

Núm. Orden: 0013

Título: Determinación de la transición aeróbico-anaeróbica por diferentes parámetros del modelo respiratorio.

Autor: Pedro José Benito Peinado

Procedencia: Licenciado en E.F.- Laboratorio de Fisiología del INEF de Madrid.

Correo: pbenito@inef.upm.es)

Director: Francisco Javier Calderón Montero.

Colaboradores: Augusto García Zapico y Agustín Meléndez García.

INDICE:

1. INTRODUCCIÓN y OBJETIVOS
2. MATERIAL
3. MÉTODOS
 - 3.1. Selección de los sujetos.
 - 3.2. Diseño experimental.
 - 3.3. Análisis estadístico.
4. RESULTADOS y DISCUSIÓN
 - 4.1. Resultados.
 - 4.2. Discusión.
5. CONCLUSIONES
6. REFERENCIAS

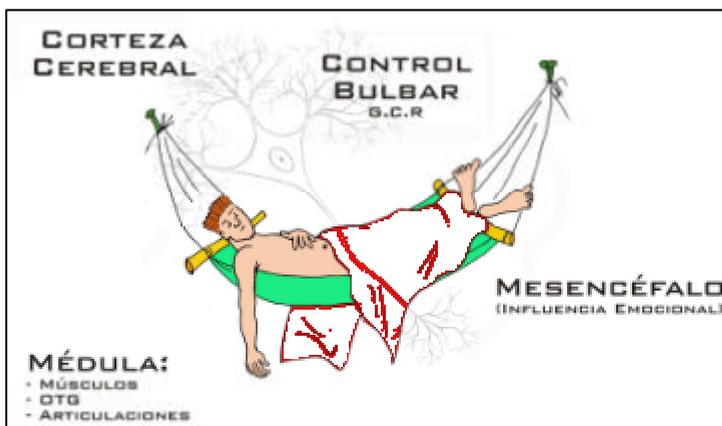
1. INTRODUCCIÓN y OBJETIVOS

El propósito del presente estudio, fue conseguir un doble objetivo; el desarrollo de una metodología no invasiva y de bajo coste para la determinación de los umbrales respiratorios y creación de equipos más ligeros y económicos, y por otro lado estudiar la evolución de los parámetros del modelo respiratorio en una prueba en cicloergómetro con protocolo incremental en rampa, en un grupo de 32 sujetos (22 hombres y 11 mujeres).

Está suficientemente demostrado la existencia de un centro generador respiratorio (G.C.R) responsable de la señal nerviosa básica que produce la acción (Guyton, 1994) y que posteriormente es filtrada y recodificada por estructuras superiores e inferiores del Sistema Nervioso Central, para desembocar en una señal final, que es la que incide sobre la musculatura respiratoria.

La figura 1 muestra los diferentes aspectos que pueden modificar la ventilación en reposo. Paralelamente a este G.C.R existe un segundo mecanismo de control, que regula en cierta medida la actividad del primero "desconectándolo" secuencialmente y al que denominamos "desconector inspiratorio" o D.I, el cual hace funciones de interruptor , escindiendo la señal del G.C.R (Curt ,1986).

Como en reposo, la espiración es un proceso pasivo, al G.C.R también se le ha llamado generador central inspiratorio o G.C.I, pero nosotros debido a las diferentes aplicaciones al esfuerzo, hemos considerado más correcto la primera.



La evaluación de los mecanismos que producen la respiración, son el resultado del estudio de la siguiente ecuación (Milic-Emili y Grunstein, 1976).

Fig.1: Diferentes aspectos que pueden modificar la respiración en reposo.

$$\dot{V}_E = Vc \times FR = Vc \times \frac{1}{T_t} = Vc \times \frac{1}{T_i + T_e} \quad \text{Ecuación 1}$$

Clark y Euler (1972) han llegado a la conclusión de que existe una relación estrecha entre los parámetros observables externos como son el VT/ti y el Ti/Tt, representan la actividad del GCR y del D.I respectivamente (figura 2).

La evolución de estos parámetros durante una prueba de esfuerzo incremental quedan reflejados en la figura 3. La contribución relativa de cada uno de estos componentes, en la respiración en ejercicio ha sido muy estudiada, a través de metodologías como el P.O1, (Presión de gases en la boca en el 0.1 segundos) por autores como Hesser (1983 y 1984) y Lind (1984a, 1984b), esta metodología distingue el “Driving” o flujo Inspiratorio como reflejo de la actividad del G.C.R. y “Timing” que refleja la implicación relativa de los tiempos.

