

ESTIMACIÓN DEL ESTADO DE FORMA FÍSICA EN CABALLOS DE DEPORTE MEDIANTE ÍNDICES DE FUNCIONALIDAD

Estimation of Physical Fitness in Sport Horses by a Scoring System with Functional Indexes

Ana Muñoz Juzado, Milagros Benito Hernández, Raquel Gómez Lucas, Sabina Rovira Cardete y Katuska Satué Ambrojo

Departamento de Medicina y Cirugía Animal. Universidad Cardenal Herrera- CEU. Edif. Seminario CEU s/n. 46113 Moncada, Valencia, España. Tfo: + 34 96 136 90 00; Fax: + 34 96 139 52 72. E-mail: amjuzado@uch.ceu.es

RESUMEN

El objetivo de este trabajo ha sido describir un sistema de puntuación objetivo, a partir de índices de funcionalidad cardiovascular y metabólica, que permita la discriminación entre caballos según su potencial atlético. Se han estudiado 45 caballos adultos, Pura Raza Española (PRE), machos. Tras un calentamiento al trote (4 m/s), los animales realizaron un test de ejercicio, a velocidades de 5, 6, 7 y 8 m/s, cubriendo 1.000 m en cada carga de esfuerzo. Se monitoreó la frecuencia cardiaca (FC) y se extrajeron muestras de sangre venosa en reposo, tras el calentamiento, después de cada fase del test y a los 2, 4, 6, 8, 10, 15 y 30 minutos de una recuperación activa. En sangre entera, se determinó la concentración de hemoglobina (HB) y el valor hematocrito (HTO). En plasma, se midieron los niveles de lactato (LA). Los índices de funcionalidad oxidativos han sido: HBo' y HTOo' (HB y HTO a 8 m/s), V150 y VLA2 (velocidad a 150 lpm y 2 mmol/L de LA respectivamente), FCLA2 (FC a 2 mmol/L de LA) y LA150 (LA a 150 lpm). Como índices glicolíticos-mixtos, se han considerado: FCmáx (FC máxima), FCo' (FC a 8 m/s), LAmáx (LA máximo), V200 y VLA4 (velocidades a 200 lpm y 4 mmol/L de LA), FCLA4 (FC a 4 mmol/L de LA) y LA200 (LA a 200 lpm). Los índices que mejor han discriminado a los caballos PRE según su nivel de forma física han sido VLA2, LA150 y HTOo' (oxidativos) y FCo', VLA4 y V200 (glicolíticos-mixtos). VLA2, VLA4 y V200 estuvieron correlacionados positivamente con el potencial físico y FCo', HTOo' y LA150, de modo negativo.

Palabras clave: Caballos, ejercicio, lactato, rendimiento.

ABSTRACT

This research aims to describe an objective method, using indexes of cardiovascular and metabolic functions, to score horses according to their fitness level. A total of 45 adult male Andalusian horses was studied. They performed a field exercise test, preceded by a warming-up period at a trot (4 m/s) for 1,000 m. The exercise test was composed of 4 workloads at 5, 6, 7, and 8 m/s, covering 1.000 m in each speed. Heart rate (HR) was monitored throughout the test and venous blood samples were withdrawn at rest, after warming-up, after each workload and at 2, 4, 6, 8, 10, 15, and 30 minutes of an active recuperation. Haemoglobin concentration (HB) and packed cell volume (PCV) were determined in blood, and lactate concentrations (LA) were measured in plasma. The markers of aerobic potential have been: HBo' and PCVo' (HB and PCV at 8 m/s), V150 and VLA2 (velocities at 150 bpm and 2 mmol/L of LA, respectively), HRLA2 (HR at 2 mmol/L of LA) and LA150 (LA at 150 bpm). The markers of glycolytic-mixed potential have been: HRmax (maximum HR), HRo' (HR at 8 m/s), LAmáx (maximum LA), LAo' (LA at 8 m/s), V200 and VLA4 (velocities at 200 bpm and 4 mmol/L of LA), HRLA4 (HR at 4 mmol/L of LA) and LA200 (LA at 200 bpm). The best indexes to segregate horses according to fitness have been: VLA2, LA150 and PCVo' (oxidative potential) and HRo', VLA4 and V200 (glycolytic-mixed potential). VLA2, VLA4 and V200 were positively correlated and HRo', PCVo' and LA150, negatively correlated to physical fitness.

Key words: Horses, exercise, lactate, performance.

INTRODUCCIÓN

El estado de forma física es el potencial deportivo que un atleta puede desarrollar en un momento concreto y es uno de los determinantes principales del rendimiento en una competición. Este concepto hace referencia al grado de funcionalidad de los diversos sistemas corporales implicados en un esfuerzo físico. No obstante, además de los factores intrínsecos al animal, nunca se debe obviar el análisis de los factores extrínsecos, como el estado nutricional, las características ambientales bajo las cuales se desarrolla el ejercicio, la estrategia de competición o la experiencia del jinete [13, 14, 23].

El caballo es una especie caracterizada por un elevado potencial oxidativo, al mismo tiempo que presenta una capacidad glicolítica importante, confirmadas por el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$) y por la respuesta anaerobia al ejercicio, esta última valorada a partir de la acumulación de ácido láctico en el torrente sanguíneo [3, 4]. La importancia relativa de los procesos oxidativos y glicolíticos viene definida por la funcionalidad de los sistemas respiratorio, cardiovascular y muscular, los cuales garantizan el aporte correcto de oxígeno y sustratos metabólicos al músculo en contracción y la posterior retirada de metabolitos de desecho [21].

El consumo máximo de oxígeno o $VO_{2\text{máx}}$ es la capacidad sistémica para la extracción y utilización del oxígeno del medio ambiente, siendo el principal marcador del potencial oxidativo [27]. A nivel cardiovascular, se distingue entre las capacidades funcional y dimensional. La primera de ellas viene definida por la frecuencia cardíaca, que representa el grado de limitación en el aporte de oxígeno a los tejidos metabólicamente activos durante el ejercicio y por tanto, la intensidad de las demandas periféricas. La capacidad dimensional cardiovascular refleja la movilización hemática esplénica, el equilibrio hídrico, los cambios compartimentales de fluidos y las pérdidas hídricas ligadas a los mecanismos de termorregulación. De forma relativa, esta capacidad dimensional se evalúa a partir del número de eritrocitos circulantes, de la concentración de hemoglobina y del valor hematocrito [24].

