

# La inflexión de la curva frecuencia cardíaca – potencia no es un indicador del umbral anaeróbico

Lacour, J.R.(\*), Padilla, S.(\*\*), Denis, C.(\*)

## RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo determinar en que medida el umbral anaeróbico (SA) coincide sistemáticamente con el punto de ruptura (R) de la curva representativa de la evolución de la frecuencia cardíaca (FC), en función de la potencia impuesta (trabajo muscular). Han sido estudiados veinte adultos sanos, con edades medias de  $23,6 \pm 3,75$  años, pertenecientes a 3 grupos diferentes. Estos 3 grupos han sido distribuidos de la siguiente forma:

1. Individuos sedentarios (n = 8), antes y después de un programa de entrenamiento de 20 semanas de duración.
2. Ciclistas aficionados (n = 6).
3. Profesionales (n = 9).

Las curvas de la evolución de la FC y de la concentración sanguínea de ácido láctico en función de la potencia se han determinado en un ejercicio continuo en bicicleta ergométrica, con cargas de potencia de 18 a 21 Watts, de una duración de 2 minutos hasta el agotamiento. La FC y la concentración sanguínea de ácido láctico se determinaron en los 15 últimos segundos de cada carga, utilizando un protocolo más breve en día diferente para determinar el  $VO_2$  máx.

Cuanto mayor es el  $VO_2$  máx., más se aproxima el punto R de SA ( $r = 0,701$ ;  $p < 0,01$ ). Esta relación expresa 2 evoluciones en función de  $VO_2$  máx.: por una parte el aumento significativo de la potencia Relativa que corresponde al punto SA ( $r = 0,536$ ;  $P < 0,01$ ) y una disminución (no significativa) de la potencia correspondiente a R. A nivel individual, R coincide excepcionalmente con SA. Además, la determinación de SA es imprecisa (coeficiente de variación: 5,3%). Estos resultados nos permiten concluir que la búsqueda del punto R no aporta ninguna información complementaria utilizable a nivel individual respecto al umbral anaeróbico.

## Introducción

El desarrollo de los medios técnicos de registro y medición han despertado el interés por la medida de la frecuencia cardíaca durante el entrenamiento. Se conoce desde hace ya cincuenta años (para la referencia ver WAHLUND, 1948) que el incremento de la frecuencia cardíaca en función de potencia (FC/P) tiende a disminuir en valores cercanos a la potencia máxima aeróbica (PMA), pero si tenemos en cuenta sus aplicaciones prácticas es el aspecto relativamente lineal de esta relación la que se ha citado preferentemente. (CONCONI Y COL. 1982) ha redescubierto esta Meseta de la curva FC/P. Ellos han constatado que esta disminución, se manifiesta en una zona de potencia de ejercicio que se corresponde con el umbral anaeróbico y han propuesto utilizar el punto de inflexión de la curva (FC/P) como indicador del umbral anaeróbico en el corredor a pie. Este criterio se ha aplicado posteriormente a numerosas disciplinas por DROGHETTI y Col. (1985). Estos estudios citados, aunque se basan en numerosas observaciones no presentan más que algunas; éstas no se asocian a ningún tratamiento estadístico de datos y además hacen referencia a grupos homogéneos de individuos. Nos ha parecido interesante por ello, de verificar si la coincidencia observada no era meramente fortuita.

El objeto de este trabajo ha sido estudiar la evolución de la frecuencia cardíaca y la concentración de ácido láctico en sangre, en función de la potencia o intensidad del ejercicio en poblaciones con un nivel de aptitud física y de entrenamiento muy diferentes.

(\*) G.I.P. Exercice-Laboratoire de Physiologie-UER Med. 30, rue Ferdinand Gambon – F. 42023 SAINT-ETIENNE CEDEX.

(\*\*) Instituto Vasco de Educación Física (IVEF) e Instituto Municipal de Deportes de Vitoria.

## Material y métodos

### 1. Sujetos: Han sido estudiados 3 grupos

– *Sedentarios* (n = 8). Estos sujetos (5 hombres y 3 mujeres) estudiantes de medicina, no realizaban ningún deporte específico, manteniendo una actividad física no competitiva, siendo evaluados antes y después de un entrenamiento de 20 semanas, consiste en entrenamiento sobre bicicleta ergométrica, 1 hora al día durante 4 días a la semana en torno al 75% de la PMA.