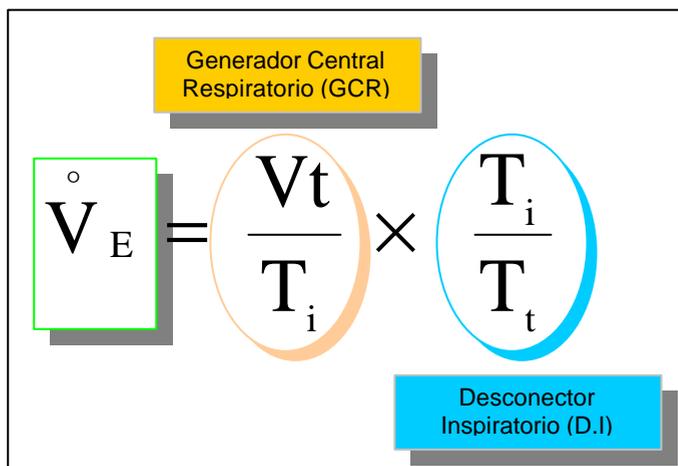
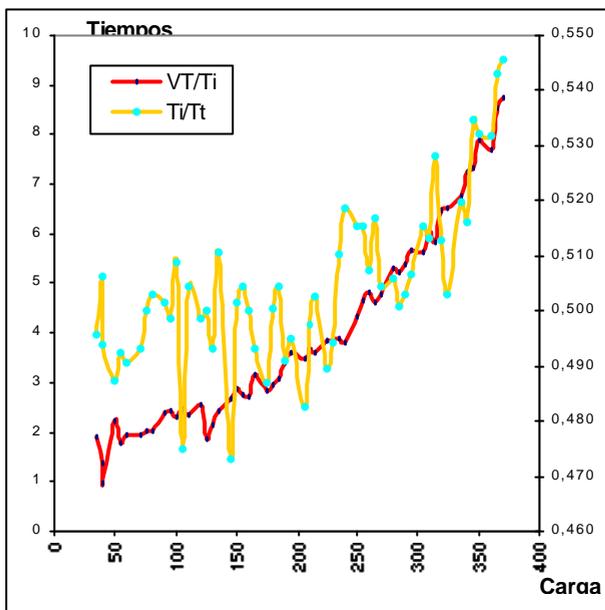


Fig.2: Esquema de relación entre la fórmula modificada por Milic – Emilic y Grunstein (1976) y las estructuras nerviosas de control. VE=Ventilación (litros/min), Vt=Volumen corriente (Litros/min), Ti=Tiempo Inspiratorio (s), Tt=Tiempo total (s).

Existen algunos estudios (James y Col, 1989; Yasukouchi y Serita, 1990) que han obtenido buenas correlaciones utilizando la frecuencia respiratoria como método para predecir los valores del umbral anaeróbico, pero nosotros consideramos que estos procedimientos no



reflejan fielmente la adaptación de los procesos respiratorios a la situación bioquímica en la que se encuentra el sujeto.

El objetivo principal de este estudio es proponer el tiempo inspiratorio (T_i), tiempo espiratorio (T_e) y sus inversos ($1 \cdot T_i^{-1}$), ($1 \cdot T_e^{-1}$) como indicadores de los umbrales aeróbico y anaeróbico, y por tanto del proceso de transición

Fig 3: Evolución de los parámetros VT/ti y Ti/Tt en una prueba en cicloergómetro con protocolo en rampa de 5 vatios cada 12 segundos. Vt=Volumen corriente (Litros/min), Ti= Tiempo Inspiratorio (s), Tt=Tiempo total (s).

aeróbico-anaeróbica según el modelo de Skinner y McIllelan (1980), comparándolo con el método ya tradicional de los equivalentes propuesto por Davis (1985).

Los objetivos secundarios de este proyecto eran estudiar la evolución de los diferentes parámetros que influyen en el modelo respiratorio en una prueba ergoespirométrica máxima.

