

## **RELACIÓN ENTRE FRECUENCIA CARDIACA Y LACTATO SANGUÍNEO DURANTE EL PERIODO DE RECUPERACIÓN DEL EJERCICIO AEROBIO-ANAEROBIO DE CORTA DURACIÓN**

Ponce, J; Pascual, F.; Álvarez, A.; Martín, J.; & Rodríguez, L.P.

Departamento de Medicina Física y de Rehabilitación. Hidrología Médica  
Universidad Complutense de Madrid

---

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se ha estudiado la relación entre frecuencia cardíaca y lactato en sangre durante el periodo de recuperación (0, 5, 10 Y 25 minutos) de una prueba de esfuerzo estandarizada aerobia-anaerobia en caballos de salto. La diferencia es significativa para la frecuencia cardíaca en todo el periodo de recuperación medido. Respecto al lactato, la diferencia es significativa a los 0 y 5 minutos. Existe una relación lineal positiva entre ambos parámetros después del ejercicio. No se ha encontrado ninguna relación con la categoría del sujeto ni con el tiempo de duración de la prueba.

**PALABRAS CLAVE:** Ejercicio aerobio-anaerobio; frecuencia cardíaca postejercicio; lactato sanguíneo postejercicio; relación frecuencia cardíaca lactato sanguíneo

### **ABSTRACT**

Standardized aerobic anaerobic exercise tests were performed in jumping horses to determinate the relationship between postexercise heart rate and blood lactate. Both parameters were measured at 0, 5, 10 y 25 minutes after the exercise. Our results show statistically significant changes in heart rate at every time of measure respect to the average rest values, whereas blood lactate levels are statistically different only at 0 and 5 minutes. There is a positive linear relationship between blood lactate and heart rate after the exercise but these parameters are not linked with the duration of the exercise or the subject athletic level.

**KEY WORDS:** Aerobic anaerobic exercise; heart rate postexercise; blood lactate postexercise; heart rate-blood lactate relationship

---

Durante las dos últimas décadas se han incrementado notablemente los conocimientos sobre fisiología y medicina deportivas, como consecuencia del gran auge experimentado tanto en el terreno de lo estrictamente deportivo como en el de la medicina en general. Las investigaciones realizadas han permitido evaluar las modificaciones funcionales (respuestas y/o adaptaciones) que el organismo pone en juego frente a la actividad muscular, en aras de mejorar la condición física y el entrenamiento de los atletas para lograr un rendimiento óptimo.

Los factores fundamentales a tener en consideración a la hora de programar y realizar el entrenamiento son: el conocimiento de la fisiología del ejercicio efectuado por el deportista y el perfil de su performance con el fin de valorar su respuesta y permitir la detección temprana de posibles anomalías (ART y cols., 1990; ASTRAND y RODAHL, 1992).

El deportista en general, y especialmente el de alto rendimiento, precisa de un seguimiento constante de su estado de salud y condición física. Aunque el rendimiento deportivo es multifactorial, el objetivo prioritario es la valoración del metabolismo energético del que depende en gran medida la realización de un esfuerzo (ESTRUCH y cols., 1989). La estimación directa del consumo de oxígeno es la prueba más fiable para la evaluación del grado de entrenamiento; sin embargo, este test requiere un material disponible únicamente en centros de investigación especializados. La respuesta de la frecuencia cardíaca y la determinación de lactato sanguíneo durante la realización de pruebas estandarizadas y repetidas en el tiempo son consideradas, en la actualidad, un test de campo adecuado para la valoración de la condición física y para apreciar la evolución del deportista en el transcurso del entrenamiento (ART y LEKEUX, 1990; ASTRAND y RODAHL, 1992; BURGER y STRAB, 1989; VALETTE y cols., 1989).

Como ESTRUCH y cols., (1989), opinamos que es necesario realizar la valoración funcional lo más ajustada a las situaciones en que habitualmente se encuentra el deportista, siendo el trabajo lo más específico posible por deportes y actividad; por otra parte, más vale un test sencillo repetido a intervalos adecuados que uno aislado por sofisticado que sea.

Teniendo en cuenta estas consideraciones preliminares, hemos realizado en el presente trabajo un estudio experimental en caballos de salto sobre la relación entre frecuencia cardíaca y lactato sanguíneo durante el periodo de recuperación, después de la realización de pruebas de esfuerzo estandarizadas.

