

# Anàlisi de la curva de recuperació ràpida de la freqüència cardíaca

López, C., Casajús, J.A., Terreros, J.L. i Aragonés, M.T.  
Centro de Medicina del Deporte de la Diputación General de Aragón

## RESUM

Hem estudiat en 49 esportistes, homes, d'edats entre els 14 i 29 anys i practicants de diversos esports, la corba de disminució de la F.C. post-esforç màxim en un període de temps comprès entre el final d'un esforç màxim (F.C. corresponent al temps 0) i la FC als 5", 10", 15", 20", 25" i 30" següents, en el període de recuperació.

Per a l'anàlisi de la F.C. en l'esmentat període hem utilitzat una equació de regressió exponencial segons aquest model:

$$F.C. = a.e^{-b.t}$$

També hem mesurat una sèrie de variables ( $VO_2$  màx., lactat màx., velocitat màx. i F.C. màx.).

D'aquest estudi podem deduir que:

La corba experimental proposada defineix amb força fiabilitat la F.C. en el període de recuperació post-esforç.

L'exponencial mostra la ràpida disminució de la F.C. post-esforç, que, pot descendir més de 25 p.m. en 30".

La constant de recuperació (b) de la F.C. no té correlació significativa amb la resta de variables estudiades, al revés del que s'observa en altres estudis a més llarg termini de recuperació de la F.C. post-esforç.

Pel que fa als esportistes dedicats a esports de fons, i en els de més de 20 anys, observem pel nostre estudi un descens més ràpid de la F.C. post-esforç que en els practicants d'altres esports i en els menors de 20 anys.

Paraules clau:

F.C., Recuperació, Post-esforç.

## RESUMÉ

Nous avons étudié, chez 49 sportifs, hommes, âgés de 14 à 29 ans pratiquants différents sports, la pente de diminution de la F.C. après effort maximal, dans un délai

de temps compris entre la fin de l'effort maximal (F.C. correspondant au temps 0), et la F.C. à 5", 10", 15", 20", 25" et 30" secondes après, dans la période de récupération.

Nous avons utilisé, pour l'analyse de la F.C. dans cette période, une équation de regression exponentielle, selon le modèle suivant:

$$F.C. = a.e^{-b.t}$$

Aussi nous avons mesuré une série de paramètres ( $VO_2$  max., Lactate max. vitesse max. et F.C. max.).

De cet étude nous pouvons conclure le suivant:

La pente exponentielle suggérée définit d'une façon assez fiable la F.C. dans la récupération à court terme (immédiate).

L'exponentielle montre une très rapide diminution de la F.C. après l'effort, atteignant, dans la 30<sup>ème</sup> seconde 25 p.m. de moins qu'à la fin de l'effort.

La constante de récupération (b), de la F.C., n'a pas de corrélation significative avec les paramètres étudiés, contrairement à ce qui a été observé dans d'autres études à plus long durée, et chez les sportifs de plus de 20 ans, on observe une diminution plus rapide de la F.C. à court terme, après l'effort, en comparaison avec ceux qui pratiquent d'autres sports et avec ceux qui ont moins de 20 ans.

## RESUMEN

Hemos estudiado, en 49 deportistas, varones, en edades comprendidas entre 14 y 29 años, practicantes de diferentes deportes, la curva de disminución de la F.C. post-esfuerzo máximo, en un periodo de tiempo comprendido entre el final de un esfuerzo máximo (F.C. correspondiente al tiempo 0) y la F.C. a los 5", 10", 15", 20", 25" y 30" después, en el periodo de recuperación.

Nosotros hemos empleado, para el análisis de la F.C. en dicho periodo, una ecuación de regresión exponencial, según el modelo siguiente:

$$F.C. = a.e^{-b.t}$$

También hemos medido una serie de variables ( $VO_2$  máx., Lactato máx., Velocidad máx. y F.C. máx.).

De dicho estudio podemos concluir lo siguiente:

La curva exponencial propuesta define con bastante fiabilidad la F.C., en el período de recuperación post-esfuerzo.

La exponencial muestra la rápida disminución de la F.C. post-esfuerzo, pudiendo descender más de 25 p.m. en 30".

La constante de recuperación (b), de la F.C., no tiene correlación significativa con el resto de variables estudiadas, al contrario de lo observado en otros estudios a más largo plazo de recuperación de la F.C. post-esfuerzo.

En los deportistas pertenecientes a deportes de fondo y en los mayores de 20 años de edad, de nuestro estudio, se observa un descenso más rápido de la F.C. post-esfuerzo que en los practicantes de otros deportes y que en los menores de 20 años.

