

Análisis de las variaciones de la frecuencia cardíaca en la prueba cicloergométrica de esfuerzo máximo de 6 minutos

DR. J. R. MALAGELADA - BENAPRÉS.

INTRODUCCION

La aplicación de técnicas cicloergométricas al estudio del rendimiento deportivo ha representado indudablemente una superación respecto a otros «tests», más simples, que venían utilizándose anteriormente para dichos fines. Al desarrollo de su actual preponderancia han contribuido principalmente los siguientes motivos:

a) El cicloergómetro permite someter al individuo a un esfuerzo sostenido que facilita la notación seriada de las modificaciones funcionales que componen la reacción de adaptación al mismo. Esta característica constituye una clara diferencia respecto a las técnicas a que anteriormente nos hemos referido, en las cuales las valoraciones, efectuadas principalmente después del ejercicio, evalúan la cinética de la recuperación más bien que la del esfuerzo.

b) El empleo del cicloergómetro proporciona una noción cuantitativa, absoluta o en relación al peso, del trabajo que realiza el individuo puesto que sabemos cuál es la resistencia que se opone al mismo.

c) La flexibilidad técnica del método permite optar por una prueba de esfuerzo simple o incrementar progresivamente las cargas que debe soportar el sujeto examinado según un módulo previamente establecido y sin necesidad de interrumpir el ejercicio.

La sucesión procesual de las modificaciones fisiológicas aparecidas durante el esfuerzo y después del mismo, aunque indudablemente constituyen una reacción del organismo como un todo, pueden analizarse desde diferentes ángulos que abarcan desde transformaciones metabólicas y ultraestructurales hasta cambios en el ritmo cardio-respiratorio. De ello se deduce que aunque los aspectos a verificar son muy numerosos podemos limitarnos a comprobar

aquellos que por su facilidad técnica, sensibilidad o inocuidad son accesibles a un examen biológico elemental. Generalmente estos principios se aplican a las modificaciones funcionales de los aparatos circulatorio y respiratorio, con determinaciones seriadas de la frecuencia del pulso y de la respiración, presión arterial, E. C. G., espirometría, etc.

Estos datos pueden transportarse sobre papel milimetrado e inscribiéndolos adecuadamente se obtienen curvas, susceptibles de un subsiguiente análisis y que reflejan gráficamente la dinámica de la prueba. Este material ha supuesto la base experimental en que nos hemos apoyado para sentar las conclusiones que a continuación se detallan.

El presente trabajo tiene como principal objeto el estudio de las variaciones del ritmo cardíaco observadas durante la prueba de esfuerzo máximo de 6 minutos en el cicloergómetro aunque algunos de los principios aquí desarrollados puedan aplicarse también a otros parámetros. Hemos sido movidos a realizar esta selección por dos razones primordiales: por una parte la simplicidad técnica y el adecuado perfil de la curva de frecuencia del pulso y por otra la necesidad de llevar a cabo una prueba en la que se obligara al individuo examinado a emplear en el esfuerzo el máximo nivel de sus posibilidades.

De la confrontación y análisis de dichas curvas, hemos obtenido un método y unos resultados que son aplicables a grandes grupos de deportistas, facilitando el conocimiento individual y estadístico de su rendimiento cardiovascular como expresión de su estado de preparación física.

MATERIAL Y METODO

Hemos seleccionado un total de 20 atletas practicantes de diversos deportes y con diferentes grados de preparación física y entrenamiento, que han realizado en el C. I. M. D. la prueba de esfuerzo máximo de 6 minutos en el cicloergómetro. Este ejercicio tiene como premisa esencial la aplicación de una carga fija que se procura sea además elevada para aprovechar al máximo los recursos físicos del atleta. Procurando una unificación de las condiciones basales para facilitar la comparación de los resultados hemos impuesto a todos los individuos, de manera sistemática, una carga que oscila entre los 3'5 y 4 W. por Kg. de peso que, en valores absolutos, representa aproximadamente 200-300 W. La duración total de la prueba es de 12 minutos, de los cuales los 6 primeros corresponden a la fase de esfuerzo y los restantes a la de recuperación. Aunque en todos los casos los parámetros verificados simultáneamente han sido múltiples, en el presente estudio nos hemos concretado al análisis de las oscilaciones de la frecuencia cardíaca y a él nos referimos de ahora en adelante.

Por consiguiente, hemos procedido a efectuar determinaciones seriadas del número de pulsaciones por minuto, durante 10 segundos, repitiendo dicha operación por cada minuto transcurrido de la prueba. El desarrollo gráfico de los datos obtenidos forma una doble curva que corresponde a las fases de esfuerzo y de recuperación, ambas de signos opuestos. Con fines puramente didácticos procederemos a considerarlas por separado.