– *Corredores aficionados* (n = 6) de nivel regional y una práctica deportiva competitiva.

– *Ciclistas profesionales* (n = 9) de nivel nacional.

Las características antropométricas más importantes vienen expuestas en el cuadro nº 1.

### 2. Determinación de la PMA del consumo máximo de oxígeno $VO_2$ máx. y de la Frecuencia Cardíaca máxima (FC máx.)

Estos valores han sido medidos directamente durante los ejercicios máximos realizados en cicloergómetro. Después de realizar un calentamiento de 6 minutos en torno al 50% de la PMAm los individuos llegaron de 3 a 4 cargas de 2 minutos cada una, a la potencia máxima que ellos podían desarrollar. El gas espirado se recogió en sacos de Douglas para el posterior análisis mediante el método de circuito abierto. Las fracciones de  $O_2$  y  $CO_2$  fueron determinadas por analizadores físicos (Bec-kaman OM 11 y LB 2) controlados antes de cada medición por unas mezclas de gases binarios de una composición establecida de manera precisa ( $\pm 0,03\%$ ) por el método de Scholander. Los volúmenes de gas espirado fueron medidos con la ayuda de un espirómetro de Tissot correctamente

equilibrado. El consumo de oxígeno es expresado en condiciones Standar S.T.P.D. (presión atmosférica: 760 mm Hg, temperatura  $0^\circ C$ , presión parcial de vapor de agua nula).

El criterio utilizado para determinar que la potencia o carga realizada era considerada como máxima, fue una concentración de ácido láctico en sangre superior a  $9 \text{ mmol.l}^{-1}$ .

### 3. Determinación del umbral anaeróbico

(SA) y de la ruptura de pendiente de la curva FC/PCR o punto de inflexión.

Estos dos índices han sido buscados en ejercicios continuos en cicloergómetro de cargas progresivas y crecientes llevándole al individuo al agotamiento.

La duración de cada carga era de 2 minutos. La FC,  $VO_2$  y la concentración sanguínea de ácido láctico se determinaron en los 30 últimos segundos de cada carga.

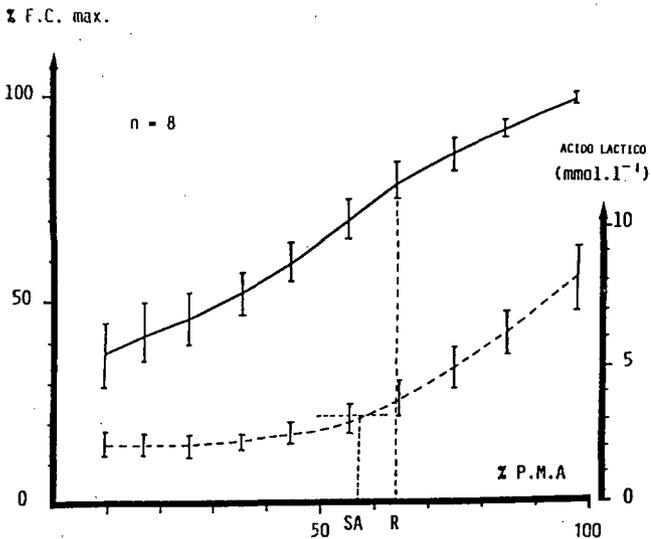
## Resultados

En todos los individuos ha sido posible el identificar un punto de ruptura R.

Las potencias relativas correspondientes a R y SA en los diferentes grupos están resumidas en el cuadro II. En los sedentarios tanto antes como después del entrenamiento, estos 2 índices se corresponden con potencias relativas significativamente diferentes (P 0,01). La diferencia de SA y R en el grupo de ciclistas tanto aficionados como profesionales, no es significativa. En estos 2 últimos grupos, la identidad casi total de sus valores medios, contrasta con la dispersión muy importante a nivel individual, como lo demuestra la amplitud de la