2. MATERIAL.

Las mediciones de composición y volúmenes del aire espirado, se realizó con un equipo Jaeger Oxicon Pro®, el analizador de oxígeno se basa en el principio paramagnético diferencial, con una velocidad de muestreo de $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (muestras por segundo), el análisis de dióxido de carbono se basa en el principio de absorción infrarroja y la velocidad de muestreo es similar al del oxígeno. El transductor de volumen es bidireccional digital (Triple V®), de bajo espacio muerto y resistencia, cumpliendo la normativa ATS y ECCS. El analizador estaba conectado a un ordenador clónico de sobremesa, con un procesador Intel Pentium® de 550 MHz y monitor AOC® de 17", con los que se realizó todo el procesamiento de datos. Las pruebas se realizaron sobre un cicloergómetro Jaeger ER800, de rango desde 25 a 1000 vatios, con incrementos mínimos de 1 vatio/segundo y dispositivo de freno electromecánico, en el que los sujetos mantuvieron una posición convencional, caracterizada por una inclinación del tronco de 75 grados, las manos apoyadas en el manillar, sin permitir en ningún momento que los sujetos se levanten del sillón y manteniendo la postura antes mencionada. Todas las pruebas fueron realizadas en

condiciones atmosféricas similares (21 – 24 °C y 45 – 55 % de humedad relativa y presiones barométricas comprendidas entre los 700 y 715 mm Hg).

3. MÉTODO.

3.1 Selección de los sujetos.

De una población de unos 200 sujetos, se seleccionó aleatoriamente un grupo de 32 sujetos, que cumplieran las siguientes características: Estar sano, ser activo físicamente, no ser fumador, y estar dispuesto a someterse, de forma libre, a una prueba incremental con protocolo en rampa en cicloergómetro. Todos los sujetos que participaron en este estudio fueron informados de la naturaleza del mismo, firmando su consentimiento por escrito para formar parte del mismo, siendo éste desarrollado de acuerdo a las directrices éticas dictadas en la declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, para la investigación con seres humanos.

De igual forma todos los voluntarios que participaron en este estudio fueron sometidos a reconocimiento médico previamente, que consistió en: Historia clínica y médico-deportiva, ECG basal y Espirometría.

Las características de los dos grupos (hombres y mujeres) se han señalado en la Tabla 1.

Tabla 1: Características de los sujetos que participaron en los estudios.(a)

	N		Media		Desv. típ.		Mínimo		Máximo	
	SEXO		SEXO		SEXO		SEXO		SEXO	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
EDAD	21	11	24,71	21,72	4,06	2,10	19,0	18,0	32,0	25,0
PESO	21	11	73,48	59,73	7,05	6,78	60	49	89	72
ALTURA	21	11	179,62	166,36	6,09	4,74	169	155	191	173
FVC	21	11	5,592	4,213	1,075	,427	3,2	3,6	7,0	4,8
VO ₂ MAX	21	11	4196	2609	505,1	200,9	3443	2377	5481	2920
VO ₂ REL	21	11	57,54	44,10	8,56	4,92	46	36	82	50
CO ₂ MAX	21	11	5161	3193	550,0	272,5	4089	2860	6563	3703
CO ₂ REL	21	11	70,78	53,94	9,70	6,21	56	45	98	65
Carga max	21	11	354	219	57,50	23,38	280	180	530	250
Carga rel	21	11	4,86	3,69	0,987	0,310	3,5	3,2	7,9	4,1
UA	21	11	2015	1308	454,2	264,5	1603	948	3658	1822
UANA	21	11	3368	2100	541,7	313,8	2510	1676	4859	2826

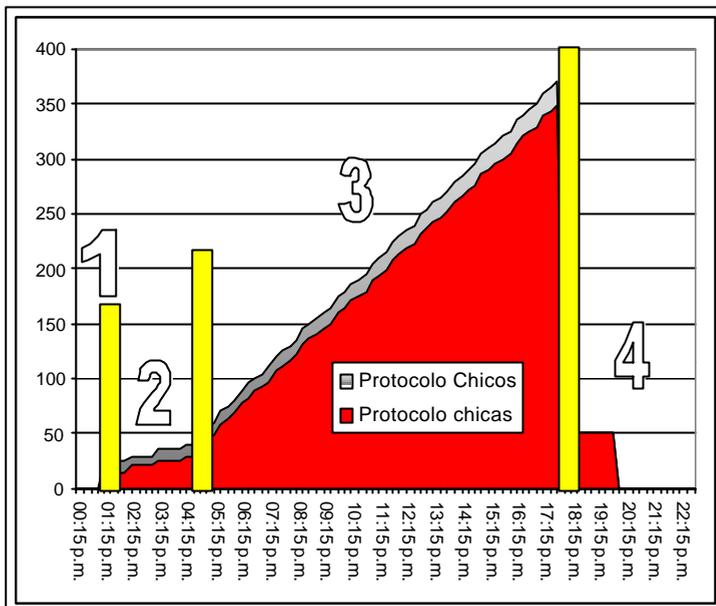
A Edad en años, peso en kg, altura en cm, VO₂ max en ml· kg⁻¹· min⁻¹ (STPD), FVC en litros (BTPS), VO₂ en ml· min⁻¹ (STPD), igual que CO₂ y umbrales. Carga máxima en vatios y carga relativa en vatios · kg⁻¹.

