

# Análisis de la respuesta de los equivalentes respiratorios para los gases. Significación fisiológica

Francisco Javier Calderón Montero

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. INEF. Universidad Politécnica de Madrid.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00153

Recibido: 01/10/2023

Aceptado: 16/01/2024

## Resumen

A pesar de ser únicamente unos parámetros de la información que aportan los softwares de los aparatos automatizados, los equivalentes respiratorios para los dos gases son de gran importancia en la valoración de la respuesta al ejercicio en personas sanas y enfermas. Este trabajo de revisión analiza la evolución de estos parámetros tanto en personas sanas como enfermas con patologías del sistema cardiovascular y respiratorio. Su considerable significación fisiológica radica en las propias fórmulas que expresan estos índices de función respiratoria. Pero, si se realizan las oportunas modificaciones de los cocientes  $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$  y  $\dot{V}_E / \dot{V}CO_2$  La forma de expresar los equivalentes respiratorios para los gases según las ecuaciones 3 y 5 aporta una mejor significado fisiológico, pues vienen determinados por las  $F_{E}O_2$  y  $F_{E}CO_2$ , de manera que una modificación de estas variables informan de una modificación de la relación  $\dot{V}_D / \dot{V}_E$  y por consiguiente, de forma indirecta, de la relación  $\dot{V}_A / \dot{Q}$ . En las personas sanas la respuesta de los equivalentes en las tres fases clásicas descritas indica un reajuste de la relación  $\dot{V}_A / \dot{Q}$  (fases I y II) y un desajuste "potencial" (fase III). Por el contrario, en los enfermos con alguna patología cardíaca o pulmonar, las fracciones de las  $F_{E}O_2$  y  $F_{E}CO_2$  muestran claramente una alteración de la relación  $\dot{V}_A / \dot{Q}$  desde el comienzo del ejercicio, naturalmente según el grado de deterioro. Concretamente, ha sido la modificación de la pendiente de la relación  $\frac{\dot{V}_E}{\dot{V}CO_2} / intensidad$  un criterio admitido por la cardiología como predictor de la morbilidad y mortalidad en cardiopatías con alteración de la función ventricular.

## Palabras clave:

Equivalentes respiratorios para los gases.  
Relación ventilación/perfusión.  
Sujetos sanos. Cardiopatías.  
Neumopatías.

## Analysis of respiratory equivalent response for gases. Physiological significance

### Summary

Although the respiratory equivalents for the two gases are parameters provided by the software of automated devices, are of great importance in the assessment of the response to exercise in healthy and sick people. This review work analyses the evolution of these parameters in both healthy people and patients with pathologies of the cardiovascular and respiratory systems. Their considerable physiological significance lies in the formulas that express these indices of respiratory function. However, if appropriate modifications are made to the ratios  $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$  and  $\dot{V}_E / \dot{V}CO_2$  allows a better physiological significance, since they are determined by  $F_{E}O_2$  and  $F_{E}CO_2$ , so that a modification of these variables informs about the ratio  $\dot{V}_D / \dot{V}_E$  thus, indirectly, of the ratio  $\dot{V}_A / \dot{Q}$ . In healthy people, the response of the equivalents in the three classic phases described indicates a readjustment of the  $\dot{V}_A / \dot{Q}$  ratio (phases I and II) and a "potential" mismatch (phase III). On the other hand, in patients with cardiac or pulmonary pathology, the  $F_{E}O_2$  and  $F_{E}CO_2$  fractions clearly show an alteration of the  $\dot{V}_A / \dot{Q}$  ratio from the start of exercise, depending, of course, on the degree of impairment. Specifically, the change in the slope of the  $\frac{\dot{V}_E}{\dot{V}CO_2} / intensidad$  ratio has been a criterion accepted by cardiologists as a predictor of morbidity and mortality in cardiac patients with impaired ventricular function.

## Key words:

Respiratory gas equivalents.  
Ventilation/perfusion ratio.  
Healthy subjects. Heart disease.  
Pneumopathies.

Correspondencia: Francisco Javier Calderón Montero

E-mail: fraciscojavier.calderon@upm.es

## Introducción

Entre los numerosos parámetros que aportan los softwares de los aparatos moderno-automatizados<sup>1</sup>, los equivalentes respiratorios para los gases ( $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$  y  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ ) son muy utilizados en la valoración de las pruebas de esfuerzo, tanto en personas sanas como enfermas.