La funcionalidad muscular está supeditada a la tipología fibrilar, al patrón de depleción glicogénica y al perfil enzimático. Se diferencian tres tipos principales de fibras en el músculo equino, con diferentes propiedades metabólicas y contráctiles. Así, las fibras tipo I presentan una velocidad de contracción lenta y un metabolismo predominantemente aerobio, las fibras tipo IIB son de contracción rápida y metabolismo glucolítico y las fibras tipo IIA muestran características intermedias entre las I y las IIB [7,15,26]. El patrón de depleción glicogénica es una determinación indirecta del grado y secuencia de la intervención fibrilar a lo largo de un esfuerzo físico. El perfil enzimático refleja las vías metabólicas más desarrolladas en el músculo, que varían en función de la tipología fibrilar. Las enzimas citrato sintetasa (CS) y 3-OH-acil coenzima A deshidrogenasa (HAD) son índices del potencial oxidativo, mientras

que la glucógeno fosforilasa (PHOS) y la lactato deshidrogenasa (LDH) son marcadores glicolíticos [7,15]. Todos estos factores condicionan la magnitud de producción de ácido láctico durante el ejercicio, si bien esta se ve limitada por la duración del esfuerzo y la actuación progresiva de las vías oxidativas [6].

La valoración objetiva del nivel de forma física de un caballo de deporte posee importantes aplicaciones prácticas para el clínico de équidos, tales como la detección de los animales físicamente más aptos en un momento concreto de la temporada hípica, la programación y seguimiento del entrenamiento y el diagnóstico precoz de patologías limitantes del rendimiento físico [13, 14]. Por ello, esta investigación muestra un sistema objetivo de puntuación del nivel de forma física en caballos Pura Raza Española, a partir del análisis de índices de funcionalidad cardiovascular y muscular. Se trata de un método de campo, relativamente fácil, que define el sistema metabólico menos desarrollado en un individuo en concreto, el cual deberá ser potenciado mediante una correcta programación del entrenamiento. Asimismo, permitirá la detección rápida de descensos individuales en la funcionalidad deportiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales

Se ha estudiado un total de 45 caballos Pura Raza Española (PRE), de sexo macho, con edades comprendidas entre los 4 y los 10 años ($5,4 \pm 2,7$). Todos ellos se encontraban en entrenamiento activo para paseo y doma.

Antes de la realización de los tests de ejercicio, se procedió a una exploración clínica, centrada fundamentalmente en los sistemas respiratorio, cardiovascular y músculo-esquelético. Asimismo, se llevó a cabo un examen hematológico y bioquímico plasmático rutinario. Los caballos con anomalías a la auscultación respiratoria o cardíaca, los afectados por patologías músculo-esqueléticas, con alteraciones en el eritrograma o leucograma y los no entrenados los días previos a la investigación, fueron eliminados del estudio.

Tests de ejercicio (TE)

El TE fue precedido por una fase de calentamiento al trote, a una velocidad de 4 m/s, sobre una distancia de 1.000 m. Tras dos minutos de recuperación, se inició el TE, que estuvo compuesto por cuatro cargas de esfuerzo, de intensidad creciente, a velocidades de 5, 6, 7 y 8 m/s, cubriendo una distancia de 1.000 m en cada una de ellas y separadas por 2 minutos de reposo. A continuación, los animales realizaron una fase de recuperación activa, con una duración de 15 minutos, al paso, con una velocidad media de 2,5 m/s. Este TE ha sido utilizado durante años para valorar la adaptación al entrenamiento en caballos Pura Raza Española. Su intensidad es suficiente para generar una respuesta glicolítica al ejercicio superior a 20 mmol/L [17, 19, 20]. Los dos minutos de reposo entre

cada fase de esfuerzo permitieron la obtención de muestras, así como una ligera recuperación de los animales para la siguiente carga de ejercicio.

Todos los tests fueron realizados por los jinetes encargados del entrenamiento de los animales, sobre una pista semi-elíptica, de 1.000 m de diámetro. El procedimiento seguido para el control de velocidad ha sido descrito con anterioridad [17-19, 21] y un análisis de varianza no encontró diferencias significativas entre las velocidades reales ($3,98 \pm 0,2$, $4,97 \pm 0,6$, $5,99 \pm 0,3$, $7,03 \pm 0,5$ y $8,03 \pm 0,4$ m/s) y las teóricas (4, 5, 6, 7 y 8 m/s). Los Test se efectuaron por la mañana, entre las 8,00 y las 14,00 h. Se anotaron las condiciones climatológicas, sobre todo la humedad relativa y la temperatura ambiental. Para cuantificar su efecto sobre la respuesta al ejercicio, se calculó el "índice de confort", establecido por la F.E.I. (Federación Ecuéstrea Internacional), a partir de la suma de los dos factores anteriores. En ningún caso alcanzó el valor de 150, por lo que la climatología no supuso un factor estresante adicional para los animales.

Monitorización de la frecuencia cardiaca

La frecuencia cardiaca fue registrada a lo largo del TE mediante un pulsómetro (*Heart Rate Polar Sport Tester*). En el laboratorio se obtuvo la frecuencia cardiaca máxima (FC_{máx}) y la media en cada uno de los niveles de esfuerzo. Esta última se calculó tras la estabilización de FC, es decir, tras eliminar los valores iniciales de este parámetro, aumentados por la esplencontracción, el inicio del ejercicio, la liberación de catecolaminas y la aceleración (*overshooting*) [23].

Obtención de sangre venosa

Se procedió a la extracción de sangre de la vena yugular externa en reposo, antes del TE, dentro de los 30 segundos iniciales tras la fase de calentamiento y cada una de las velocidades del TE y finalmente, a los 2, 4, 6, 8, 10, 15 y 30 minutos de una recuperación activa. Inmediatamente tras la obtención, la muestra se dividió en dos fracciones, con EDTA-3K y heparinilitio como anticoagulantes. En la primera muestra se llevó a cabo el estudio hematológico y en la segunda, el bioquímico plasmático. Para ello, la segunda fracción fue centrifugada inmediatamente, evitando la glicólisis adicional por los elementos formes sanguíneos y los cambios intercompartimentales de lactato, que producirían una elevación falsa de la lactacidemia [20]. Ambas muestras permanecieron refrigeradas a -4°C durante su transporte al laboratorio. En todos los casos, los análisis fueron efectuados dentro de las 24 h posteriores a su recogida.