#### Palabras clave:

F.C., Recuperación, Post-esfuerzo.

## SUMMARY

We have studied the Heart Rate's regression curve after maximal exercise in 49 male athletes, aged 14 to 29 years old, practising different sports.

We have counted Heart Rate at the end of maximal exercise (corresponding to time 0") and after 5", 10", 15", 20", 25" and 30" during recovery.

For the Heart Rate analysis, we have used an exponential regression equation following the formula:

$$H.R. = a.e^{-bt}$$

We have also measured the maximal oxygen consumption (VO<sub>2</sub> max.), Lactate max. Speed max. and H.R. max.

From this study we may conclude that:

This exponential curve defines rather reliably the H.R. during the studied recovering period.

This exponential curve shows the fast decrease of H.R. after work, to 25 beats in 30 seconds.

There isn't any significant correlation between the Heart Rate's recuperation constant (b) and the other measurements studied in contrast with the results obtained by other authors studying longer periods of recovery.

It was noticed a faster decrease of the H.R. after work in long distance runners and athletes over 20 years old, than in athletes practising other sports or those younger than 20.

#### Key Words:

Heart Rate, Recovery, After work.

## Introducción

La F.C. aumenta bruscamente desde el inicio del ejercicio físico, después sigue aumentando, aunque de forma más lenta, hasta alcanzar un valor de equilibrio. El plazo de tiempo necesario para alcan-

zar este equilibrio<sup>1, 3, 9</sup>, al igual que la importancia de la aceleración del ritmo cardiaco depende de la potencia impuesta al individuo y de su nivel de entrenamiento.<sup>1, 3, 5, 6, 7, 9, 10</sup>

El nivel de equilibrio de la F.C. solamente es perfecto en los ejercicios de moderada intensidad y de corta duración (3'-4'). Durante el ejercicio submaximal prolongado, se observa generalmente un incremento ligero, pero regular, de la F.C.

Al parar el ejercicio, sobreviene un descenso brutal de la F.C., seguido de una evolución más lenta y progresiva hacia la F.C. de reposo. El plazo de recuperación de esta última dependerá igualmente de la potencia del ejercicio impuesto al individuo y del grado de entrenamiento.

La recuperación de la F.C. se produce en dos tiempos: en primer lugar se produce un descenso rápido, de aproximadamente un minuto de duración, que depende fundamentalmente de la recuperación del miocardio, a través del predominio del sistema parasimpático sobre el simpático y posteriormente se produce un segundo tiempo de recuperación más lenta de la F.C.

Según Karpovich y Sinning,<sup>5</sup> la recuperación de la F.C. después del ejercicio, sigue una curva de tipo exponencial y los sujetos entrenados vuelven antes a la F.C. basal que los no entrenados.

El análisis de la F.C. durante la recuperación de un trabajo físico, ha sido realizado por algunos autores, encontrándose resultados dispares. Así Margaria R. y Edwards,<sup>6</sup> observaron respuestas de tipo logarítmico, mientras que Lehman<sup>7</sup> encontró una curva de recuperación de la F.C. post-esfuerzo de tipo exponencial.

## Objetivos

Existen pocos trabajos dedicados al estudio de la recuperación de la F.C., en los primeros segundos posteriores a la finalización de un esfuerzo. Es por ello que nosotros queríamos establecer una curva de disminución de la F.C., que abarcara un período de tiempo comprendido entre el final de un esfuerzo máximo (F.C. correspondiente al tiempo 0) y la F.C. a los 5", 10", 15", 20", 25" y 30" después, en el período de recuperación.

Nosotros hemos empleado, para el análisis de la F.C., en dicho período de recuperación, una ecuación de regresión exponencial, empleada anteriormente por Lehman,<sup>7</sup> en 1960 y posteriormente por B. Desnus;<sup>4</sup> según el modelo:

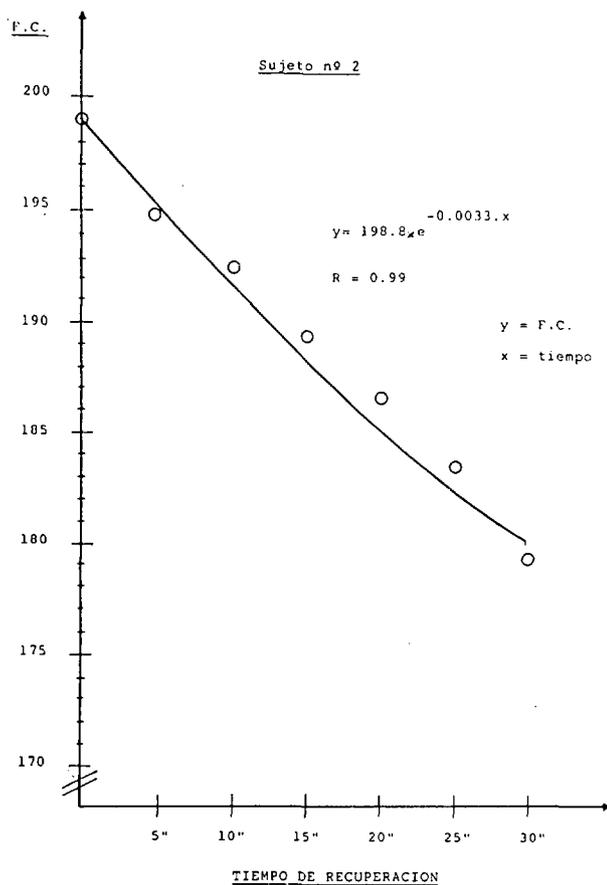
$$F.C. = a.e^{-bt}$$

a = F.C. al final del esfuerzo

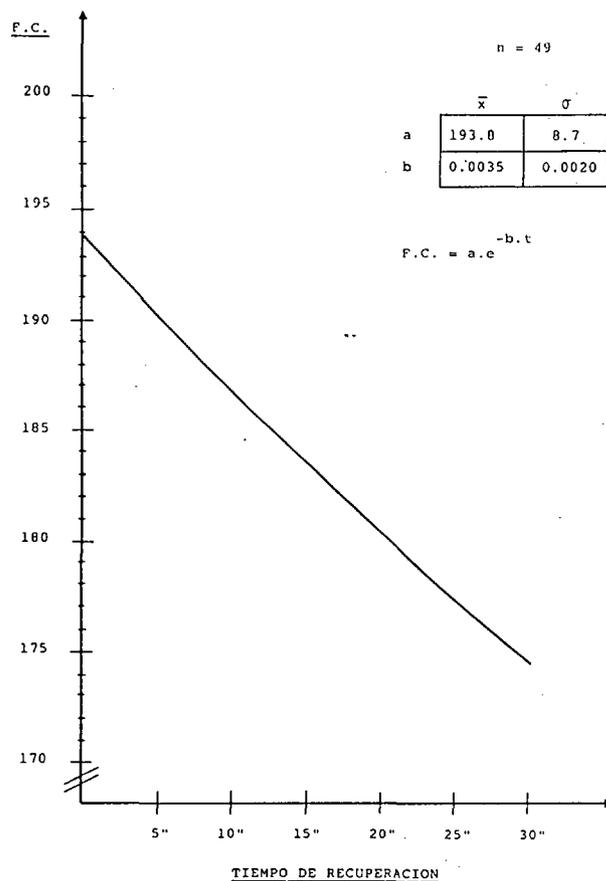
b = constante de recuperación

t = tiempo

Además, queríamos observar si existía alguna correlación entre la curva de recuperación de la F.C., por un lado y el VO<sub>2</sub> máx. lactato máximo, velocidad máxima y F.C. máxima, por otro lado.



**Figura 1.** Ejemplo del cálculo empleado para hallar la ecuación de la recuperación de la F.C. en un sujeto.



**Figura 2.** Curva de recuperación media de todos los deportistas de nuestro estudio (n=49).

Otros autores como B. Desnus y col.,<sup>4, 11</sup> han establecido una curva de recuperación de la F.C. a los tiempos 0 (F.C. al final del esfuerzo), y en los 30, 60, 90, 120, y 180 segundos posteriores. Por otra parte, estos mismos autores han encontrado una correlación significativa de dicha curva, con el  $VO_2$  máx., la edad y la lactatemia.

– ordenador (inves PC-640).

La metodología empleada para la realización de este trabajo ha consistido en someter a cada deportista a una prueba de esfuerzo máxima sobre la cinta rodante, de tipo triangular con cargas de trabajo de tres minutos de duración, existiendo un intervalo de 1 minuto de reposo, entre cada carga, para la toma de sangre del lóbulo de la oreja para

## Población, material y métodos

Hemos contado, para la realización de este estudio, con la colaboración de 40 deportistas, varones, en edades comprendidas entre 14 y 29 años practicantes de diferentes deportes. Las características físicas de los deportistas y la población de este estudio, separada por deportes, pueden observarse en los cuadros 1 y 2.

El material utilizado para la realización de este estudio, estaba compuesto de:

- cinta rodante (Jaegger LE/5)
- ergoespirómetro automático (Jaegger Ergo-oxy-screen)
- electro-cardiógrafo (Cardioline ETA-150)
- analizador de lactato (micrométodo enzimático, Kontron 840).