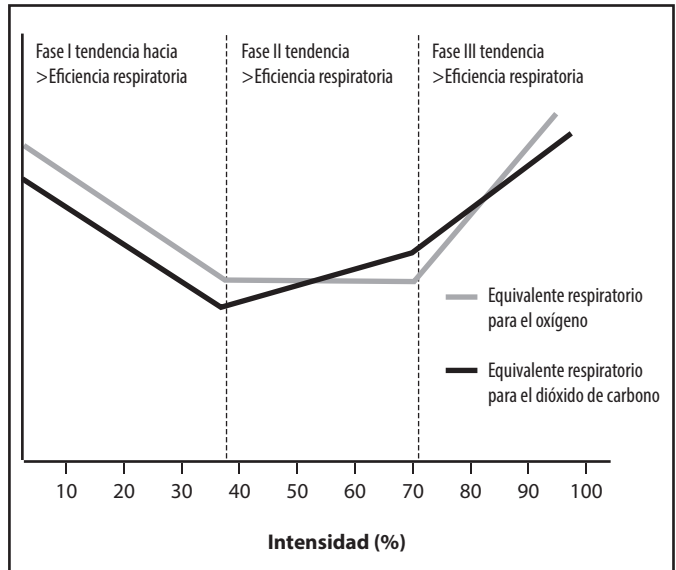
En el campo de la fisiología, durante muchos años, los fisiólogos han abordado la intensidad crítica a partir de la cual se produce la acumulación de ácido láctico<sup>2,3</sup>. Diversos métodos incruentos, basados en la medida continua de los gases respiratorios se han empleado para determinar la "intensidad crítica". Uno de estos métodos es el comportamiento de los  $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$  y  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$  a esfuerzos de intensidad creciente<sup>4</sup>.

Dado que los equivalentes respiratorios para los gases son una medida indirecta de eficiencia del aparato respiratorio (véase significación fisiológica), Klebert *et al.*<sup>5</sup>, Guazzi *et al.*<sup>6,7</sup> y Shafiq A<sup>8</sup> han propuesto que la pendiente del  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$  es un importante predictor de la morbilidad y mortalidad en pacientes con insuficiencia cardiaca. Concretamente, el aumento pronunciado de la pendiente de la relación  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$  / intensidad del ejercicio es un valor pronóstico en pacientes con insuficiencia cardiaca con independencia del valor de fracción<sup>6-8</sup>. Por otra parte, Dumitrescu D *et al.*<sup>9</sup> han demostrado en enfermos con vasculopatía pulmonar, que los cambios de respuesta de la PETCO<sub>2</sub> y  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$  y otros parámetros de intercambio respiratorio pueden permitir establecer diferencias con otras alteraciones del intercambio respiratorio durante el ejercicio.

En principio, el significado fisiológico de  $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$  y  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$  es muy sencillo. Al ser cocientes adimensionales, representan una medida de eficiencia, pues indican la cantidad de aire que moviliza el aparato respiratorio en un minuto ( $\dot{V}_E$ ) para consumir un litro de oxígeno ( $\dot{V}O_2$ ) o eliminar un litro de dióxido de carbono ( $\dot{V}CO_2$ ), para el  $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$  y  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ , respectivamente. Por consiguiente, parece lógico pensar que cuanto mayor sea la  $\dot{V}_E$  menos eficiente es el aparato respiratorio respecto a los parámetros de integración fisiológica que representan el  $\dot{V}O_2$  y el  $\dot{V}CO_2$ : funciones pulmonar, cardiovascular y muscular, todos bajo el control nervioso.

Pero está claro que la consideración "aritmética" de los equivalentes como parámetros de eficiencia respiratoria no es del todo precisa. Como se muestra en la Figura 1, la tendencia "de los valores numéricos" de los equivalentes es a ir ganando (fase I), mantenimiento (fase II) y pérdida de eficiencia respiratoria (fase III). Naturalmente, surge una pregunta obvia, ¿en reposo, donde los valores de los equivalentes son elevados respecto a los del final de la fase I, es caso menos eficiente el aparato respiratorio? La respuesta parece lógica: no es menos eficiente el aparato respiratorio en reposo que durante el ejercicio ligero. Por tanto, nuestro objetivo de esta revisión es aclarar, en la medida de los posible, el significado fisiológico de los equivalentes respiratorios para los dos gases y, a partir del mismo, aplicarlo a condiciones fisiológicas (salud y rendimiento) y patológicas (patologías del sistema cardiovascular y del aparato respiratorio). Como el punto de partida, el significado fisiológico, es complejo de comprender, se acudirá a modelos de función pulmonar simples, siendo conscientes de las limitaciones que ello conlleva.

**Figura 1. Representación de las funciones EqO<sub>2</sub>/intensidad y EqCO<sub>2</sub>/intensidad. Se muestran las tres fases, descritas de forma habitual, desde el punto de vista de la eficiencia respiratoria.**



## Significado fisiológico de los equivalentes respiratorios para los gases

Como la expresión aritmética de los equivalentes respiratorios no aporta la suficiente información para conocer que representan fisiológicamente, conviene expresarlos de la siguiente manera.

El consumo de oxígeno analizado en la respiración viene dado por la siguiente ecuación:

$$\dot{V}O_2 = (\dot{V}_I \cdot F_{I}O_2) - (\dot{V}_E \cdot F_{E}O_2) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde  $\dot{V}_I$  y  $\dot{V}_E$  son las ventilaciones en inspiración y espiración y  $F_{I}O_2$  y  $F_{E}O_2$  son las fracciones de oxígeno en el aire inspirado y espirado, respectivamente. A excepción de cuando el cociente respiratorio es superior a la unidad y se debe de aplicar la corrección de Zunt<sup>10</sup>, mal atribuida a Haldane, se puede considerar que  $\dot{V}_I$  y  $\dot{V}_E$  son iguales, de manera que la ecuación 1 queda simplificada:

$$\dot{V}O_2 = \dot{V}_E (F_{I}O_2 - F_{E}O_2) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Sustituyendo en la fórmula para el equivalente para el oxígeno, se obtiene la siguiente ecuación:

$$EqO_2 = \frac{\dot{V}_E}{\dot{V}_E \cdot (F_{I}O_2 - F_{E}O_2)} = \frac{1}{(F_{I}O_2 - F_{E}O_2)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