Fase de esfuerzo

Esquemáticamente describiremos una curva tipo en la que se aprecian dos segmentos claramente diferenciados: a) Fase de ascenso rápido. b) Fase de estabilización o de ascenso gradual.

La primera representa el aumento de frecuencia del pulso que se observa desde el momento en que se inicia la prueba (Pulso de reposo en T_0) hasta el primer minuto (T_1). Tenemos especial interés en comentar algunos aspectos relacionados con las variaciones sobrevenidas en este primer minuto por ser precisamente dicho segmento al que la mayor parte de investigadores ha dedicado su atención. No obstante, nosotros no hemos podido comprobar algunas de las aseveraciones de estos autores lo cual precisamente ha sido una razón importante entre las que nos han inducido a profundizar en estos estudios.

En nuestros casos hemos intentado diversos tipos de coordinaciones:

- a) Comparación entre los valores absolutos de la frecuencia basal y en el primer minuto.
- b) Comparación entre los porcentajes de incremento relativo de la frecuencia en el primer minuto respecto a la basal.
- c) Relación logarítmica entre ambas (Tabla 1).

TABLA 1

INDICES DE INCREMENTO RELATIVO DEL RITMO CARDIACO DURANTE EL PRIMER MINUTO DE ESFUERZO

A. B.	0'22	
L. T.	0'28	
M. C. U.	0'30	
G. V.	0'33	
J. Z.	0'34	
J. B.	0'36	
E. V.	0'39	Muy mal preparado
F. P.	0'39	Muy mal preparado
L. B.	0'39	Muy bien preparado
J. R.	0'41	
C. C.	0'41	Muy mal preparado
F. C.	0'41	Muy bien preparado

No hemos logrado ninguna relación significativa entre los índices obtenidos por estos procedimientos y el grado real de preparación física y rendimiento del aparato cardiocirculatorio, demostrado por la evaluación global de las condiciones y resultados deportivos de estos atletas. Es decir, que no hallamos en las modificaciones de la frecuencia cardíaca durante el primer minuto ninguna base sólida en que fundar una calificación real del individuo examinado.

Sin embargo, en un grupo de atletas muy entrenados se observa con una cierta regularidad una tendencia a alcanzar, ya durante el primer minuto, un alto nivel de frecuencia cardíaca que en los minutos siguientes ascenderá muy lentamente, en contraposición con aquellos deportistas medianamente preparados que, desde el principio de la prueba, reflejan una tendencia paulatina a la aceleración del ritmo. Pero, si intentamos aplicar estas conclusiones a un grupo heterogéneo de sujetos, dichas premisas no se cumplen, observándose una superposición de valores (Tabla 1).

A nuestro parecer ello se debe a un factor muy concreto: el que aquellos individuos con una preparación física muy mala y un bajo rendimiento cardiocirculatorio también muestran, en valores relativos, un rápido incremento del pulso en el primer minuto. En estos indivi-

duos, la frecuencia cardíaca no se estabiliza sino que sigue ascendiendo progresivamente en la gráfica, aunque ello no es ya verificado por el cálculo. En consecuencia no existe otra solución que aplicar una fórmula compleja que exprese prácticamente la totalidad de la curva durante los 6 minutos de la prueba de esfuerzo.

Para conseguirlo hemos partido de una idealización de la curva de frecuencias a la que hemos dividido previamente en dos partes. La fase inicial se extiende desde T_0 , en que comienza el esfuerzo del atleta en el cicloergómetro, hasta T_1 y la segunda desde este último hasta T_6 . Ambos perfiles pueden representarse como componentes de una curva de tipo exponencial que trasladada sobre papel semilogarítmico demuestra poseer dos pendientes: A y B, que corresponden, respectivamente, a los segmentos T_0-T_1 y T_1-T_6 (Fig. 1).