Análisis de laboratorio

La concentración de hemoglobina (HB) y el valor hematocrito (HTO) se determinaron con un contador semiautomático (*Sysmex-F820*). La concentración plasmática de lactato (LA) se midió mediante un método enzimático, basado en la reducción del piruvato a LA por la acción de la enzima L-lacta-

to oxidorreductasa (LOD), con un electrodo de oxígeno (*Ana-lox, Champion PLM-5*).

Índices de funcionalidad

La selección de los índices de funcionalidad se ha basado en los resultados de investigaciones previas [13, 14, 18, 21], que mostraron su utilidad para discriminar caballos PRE según sus niveles de entrenamiento y forma física. Con el objetivo de efectuar una valoración más correcta, se ha diferenciado entre capacidades aerobia y anaerobia-mixta.

Índices de funcionalidad representativos de capacidad aerobia:

- HBo': concentración de hemoglobina al final del TE (tras la velocidad de 8 m/s).
- HTOo': valor hematocrito al final del TE (tras la velocidad de 8 m/s).
- V150: velocidad de ejercicio que induce una frecuencia cardiaca de 150 lpm. Este índice deriva de la correlación lineal entre la velocidad de ejercicio (eje OX) y la frecuencia cardiaca (eje OY).
- VLA2: velocidad de ejercicio que induce una concentración plasmática de ácido láctico de 2 mmol/L. Se obtuvo a partir de la relación exponencial entre la velocidad de ejercicio (eje OX) y la acumulación plasmática de lactato (eje OY).
- FCLA2: frecuencia cardiaca a una concentración plasmática de lactato de 2 mmol/L, obtenida por extrapolación en la regresión exponencial entre la frecuencia cardiaca (eje OX) y la concentración plasmática de lactato (eje OY).
- LA150: concentración plasmática de lactato a una frecuencia cardiaca de 150 lpm. Este índice se halló mediante extrapolación en la regresión exponencial entre la concentración plasmática de lactato (eje OX) y la frecuencia cardiaca (eje OY).

Índices de funcionalidad representativos de capacidad anaerobia-mixta:

- FC_{máx}: frecuencia cardiaca máxima durante el TE.
- LAmáx: concentración máxima de lactato plasmático, bien durante el ejercicio, bien durante los primeros minutos de la recuperación.
- FCo': frecuencia cardiaca al final del TE (tras la velocidad de 8 m/s).
- V200: velocidad de ejercicio a una frecuencia cardiaca de 200 lpm.
- VLA4: velocidad de ejercicio a una concentración plasmática de lactato de 4 mmol/L.
- FCLA4: frecuencia cardiaca a una concentración plasmática de lactato de 4 mmol/L.

- LA200: concentración de lactato en plasma a una frecuencia cardíaca de 200 lpm.

Análisis estadístico

Se han calculado los valores medios (X) y las desviaciones estándar (DE) para cada uno de los índices de funcionalidad. A continuación, se llevó a cabo un análisis de componentes principales, que permitió el estudio de la relación entre los diversos índices de funcionalidad, así como la comparación entre los caballos. Los principios en los que se basa este análisis han sido expuestos con anterioridad [18, 21]. En resumen, el análisis de componentes principales se basa en la creación de nuevas variables, denominadas componentes principales, que resultan de una combinación lineal entre las diferentes variables estudiadas, en este caso, los índices de funcionalidad. El primer componente explica el porcentaje mayor de la varianza y así sucesivamente. Por tanto, los dos primeros componentes principales o factores explican la mayor parte de la variabilidad de las variables analizadas [8]. La separación de los caballos según la información proporcionada por los índices

de funcionalidad se ha llevado a cabo mediante un análisis discriminante. Finalmente, se realizó un análisis de correlación lineal entre los diferentes índices.

RESULTADOS

La TABLA I muestra los valores medios (± DE) de los marcadores de funcionalidad valorados. La FIG. 1 recoge los resultados del análisis de componentes principales para los índices de funcionalidad aerobia y la segregación de los caballos en función de estos índices. Los dos primeros componentes principales o factores explicaron respectivamente el 45,3% y el 38,8% de la variación total. Los índices más discriminantes fueron HTOo', VLA2 y LA150, apreciándose una correlación positiva entre HTOo' y LA150 y negativa entre los dos con VLA2.

La FIG. 2 representa los resultados del análisis de componentes principales para los índices de funcionalidad anaerobia-mixta y la separación de los caballos según estos índices.

TABLA I
VALORES MEDIOS (X) Y DESVIACIONES ESTÁNDAR (DE)
DE LOS 6 ÍNDICES DE FUNCIONALIDAD AEROBIA
Y DE LOS 8 ÍNDICES DE FUNCIONALIDAD
GLICOLÍTICA-MIXTA EN 45 CABALLOS ADULTOS
PURA RAZA ESPAÑOLA

Índice de Funcionalidad	Media	DE
Índices oxidativos		
HBo' (g/dL)	18,88	1,680
HTOo' (%)	55,52	5,000
V150 (m/s)	5,432	0,560
VLA2 (m/s)	4,348	1,020
FCLA2 (lpm)	146,2	16,80
LA150 (mmol/L)	1,904	0,950
Índices glicolíticos-mixtos		
FCmáx (lpm)	197,2	13,00
FCo' (lpm)	177,0	20,00
LAo' (mmol/L)	12,58	4,680
LAmáx (mmol/L)	18,95	5,850
V200 (m/s)	8,219	0,900
VLA4 (m/s)	6,445	1,360
FCLA4 (lpm)	169,1	12,80
LA200 (mmol/L)	12,00	4,030