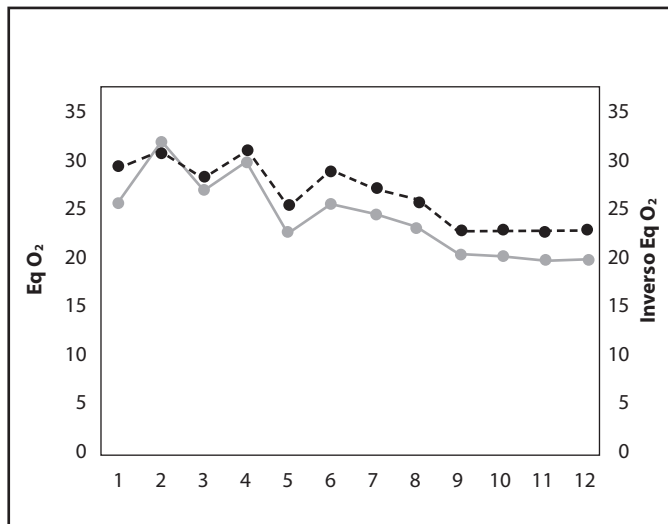
El mismo razonamiento se puede aplicar al dióxido de carbono:

$$\dot{V}CO_2 = (\dot{V}_I \cdot F_{I}CO_2) - (\dot{V}_E \cdot F_{E}CO_2) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Puesto que  $F_{I}CO_2$  es prácticamente cero el equivalente respiratorio para el dióxido de carbono es:

$$EqCO_2 = \frac{\dot{V}_E}{\dot{V}_E \cdot F_{E}CO_2} = \frac{1}{F_{E}CO_2} \quad (\text{Ecuación 5})$$

**Figura 2. Representación del equivalente respiratorio para el oxígeno en la fase I, según la expresión habitual ( $EqO_2 = \dot{V}_E / \dot{V}O_2$ ) y la correspondiente a la ecuación 3:  $EqO_2 = 1 / (F_I O_2 - F_E O_2)$ .**



Como se puede comprobar esta ecuación no añade información respecto a la forma de comportarse el  $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$  (Figura 2), pues es exactamente la misma. Sin embargo, la información que aporta es importante para su comprensión fisiológica.

El comportamiento de las fracciones espiradas de oxígeno ( $F_E O_2$ ) y dióxido de carbono ( $F_E CO_2$ ) reflejan las variaciones de la relación entre el espacio muerto fisiológico (anatómico + alveolar) y el volumen corriente  $\dot{V}_E / \dot{V}_E^{11}$ . Cuando el aparato respiratorio pasa de un estado de reposo a ejercicio de intensidad ligera-moderada se produce un reclutamiento alveolar, de manera que la  $F_E O_2$  desciende ligeramente y la  $F_E CO_2$  se eleva. Consecuentemente el denominador de las ecuaciones 3 y 5 aumentan, de manera que los equivalentes respiratorios para los gases descienden. A esta intensidad, se produce, en efecto un aumento de la ventilación alveolar y como resultado se produce un cambio muy ligero de la presión parcial de  $CO_2$  ( $P_a CO_2$ ) alveolar respecto de los valores pre-ejercicio.

A intensidades elevadas, por encima del 60% se produce un incremento desproporcionado de la ventilación respecto a la actividad metabólica, disminuyendo la  $F_E CO_2$  y aumentando  $F_E O_2$ . Este comportamiento es fundamental para intentar regular el estado ácido-base debido a que los efectos de "acidificación" del dióxido de carbono pueden ser completamente eliminados aportando cierta compensación para la acidosis metabólica asociada al incremento de la concentración de lactato arterial y concentración proteica<sup>11</sup>. Las variaciones de la  $F_E CO_2$  y  $F_E O_2$  a elevadas intensidades son datos indirectos de la relación ventilación/perfusión  $\dot{V}_A / \dot{Q}$ , que puede desviarse hacia valores de desequilibrio superiores a la unidad, indicando un inadecuado ajuste cardiovascular respecto al respiratorio<sup>12</sup>.

En resumen, la forma de expresar los equivalentes respiratorios (ecuaciones 3 y 5) aporta una información relevante para comprender el significado fisiológico por tres razones: 1ª) no supone una modificación de la respuesta de estos parámetros, 2ª) permite centrar estos

parámetros en variables estrictamente respiratorias ( $F_E CO_2$  y  $F_E O_2$ ) y no de una variable integradora como es el consumo de oxígeno y 3ª) las  $F_E CO_2$  y  $F_E O_2$  son parámetros muy útiles para estimar la relación  $\dot{V}_D / \dot{V}_E$ , un parámetro indirecto de la relación  $\dot{V}_A / \dot{Q}$ .