2.2 Diseño experimental.

Una vez los sujetos fueron seleccionados, se realizó el calendario de pruebas, teniendo en cuenta que cada uno de los participantes debía estar familiarizado con la realización de pruebas ergoespirométricas o si no era así se le invitaba previamente a que asistiera a otra de un compañero, para que no resultase un inconveniente el desconocimiento en el protocolo y desarrollo de las pruebas.

El protocolo (figura 4) que se utilizó, es el que se utiliza de forma regular en estudios de este tipo, pero con una salvedad, ya que se tubo en cuenta el sexo y se adecuó la pendiente de la intensidad, reduciéndola para las mujeres en 5 vatios· min⁻¹. En los protocolos más habituales se establecen en incrementos de 25 vatios· min⁻¹ en la intensidad, aunque lo que varía es la periodicidad de los incrementos. En nuestro caso se realizaron incrementos de 5 vatios cada 12 segundos, lo que nos lleva a los 25 vatios· min⁻¹ que habíamos mencionado en el caso de hombres. En el caso de las mujeres se realizaron incrementos de 20 vatios· min⁻¹, (5 vatios cada 15 segundos).

Fig 4: 1. Minuto Inicial de reposo antes de comenzar la fase de calentamiento. **2.** Fase de calentamiento de 3 minutos de duración, hasta los 35 vatios. **3.** Fase de ejercicio. **4.** Fase de recuperación, 2 min pedaleando a 70 rpm con 50 vatios y 3 min completamente parados.



Estos incrementos reducidos, quedan justificados ya que nuestro objetivo no es encontrar parámetros máximos como el VO₂ máx.,

etc como intentan protocolos más largos y con una periodicidad en los mismos más espaciada (Balke o Bruce), sino que intenta minimizar en la medida de lo posible, los efectos del déficit contraído de cada escalón y que los cambios que se reflejen en las gráficas, sean debidos a los cambios bioquímicos más que a las fases de adaptación entre cada incremento de la prueba. El protocolo utilizado consistía en un minuto completamente parado para toma de datos de reposo, 3 minutos de calentamiento más hasta alcanzar los 50 vatios y a partir de aquí comenzaba el período de ejercicio, y finalmente se realizaban 5 minutos de recuperación. Dos minutos de recuperación activa con 50 vatios y pedaleo a 70 rpm y los 3 minutos restantes en reposo completo sobre la bici. La cadencia de pedaleo se estableció de forma estable entre 70 y 90 rpm, ya que hay estudios, (Chavaren y Calbet, 1999) que establecen que no existen diferencias significativas en los valores de VO₂ para estas cadencias. Los criterios que se utilizaron para parar detener la prueba y pasar a la fase de recuperación fueron:

1. Petición voluntaria del sujeto por agotamiento.
2. Se alcanzó la frecuencia cardiaca máxima teórica.
3. La cadencia de pedaleo bajó de las 70 rpm.
4. Estabilización del VO₂ máx.
5. Cociente respiratorio por encima de 1,15.

Las medidas que se obtuvieron durante el test, fueron realizadas por un sistema computerizado y sincronizado, que era calibrado para cada prueba. Las medidas del equipo Jaeger Oxicon Pro ® se realizaron breath by breath (respiración a respiración), pero los datos se promediaron cada 15 segundos para realizar el análisis.

Las parámetros medidos directamente por el equipo fueron, el consumo de oxígeno (VO₂), la producción de dióxido de carbono (CO₂), Volumen corriente espiratorio (VTe) e

inspiratorio (V_{Ti}), la frecuencia respiratoria (FB), la frecuencia cardiaca (medida en un equipo Hellige Cardiotest EK 53 de 3 canales, colocadas en los planos y derivaciones convencionales^b), la presión al final de cada respiración de CO_2 (Pet CO_2) y la de O_2 (Pet O_2), y finalmente los tiempos inspiratorio (T_i) y espiratorio (T_e) de cada respiración.

Como consecuencia y a través de diversos procesos matemáticos se obtuvieron otras variables que se detallan en la Tabla 2:

Tabla 2: Variables de obtención no directa a través de procesamiento matemático.