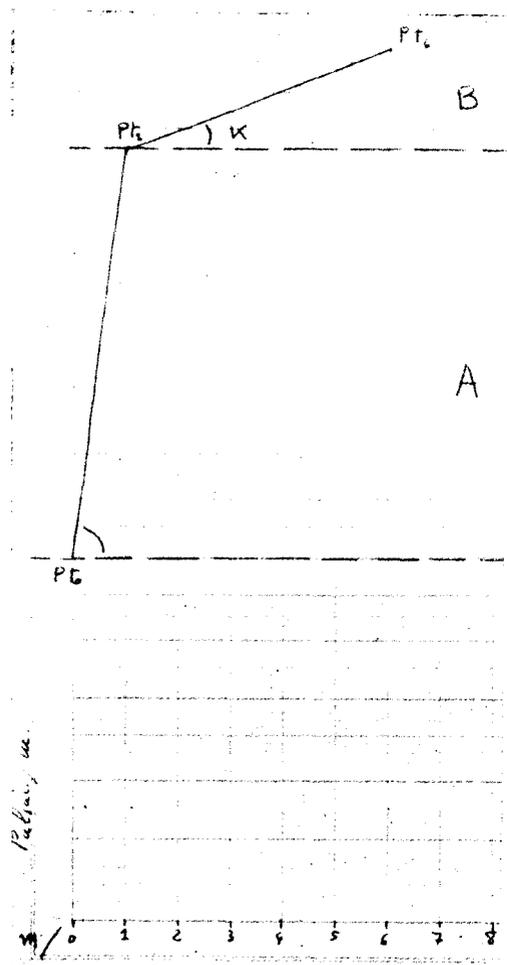


Figura 1

Representación esquemática sobre papel semilogarítmico de la curva de frecuencia del pulso durante la fase de esfuerzo.

Es evidente que los cálculos deben hacerse separadamente para ambos.

En realidad, tal como hemos visto anteriormente, el análisis del primer segmento T_0-T_1 es muy falaz y por ello nuestra principal atención se dirige hacia el segundo, T_1-T_6 , del que trataremos de determinar el factor que expresa el incremento relativo de la frecuencia del pulso durante este período. Gráficamente (Fig. 2) pue-

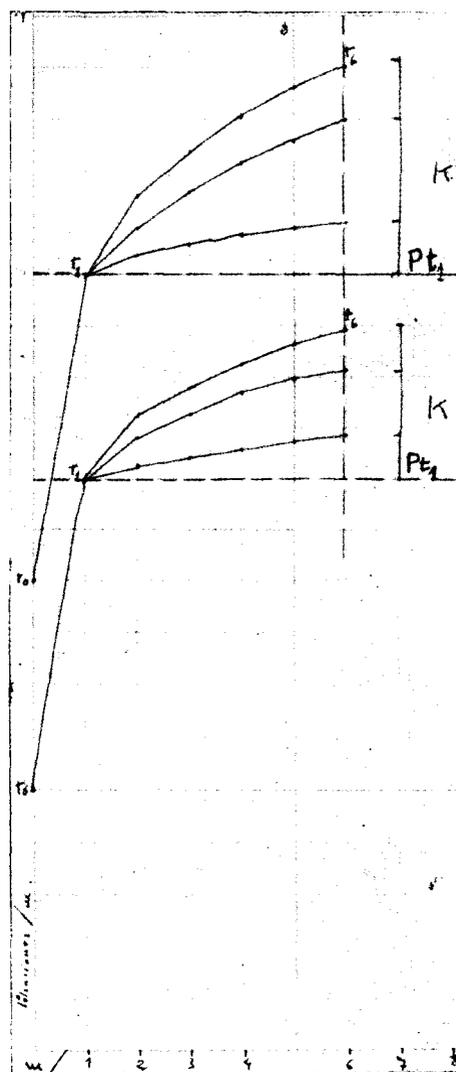


Figura 2

Representación esquemática de la curva de frecuencia del pulso durante la fase de esfuerzo.

de observarse con claridad que este factor dependerá fundamentalmente de la velocidad con que aumente la frecuencia del pulso durante este tiempo T_1-T_6 , de tal manera que los valores más elevados significarán una rápida taquicardia y los más bajos una estabilización precoz.

Este razonamiento puede expresarse matemáticamente siguiendo la ley exponencial por la siguiente fórmula:

$$k = \frac{\text{Log } P T_0 - \text{Log } P T_1}{T_0 - T_1} \cdot 2.3 \cdot 100$$

A este índice k podríamos llamarle factor de estabilización porque expresa la capacidad del individuo para regular su frecuencia cardíaca a un determinado nivel y por lo tanto, en principio, será menor en aquellos individuos con buen rendimiento cardiocirculatorio. Obsérvese sin embargo, que este factor no varía si esta estabilización se produce a un nivel muy alto o muy bajo, o sea, expresado más sencillamente, si el sujeto permanece alrededor de las 80 p/m o de las 160 p/m. En consecuencia hay que introducir una modificación en este índice de acuerdo con el punto de partida (T_1) y también en relación con el pulso en reposo del individuo examinado (T_0). De esta manera queda la fórmula definitivamente como sigue:

Índice de esfuerzo:

$$\frac{\text{Log } P T_0 - \text{Log } P T_1}{T_0 - T_1} \cdot 2.3 \cdot 100 \frac{P T_0 + P T_1}{100}$$