DEPORTE SUJETOS

CICLISMO	11
MEDIO-FONDO	11
FONDO	12
VELOCIDAD	6
HOCKEY HIELO	9

**Cuadro 1.** Distribución de la muestra por especialidades deportivas.

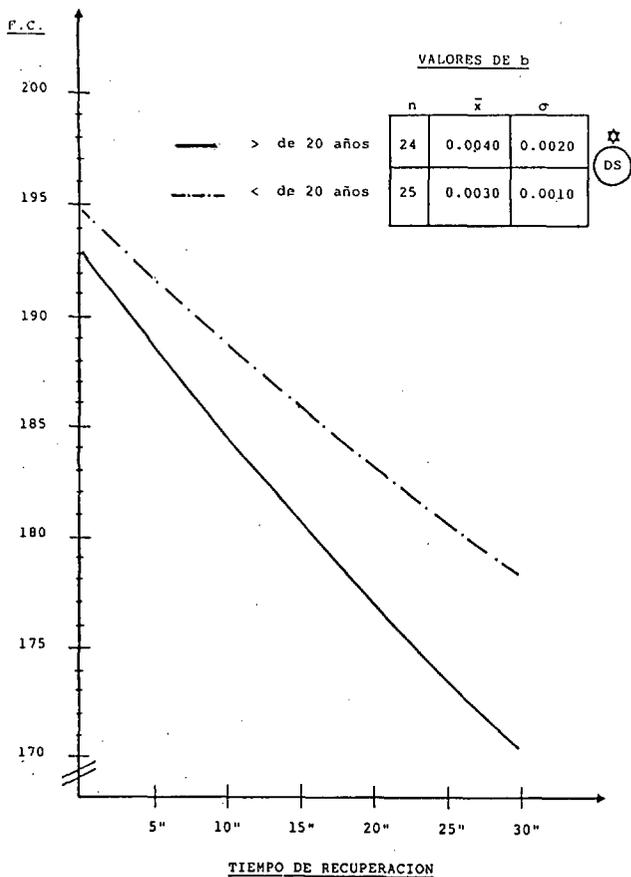


Figura 3. Comparación entre las curvas de recuperación de deportistas mayores y menores de 20 años.

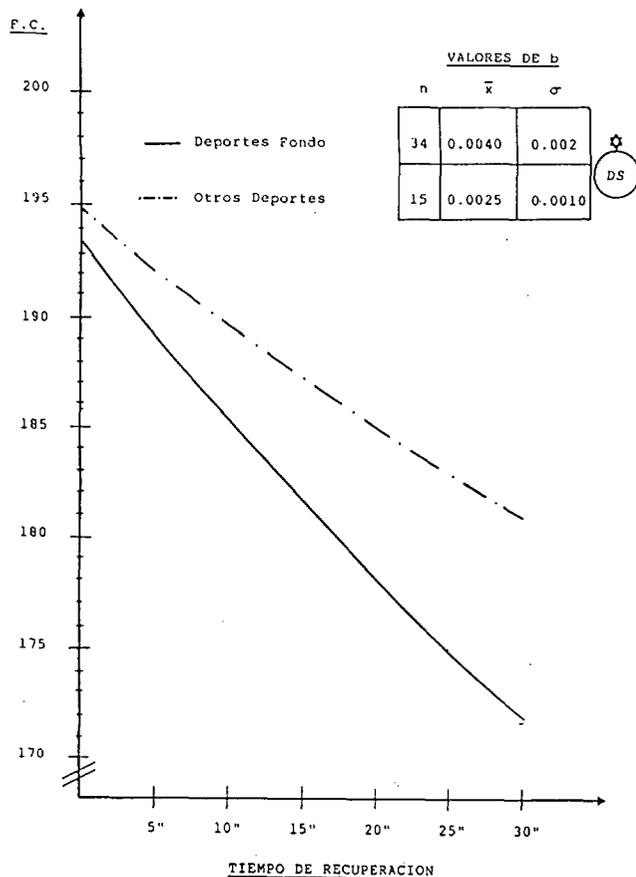


Figura 4. Comparación entre la curva de recuperación de los deportes de fondo y la curva de otros deportes.

el análisis del ac. láctico. Las cargas son de intensidad creciente aumentando la velocidad 2 Kms/h de una carga a la siguiente.