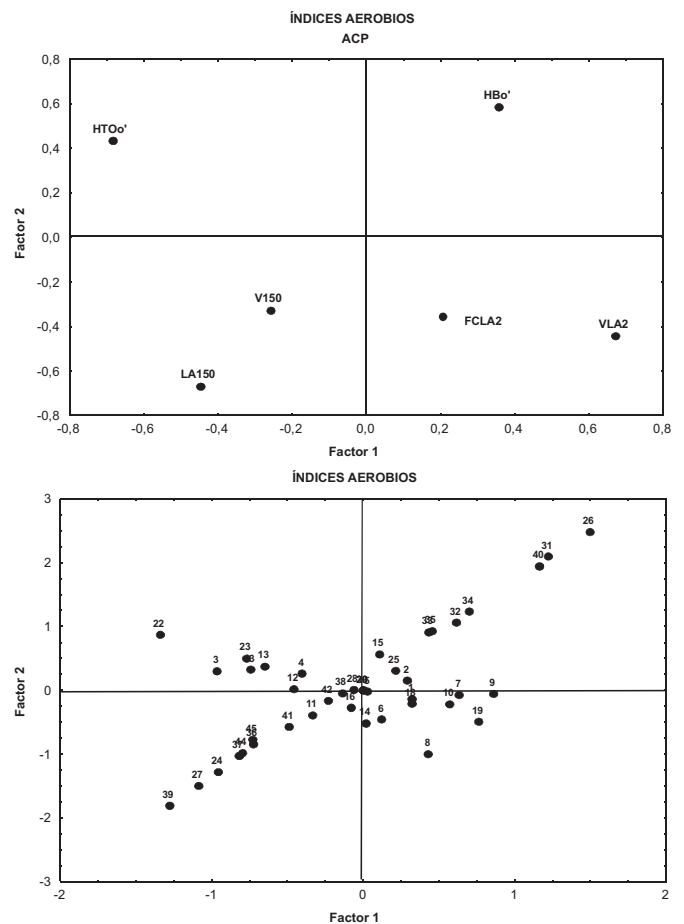


FIGURA 1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS ÍNDICES DE FUNCIONALIDAD AEROBIA EN EL PLANO FACTOR 1 x FACTOR 2 (A) Y RESULTADOS DEL ANÁLISIS DISCRIMINANTE SEGÚN EL POTENCIAL OXIDATIVO DE LOS 45 CABALLOS PURA RAZA ESPAÑOLA ESTUDIADOS (B).

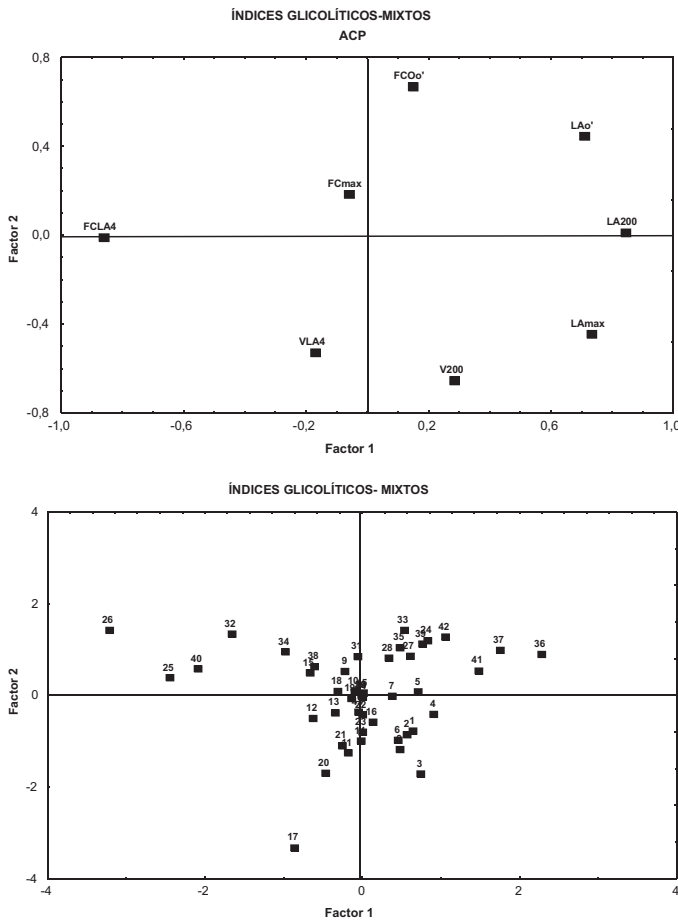


FIGURA 2. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS ÍNDICES DE FUNCIONALIDAD ANAEROBIA-MIXTA EN EL PLANO FACTOR 1 x FACTOR 2 (A) Y RESULTADOS DEL ANÁLISIS DISCRIMINANTE SEGÚN LA CAPACIDAD GLICOLÍTICA-MIXTA DE LOS 45 CABALLOS PURA RAZA ESPAÑOLA ESTUDIADOS (B).

Los dos primeros factores explicaron el 48,2% y el 28,0% de la variación total. En este caso, los marcadores de funcionalidad más discriminantes fueron FCo', VLA4 y V200. FCo' mostró una correlación negativa con VLA4 y V200, mientras que VLA4 y V200 estuvieron correlacionados positivamente.

Las FIGS. 3 y 4 presentan la distribución de los caballos en función de los índices oxidativos y de los índices glicolíticos-mixtos, de modo respectivo. Se han distinguido diversas categorías de funcionalidad: X, X+1DE, X+2DE, X+3DE, X-1D, X-2DE y X-3DE.

En el sistema de puntuación individual establecido, se ha otorgado un máximo de 15 puntos a la capacidad oxidativa y otros 15 puntos a la capacidad glicolítica-mixta (TABLA II). Por tanto, el caballo con un nivel de forma física perfecto, según esta puntuación, presentaría un total de 30 puntos. Los índices con un efecto positivo sobre el nivel de forma física han sido VLA2, V200 y VLA4, mientras que HTOo', LA150 y FCo' tuvieron una influencia negativa. Finalmente, la TABLA III pre-

senta la puntuación aerobia, anaerobia-mixta y global, para cada uno de los caballos estudiados.

DISCUSIÓN

Ventajas e inconvenientes del procedimiento de valoración de forma física

En la presente investigación, se describe un método objetivo y cuantitativo, factible de ser aplicado por Centros de Entrenamiento Equinos, para valorar el potencial deportivo y el nivel de entrenamiento. Este procedimiento, no obstante, debe ser ajustado a cada Centro, según el tipo de caballo y según la modalidad hípica.