## Los equivalentes respiratorios en personas sanas

Entre otros parámetros de ergoespirometría, los equivalentes respiratorios se utilizan para determinar la transición aeróbica-anaeróbica, término más preciso que el de umbral anaeróbico, pues se trata de un proceso no de un instante determinado y, además la propia confusión del término hace más difícil su comprensión fisiológica. En efecto, como señalan Chicharro y Legido<sup>13</sup> las diferentes denominaciones de los "puntos de ruptura" de los equivalentes respiratorios (Figura 1) han confundido más que explicar cuál o cuáles son las razones fisiológicas que los determinan. Aún más cuando se ha intentado llevar a la práctica del entrenamiento<sup>14</sup> las fases determinadas por las variaciones de los equivalentes. Así, por ejemplo, utilizando la terminología de Wasserman (Tabla 1), en un entrenamiento interválico intensivo, no se puede calificar la intensidad como de umbral anaeróbico. Sería un error considerable desde el punto de vista de la concepción del fenómeno de la transición aeróbica-anaeróbica.

Ha sido muy debatido la relación entre la transición aeróbica-anaeróbica y el incremento de la concentración de ácido láctico desde la descripción de Wassermann en 1986<sup>15</sup>. No es objeto de este trabajo discutir esta relación, pero es necesario resaltar que se han establecido muchas otras relaciones fisiológicas tales como cambios en la

**Tabla 1. Diferentes denominaciones para el primer incremento de la ventilación.**

Denominación	Autor
<b>Primer punto de ruptura</b>	
Punto de óptima eficiencia	Hollman, 1959
Umbral anaeróbico	Wasserman, 1964
Umbral aeróbico	Kindermann, 1979; Skinner y McLellan, 1980
Transición aeróbica individual	Passenhofer, 1981
Inicio de la acumulación de ácido láctico (OPLA en inglés)	Farrell, 1979
<b>Segundo punto de ruptura</b>	
Umbral aeróbico-anaeróbico	Mader, 1976
Umbral anaeróbico	Kindermann, 1981
Umbral anaeróbico individual (IAT en inglés)	Stegman y Kindermann, 1981
Inicio de la acumulación de lactato en sangre	Sjodin y Jacobs, 1981
Umbral ventilatorio 2	Orr, 1982
Umbral anaeróbico	Skinner y McLellan, 1980

Referencias no descritas en el manuscrito. Se muestran en la referencia<sup>13</sup>.

composición de la saliva, patrón electromiográfico, concentración de catecolaminas y variación en la pendiente de la frecuencia cardiaca/intensidad<sup>16</sup>. En este sentido, Peinado *et al.*<sup>16</sup>, indican que todos los cambios producidos constituyen la señal "eferente" dirigida por el comando o generador central. Así, entendemos que la explicación de la respuesta de los equivalentes respiratorios para los gases es la indicada anteriormente y, que de forma resumida y simple pasamos a explicar.

En la fase I, se produce un reajuste de la relación ventilación/perfusión por "reclutamiento alveolar", de manera que los equivalentes respiratorios descienden. En la fase II, estaríamos, según el análisis elemental de los equivalentes, en el mejor acoplamiento entre el aparato respiratorio y el sistema cardiovascular. Es decir, la zona dónde, presumiblemente se obtiene mejores beneficios para la salud. Finalmente, la relación ventilación/perfusión aumenta por encima de la unidad, sugiriendo una incapacidad de ajuste del sistema cardiovascular<sup>12</sup>. En un interesante estudio, realizado en caballos pura sangre, por McDonough *et al.*<sup>17</sup>, el equivalente respiratorio para el oxígeno no aumenta durante el ejercicio de intensidad creciente. Los autores atribuyen la respuesta del  $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$  a un acoplamiento entre el patrón de movimiento (longitud de la zancada) y la regulación de la respiración (acoplamiento entre volumen corriente y frecuencia respiratoria) e indican que, cuando debe de aumentar el reclutamiento alveolar, la relación  $V_D/V_T$  sea mucho más elevada en los caballos pura sangre en comparación con los seres humanos.

En otro sentido, cabe preguntarse si las variaciones de los equivalentes respiratorios para los gases con el estado de entrenamiento se pueden justificar en razón al significado fisiológico indicado en el apartado anterior. En un artículo de revisión, Benito *et al.*<sup>18</sup>, indican que en ciclistas profesionales el porcentaje de variación entre diferentes periodos de entrenamiento era inferior al 2% y en ciclistas de menor nivel del 3 al 15%. Estas pequeñas diferencias encontradas son debidas a

que las  $F_{E}CO_2$  y  $F_{E}O_2$  no experimentan variaciones notables con el estado de entrenamiento, de manera que la PET  $CO_2$  y la PET  $O_2$  no pueden mostrar cambios ostensibles.