V_t	Volumen Corriente ($V_{Ti} + V_{Te}$).(Litros).
$1 \cdot T_i^{-1}$	Inverso del tiempo inspiratorio.(Segundos).
$1 \cdot T_e^{-1}$	Inverso del tiempo espiratorio.(Segundos).
T_T	Tiempo total de cada respiración ($T_i + T_e$).(Segundos).
$T_i \cdot T_T^{-1}$	Índice de tiempo inspiratorio. (Adimensional).
$V_t \cdot T_i^{-1}$	Índice de Flujo inspiratorio medio. (Litros \cdot segundo ⁻¹).

Todas estas variables de la tabla 2, excepto los inversos de los tiempos, fueron utilizadas con anterioridad en los estudios realizados sobre este tema (Clark y col. 1983; Gallagher y col. 1987; Mercier y col. 1992; Lucia y col. 1996;) , y nos dan información muy relevante sobre los parámetros del modelo respiratorio. Tras el análisis preeliminar de estas variables observamos la posibilidad de que hubiera otros índices o variables que podían aportar información adicional a la ya mencionada por los anteriores, por lo que seleccionamos dos variables más para estudiar su comportamiento. Estas no son variables directas, sino calculadas, se trata de los inversos de los tiempos, $1 \cdot T_i^{-1}$, $1 \cdot T_e^{-1}$.

Una vez acabadas todas las pruebas, y finalizados todos los cálculos, determinamos qué parámetros definían mejor la posición exacta de los umbrales según el método del modelo respiratorio, llegando a la **conclusión que una representación de los tiempos inspiratorios y sus inversos, sería la más idónea para calcular los umbrales ventilatorios por el método propuesto**. El criterio que se adoptó para la localización de los umbrales según nuestra metodología fue:

- **Umbral aeróbico:** Según el método de los equivalentes (Davis, 1985). Punto más bajo del equivalente de O_2 , con el de CO_2 disminuyendo o estable, a partir del cual no existe ningún punto menor que él y se observa tendencia al incremento. Según nuestra metodología, punto donde se pierde la tendencia de paralelismo entre las variables T_i , T_e , $1 \cdot T_i^{-1}$, $1 \cdot T_e^{-1}$, mostrando una clara tendencia hacia el cambio de pendiente. A este

^b Se colocaron todos los electrodos necesarios para la obtención de las derivaciones en los planos frontal (bipolares y monopolares) y horizontal (precordiales), integrando la señal del electrocardiograma al equipo informático al que a su vez se integraron el resto de periféricos.

fenómeno le hemos denominado cuerpo de la botella, por su similitud con este objeto tumbado. Los inversos de los tiempos tienen un comportamiento similar al modelo trifásico descrito por Skinner y McLlelan (1980).

- **Umbral Anaeróbico:** Según método de los equivalentes (Davis, 1985), punto de crecimiento exponencial tanto del equivalente de O_2 como el de CO_2 acompañado de un incremento ventilatorio desproporcionado con respecto a la carga. Según nuestra metodología, punto donde los parámetros T_i , T_e , $1 \cdot T_i^{-1}$ y $1 \cdot T_e^{-1}$, sufren un nuevo cambio de pendiente para hacerse exponencial. Para el T_i y T_e exponencial negativa, mientras que para sus inversos es positiva. A este fenómeno le llamamos el cuello de botella.

La figura 5, muestra cómo se comportan los cuatro valores que hemos tomado para la identificación de los umbrales en ejercicio.

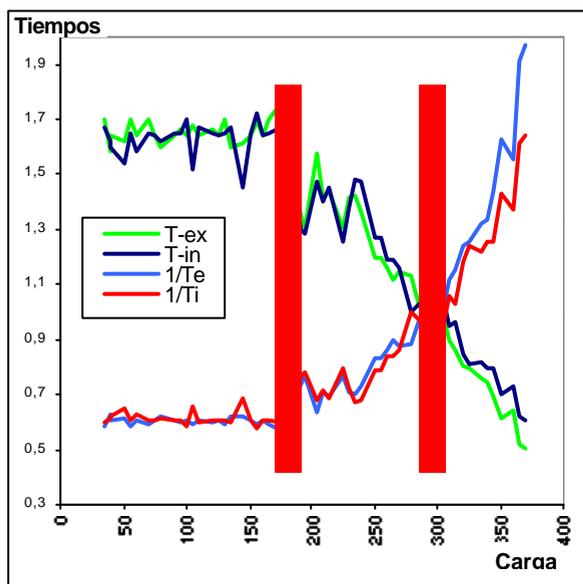


Fig 5: Representación de los tiempos Inspiratorio y espiratorio y sus inversos. Obsérvese las tres fases bien diferenciadas del modelo de Skinner y McLlelan, (1980) delimitadas por las barras verticales. También es observable la similitud de la figura a una botella tumbada.