En este caso, se ha optado por otorgar la misma puntuación a las capacidades aerobia y anaerobia-mixta. Ello se debe a que el caballo PRE se emplea fundamentalmente para Doma Clásica y para paseo, de modo que el objetivo que se persigue con un entrenamiento es una mejoría de su estado físico general. No obstante, la importancia de las dos capacidades funcionales puede ser modificada según las vías metabólicas predominantes durante la competición.

Por otro lado, no se ha podido diferenciar entre capacidades anaerobia y mixta, debido a las limitaciones de los TEs en el campo. La evaluación de la capacidad glicolítica máxima supone poner al límite los sistemas respiratorio, cardiovascular y músculo-esquelético. Esta circunstancia limita los TEs en el campo, por el gran riesgo de lesión esquelética que puede suponer, si bien se subsanaría con el empleo de la cinta rodante.

El método descrito se ha utilizado desde el año 1994 para valorar futuros sementales PRE. A lo largo de este tiempo, se ha observado que los índices de funcionalidad que mejor discriminan grupos de caballos según forma física son los mismos, independientemente de la edad del animal [13, 18, 21]. Esto se puede deber a la homogeneidad morfológica, locomotora y fisiológica de la raza, si bien no se debe aceptar que los mismos índices discriminen correctamente a animales de otras razas. Para ello, deberían hacerse análisis de componentes principales para cada Centro de Entrenamiento individualmente.

Clasificación de los índices de funcionalidad como aerobios o glicolíticos-mixtos

En la presente investigación, se han considerado los siguientes índices aerobios: HBo', HTOo', V150, VLA2, FCLA2 y LA150.

HBo' y HTOo' representan la capacidad de transporte de oxígeno hacia el músculo en contracción, por lo que podrían ser indicativos de las demandas metabólicas de las miofibras, siendo proporcionales a la intensidad del metabolismo oxidativo. No obstante, se debe matizar que reflejan la capacidad cardiovascular dimensional relativa, al estar supeditados a la intensidad de la movilización esplénica, cambios intercomparti-

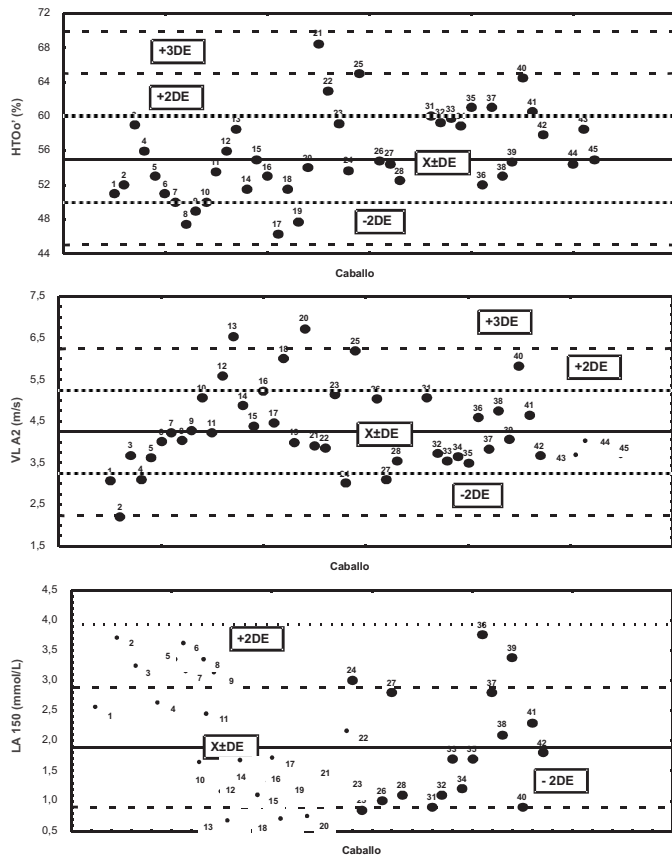


FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE LOS CABALLOS EN DIFERENTES GRUPOS DE FUNCIONALIDAD SEGÚN LOS ÍNDICES OXIDATIVOS.

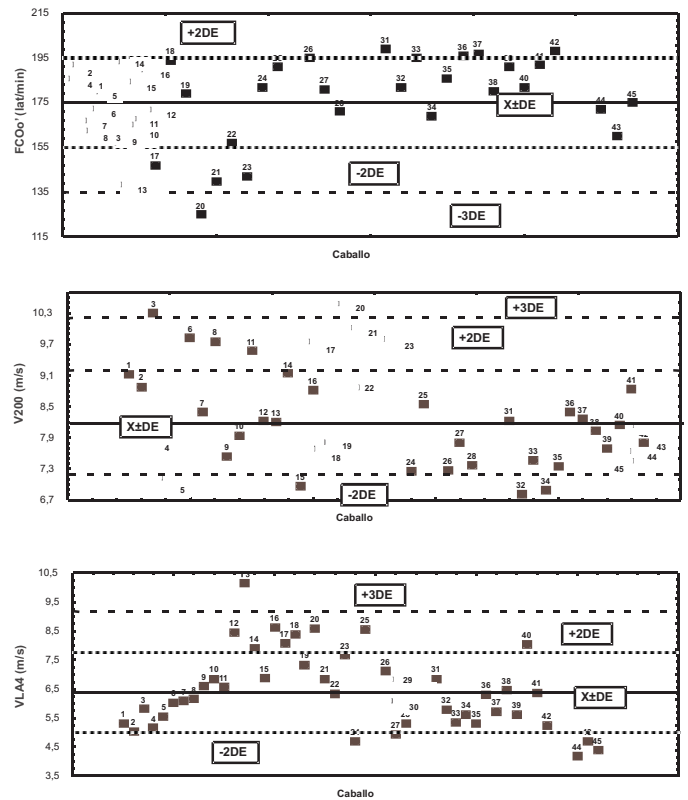


FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE LOS CABALLOS EN DIFERENTES GRUPOS DE FUNCIONALIDAD SEGÚN LOS ÍNDICES GLICOLÍTICOS-MIXTOS.