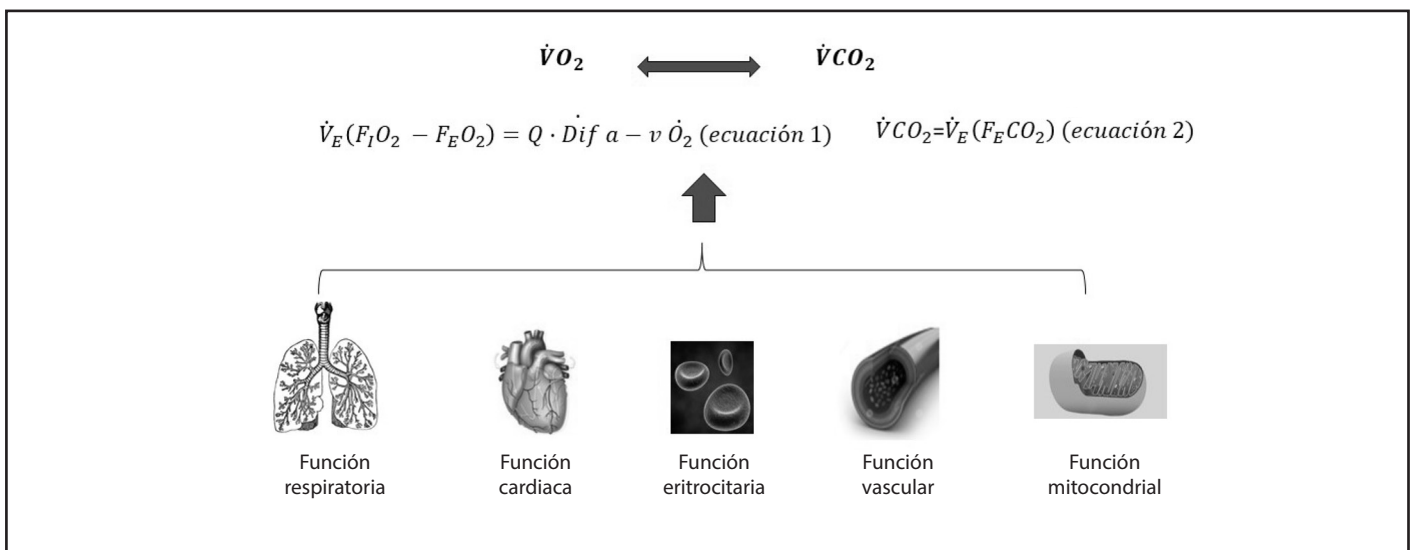
## Los equivalentes respiratorios para los gases en personas con diversas patologías

El análisis de los equivalentes respiratorios para los gases respiratorios durante el ejercicio en personas con diversas patologías es aún más complejo que en personas sanas. De todas las patologías que pueden cursar con alteraciones de la respuesta del organismo al ejercicio, valoradas mediante ergoespirometría, son las patologías del sistema cardiovascular, concretamente de la bomba cardiaca, y del aparato respiratorio las que más interés han despertado. Concretamente, si se revisa con atención los casos prácticos del libro de Wasserman and Whip<sup>19</sup>, se puede comprobar que más del 80% están dedicados a estas patologías.

Por tanto, no es objeto de este apartado hacer una descripción exhaustiva del significado fisiológico de estos dos parámetros, sino analizarlos desde una perspectiva didáctica. Pensamos que con la aparición del decreto por el que se regula la formación transversal de las especialidades en Ciencias de la Salud, el médico deportivo formado anteriormente y el que se pueda formar a partir de su desarrollo, está obligado a aportar el conocimiento adquirido en su formación a las diferentes patologías susceptibles de ser valoradas mediante ergoespirometría.

La Figura 3 muestra de forma esquemática cómo se pueden alterar los dos parámetros centrales de la ergoespirometría. Una alteración respiratoria conduce a descensos del  $\dot{V}O_2$  y  $\dot{V}CO_2$  y se puede explicar por alteraciones de la ecuación 1 ( $\dot{V}_E(F_{I}O_2 - F_{E}O_2)$ ).

**Figura 3. Esquema de los órganos, sistemas y tejidos que determinan el consumo de oxígeno y la eliminación de dióxido de carbono. La ecuación 1 es el resultado de igualar el consumo de oxígeno despejando éste en la ecuación de Fick y el consumo de oxígeno según el intercambio respiratorio. La eliminación de dióxido de carbono queda representada según el intercambio respiratorio (ecuación 2).**



y la ecuación  $4 \dot{V} CO_2 = (\dot{V}_I \cdot F_I CO_2) - (\dot{V}_E \cdot F_E CO_2)$ , respectivamente. Por otra parte, una alteración cardíaca conduce, igualmente, a valores inferiores de  $\dot{V} O_2$  y  $\dot{V} CO_2$  y se puede explicar por alteración del gasto cardíaco. Finalmente, una modificación de la diferencia arterio-venosa de oxígeno (*Dif a-v O<sub>2</sub>*) condiciona valores inferiores de  $\dot{V} O_2$  y  $\dot{V} CO_2$ , pero, sin embargo, es más complejo adscribir dicho término solo a una patología cardíaca o respiratoria.

## Los equivalentes respiratorios para los gases en la respuesta al ejercicio en patologías del aparato respiratorio

Aunque es corriente dividir la respuesta al ejercicio en las patologías del aparato respiratorio según el patrón espirométrico (obstrutivo o restrictivo), a continuación, se analiza de forma general<sup>20,21</sup> la contribución de los equivalentes respiratorios.