Paralelamente se seleccionó a cuatro observadores, dos expertos en la determinación de los umbrales por varias metodologías, y otros dos que serían instruidos durante varios meses solamente en la determinación de los umbrales a través del nuevo método. Se imprimieron todos los casos, una hoja con los datos de la prueba y otra con la representación gráfica de los mencionados parámetros.

Se comparó el método de los equivalentes para la determinación el umbral aeróbico y anaeróbico (Davis 1985) calculado en consenso por los observadores experimentados (1 y 4), con el método propuesto. Los observadores 1, 2 y 3 determinaron el VO_2 en el que encontraron el umbral aeróbico y anaeróbico (utilizando exclusivamente la inspección visual para el método propuesto y los anotaron en una hoja de registro que entregaron al

observador 4. Éste analizó los umbrales utilizando todas las metodologías que se emplean actualmente, decidiendo el punto de umbrales en el momento en el que coincidían más métodos de determinación. Los métodos utilizados por el observador 4 fueron, V-Slope, Equivalentes respiratorios, Ventilación, Presiones de CO₂ - VO₂ y finalmente el propuesto por nosotros, aunque se concedió más credibilidad al método de los equivalentes y presiones junto con el propuesto, que al resto de metodologías. Los VO₂ a los que se habían producido cada uno de los umbrales fueron introducidos en el programa estadístico SPSS ® para su posterior análisis estadístico.

2.3 Análisis estadístico.

Para alcanzar el propósito de este estudio, se promediaron todos datos derivados de cada prueba por el software propio del equipo, de forma que los datos respiración a respiración se tomaron cada 15 seg, calculando los valores medios correspondientes a todos los sujetos en cada fase de la prueba incremental.

Una vez organizados los datos se realizó un análisis de T de Student para muestras relacionadas, para comparar si existían diferencias significativas entre las medias calculadas para cada uno de los umbrales. También se realizó un estudio de correlación de Pearson para objetivar si existían correlaciones positivas entre el método de los equivalentes y cada uno de los observadores.

La fiabilidad del método fue estimada con una prueba alpha para la determinación de la fiabilidad tanto para el umbral aeróbico como para el anaeróbico e indistintamente para cada grupo.

También se analizó, a través de una T de Student para muestras no relacionadas, si existían diferencias entre las medias entre el grupo de hombres y de mujeres. El nivel de significación se estableció en $p < 0,05$.

3. RESULTADOS y CONCLUSIONES:

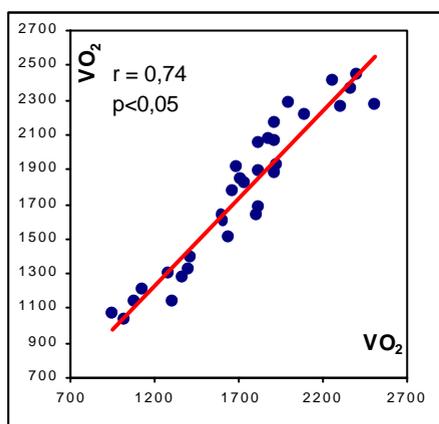
3.1 Resultados.

La tabla 3, muestra los datos obtenidos del tratamiento estadístico de las variables con el programa SPSS 9.0 ®. La tabla en cuestión muestra las correlaciones para cada uno de los observadores, tanto para el umbral aeróbico como el anaeróbico. Recordemos que los observadores 1 y 4 son expertos en el análisis de los umbrales en ejercicio, mientras que los observadores 2 y 3 fueron instruidos para la ocasión. Los observadores 1 a 3 solo veían una hoja de datos de la prueba del sujeto y una gráfica dónde se observaban los tiempos inspiratorios y sus inversos (similar a la figura 5).

Tabla 3: Esquema resumen de resultados. Se ha señalado con ** las correlaciones que no eran significativas. El observador 1 y 4 eran expertos en la determinación de umbrales, los observadores 3 y 4 se instruyeron para la ocasión.

Sexo	Umbral	Observador 1	Observador 2	Observador 3	Observador 4
------	--------	--------------	--------------	--------------	--------------

		r =	p <	r =	p <	r =	p <	r =	p <
Hombres	Aeróbico	0,866	0,000	0,516	0,017	0,294**	0,197	0,957	0,000
	Anaeróbico	0,851	0,000	0,755	0,000	0,851	0,000	0,908	0,000
Mujeres	Aeróbico	0,833	0,001	0,734	0,010	0,725	0,012	0,971	0,000
	Anaeróbico	0,789	0,004	0,807	0,004	0,939	0,000	0,875	0,000



Se observa que todas las correlaciones son positivas, con niveles de significación a $p < 0,05$, excepto la correlación entre el método de referencia y el observador 3 para el umbral aeróbico (grupo hombres). La correlación media (\pm Desviación Típica) obtenida para el umbral aeróbico es de 0.66 ± 0.31 , 0.81 ± 0.14 (media \pm DE, hombres y mujeres respectivamente) con significaciones que varían desde

Fig 6: Correlación media y significación para el umbral aeróbico entre el método de los equivalentes, descrito por Davis (1985) y los inversos de los tiempos (hombres y mujeres).