TABLA II
SISTEMA DE PUNTUACIÓN SEGUIDO PARA CLASIFICAR A LOS CABALLOS PURA RAZA ESPAÑOLA SEGÚN SU CAPACIDAD OXIDATIVA Y GLICOLÍTICA-MIXTA

	- 3DE	- 2DE	- 1DE	+ 1DE	+ 2DE	+ 3DE
Índices oxidativos						
HTOo'	5	4	3	2	1	0
VLA2	0	1	2	3	4	5
LA150	5	4	3	2	1	0
Índices glicolíticos-mixtos						
FCo'	5	4	3	2	1	0
V200	0	1	2	3	4	5
VLA4	0	1	2	3	4	5

mentales de fluidos y a las pérdidas hídricas ligadas a los mecanismos de termorregulación [19, 22].

V150 es una expresión de la capacidad circulatoria del caballo, como revela su correlación con el volumen contracción cardiaco y con la diferencia arteriovenosa de oxígeno

[22]. Se sabe que 150 lpm se aproxima, si bien no sobrepasa, el nivel máximo de FC en estado constante. Por otro lado, se ha visto que los niveles plasmáticos de LA no se incrementan de modo significativo sobre los valores basales, hasta una FC media de 158 lpm. Esto indica que, una carga de esfuerzo a 150 lpm debería ser realizada de un modo totalmente aerobio

TABLA III
PUNTUACIÓN DEL ESTADO DE FORMA FÍSICA DE LOS 45 CABALLOS PURA RAZA ESPAÑOLA ANALIZADOS,
SEGÚN ÍNDICES DE FUNCIONALIDAD AEROBIOS Y GLICOLÍTICOS-MIXTOS

CAB	HTOo'	VLA2	LA150	Punt Aerob.	FCo'	V200	VLA4	Punt. Anaer.	Punt. Total
1	3	1	2	6	2	3	2	7	13
2	3	0	1	4	2	3	2	7	11
3	2	2	1	5	3	5	2	10	15
4	2	1	2	5	2	2	2	6	11
5	3	2	1	6	2	1	2	5	11
6	3	2	1	6	3	4	2	9	15
7	3	2	1	6	3	3	2	8	14
8	4	2	1	7	3	4	2	9	16
9	4	2	1	7	3	2	3	8	15
10	3	3	3	9	3	2	3	8	17
11	3	2	2	7	3	4	3	10	17
12	2	4	3	9	3	3	4	10	19
13	2	5	5	12	4	3	5	12	24
14	3	3	3	9	2	3	4	9	18
15	2	3	3	8	2	1	3	6	14
16	3	3	3	9	2	3	4	9	18
17	4	3	3	10	4	4	4	12	22
18	3	4	4	11	2	3	4	9	20
19	4	2	3	9	2	3	3	8	17
20	3	5	4	12	5	5	4	14	26
21	0	2	3	5	4	4	3	11	16
22	1	2	2	5	3	4	3	10	14
23	2	3	3	8	4	4	3	11	19
24	3	2	1	6	2	2	1	5	11
25	0	4	4	8	2	3	4	9	17
26	3	3	3	9	2	2	3	7	16
27	3	2	2	7	2	2	2	6	13
28	3	2	3	8	3	2	2	7	15
29	4	3	3	10	4	3	3	10	20
30	2	2	1	5	2	2	2	6	11
31	1	3	3	7	3	3	3	8	15
32	2	2	3	7	2	1	2	5	12
33	2	2	3	7	2	2	2	6	13
34	2	2	3	7	3	1	2	6	13
35	1	2	3	6	2	2	2	6	12
36	3	3	1	7	1	3	2	6	13
37	1	2	2	5	1	3	2	6	11
38	3	3	2	8	2	3	3	8	16
39	3	2	1	6	2	2	2	6	12
40	1	4	3	8	2	3	4	9	17
41	1	3	2	6	2	3	2	7	13
42	2	2	3	7	1	2	2	5	12
43	2	2	2	6	3	2	1	6	12
44	2	2	3	7	3	2	1	6	13
45	2	2	2	6	3	2	1	6	12

por la mayoría de los caballos [13, 22]. En definitiva, V150 representa la capacidad aerobia del individuo.

VLA2 refleja, igualmente, el potencial oxidativo. Por debajo de 2 mmol/L de LA, existe un metabolismo predominantemente aerobio, con una intervención preferencial de las fibras tipo I, utilizándose las grasas como substrato energético [1].

Finalmente, como índices oxidativos, en la presente investigación, se han considerado FCLA2 y LA150. Ello se ha debido a las peculiares características del patrón locomotor del caballo PRE. El estudio de Castejón y col. [2] mostró que los valores de VLA2 y VLA4 eran significativamente más altos en caballos angloárabes y árabes que en PRE. No obstante, FCLA2, FCLA4, LA150 y LA200 no presentaron diferencias interraciales tan evidentes. Esta discrepancia de resultados se explicó en base a la influencia de la velocidad sobre VLA2 y VLA4. El caballo PRE se caracteriza por un componente vertical del tranco más marcado [19], de manera que la expresión del trabajo metabólico glicolítico en función de la velocidad puede conducir a errores. Por el contrario, tanto FCLA2 como LA150, reflejan el trabajo cardiovascular y metabólico anaerobio, sin considerar la velocidad de desplazamiento.

Los marcadores de funcionalidad glicolítica-mixta contemplados en este estudio fueron FCo', FCmáx, LAmáx, LAo', VLA4, V200, FCLA4 y LA200.

FCo' y FCmáx son indicadores del grado de esfuerzo cardiovascular necesario para el correcto aporte de flujo sanguíneo muscular. Se acepta que valores superiores a 200 lpm son indicativos de limitación oxidativa en el músculo, por lo que estarían correlacionados parcialmente con la intensidad de la anaerobiosis fibrilar [28].

Se ha optado por incluir LAmáx en lugar de LAo' (concentración plasmática de LA inmediatamente tras el TE). LAo' podría no reflejar de modo exacto la magnitud del cúmulo de LA en las fibras musculares, debido a su limitación en su difusión hasta el compartimento vascular [25]. El ácido láctico no disociado atraviesa con facilidad las membranas celulares, pero a pH fisiológico, la mayor parte del LA necesita un transportador de membrana (proteínas monocarboxilato). Sólo si la concentración muscular de LA es superior a la sanguínea, se produce salida desde el músculo [10]. Por este motivo, en ejercicios intensos, los niveles plasmáticos de LA se incrementan durante los primeros minutos de recuperación [20]. Este motivo ha conducido a la obtención frecuente de muestras sanguíneas en el presente estudio, por cada dos minutos de recuperación. En definitiva, se ha optado por considerar a LAmáx como indicador de la intensidad glicolítica durante el TE.