Aunque son cuantiosos los trabajos publicados sobre fisiología del ejercicio en el caballo, llama la atención la carencia casi absoluta de bibliografía en el caso concreto del caballo de salto. GILL y cols., (1987) determinaron diferentes parámetros hematológicos durante un cierto periodo de tiempo, con el objeto de valorar el estado de entrenamiento. AUVINET y cols., (1989) y CERRETELLI y cols., (1989) postulan que el salto es un ejercicio anaeróbico aláctico, debido a la rapidez de la acción y a la intensidad del gesto. Para ART y cols., (1990) en el salto, aunque la velocidad es lenta

y la longitud y la duración de cada competición es corta, el ejercicio realizado es severo, contribuyendo decisivamente el metabolismo anaerobio en la producción de energía. Con objeto de definir el tipo de ejercicio y realizar una valoración funcional de los caballos, diseñamos dos pruebas de esfuerzo: una en pista y otra en círculo.

## METODOLOGÍA

Para nuestro estudio se utilizaron caballos de salto en entrenamiento, pertenecientes a la Unidad de Equitación y Remonta de las Fuerzas Armadas. En todos ellos comprobamos la ausencia de antecedentes cardiovasculares, respiratorios y de otras enfermedades sistémicas significativas, así como el no seguir tratamientos farmacológicos que pudieran interferir con las respuestas al ejercicio. Previamente fueron sometidos a una exploración cardiorrespiratoria y del aparato locomotor, seleccionándose un total de 11 animales. Su distribución con arreglo al sexo es: un macho, una hembra y nueve castrados, con una edad media de 8.18 años (entre 5 y 15). Las condiciones ambientales y la alimentación eran las mismas en todos los casos, y realizaban idéntico entrenamiento durante cinco días a la semana.

Cada caballo efectuó dos recorridos diferentes, de forma que al menos existieran dos días de intervalo entre ellos:

1. Prueba en pista: su diseño es similar a la efectuada por estos animales en competiciones oficiales, pero en la cuál la técnica interviniera lo menos posible. El recorrido tiene una longitud de 500 metros y presenta 9 saltos y 14 esfuerzos de un metro de altura (incluye un triple, un cuádruple y uno de fondo) dispuestos con técnica sencilla para evitar rehuses.
2. Prueba en círculo: con una longitud de 250 metros, consta de 6 saltos y 6 esfuerzos de un metro de altura, completando en este caso cada animal un recorrido de dos vueltas completas.

Antes de comenzar cada una de las pruebas realizaban un calentamiento durante 30 minutos en el que efectuaban siete esfuerzos de medio a un metro de altura.

Hay que hacer constar que todos los caballos incluidos en el estudio fueron montados siempre por el mismo jinete.

Se realizaron cinco determinaciones de la frecuencia cardíaca (l. p. m) y del lactato sanguíneo (mg/dl): la primera en reposo, antes de realizar cada prueba, y las cuatro restantes durante el periodo de recuperación a los 0, 5, 10 y 25 minutos de finalizarlas.

La frecuencia cardíaca se obtuvo por auscultación de la región precordial en el punto de máxima intensidad del latido apexiano (área mitral), contando el número de revoluciones cardíacas durante un minuto exacto.

Para la determinación de lactato sanguíneo se extrajeron 5 ml. de sangre por venoclisis de la yugular, en tubos al vacío con fluoruro/EDTA para la obtención de

plasma, midiéndose por espectrofotolorimetría mediante la utilización de un test enzimático comercial (Monotest Lactato n° 149993. Boehringer-Mannheim).

Se han comparado los valores de la frecuencia cardíaca y del lactato sanguíneo en reposo con los obtenidos de estas mismas variables en los diferentes tiempos de la recuperación, mediante un test de t de Student para muestras apareadas. Para analizar la presencia o no de relación entre las diferentes variables (frecuencia cardíaca, lactato sanguíneo y tiempo de duración de la prueba) hemos calculado el coeficiente de correlación, el coeficiente de determinación y las rectas de regresión.

## RESULTADOS

En la tabla I se encuentran reflejadas las medias de las diferencias SD de la frecuencia cardíaca y de los niveles de lactato sanguíneo en los diferentes tiempos de la recuperación con respecto al reposo.

Tabla I.- Diferencia media y SD de la frecuencia cardíaca (FC) y lactato sanguíneo (LS) en los diferentes momentos postejercicio con respecto al reposo.