En la última carga, una vez ha sido alcanzada la F.C. máxima teórica, el  $VO_2$  máx., o cuando el suje-

to interrumpe la carrera por agotamiento e incapacidad física, procedemos a registrar en el Electrocardiógrafo, sobre papel milimetrado, la F.C. en un periodo de tiempo comprendido entre 5 segundos antes de que el deportista concluya los 3 minutos de la última carga de trabajo, y 30 segundos después, en el periodo de recuperación post-esfuerzo.

También hemos estudiado el  $VO_2$  máx. alcanzado por cada deportista, así como el lactato máximo y la F.C. máxima. Hemos estudiado la correlación existente entre cada uno de los parámetros mencionados y la curva de recuperación de la F.C.

Para cada individuo hemos realizado regresión exponencial entre la F.C. y el tiempo de recuperación a los 5", 10", 15", 20" 25" y 30" según el modelo expuesto:

$$F.C. = a \cdot e^{-bt}$$

Un ejemplo del cálculo obtenido sobre un individuo, se expone en la Figura 1.

Hemos estudiado la correlación lineal por el método de mínimos cuadrados, entre el factor b que define la constante de recuperación y las otras variables estudiadas.

Para la comparación entre grupos hemos usado el test de Student al umbral 0.05.

N = 49

	$\bar{x}$	$\sigma$
EDAD (años)	20.0	4.05
TALLA (cm.)	175.0	5.66
PESO (Kg.)	66.5	8.24
P.M.C. (Kg)	60.1	6.06
HORAS ENTRENAMIENTO SEMANALES	11.8	5.67
AÑOS DE ENTRENAMIENTO	6.5	2.69

Cuadro II. Características físicas de la muestra.

N = 49

	$\bar{X}$	$\sigma$
VO <sub>2</sub> max. (ml/Kg.min)	66.7	7.30
LACTATO max. (mMol/l)	8.6	2.05
F.C. max.	192	8.2
VELOCIDAD max. (Km/H)	18.6	2.05
a	193.8	8.72
b	0.0035	0.0019
R	0.93	0.094

**Cuadro III.** Valores máximos en esfuerzo y factores de la curva de recuperación.

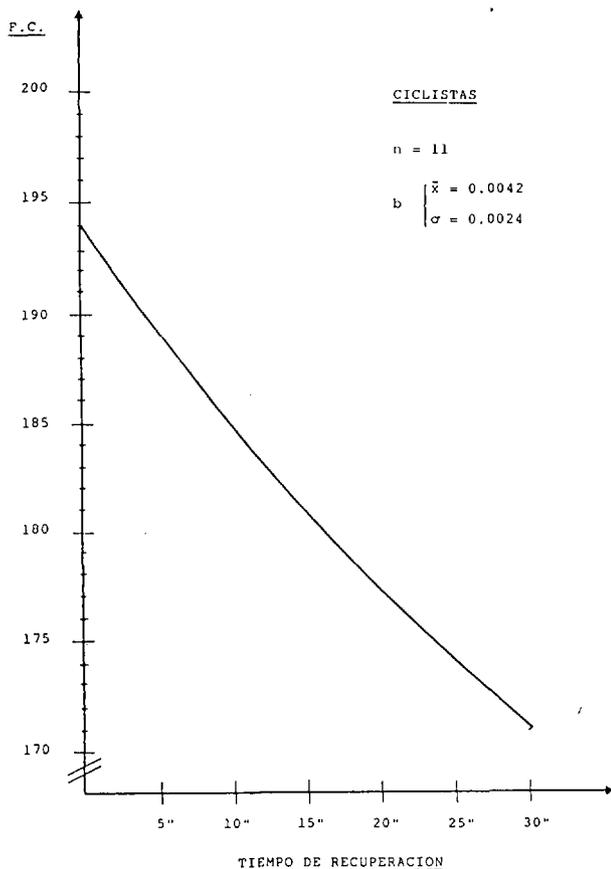
## Resultados

La media de los valores máximos en esfuerzo obtenidos en los 49 deportistas, así como los valores medios de a, b, y R, se muestran en el cuadro III, en donde observamos una VO<sub>2</sub> máx. de 66.7 ml. Kg. m., un lactato máx. de 8.6 mM.l., una F.C. máxima de 192 y la velocidad máxima de la cinta ha sido de 18.6 Km.h.