La Figura 4 muestra las diferencias de las relaciones

$$\frac{\dot{V}_E}{\dot{V} O_2} / intensidad \quad \frac{\dot{V}_E}{\dot{V} CO_2} / intensidad$$

en un enfermo con obstrucción de las vías respiratorias (enfermedad pulmonar obstructiva crónica) y una persona sana. La ineficiencia respiratoria del enfermo se muestra por la incapacidad de disminuir el denominador de la ecuación 3. En otras palabras, el enfermo presenta dificultades para descender la  $F_E O_2$  y elevar  $F_E CO_2$  durante la fase I del ejercicio (Figura 1) y la pendiente de la  $\frac{\dot{V}_E}{\dot{V} CO_2} / intensidad$

es elevada. Este ejemplo coincide con los resultados de Dumitrescu D *et al.*<sup>9</sup>, quienes establecieron en enfermos con vasculopatía pulmonar como el descenso de la PET CO<sub>2</sub> con relación al descenso del  $\dot{V}_E / \dot{V} CO_2$  sugiere pérdida de vasos sanguíneos y puede representar un índice de alteración de la función ventricular izquierda, que en estos pacientes va asociada.

Por otra parte, establecer diferencias de la respuesta al ejercicio en pacientes con patrón restrictivo (parenquimatosa o extra-parenquimatosa) respecto a enfermos con alteración obstructiva de las vías respiratorias, consideramos que tiene poco sentido fisiopatológico, pues no es factible comparar el grado de deterioro de dichas patologías que conducen a modificaciones de los equivalentes respiratorios difíciles de diferenciar. Además, las posibles diferencias no determinan ventajas clínicas.

## Los equivalentes respiratorios para los gases en la respuesta al ejercicio en patologías del sistema cardiovascular

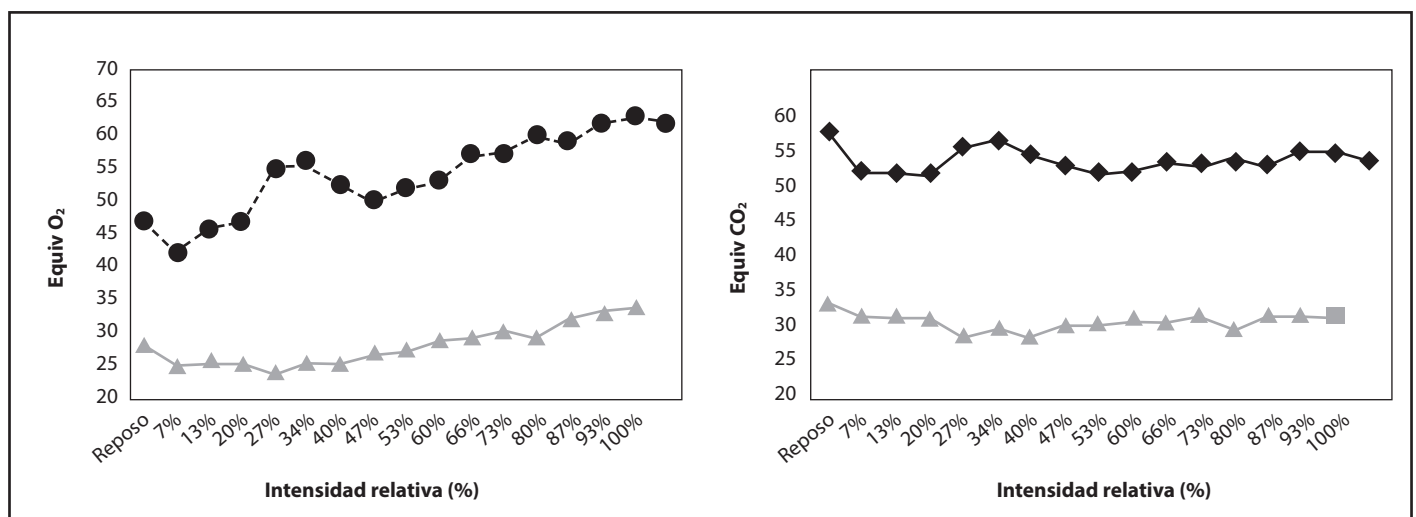
El problema “relativo” de los enfermos con insuficiencia cardíaca es que las alteraciones de la función ventricular se acompañan de alteraciones del aparato respiratorio. Por consiguiente, la respuesta de los equivalentes respiratorios para los gases no difiere de la correspondiente a los enfermos con patología “estrictamente” respiratoria, pero sí supone, según diversos autores, un modo de valorar el pronóstico y evolución de la enfermedad cardíaca.

Miki *et al.*<sup>22</sup> valoraron el tiempo de supervivencia en enfermos con insuficiencia cardíaca mediante la pendiente de la relación

$$\frac{\dot{V}_E}{\dot{V} CO_2} / intensidad$$

Estos autores, mediante una análisis multivariante, indican que la baja eficiencia ventilatoria, medida indirectamente por el  $\dot{V}_E / \dot{V} CO_2$ , es un importante factor predictivo de la morbilidad y la mortalidad, independientemente actividad hemodinámica central. De los factores estudiados (pendiente de la PaO<sub>2</sub>, el  $\dot{V}_E / \dot{V} CO_2$ , pulso de oxígeno, el consumo máximo de oxígeno y edad), los autores de este estudio confirman lo que otros autores Kleber *et al.*<sup>23</sup> y Braga *et al.*<sup>24</sup> han señalado: la utilidad como predictores del pronóstico de supervivencia en estos enfermos.