A pesar de su aspecto complicado, esta fórmula es sencilla de calcular porque en la práctica puede convertirse en la siguiente:

Índice de esfuerzo:

$$\text{Log } P T_0 - \text{Log } P T_1 \cdot 0.46 \cdot (P T_0 + P T_1)$$

En ella, $\text{Log } P T_0$ representa el logaritmo decimal de la frecuencia del pulso, en latidos por minuto, en el minuto sexto de la prueba. $\text{Log } P T_1$, lo mismo, en el minuto primero y $P T_0$, $P T_1$ la frecuencia cardíaca, en valores absolutos, en reposo y al finalizar el primer minuto, respectivamente. El valor 0.46 es una constante que resulta del cálculo de aquellos elementos de la fórmula que no varían cualquiera que sea el individuo a que se aplique. El índice de esfuerzo usualmente lo expresamos con aproximación de un decimal y en nuestros casos siempre hemos obtenido un número menor de 20 y mayor de 1 si bien son posibles valores más extremos.

Esta fórmula no es aplicable en las siguientes circunstancias:

a) Si la prueba ha debido interrumpirse por algún motivo y no se han completado los tiempos exigidos.

b) Si las cargas impuestas al individuo examinado no son lo suficientemente elevadas como para exigirle un esfuerzo importante. En nuestra experiencia, para que dicha condición se cumpla la resistencia debe ser superior a 3.5 W/Kgr.

c) Si la valoración de la frecuencia del pulso por parte del examinador no ha sido muy precisa.

RESULTADOS

Los respectivos índices de esfuerzo, determinados en nuestro grupo de 20 atletas, han sido ordenados y comparados con otros parámetros de rendimiento cardiocirculatorio obteniendo los siguientes resultados:

a) *Dispersión.* — Partimos de la base de que debido a la especial estructura de la fórmula aplicada, los valores se sitúan por orden decreciente de preferencia. La dispersión de los índices que hemos obtenido es muy satisfactoria por cuanto ha oscilado entre 3.1 (L.B.) y 16.8 (A.L.) sobre un total de 20 casos. Sólo se han registrado dos empates G.V. y J.B. a 6.3 y E.V. y J.F. a 16.6 precisamente en individuos cuyas características también coincidían sensiblemente en otros aspectos.

b) *Promedios.* — El promedio de los índices ha sido de 10. Dado lo reducido del grupo analizado, no podemos fijar este valor como punto de referencia definitivo. No obstante, consideraciones generales acerca de la forma física y capacidad de resistencia de los atletas examinados, nos indica que ciertamente un índice de esfuerzo alrededor de 10 puede aceptarse, por el momento, como el límite superior de una preparación deportiva satisfactoria. De acuerdo con este criterio, observamos que en nuestra serie de atletas escogidos al azar 9 figuran con un índice menor de 10 y los 11 restantes superior. Sin embargo, en este grupo todos los individuos están sometidos a entrenamiento más o menos intenso, luego es evidente que para juzgar diferencias entre individuos que practiquen o no deporte, el límite 10 resulta netamente insuficiente y hay que buscar un punto de referencia mucho más alto.

TABLE 2

RELACION PROGRESIVA DE LOS INDICES DE ESFUERZO OBTENIDOS EN 20 ATLETAS DEL C. I. M. D

Nombre	k	Índice de esfuerzo
L. B.	1.5	3.1
F. C.	3.3	5.8
G. V.	3.6	6.3
J. B.	3.2	6.3
M. C. U.	4.4	7.9
L. T.	4.6	8
E. B.	5.3	8.4
J. R.	5.5	8.8
J. G.	4.4	8.9
		10

Nombre	k	Indice de esfuerzo
J. P. B.	5'2	10'1
F. P.	4'8	10'2
C. C.	6'3	12'6
J. Z.	6'8	13
C. B.	6'6	13'3
A. F.	7'8	14'1
J. M. A.	6'5	14'6
A. B.	6'6	15'7
E. V.	7'8	16'6
J. F.	6'8	16'6
A. L.	7'9	16'8

c) *Interpretación de los resultados.*— Antes de haber experimentado el método descrito en este trabajo en un gran número de sujetos es difícil conocer cuál es su valor real. Está claro que los tres factores fundamentales para otorgarle crédito son: que la técnica de registro de datos sea correcta, que la fórmula refleje con fidelidad el perfil de la curva de frecuencias y que realmente este último sea un ajustado índice del rendimiento del aparato cardiocirculatorio del sujeto examinado. En la práctica es realmente arduo que estas tres condiciones se cumplan satisfactoriamente.