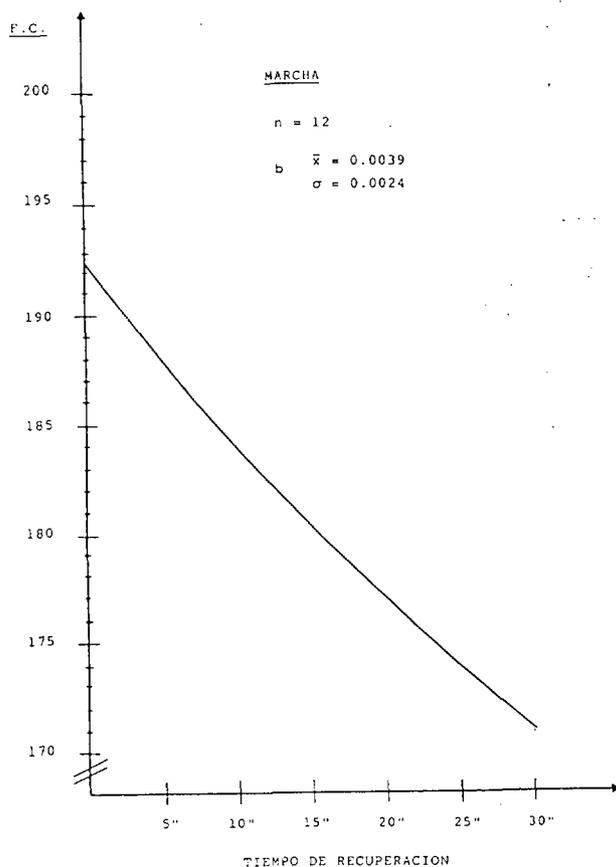
El coeficiente de correlación R medio ha sido de 0.93, lo que demuestra la existencia de una buena definición de la F.C. de recuperación, a corto plazo, mediante nuestra exponencial.

La curva de recuperación media de todos los deportistas de nuestro estudio, se muestra en la Figura 2.

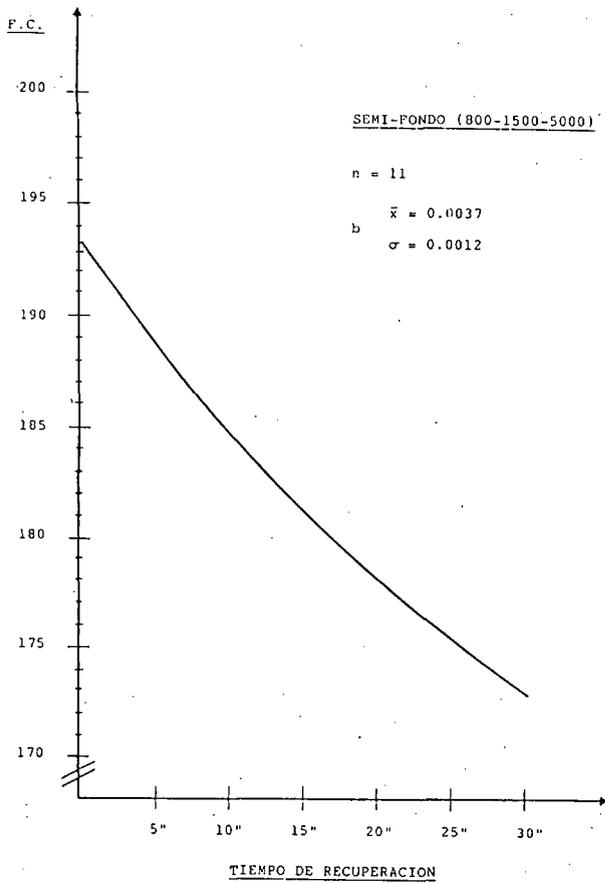
Nosotros no hemos encontrado ninguna correlación significativa entre la F.C. de recuperación inmediata post-esfuerzo maximal, por un lado y el VO<sub>2</sub> máx. lactato máximo y F.C. máxima, por otro lado, al contrario que otros autores. Quizás esto sea debido a que nosotros hemos recogido los valores de recuperación de la F.C. en un corto período de tiempo post-esfuerzo (30"), al contrario que los otros autores cuya curva de recuperación post-esfuerzo se ha prolongado hasta 3 ó 5 minutos.