VLA4 se considera el umbral anaerobio, representando un equilibrio entre la génesis y la degradación del LA. Una intensidad de ejercicio ligeramente superior a VLA4 pone en funcionamiento las vías glicolíticas, estimula la contracción de las fibras tipo IIB, con una utilización preferencial del glucógeno como substrato energético [1]. Se trata de un índice muy im-

portante en Medicina Deportiva Equina, al reflejar el potencial aerobio máximo, como muestra su correlación con el volumen absoluto de eritrocitos [23].

V200 está correlacionado con el volumen total de sangre y con el número absoluto de eritrocitos. Por ello, refleja el potencial oxidativo máximo, incrementándose al mejorar el nivel de forma física y reduciéndose con el desarrollo de patologías cardiorrespiratorias y músculo-esqueléticas [14, 23]. Hay que tener en cuenta que 200 lpm se aproxima a FCmáx, de modo que se halla dentro de la zona metabólica anaerobia.

Al igual que en los índices oxidativos, FCLA4 y LA200 se han introducido en la valoración glicolítica-mixta por el patrón locomotor del caballo PRE. Posiblemente estos dos índices, en otras razas, con un componente horizontal del tranco predominante, proporcionen una información redundante sobre el nivel de forma física.

Sistema de puntuación de la funcionalidad en el caballo PRE

Los índices más discriminantes en los caballos PRE han sido HTOo', VLA2, LA150, FCo', VLA4 y V200. De estos índices, los valores más elevados de VLA2, VLA4 y V200 han sido descriptivos de un estado de forma física superior. Por el contrario, HTOo', LA150 y FCo' han sido considerados como negativos para la funcionalidad deportiva.

De forma teórica, un HTO más elevado durante un ejercicio, condicionaría un potencial aerobio más marcado. Sin embargo, en diversas investigaciones previas, hemos demostrado que esta afirmación no es correcta [14, 16, 19]. Un HTOo' superior estaría ligado a una sudoración más intensa. Aunque se acepta que el entrenamiento induce cambios en la composición del sudor, ligadas a modificaciones morfológicas en las glándulas sudoríparas [11], no se ha investigado si existen diferencias en la intensidad de la sudoración entre caballos con diversas capacidades funcionales. No obstante, durante este estudio, se ha apreciado subjetivamente que los caballos PRE menos aptos, mostraban una sudoración más marcada, a pesar de que los TE se llevaron a cabo en circunstancias climatológicas similares, como mostró el "índice de confort". Además, una poliglobulia excesiva incrementaría la viscosidad sanguínea, actuando como un importante limitante del intercambio tisular de oxígeno [12].

LA150 puede considerarse como reflejo negativo del potencial físico, ya que valores elevados indicarían una intervención marcada de las vías glicolíticas, a una FC a la que, teóricamente, el metabolismo oxidativo debería predominar.

El valor de FC tras el ejercicio refleja la intensidad del trabajo cardiovascular, al ser el principal determinante del rendimiento cardíaco. Valores altos post-esfuerzo se han asociado a características metabólicas de fatiga, tales como depleción de glucógeno, adenosina trifosfato y fosfocreatina y elevaciones de glucosa 6P y LA [9]. Por tanto, resulta evidente que si un caba-

llo debe realizar un esfuerzo cardiovascular intenso a una velocidad determinada, su nivel de forma física no es óptimo.

Existen numerosas publicaciones que han asociado valores elevados de VLA2, VLA4 y V200 con un mejor estado físico [4, 5, 23, 30] o nivel de entrenamiento [20, 29]. Por tanto, en esta investigación, aquellos individuos con datos más elevados para estos índices han recibido una puntuación mejor.

CONCLUSIONES

Esta investigación describe un método de puntuación que permite clasificar a caballos PRE según su estado de forma física. Los índices que han discriminado mejor a los caballos en base a su potencial físico han sido, tanto oxidativos (VLA2, LA150, HTOo'), como glicolíticos-mixtos (FCo', VLA4, V200). VLA2, VLA4 y V200 han sido considerados positivos para el rendimiento físico y FCo', HTOo' y LA150, negativos.

AGRADECIMIENTO

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Centro de Selección y Entrenamiento de Jerez de la Frontera, en Cádiz, España. Asimismo, agradecemos la participación del Club Hípico Levante en Valencia, España, por la cooperación en los tests de ejercicio.