En primer lugar, y como ya hemos citado anteriormente, no es en absoluto fácil registrar con exactitud las frecuencias del pulso en las diferentes fases de la prueba. Ello es especialmente cierto durante los últimos minutos del esfuerzo cuando la intensa taquipnea y las violentas contracciones musculares hacen poco perceptibles tanto el pulso radial como la auscultación cardíaca. Debido a que la frecuencia se toma únicamente durante 10 segundos, un pequeño error resulta enormemente aumentado al multiplicar por 6. Si este error se produce además en uno de los puntos utilizados para el cálculo, T_1 ó T_6 , será más grave. A título de regla práctica desconfiamos sistemáticamente de aquellos registros en que el pulso no sigue una frecuencia uniformemente ascendente durante el ejercicio.

En segundo lugar, las garantías que ofrece la fórmula que hemos aplicado no son, naturalmente, absolutas. Su punto débil estriba precisamente en que no se le da el mismo valor proporcional al segmento $T_0 - T_1$ que al $T_1 - T_6$. Esto se aprecia fácilmente en la tabla 2 donde se comparan al valor k, que corresponde al período $T_1 - T_6$, con el índice de esfuerzo definitivo. La correlación entre ambos no es completa y ello es precisamente una clara muestra de la influencia del factor $T_0 - T_1$. Es probable que, basándonos en una experiencia más amplia, deba corregirse de nuevo este último para acercarlo más a la realidad. A pesar de estas razones

creemos que la fórmula desarrollada se ajusta, dentro de unos límites satisfactorios, a la representación gráfica de la misma.

La última condición formulada es a nuestro criterio la más difícil de cumplir. Es indudable que las variaciones de la frecuencia cardíaca durante el esfuerzo guardan una relación con el rendimiento cardiocirculatorio pero, hasta qué punto esta dependencia es constante y significativa, es algo que desconocemos pero en ningún caso nos atreveríamos a afirmar. Esto, sin embargo, queda ya fuera de los límites de nuestro trabajo en el cual hemos considerado aisladamente este parámetro, pero teniendo siempre presente que, a la hora de juzgar el valor de un «índice de esfuerzo», éste únicamente mide las oscilaciones del pulso.

Las tres circunstancias que acabamos de discutir motivan que la interpretación aislada de un «índice de esfuerzo» deba ser siempre cautelosa. El clasificar un sujeto dentro del grupo superior o inferior a diez es muy significativo, pero pequeñas variaciones, de hasta una unidad, en principio no deben valorarse. Es absolutamente necesario en todos los casos comparar el índice de esfuerzo con otros parámetros determinados simultáneamente (presión arterial, número de respiraciones, etc.) y también con el pulso de recuperación. La consideración conjunta de todos estos datos incrementará notablemente su valor respectivo.

d) *Aplicaciones.*— Nuestra opinión es que el máximo interés del «índice de esfuerzo» estriba en su aplicación al campo de la estadística. En efecto, hasta el momento, caso de desear estudiar las condiciones de un gran número de deportistas a través de las pruebas cicloergométricas, se presentaba la gran dificultad de que los resultados de las mismas venían dados por una serie de curvas complejas fácilmente asequibles al análisis individual pero no colectivamente. La determinación del índice de esfuerzo ha venido a resolver este problema al sintetizar, en un solo número, el perfil de las mismas permitiendo su rápida clasificación.

Si las experiencias iniciadas en este sentido pudieran continuarse, determinando el «índice de esfuerzo» en grandes grupos de atletas, su significación individual se acrecentaría y posiblemente podría conseguirse otorgar una «calificación personal» del rendimiento cardiocirculatorio, de gran utilidad práctica.

Por último, deseamos consignar que con algunas transformaciones es factible aplicar el cálculo descrito a las variaciones de otros parámetros, tales como la presión arterial o la ventilación pulmonar, durante el esfuerzo, que,

de esta forma, podrían expresarse igualmente mediante índices sencillos. En una fase ulterior es posible lograr una «curva individual de preparación física» en la cual quede reflejada, a través de las variaciones de los índices respectivos evaluados periódicamente, la forma física del atleta en diferentes momentos de su vida deportiva.

RESUMEN

Se describe un nuevo método para valorar el rendimiento cardiocirculatorio del deportista por medio de la obtención de un «índice de esfuerzo» en la prueba cicloergométrica de esfuerzo máximo a los 6 minutos. Se comparan los resultados conseguidos aplicando dicha técnica a un grupo de 20 atletas del C. I. M. D. y por último se discuten su valor real, utilidad práctica y posibilidades ulteriores que ofrece, con particular referencia al cálculo estadístico.