Tiempo Postejercicio	PRUEBA EN PISTA		PRUEBA EN CÍRCULO	
	FC (lpm)	LS (mg/dl)	FC (lpm)	LS (mg/dl)
0 minutos	68.00±10.2	18.80±11.0	58.36±9.29	21.29±10.3
5 minutos	37.09±8.36	9.97±9.35	34.91±6.77	8.70±5.09
10 minutos	18.00±5.72	4.12±4.61	18.36±5.92	1.78±1.70
25 minutos	9.09±2.58	1.60±2.68	9.45±7.32	0.36±1.22

Del estudio comparativo de la frecuencia cardíaca y el lactato sanguíneo en reposo y durante el periodo de observación de la recuperación, mediante el test de la t de Student, hemos obtenido los siguientes resultados (Tabla II):

Tabla II. Test de la t de Student: comparación entre la frecuencia cardíaca (FC) y niveles de lactato sanguíneo (LS) en los diferentes momentos postejercicio y las mismas variables en reposo (nivel de probabilidad).

Tiempo Postejercicio	PRUEBA EN PISTA		PRUEBA EN CÍRCULO	
	FC (l.p.m.)	LS (mg/dl)	FC (l.p.m.)	LS (mg/dl)
0 minutos	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
5 minutos	<0.001	0.005	<0.001	<0.001
10 minutos	<0.001	0.014	<0.001	0.006
25 minutos	<0.001	0.075	0.002	0.353

\* Para la frecuencia cardíaca la diferencia es significativa respecto al reposo durante todo el periodo de recuperación, tanto en la prueba en pista como en círculo.

\* En el caso del lactato sanguíneo la diferencia es significativa respecto al reposo a los 0 y 5 minutos de la recuperación en la prueba en círculo, y a los 0, 5 y 10 minutos en la prueba en pista.

La tabla III muestra la relación entre la media de los incrementos de la frecuencia cardíaca y de lactato sanguíneo durante el periodo de recuperación, tanto en la prueba en pista como en la prueba en círculo. Asimismo se muestra dicha relación en ambas pruebas, después de dividir a los caballos en tres grupos diferentes con arreglo a los índices de aumento de lactato sanguíneo (% respecto a los niveles de reposo) inmediatamente después de finalizado el ejercicio: grupo 1, integrado por animales en los que el lactato sanguíneo aumenta hasta tres veces (nivel bajo); grupo 2, en el que se incluyen los caballos en los que aumenta de tres a seis veces (nivel medio); grupo 3, formado por caballos en los que aumentan de seis a nueve veces (nivel alto).

Tabla III.- Coeficiente de correlación (R), coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) y recta de regresión (y = frecuencia cardíaca postesfuerzo; x = lactato sanguíneo postesfuerzo) de los incrementos de las variables determinadas después del ejercicio con respecto a la situación de reposo. Nivel de significación p<0.001. T = todos los caballos. 1 = caballos con niveles de lactato sanguíneo más bajo inmediatamente después del esfuerzo. 2 = caballos con niveles de lactato sanguíneo intermedios. 3 = caballos con niveles de lactato sanguíneo más elevados.

TIPO DE PRUEBA	R	R <sup>2</sup>	RECTA DE REGRESIÓN
CIRCULO (T)	0.85	0.73	y = 16.60 + 1.70 x
PISTA (T)	0.68	0.73	y = 18.91 + 1.64 x
CIRCULO (1)	0.71	0.51	y = 16.16 + 4.43 x
CIRCULO (2)	0.94	0.88	y = 14.00 + 1.95 x
CIRCULO (3)	0.95	0.90	y = 11.69 + 1.67 x
PISTA (1)	0.93	0.88	y = 18.06 + 5.70 x
PISTA (2)	0.86	0.74	y = 9.84 + 2.84 x
PISTA (3)	0.84	0.70	y = 6.04 + 1.53 x

En la tabla IV se muestra la relación entre la media de los incrementos de la frecuencia cardíaca y el lactato sanguíneo en los distintos momentos de la recuperación.

Tabla IV.- Coeficientes de correlación de las diferencias de los parámetros postejercicio con respecto a la situación de reposo. Nivel de significación  $p < 0.005$ . F = incremento de la frecuencia cardíaca con respecto a la situación de reposo. L = incremento de lactato sanguíneo. 0', 5', 10' y 25' = tiempo postejercicio en minutos.

PRUEBA EN PISTA			PRUEBA EN CÍRCULO		
Y	X	R	Y	X	R
			F0'		
				L0'	0.77
F5'					
	L5'	0.72			
			F10'		
				F25'	0.93
				L25'	0.63
			F25'		
				F0'	0.62
				F10'	-0.68
L0'			L0'		
	L5'	0.84		L5'	0.86
	L10'	0.71			
	L25'	0.65			
L5'			L5'		
	L10'	0.83		L10'	0.80
	L25'	0.76			
L10'			L10'		
	L25'	0.95		L25'	0.71

No se ha encontrado ninguna relación entre los parámetros medidos y el tiempo de duración del ejercicio, la edad o la categoría de los animales.

