manteniendo valores elevados que coinciden con los valores de otros estudios (3, 10).

En resumen con el envejecimiento la eficiencia ventilatoria disminuye al igual que la  $V_{Emax}$  y a UV, con el consiguiente aumento de los valores de  $V_E/V_{O_2}$  y  $V_E/V_{CO_2}$  al UV.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Astrand I., Astrand PO., Halbäck I., Kilbom A (1973). Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J Appl Physiol* 35:649-54.
2. Blackie SP., Fairbairn MS., McElvaney NG., Wilcox PG., Morrison NJ., and Pardy R L. (1991). Normal values and ranges for ventilation and breathing pattern at maximal exercise. *Chest* 100:136-142.
3. Brischetto MJ, Millman RP, Peterson DD, Silage DA, Pack AI. (1984). Effect of aging on ventilatory response to exercise and CO<sub>2</sub>. *J Appl Physiol*. 56(5):1143-50.
4. Buller NP, Poole-Wilson PA (1990). Mechanism of the increased ventilatory response to exercise in patients with chronic heart failure. *Br Heart J* 63:281-283.
5. De Vries HA., Adams GM. (1972). Comparison of exercise responses in old and young men: II. Ventilatory mechanics. *J. Gerontol*. 27:349-352.
6. Folinsbee LJ. Wallace ES., Bedi JF., and Horvath SM. (1983). Exercise respiratory pattern in elite cyclists and sedentary subjects. *Med. Sci. Sports and Exer.*, 15(6):503-509.
7. FouriKe AN, Sue Dy, Hansen JE, Wasserman K. (1982). Comparison of physiological dead space/tidal volume ratio and alveolar-arterial PO<sub>2</sub> difference during incremental and constant work exercise. *Am. Rev. Respir. Dis.* 126:579-583.
8. Habedank D, Reindl I, Vietzke G, Bauer U, Sperfeld A, Glaser S, Wernecke KD, Kleber FX.(1998). Ventilatory efficiency and exercise tolerance in 101 healthy volunteers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 77(5):421-6.
9. Hansen JE., Sue DY., Wasserman K. (1984). Predicted values for clinical exercise testing. *Am. Rev. Respir. Dis.* 129 (Suppl):S49-55,1984.
10. Inbar O, Oren A, Scheinowitz M, Rotstein A, Dlin R, Casaburi R. (1994) Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20- to 70-yr-old men. *Med Sci Sports Exerc.* 26(5):538-46.
11. Johnson BD. and Dempsey JA. (1991). Demand vs capacity in the aging pulmonary system. *Exerc. Sport Sci Rev.* 19:171-210.
12. Johnson BD, Reddan WG, Pegelow DF, Seow KC, Dempsey JA (1991). Flow limitation and regulation of functional residual capacity during exercise in a physically active aging population. *Am Rev Respir.* 143:960-67.
13. Kronenberg RS and Drage CW (1973). Attenuation of the ventilatory and heart rate responses to hypoxia and hypercapnia with aging in normal man. *J. Clin. Invest.* 52:1812-1819.
14. Levitzky MG (1984). Effect of aging on the respiratory system. *Physiologist*. 27(2):102.
15. Mahler DA, Moritz ED, Loke J. (1982). Ventilatory responses at rest and during exercise in marathon runners. *J Appl Physiol*. 52(2):388-92.
16. McConnell AK, Semple ES, Davies CT. (1993). Ventilatory responses to exercise and carbon dioxide in elderly and younger humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 66(4):332-7.

17. McConnell AK, Davies CT. (1992). A comparison of the ventilatory responses to exercise of elderly and younger humans. *J Gerontol.* 47(4):B137-41.
18. Miyamura M., Yamashina T., and Honda Y.(1976) Ventilatory responses to CO<sub>2</sub> rebreathing at rest and during exercise in untrained subjects and athletes. *Jpn. J. Physiol.* 26:245-254, 1976.
19. Patrick, J.M.; Bassey, E.J.; Gentem, P. H. (1983). The rising ventilatory cost of bicycle exercise in the seventh decade: a longitudinal study of nine healthy men. *Clin. Sci.* 65. 521-526.
20. Poulin MJ, Cunningham DA, Paterson DH, Rechnitzer PA, Ecclestone NA, Koval JJ. (1994). Ventilatory response to exercise in men and women 55 to 86 years of age. *Am J Respir Crit Care Med.* 149(2 Pt 1):408-15.
21. Peterson DD., Pakc Al., Silage DA., and Fishman (1981). Effects of aging on ventilatory and occlusion pressure responses to hypoxia and hypercapnia. *Am. Rev. Respir. Dis.* 124:387-391.
22. Prioux J., Ramonatxo M., Hayot M., Mucci P., Préfaut C. (2000). Effect of ageing on the ventilatory response and lactate kinetics during incremental exercise in man. *Eur J Appl Physiol.* 81:100-107.
23. Sullivan MJ, Cobb FR (1990). The anaerobic threshold in chronic heart failure, relation to blood lactate, ventilatory basis, reproducibility, and response to exercise training. *Circulation* 81 (Suppl II): II47-II58.
24. Sun XG, Hansen JE, Garatachea N, Storer TW, Wasserman K (2002). Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects. *Am J Respir Crit Care Med.* 1;166(11):1443-8.
25. Tlusty, L (1969). Physical fitness in old age. I. Aerobic capacity and the other parameters of physical fitness followed by means of graded exercise in ergometric examination of elderly individual. *Respiration* 26:161-181.
26. Yerg JE., Douglas R., Hagberg JM., Holloszy JO. (1985). Effect of endurance exercise training on ventilatory function in older individuals. *J. Appl. Physiol.* 58(3):791-794.