Figura 4. Respuesta de los equivalentes respiratorio para los dos gases en una persona sana y un enfermo con una patología de tipo obstructivo.



Igualmente, Olson *et al.*<sup>25</sup>, en un interesante estudio sobre la posible influencia de la inhibición de la información aferente de la musculatura sobre el patrón respiratorio demostraron que el incremento de la ventilación en pacientes con insuficiencia cardiaca, se producía por un incremento de la frecuencia respiratoria a expensas de la relación  $V_T/T_i$ , así como un aumento de la pendiente  $\frac{\dot{V}_E}{\dot{V}_{CO_2}}/intensidad$

además de un descenso de la intensidad y del consumo de oxígeno pico. Según estos autores, en parte, son debidos a la reducción de la información aferente a los centros de regulación de la respiración, pues cuando anulaban farmacológicamente las aferencias del aparato locomotor se reducía la respuesta ventilatoria durante el ejercicio.

Finalmente, Takayanagi *et al.*<sup>26</sup> y Van Iterson<sup>27</sup>, entre otros parámetros cardiorrespiratorios, han señalado la importancia del  $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$  durante el ejercicio para la valoración de los pacientes con insuficiencia cardiaca. Los primeros<sup>26</sup>, comprobaron que durante la recuperación las variaciones experimentadas por el cociente respiratorio, el  $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$  y la PET  $O_2$  fueron significativamente mayores en las personas con mejor función ventricular. Los segundos<sup>27</sup>, señalan que la alteración de la pendiente

$$\frac{\dot{V}_E}{\dot{V}_{CO_2}}/intensidad$$

durante el ejercicio se explica mejor por la relación  $V_O/V_T$  en los pacientes con insuficiencia cardiaca y baja fracción de eyección en comparación con los pacientes con insuficiencia cardiaca y fracción de eyección dentro de la normalidad, subrayando la necesidad de interpretar mejor la pendiente

$$\frac{\dot{V}_E}{\dot{V}_{CO_2}}/intensidad$$

en la insuficiencia cardiaca, fundamentalmente desde el punto de vista clínico.

## Conflicto de interés

El autor no declara conflicto de interés alguno.