GRUPO		n	EDAD	PESO kg	TALLA cm	$VO_2$ max $\text{ml.min}^{-1}.\text{kg}^{-1}$	FC max $P_{p m}$	PMA watts
SEDENTARIOS	ANTES DEL ENTRENAMIENTO.	8	20,0 $\pm 1,2$	57,8 $\pm 6,0$	167,2 $\pm 9,5$	47,2 $\pm 7,7$	203 $\pm 10$	197 $\pm 41$
	DESPUES DEL ENTRENAMIENTO		20,3 $\pm 1,2$	57,5 $\pm 5,6$		53,9 $\pm 7,7$	197 $\pm 9$	246 $\pm 51$
CICLISTAS AFICIONADOS		6	22,5 $\pm 2,5$	69,0 $\pm 3,0$	178,3 $\pm 3,0$	66,4 $\pm 3,8$	188 $\pm 4$	379 $\pm 16$
CICLISTAS PROFESIONALES		9	26,0 $\pm 1,2$	72,0 $\pm 5,3$	179,0 $\pm 5,8$	70,1 $\pm 2,2$	183 $\pm 4,5$	411 $\pm 38$

Cuadro 1 Características generales de los tres grupos estudiados.



**Figura 1.** Evolución de la Frecuencia Cardíaca (—) y de la concentración sanguínea de lactato (-----) en función de la intensidad relativa del ejercicio (% P.M.A.). Resultados de 8 individuos sedentarios antes del entrenamiento.  
SA: Umbral anaeróbico.  
R: Punto de ruptura de la curva de evolución de la Frecuencia Cardíaca.

desviación Standar. De los 15 corredores de estos 2 grupos, sólo observaremos 2 coincidencias entre R y SA, situándose la diferencia máxima en 11% de P.M.A.

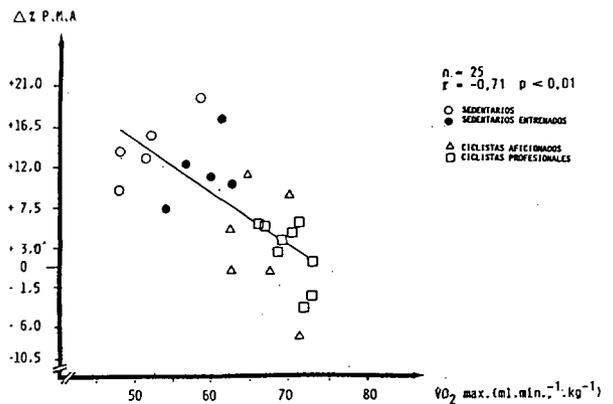
La diferencia entre el grupo de sedentarios (antes y después del entrenamiento) y el de ciclistas, refleja la influencia del nivel de entrenamiento: de las 25 valoraciones sobre individuos del sexo masculino.

La diferencia, expresada en % de P.M.A., entre R y SA es inversamente proporcional al  $VO_2$  máx. ( $r = -0,701$ ;  $P 0,01$ ; Figura 2). Esta relación indica sobre todo el aumento de la potencia relativa correspondiente a SA, cuando  $VO_2$  máx. aumenta ( $r = 0,536$ ;  $P 0,01$ ) y una tendencia contraria de R (no significativa  $r = 1,216$ ) a disminuir, cuando la  $VO_2$  máx. aumenta. Los coeficientes de variación son de 3,25% para SA y de 5,3% para R.

GRUPO		SA % P.M.A.	PUNTO DE RUPTURA % P.M.A.
SEDENTARIA	ANTES	59,5 ± 3,5	70,6 ± 3,3
	DESPUES	68,3 ± 5,7	78,7 ± 5,2
CICLISTAS AFICIONADOS		67,7 ± 3,9	70,5 ± 9,7
CICLISTAS PROFESIONALES		69,9 ± 5,2	72,0 ± 6,6

**Cuadro 2**

Valores (media y desviación Standar) del umbral anaeróbico y del punto de ruptura de la curva de evolución de la Frecuencia Cardíaca en los tres grupos estudiados.



**Figura 2.** Correlación entre  $VO_2$  máx. y la distancia (expresada en % P.M.A.) entre R y SA, en 20 individuos del sexo masculino estudiados. Los individuos sedentarios ( $n = 5$ ) han sido estudiados antes y después del entrenamiento.

## Discusión

Los resultados de este estudio, confirman una vez más, la disminución en la pendiente de la curva FC/P cuando el valor de P.M.A. está próximo.