**Figura 5.** Curva exponencial de los ciclistas durante el periodo de recuperación.

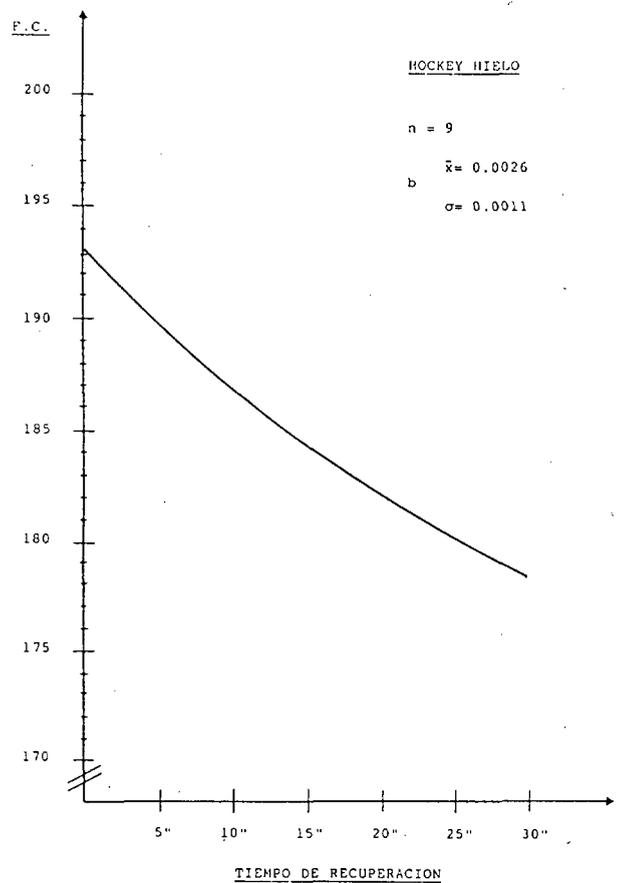


**Figura 6.** Curva exponencial de los marchadores durante el periodo de recuperación.



**Figura 7.** Curva exponencial de los semi-fondistas durante el período de recuperación.

Sin embargo, hemos encontrado diferencias significativas al agrupar a los deportistas por edades, haciendo dos grupos; en uno de estos agrupamos a los sujetos menores de 20 años y en el otro a los de 20 años o más. También hemos encontrado diferencias significativas al tomar los resultados de los individuos de deportes de fondo (ciclistas, fondo y marcha y semi-fondo) y compararlos con los obtenidos en otros deportes (hockey hielo, velocis-



**Figura 8.** Curva exponencial de los de hockey hielo durante el período de recuperación.

tas y saltadores). Así, en el cuadro IV observamos la comparación de los valores ergométricos máximos entre los dos grupos de edades. También entre los deportes de fondo y los otros deportes.

Por otra parte, los individuos que practican deportes de fondo, tienen un  $VO_2$  máx., y una lactatemia más elevados y una F.C. máx. menor que los sujetos practicantes de otros deportes.

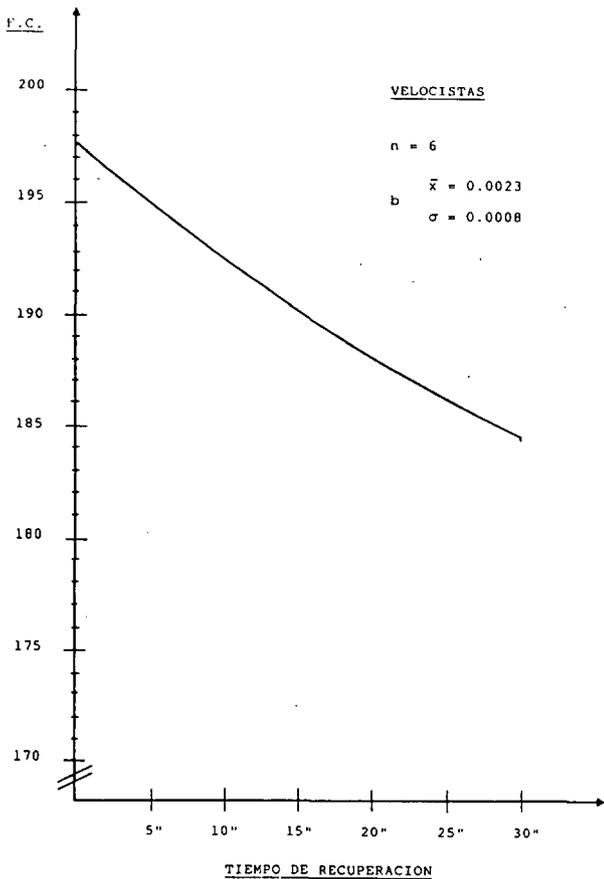
	VELOCIDAD MAXIMA Km/H		VO <sub>2</sub> max. ml/Kg.min		F.C. MAXIMA		LACTATEMIA MAXIMA	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
>20 AÑOS -	19.9	1.48	70.0	6.11	191	8.5	9.1	1.82
<20 AÑOS -	17.4	1.80	63.5	7.01	194	7.7	8.2	2.07
	DS		DS		ND		ND	
Fondo -	19.5	1.60	69.4	6.55	191	8.2	9.1	2.02
Otros -	16.6	1.41	60.6	4.84	195	9.1	7.7	1.55
	DS		DS		ND		DS	

>20 AÑOS N=24 ; <20 AÑOS N=25

FONDO N=34

OTROS= 15

**Cuadro IV.** Comparación de valores ergométricos máximos, por grupos de edades, y de tipo de deporte, al test T de Student al 0.05.