Tanto en la prueba en pista como en la de en círculo hemos estudiado la posible existencia de otro tipo de relación entre la frecuencia cardíaca y el lactato sanguíneo después del esfuerzo, siendo los resultados los siguientes:

\* Cuando consideramos todos los animales en conjunto, la disminución de la frecuencia cardíaca y del lactato sanguíneo puede ajustarse a una curva de tipo exponencial y recíproca en el caso de la prueba en pista y a una hipérbola en el caso de la prueba en círculo, pero en todos los casos R es inferior al obtenido en una relación lineal.

\* En los animales que pertenecen al grupo 3, la disminución de la frecuencia cardíaca y del lactato sanguíneo se ajusta mejor a curvas de tipo exponencial ( $R = 0.86$ ), logarítmica ( $R = 0.87$ ), potencial ( $R = 0.93$ ) o racional ( $R = 0.91$ ) que a la relación lineal ( $R = 0.84$ ) en la prueba en pista, mientras que en la prueba en círculo puede ajustarse a una curva de tipo exponencial aunque el coeficiente R es inferior al obtenido en la relación lineal.

## DISCUSIÓN

Con el fin de determinar el máximo de lactato sanguíneo se tomaron muestras a ciertos intervalos durante los primeros 10 minutos (0, 5 y 10) del periodo de recuperación (ASTRAND y RODAHL, 1992).

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que, para el conjunto de los individuos, la media de la frecuencia cardíaca en el momento de finalizar el ejercicio fue más elevada en la prueba en pista, mientras que la correspondiente al lactato sanguíneo era muy parecida en ambas pruebas, algo más elevada en círculo (Tabla I).

A los 25 minutos del periodo de recuperación, la frecuencia cardíaca media es significativamente diferente a la de reposo; por el contrario, los niveles de lactato sanguíneo no presentan diferencias significativas (Tabla II).

Los niveles de lactato sanguíneo durante la recuperación se encontraron, prácticamente en todos los casos, por debajo de 36.08 mg/dl en ambas pruebas. Sólomente en un caballo se encontraron niveles superiores, posiblemente como consecuencia de presentar un peso excesivo (SNOW, 1987). La baja concentración de lactato sanguíneo indica que la glicolisis anaerobia no fue el proveedor más importante de energía (ASTRAND y RODAHL, 1992).

El caballo, comparado con el hombre, está caracterizado por un mayor potencial aerobio junto con un menor consumo de energía por unidad de distancia; tiene gran capacidad de transporte de oxígeno y una eficiente extracción de oxígeno por los músculos en actividad (CERRETELLI y cols., 1989).

Cuando una persona trabaja durante cortos periodos de tiempo a un nivel de producción energética sumamente elevado, no existe un aumento continuo en la



concentración de lactato sanguíneo (ASTRAND y RODAHL, 1992). Durante el salto, el caballo se desplaza normalmente a galope medio, con una explosión de potencia en cada despegue. Por otra parte, si el margen entre la potencia motriz aerobia máxima de los caballos y el coste del ejercicio a efectuar es amplio, disminuye el riesgo de aparición de "puntas" anaeróbicas durante el transcurso de la prueba (BARBANY, 1989).

Los factores que determinan el tipo de carburante metabólico que el músculo va a utilizar son la intensidad y duración del ejercicio, factores nutricionales y el estado de entrenamiento (PUJOL, 1989). Además, la producción de ATP por el mecanismo aerobio está influenciada también por el hecho de haber existido o no un precalentamiento previo, ya que la aceleración del metabolismo aerobio es un proceso relativamente lento (JONES, 1989). En el caballo, el sistema respiratorio responde inmediatamente a las demandas de los grandes aumentos de la respiración tisular cuando el caballo galopa, mientras que la función cardiovascular responde más lentamente (LITTLEJOHN y cols., 1983).

ART y cols. (1990) obtuvieron niveles de lactato sanguíneo superiores después del ejercicio. Dicho estudio fue realizado durante las competiciones oficiales siendo la longitud de la prueba de 460 a 500 metros, con saltos de una altura de 1.30 y 1.40 metros. Las velocidades alcanzadas fueron muy similares a las desarrolladas por los animales de nuestro estudio, por lo que la diferencia fundamental fue la altura de los saltos (superior en el estudio de ART y cols.), si bien pueden influir otros factores tales como la alimentación, el nivel de entrenamiento, el precalentamiento y las condiciones ambientales. Pensamos, que la prueba realizada era de mayor intensidad (mayor altura) por lo que, según WILSON y cols. (1983), los niveles de lactato sanguíneo aumentan exponencialmente con el incremento de la carga de trabajo.