Aparece además una segunda ruptura de pendiente en intensidades entre 30-40% de P.M.A. lo que confiere a la relación FC/P un aspecto sigmoideo en su conjunto (Figura 1).

Esta configuración sigmoidea de la curva puede venir establecida por las condiciones experimentales en las que la curva se obtiene: esta morfología sigmoidea se halla sistemáticamente en ejercicios continuos progresivamente crecientes (ref. DAVIES 1968) siendo evidentemente en ejercicios a potencias relativas diferentes, separadas por intervalos de reposo, (LEWIS Y Col. 1983).

Esta diferencia es debida a que un ejercicio continuo las reacciones fisiológicas a cada carga están influenciadas por el trabajo realizado en cargas precedentes.

Esta puede ser la causa de la discordancia existente entre nuestros resultados y los de CONCONI Y Col. (1982) y los DROGHETTI Y Col. (1985): en estos dos estudios, la relación FC/P ha sido determinada en ejercicios continuos de potencia progresivamente creciente, mientras que el estudio de la cinética del ácido láctico en sangre (estudiado solamente en algunos de los atletas citados) se realizó durante ejercicios diferentes a cargas de trabajo predeterminadas por la primera prueba.

La determinación del punto de ruptura o inflexión (R), presenta dificultades prácticas: la imprecisión determinada en este estudio, es aproximadamente de 5% de P.M.A. RIBEIRO Y Col. (1985) han observado, en un grupo de 16 individuos estudiados sistemáticamente 2 veces, que la mitad de ellos no presentaba punto de ruptura alguno, en alguna de las 2 determinaciones.

La relación causa efecto propuesta por CONCONI Y Col. (1982) para explicar este aplanamiento o inflexión reside en el hecho de que a las intensidades correspondientes a este punto, la mayor parte de la energía liberada se debe al metabolismo anaeróbico.

La imprecisión de la determinación de R, la falta de relación sistemática entre este punto y el umbral anaeróbico ponen en duda el interés que puede

tener el estudio aislado del punto de inflexión de la curva de evolución de la frecuencia cardíaca, en el seguimiento de un entrenamiento o en el pronóstico de resultados en competición. Tampoco aporta ninguna información suplementaria, a las que un individuo entrenado pueda tener ya, por su seguimiento habitual sumada al control de los signos externos de las cargas o intensidades de entrenamiento.

## Bibliografía

---

1. CONCONI, F.; FERRARI, M.; ZIGLIO, P.G.; DROGHETTI, P.; CODECA, L.: Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 52: 869-873, 1982.
2. DAVIES, C.T.M.: Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *J. Appl. Physiol.* 24: 700-706, 1968.
3. DROGHETTI, P.; BORSETTO, C.; CASONI, I.; CELLINI, M.; FERRARI, M.; PAOLINI, A.R.; ZIGLIO, P.G.; CONCONI, F.: Noninvasive determination of the anaerobic threshold in canoeing, cross-country skiing, cycling, roller and iceskating, rowing and walking. *Eur. J. Appl. Physiol.* 53: 299-303, 1985.
4. GEYSANT, A.; DORMOIS, J.C.; BARTHELEMY, J.C.; LACOUR, J.R.: Lactate determination with the lactate analyser La 640: a critical study. *Stand. J. Clin. Lab. Invest.* 45: 145-149, 1985.
5. HAGBERG, J.M.; COYLE, E.: Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Med. Sci. Sports* 15: 287-289, 1983.
6. LEWIS, S.F.; TAYLOR, W.F.; GRAHAM, R.M.; PETTINGER, W.A.; SCHUTTE, J.E.; BLOMQUIST, C.G.: Cardiovascular responses to exercise as functions of absolute and relative work load. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 54: 1314-1323, 1983.
7. RIBEIRO, J.P.; FIELDING, R.A.; HUGHES, V.; BLACK, A.; BOCHESE, M.A.; KNUTGEN, A.G.: Heart Rate Break Point May Coincide with the Anaerobic and not the Aerobic Threshold. *Int. J. Sports Med.* 6: 220-224, 1985.
8. WAHLUND, H.: Determination of the physical working capacity. *Acta Med. Scand. Suppl.* 215: 1-78, 1948.