**Figura 9.** Curva exponencial de los velocistas durante el periodo de recuperación.

En el cuadro IV vemos que los deportistas de 20 años o más, han corrido sobre la cinta rodante a una velocidad más elevada que los deportistas menores de 20 años. Además tienen un  $VO_2$  máx. más elevado, una F.C. máxima más baja y una lactatemia máxima más elevada. Esto puede ser debido a que los sujetos de más de 20 años son con mayor frecuencia practicantes de los deportes considerados de fondo.

En la figura 3 y 4 podemos ver las diferencias existentes entre las curvas de recuperación de los dos grupos de edades, y las de los dos grupos de deportes.

Las figuras 5, 6, 7, 8, 9, nos muestran las curvas de recuperación de la F.C. de los diferentes deportes de nuestro estudio, en donde vemos que la inclinación de la curva es más acusada en los deportes de fondo (ciclismo, marcha, semifondo), que en los otros deportes (hockey, velocistas), aunque sólo hay diferencia significativa entre mediofondistas y velocistas.

## Conclusiones

- La curva exponencial propuesta define con bastante fiabilidad la F.C., en la recuperación a corto plazo (30").
- La exponencial muestra la rápida disminución de la F.C. tras el esfuerzo, pudiendo descender en 30" más de 25 p.m. Por lo tanto el tomar la F.C. en los entrenamientos por palpación de la arterial radial, o poniendo la mano sobre el corazón, o las carótidas, es un método poco fiable ya que no da una idea exacta de la F.C. del final del esfuerzo, puesto que habitualmente se suele tardar unos 10-15 segundos, al menos en tomarlas. Por lo tanto ese es un método solamente orientativo, teniendo en cuenta que si no se realiza la palpación en el mismo momento de acabar el esfuerzo, sobre 6 segundos, la F.C. ha podido descender bastante. Además la toma del pulso es una manera de medida de la F.C. bastante subjetiva, pudiendo variar bastante según quien sea el medidor de la misma, ya que el porcentaje de error al tomar la F.C. por palpación en tan corto periodo de tiempo (6"), es bastante elevado.
- La constante de recuperación (b), no tiene correlación con el resto de variables estudiadas, contrariamente a lo encontrado en estudios a más largo plazo de recuperación.
- Los deportistas pertenecientes a deportes de fondo y los de más edad, tienen una constante de recuperación significativamente mayor. Es decir, que recuperan antes o desciende más rápido la F.C. a corto plazo tras el esfuerzo.

1. ASTRAND, P.O.; ROADHL, K.: Physiologie de l'exercice musculaire. Masson. Paris, 1973.
2. BARBANY i CAIRO, J.R.: Fisiología del esfuerzo. Barcelona. Mayo, 1986.
3. CLAUSEN, J.P.: Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiol. Rev.* 57/4, 779. 1977.
4. DESNUS, B.; HANDSCHUH, R.; BEWCHOU, P.: La récupération immédiate de la fréquence cardiaque après effort maximale: analyse mathématique, apports. V Congrès National Scientifique de la S.M.F.S. Limoges 16-18. Mai, 1985  
*Med. D. Sport*, T. 60, pág. 37. 1986.
5. KARPOVICH, P.R.; SINNING, W.E.: Physiologie de l'activité musculaire. Vigot. Paris, 1975.
6. LAMB, R.D.: Fisiología del ejercicio. Respuestas y adaptaciones. 1985.
7. LEHMAN, G.: Fisiología práctica del trabajo. Aguilar. Madrid, 1960.
8. MARGARIA, R.; EDWARDS, H.T.; DELL, D.B.: The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debit and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am. J. Physiol.*, 106, 689. 1933.
9. MOREHOUSE, L.E.; MILLER, A.T.: Fisiología del ejercicio. Ateneo, Buenos Aires, 1974.
10. PLAS, F.: Guide de cardiologie du sport. Lab. Besins Iscovesco. Paris, 1976.
11. TEKAIA, F.; HANDSCHUNH, R.; DESNUS, B.: La récupération immédiate de la fréquence cardiaque après effort maximal. Resultat et discussion. V Congrès National Scientifique de la S.M.F.S. Limoges 16-18. Mai, 1985. *Med. d. Sport T 60*, pag. 37. 1986.