$p = 0,017$ a $p = 0,000$. Para el umbral anaeróbico, la media de las correlaciones obtenidas por los 4 observadores es de 0.84 ± 0.06 ; 0.85 ± 0.07 (media \pm DE, hombres y mujeres respectivamente) y significaciones que oscilaban entre $p = 0.012$ y $p = 0,000$. Aunque los dos umbrales pueden ser hallados por esta metodología, el umbral anaeróbico recoge más correlación y homogeneidad en los datos que el aeróbico. Las figuras 6 y 7 muestran la correlación media para cada uno de los grupos propuestos y para cada uno de los umbrales.

Estos resultados nos hacen pensar que para sujetos comprendidos en las características de nuestra muestra, se puede hallar, tanto para el umbral aeróbico como para el anaeróbico, un alto índice de correlación entre el método ventilatorio de los equivalentes y el método propuesto.

De la comparación de las medias obtenidas por los grupos hombres-mujeres y su análisis a través de una T de Student para muestras no relacionadas, se extrajeron los siguientes datos. Los resultados en este sentido sugieren que existen diferencias significativas tanto para el umbral aeróbico $t(30) = 4,74$ $p < 0,001$, como para el umbral anaeróbico $t(30) = 7,21$ $p < 0,001$, entre el grupo de hombre y mujeres.

La prueba alpha de fiabilidad del test arrojaba un dato de $\text{Alpha} = 0,94$, lo que nos indica una muy buena fiabilidad del test con respecto a los datos intragrupo.

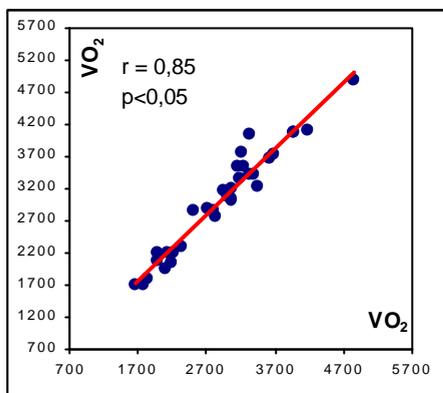


Fig 7: Correlación media y significación para el umbral anaeróbico, en los dos grupos.

3.2 Discusión.

La principal objeción que debe ponerse a este estudio, es la falta de análisis bioquímico de los umbrales, así como la falta de validación de la metodología con un prueba test-retest. Estos hechos, aunque no exentos de realidad no comprometen la fiabilidad de este estudio piloto, y en posteriores estudios se aplicarán tanto el análisis de láctico como las pruebas de validez. No cabe duda, que actualmente, uno de los métodos más utilizados, por su sencilla aplicación, es el método ventilatorio de los equivalentes, con el que se han encontrado correlaciones muy significativas con respecto al método del lactato (Davis, 1986; Green, 1983; Hughes, 1982), este hecho hace más que viable esta investigación, aunque sea un estudio experimental. No cabe duda que la dificultad terminológica de los umbrales y los diferentes procedimientos de determinación no son una ayuda para la comparación de estudios, pero la metodología de análisis por equivalentes está más que demostrada y consolidada.

También cabe la objeción del reducido grupo de muestra y su homogeneidad, pero era nuestra pretensión analizar sólo el factor sexo como influencia en la determinación de los umbrales en ejercicio. Queda pues para posteriores investigaciones el estudio de otros aspectos como el estado de entrenamiento o el deporte practicado.

Existen antecedentes (James y col, 1989; Lucia y col, 1996) de estudios que intentan hallar relaciones entre diferentes aspectos del modelo respiratorio y el umbral anaeróbico. La novedad de nuestro método es, por un lado que también identifica el umbral aeróbico, y por otro que para su análisis no es necesario la medición de gases. Este hecho podría desembocar en el abaratamiento de los equipos portátiles de análisis y por tanto una mejora ostensible en el mundo de la valoración deportiva.