Existe una relación lineal positiva entre la frecuencia cardíaca y los niveles de lactato sanguíneo después del ejercicio (Tabla III). En el conjunto de los individuos la relación entre estas variables es mayor en la prueba en círculo ( $R = 0.85$ ) que en la prueba en pista ( $R = 0.68$ ); esto es debido a que hay menos dispersión de datos en los niveles de lactato sanguíneo en la prueba en círculo. Cuando estudiamos esta relación lineal en cada uno de los tres grupos establecidos los resultados mejoran en general.

En los caballos pertenecientes al grupo 1 los coeficientes de correlación y de determinación son altos en la prueba en pista (0.93 y 0.51 respectivamente). En los caballos de los grupos 2 y 3, tanto el coeficiente de correlación como el de determinación son más elevados en la prueba en círculo.

Al igual que ART y cols. (1990), no hemos obtenido ninguna relación entre la frecuencia cardíaca y el lactato sanguíneo con la categoría del animal ni con el tiempo invertido en realizar las pruebas.

Es importante la relación lineal existente a los 5 minutos en la prueba en pista ( $R = 0.72$ ) y a los 0 minutos en la prueba en círculo ( $R = 0.77$ ). Esta diferencia entre

estos coeficientes de correlación y los totales es explicada por la restricción de la variabilidad en ambas variables.

Tanto en la prueba en círculo como en la de pista el trabajo realizado es similar y específico de la actividad desarrollada por estos animales. La prueba en círculo es más sencilla de instalar, requiere menos espacio y tiene la ventaja de poder establecer niveles de trabajo; además, presenta en general unos coeficientes de correlación y determinación más elevados. En ambas pruebas la clasificación de los caballos según los niveles de incremento de lactato sanguíneo (grupos 1, 2 y 3) fue muy semejante.

#### REFERENCIAS

- ART T y LEKEUX P (1990). La médecine sportive: une partie integrante de la médecine vétérinaire. *Ann Med Vet*, 134: 13-23.
- ART T, DESMECHT D, AMORY H, DELOGNE O, BUCHET M, LEROY P y LEKEUX P (1990). A field study of post-exercise values of blood biochemical constituents in jumping horses: relationship with score, individual and event. *J Vet Med A*, 37:231-239.
- ASTRAND P-O y RODAHL K (1992). *Fisiología del trabajo físico: Bases fisiológicas del ejercicio*. 3ª ed. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana.
- AUVINET B, GALLOUX P, LEPAGE O, MICHAUX JM, ANSALONI A y GOUPIL X (1989). *Adaptation a l'effort du cheval de concours complet d'équitation (évolution de la fréquence et de la lactatémie en compétition)*. VII Congrès des Pays Francophones: 408-431.
- BARBANY JR (1989). Adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento físico. *Jano*, 3: 11-17.
- BURGER D y STRAB N (1989). *Contrôle de l'entraînement par le test de Canconi. Le cheval sur le tapis roulant*. VII Congrès des Pays Francophones: 273-297.
- CERRETELLI P, CORTILI G y SAIBENE F (1989). *Energy sources for exercise in trained animals: a comparative approach*. VII Congrès des Pays Francophones:273-297.
- ESTRUCH A, RODAS G y VENTURA JL (1989). Valoración funcional del deportista en el laboratorio. *Jano*, 3: 27-32.

GILL J, JABLONSKA EM, ZIOLKSWKA SM y SZYKULA R (1987). Influence of differential training on some haematological and metabolic indices in sport horses before and after exercise trials. *J Vet Med A*, 34: 609-616.

JONES WE (1983). *Equine sports medicine*. Philadelphia. Lea and Febiger.

LITTLEJOHN A, BOWLES F y ASCHENBORN G (1983). Cardiorespiratory adaptations to exercise in riding horses with chronic lung disease. En Snow DH (ed.): *Equine Exercise Physiology*. Cambridge, Burlington Press.

PUJOL P (1989). Nutrición en el deporte. *Jano*, 3:63-66.

SNOW DH (1987). Assessment of fitness in the horse. *In Practice*: 26-30.

VALETTE JP, BARREY E y WOLTER R (1989). *Critères expérimentaux d'appréciation de l'aptitude sportive du cheval*. VII Congrès des Pays Francophones: 340-349.

WILSON RG, ISLER RB y THORNTON JR (1983). Heart rate, lactic acid production and speed during a standardized exercise test in standardbred horses. En Snow DH (ed.): *Equine Exercise Physiology*. Cambridge, Burlington Press.