## Bibliografía

- Calderón Montero FJ. Ergoespirometría: paradigma de análisis integrado de la respuesta del organismo al ejercicio. En *fisiología humana. Aplicación a la actividad física*. Editorial Medica Panamericana, 2018, Madrid. p. 401-2.
- Owles WH. Alterations in the lactic acid content of the blood as a result of light exercise, and associated changes in the CO<sub>2</sub>-combining power of the blood and in the alveolar CO<sub>2</sub> pressure. *J. Physiol.* 1930;69:214-37.
- Wasserman K, McLroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Physiol.* 1964;14:844-52.
- Reinhard U, Müller PH, Schmülling RM. Determination of anaerobic threshold by the ventilation equivalent in normal individuals. *Respiration.* 1979;38:36-42.
- Kleber FX, Vietzke G, Wernecke KD, Bauer U, Opitz C, Wensel R, *et al.* Impairment of ventilator efficiency in heart failure: prognostic impact. *Circulation.* 2000;101:2803-9.
- Guazzi M, Reina G, Tumminello G, Guazzi MD. Exercise ventilation inefficiency and cardiovascular mortality in heart failure: the critical independent prognostic value of the arterial CO<sub>2</sub> partial pressure. *Eur Heart J.* 2005;26:472-80.
- Guazzi M, Myers J, Arena R. Cardiopulmonary exercise testing in the clinical and prognostic assessment of diastolic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 2005 Nov 15; 46:1883-90.
- Shafiq A, Brawner CA, Aldred HA, Lewis B, Williams CT, Tita C, *et al.* Prognostic value of cardiopulmonary exercise testing in heart failure with preserved ejection fraction. *Am Heart J.* 2016;174:167-72.
- Dumitrescu D, Oudiz RJ, Karpouzias G, Hovanesyan A, Jayasinghe A, Hansen JE, *et al.* Developing pulmonary vasculopathy in systemic sclerosis, detected with non-invasive cardiopulmonary exercise testing. *PLoS one.* 2010;5:1493.
- Geppert J, Zuntz N. Ueber die regulation der atmung. *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere.* 1888;42:189-245.
- Stickland MK, Lindinger MI, Olfert IM, Heigenhauser GJ, Hopkins SR. Pulmonary gas exchange and acid-base balance during exercise. *Comprehensive Physiology.* 2013;3:693.
- Calderón Montero FJ. *Intercambio y transporte de los gases durante el ejercicio en Fisiología humana. Aplicación a la actividad física*. Editorial Medica Panamericana, 2018, Madrid. P 104-5.
- Chicharro JL, Legido JC. *Umbral anaerobio. Bases fisiológicas y aplicaciones* (1ª ed.). Interamericana-McGraw-Hill. Madrid. 1991.
- Jamnick NA, Pettitt RW, Granata C, Pyne DB, Bishop DJ. An examination and critique of current methods to determine exercise intensity. *Sports Med.* 2020;50:1729-56.
- Wasserman K. Anaerobiosis, lactate, and gas exchange during exercise: the issues. *Fed Proc.* 1986;45:2904-9.
- Peinado AB, Rojo JJ, Calderón FJ, Maffulli N. Responses to increasing exercise upon reaching the anaerobic threshold, and their control by the central nervous system. *BMC.* 2014;6:1-7.
- McDonough P, Kindig CA, Erickson HH, Poole DC. Mechanistic basis for the gas exchange threshold in thoroughbred horses. *J App Physiol.* 2002;92:1499-505.
- Benito PJ, Peinado AB, Díaz Molina V, Lorenzo Capellá I, Calderón FJ. Evolución de los parámetros ergoespirométricos con el entrenamiento en deportistas. *Arch med deporte.* 2007;464-75.
- Sietsema KE, Stringer WW, Sue DY, Ward S, Wasserman & Whipp's. *Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications*. Lippincott Williams & Wilkins; 2020.
- Malhotra R, Bakken K, D'Elia E, Lewis GD. Cardiopulmonary exercise testing in heart failure. *JACC: Heart Failure.* 2016;4:607-16.
- Barbera JA, Roca J, Ramirez J, Wagner PD, Ussetti P, Rodriguez-Roisin R. Gas exchange during exercise in mild chronic obstructive pulmonary disease: correlation with lung structure. *American Review of Respiratory Disease.* 2012.
- Miki K, Maekura R, Hiraga T, Okuda Y, Okamoto T, Hirofani A, *et al.* Impairments and prognostic factors for survival in patients with idiopathic pulmonary fibrosis. *Resp mede.* 2003;97:482-90.
- Kleber FX, Vietzke G, Wernecke KD, Bauer U, Opitz C, Wensel R, *et al.* Impairment of ventilatory efficiency in heart failure: prognostic impact. *Circulation.* 2000;101:2803-9.
- Braga AMFW, Rondon MUP, Negrão CE, Wajngarten M. Predictive value of ventilatory and metabolic variables for risk of death in patients with cardiac failure. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia.* 2006;86:451-8.
- Olson TP, Joyner MJ, Eisenach JH, Curry TB, Johnson BD. Influence of locomotor muscle afferent inhibition on the ventilatory response to exercise in heart failure. *Experimental physiology.* 2014;99:414-26.
- Takayanagi Y, Koike A, Nagayama O, Nagamine A, Qin R, Kato J & Aonuma K. Clinical significance of the overshoot phenomena of respiratory gas indices during recovery from maximal exercise testing. *J Cardiol.* 2017;70:598-606.
- Van Iterson EH, Johnson BD, Borlaug BA, Olson TP. Physiological dead space and arterial carbon dioxide contributions to exercise ventilatory inefficiency in patients with reduced or preserved ejection fraction heart failure. *Euro J Hear Fail.* 2017;19:1675-85.

## Espíritu **UCAM** Espíritu Universitario

**Miguel Ángel López**

Campeón del Mundo en 20 km. marcha (Pekín, 2015)  
Estudiante y deportista de la UCAM



- **Actividad Física Terapéutica** <sup>(2)</sup>
- **Alto Rendimiento Deportivo:**
  - **Fuerza y Acondicionamiento Físico** <sup>(2)</sup>
- **Performance Sport:**
  - **Strength and Conditioning** <sup>(1)</sup>
- **Audiología** <sup>(2)</sup>
- **Balneoterapia e Hidroterapia** <sup>(1)</sup>
- **Desarrollos Avanzados de Oncología Personalizada Multidisciplinar** <sup>(1)</sup>
- **Enfermería de Salud Laboral** <sup>(2)</sup>
- **Enfermería de Urgencias, Emergencias y Cuidados Especiales** <sup>(1)</sup>
- **Fisioterapia en el Deporte** <sup>(1)</sup>
- **Geriatría y Gerontología:**
  - **Atención a la dependencia** <sup>(2)</sup>
- **Gestión y Planificación de Servicios Sanitarios** <sup>(2)</sup>
- **Gestión Integral del Riesgo Cardiovascular** <sup>(2)</sup>
- **Ingeniería Biomédica** <sup>(1)</sup>
- **Investigación en Ciencias Sociosanitarias** <sup>(2)</sup>
- **Investigación en Educación Física y Salud** <sup>(2)</sup>
- **Neuro-Rehabilitación** <sup>(1)</sup>
- **Nutrición Clínica** <sup>(1)</sup>
- **Nutrición y Seguridad Alimentaria** <sup>(2)</sup>
- **Nutrición en la Actividad Física y Deporte** <sup>(1)</sup>
- **Osteopatía y Terapia Manual** <sup>(2)</sup>
- **Patología Molecular Humana** <sup>(2)</sup>
- **Psicología General Sanitaria** <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Presencial    <sup>(2)</sup> Semipresencial