4. CONCLUSIONES:

1. El método de determinación de los umbrales a través de los tiempos inspiratorios, espiratorios y sus inversos son válidos para determinación de la transición aeróbico-anaeróbica de la misma forma que puede serlo el método de los equivalentes.
2. Qué el método es viable tanto para hombres como para mujeres.
3. Se desconoce la relación grupo entrenados-desentrenados con respecto a nuestra metodología.

4. Se hace inevitable el desarrollo específico del método, tanto para la validación del test (pruebas test-retest) como para la extensión a otras poblaciones.
5. Esta metodología no desbanca ninguna de las existentes, sino que contribuye a la clarificación de todo el proceso de análisis de pruebas de esfuerzo en laboratorio y puede abrir alguna vía de investigación para equipos portátiles más baratos y fiables.

5. BIBLIOGRAFÍA.

- Chicharro, J.L., Legido, J.C. *Umbral Anaerobio. Bases fisiológicas y aplicaciones.* McGraw-Hill, Madrid, 1991.
- Clark, F.J., Euler, C.V. On the regulation of depth and rate of breathing. *J Physiol*, 222:267, 1972.
- Clark, J.M., Hagerman, F.C., Gelfand, R. Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. *J. Appl. Physiol.: Respirat Environ Exercise Physiol.* 55 (2): 440-446, 1983.
- Curt V.E. Brain stem mechanisms for generation and control of breathing pattern. *Handbook of physiology: The respiratory system section 3, vol II (control of breathing, Part I, volume editors Neil S. Cherniack and John G. Widdicombe.* Bethesda, 1-67, 1986.
- Davis, J.A. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc*, Vol 17(1): 6-18, 1985.
- Gallagher, C.G., Brown, E., Younes, M. Breathing pattern during maximal exercise and during submaximal exercise with hypercapnia. *J Appl Physiol*, 63: 581-586, 1987.
- Green, H.J., Hughson, R.L., Orr, G.W., Raney, D.A. Anaerobic threshold, blood lactate, and muscle metabolism in progressive exercise. *J Appl Physiol*, 54:1032-1038, 1983.
- Guyton, A.C. *Anatomía y fisiología del sistema nervioso.* Panamericana, Madrid, 1994.
- Hesser, C.M., Lind, F. Role of airway resistance in the control of ventilation during exercise. *Acta Physiol Scand*; 120:557-565, 1984.
- Hesser, C.M., Lind, F. Ventilatory and occlusion-pressure responses to incremental-load exercise. *Respir Physiol*; 51:391-401, 1983.
- Hughes, E.F., Turner, S.C., Brooks, G.A. Effects of glycogen depletion and pedalling speed on anaerobic threshold. *J Appl Physiol* 52:1598-1607, 1982.
- Hultman, E., Sahlin, K. Acid-base balance during exercise. In: *Exercise and sports science reviews.* Vol 8 RS Hutton and DI Miller (eds). Philadelphia: Franklin Institute Press 41-128, 1980.
- James, N. W., Adams, G. M., Wilson, A.F. Determination of Anaerobic Threshold by Ventilatory Frequency. *Int J Sports Med*, Vol 10, (3):192-196, 1989.
- Lind, f. Hesser, C.M. Breathing pattern and lung volumes during exercise. *Acta Physiol Scand*; 120:123-129, 1984.
- Lind, F., Truvé, A.B., Lindborg, B.P.O. Microcomputer-assisted on line measurement of breathing and occlusion pressure during moderate and heavy exercise. *Acta Physiol Scand.* Sep; 122(1):61-9, 1984b.
- Lucia, A., Carvajal, A., Calderón, F.J., Alfonso, A., Chicharro, J. L. Breathing Pattern in highly competitive cyclists during incremental exercise. *Eur J Appl Physiol*, 79: 512-521, 1999.
- Mercier, J., Ramonaxto, M., Préfaut, C. Breathing pattern and ventilatory response to CO₂ during exercise. *Int J Sports Med*, Vol 13, (1):1-5, 1992.
- Milic-Emili, J. Recent advances in clinical assessment of control of breathing. *Lung*, 160: 1-7, 1982.
- Milic-Emili, J., Grunstein, M.M. Drive and timing components of ventilation. *Chest*, 70 (suppl.):131-133, 1976.
- Skinner J.S., McLellan T.H. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q* 51:234-248, 1980.
- Yasukouchi, A., Serita, F. Changes in breathing pattern at loads near perceptual threshold at different work levels. *Eur J Appl Physiol*, 60: 337-345, 1990.

7. PALABRAS CLAVE:

Umbrales, Ejercicio, Modelo Respiratorio, Cicloergómetro.