Esta investigación ha sido subvencionada por: Universidad de Córdoba (Grupo de investigación AGR-013 de la Junta de Andalucía), Organismo Público de Investigación Valenciano, OPVI (proyecto 011) y Universidad Cardenal Herrera – CEU (PRUCH 02/12; PRUCH 03/17).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDERSON, G.S.; RHODES, R.C. A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. **Sports Med.** 8:43-55. 1989.
- [2] CASTEJÓN, F.M.; RUBIO, D.; TOVAR, P.; VINUESA, M.; RIBER, C. A comparative study of aerobic capacity and fitness in three different horse breeds (Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian). **J. Vet. Med. A.** 41: 645-652. 1994
- [3] COUROUCÉ, A.; CHATARD, J.C.; AUVINET B. Estimation of performance potencial of Standardbred trotters from blood lactate concentrations measured in field conditions. **Equine Vet. J.** 29: 365-369. 1997.
- [4] DAVIE, A.J.; EVANS, D.L. Blood lactate responses to submaximal field exercise tests in Thoroughbred horses. **Vet. J.** 159:252-259. 2002.
- [5] DAVIE, A.J.; PRIDDLE, T.J.; EVANS, D.L. Metabolic responses to submaximal field exercise tests and relationships with racing performance in pacing Standardbred. **Equine Vet. J.** 34:112-115. 2002.
- [6] DESMECHT, D.; LINDEN, A.; AMORY, H.; ART, T.; LEKEUX, P. Relationship of plasma lactate production to cortisol release following competition of different types of sporting events in horses. **Vet. Res. Comm.** 20:371-379. 1996.
- [7] ESSÉN-GUSTAVSSON, B.; RONEÚS, N.; PÖSÖ, A.R. Metabolic response in skeletal muscle fibres of Standardbred trotters after racing. **Comp. Biochem. Physiol. B. Biochem. Mol. Biol.** 117: 431-436. 1997.
- [8] FOUCART, T. Analyse factorielle: programmation sur micro-ordinateurs. En: Méthodes Programme. Paris, Masson: 237-238 pp. 1985.
- [9] GOTTLIEB, M.; ESSÉN-GUSTAVSSON, B.; LINDHOLM, A.; PERSSON, S.G.B. Cardio-respiratory and muscle metabolic responses to draught work on a treadmill in Standardbred horses. En: Gillespie, J.R.; Robinson, N.E. (ed.). **Equine Exercise Physiology 2.** ICEEP Publications, Davis, Ca, USA: 384-392 pp. 1987.
- [10] KOHO, N.M.; VÄIHKÖNEN, L.K.; PÖSÖ, A.R. Lactate transport in red blood cells by monocarboxylate transporters. **Equine Vet. J.** 34:555-559. 2002.
- [11] LARSDOTTER, S.; HOLM, L.; DAHLBORN, K.; JANSOON, A.; JOSEFSSON, M.; RIDDERSTRÄLE, Y. Carbonic anhydrase activity and sweat gland morphology in trained and untrained Standardbred trotters. **Equine Vet. J.** 34:560-563. 2002.
- [12] McCLAY, C.; WEISS, D.J.; SMITH, C.M.; GORDON, B. Evaluation of hemorheologic variables as implications for exercise-induced pulmonary hemorrhage in racing Thoroughbred. **Am. J. Vet. Res.** 53:1380-1385. 1992.
- [13] MUÑOZ, A. Evaluación de la capacidad de rendimiento físico en caballos de diversas razas mediante índices de funcionalidad. Respuesta a un entrenamiento programado. Universidad de Córdoba. Facultad de Veterinaria. Córdoba. España. (Tesis Doctoral). 40-66 pp. 1997
- [14] MUÑOZ, A.; RIBER, C.; BENITO, M.; LÓPEZ, M.M.; CASTEJÓN, F.M. **Diagnóstico precoz de patologías ligadas al ejercicio mediante test de funcionalidad en el caballo de deporte.** Sociedad Española de Medicina Interna Veterinaria. Universidad de Murcia, España, 108-109 pp. 2000.
- [15] MUÑOZ, A.; RIBER, C.; SANTISTEBAN, R.; LUCAS, R.G.; CASTEJÓN, F.M. Effect of training duration and exercise on blood-borne substrates, plasma lactate and enzyme concentrations in Andalusian, Anglo-Arabian and Arabian horses. **Equine Vet. J.** 34:245-251. 2002.
- [16] MUÑOZ, A.; RIBER, C.; SANTISTEBAN, R.; RUBIO, M.D.; AGÜERA, E.I.; CASTEJÓN, F.M. Cardiovascular

- and metabolic adaptations in horses competing in two cross-country events. **J. Vet. Med. Sci.** 61:13-20. 1999.
- [17] MUÑOZ, A.; SANTISTEBAN, R.; RUBIO, M.D.; AGÜERA, E.I.; ESCRIBANO, B.M.; CASTEJÓN, F.M. Locomotor, cardiocirculatory and metabolic adaptations to training in Andalusian and Anglo-Arabian horses. **Res. Vet. Sci.** 66:25-31. 1998.
- [18] MUÑOZ, A.; SANTISTEBAN, R.; RUBIO, M.D.; RIBER, C.; AGÜERA, E.I.; CASTEJÓN, F.M. Relationship between slope of the plasma lactate accumulation curve and working capacity in Andalusian horses. **Acta Vet. Brno** 68: 41-50. 1999.
- [19] MUÑOZ, A.; SANTISTEBAN, R.; RUBIO, M.D.; RIBER, C.; AGÜERA, E.I.; CASTEJÓN, F.M. Locomotor response to exercise in relation to plasma lactate accumulation and heart rate in Andalusian and Anglo-Arabian horses. **Vet. Res. Comm.** 23: 369-384. 1999.
- [20] MUÑOZ, A.; SANTISTEBAN, R.; RUBIO, M.D.; VIVO, R.; AGÜERA, E.I.; CASTEJÓN, F.M. Cinética del lactato plasmático durante el ejercicio y recuperación en caballos Pura Raza Española. **Med. Vet.** 13: 283-290. 1996.
- [21] MUÑOZ, A.; SANTISTEBAN, R.; RUBIO, M.D.; VIVO, R.; AGÜERA, E.I.; ESCRIBANO, B.M.; CASTEJÓN, F.M. The use of functional indexes to evaluate fitness in Andalusian horses. **J. Vet. Med. Sci.** 59: 747-750. 1997.
- [22] PERSSON, S.G.B. On blood volume and working capacity in horses. **Acta Vet. Scand.** 19: 1-189. 1967.
- [23] PERSSON, S.G.B. Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse. En: Snow, D.H.; Persson, S.G.B.; Rose, R.J. (Eds) **Equine Exercise Physiology**. Granta Editions, Cambridge, UK: 441-457 pp. 1983.
- [24] PERSSON, S.G.B. Heart rate and blood lactate responses to submaximal treadmill exercise in the normally performing Standardbred trotter. Age and sex variations and predictability from the total red blood cell volume. **J. Vet. Med. A.** 44: 125-132. 1997.
- [25] PÖSÖ, A.R. Monocarboxylate transporters and lactate metabolism in equine athletes. **Acta Vet. Scand.** 43: 64-74. 2002.
- [26] RIVERO, J.L.L.; RUZ, R.C.; SERRANO, A.L.; DIZ, A.M. Effects of a 3 month endurance training programme on skeletal muscle histochemistry in Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses. **Equine Vet. J.** 27:51-59. 1995.
- [27] ROSE, R.J.; HODGSON, D.R. Clinical exercise testing. En: HODGSON, D.R.; ROSE, R.J. (ed) **The athletic horse: principles and practice of equine sport medicine**. W.B. Saunders. New York, USA. 245-257 pp. 1995.
- [28] VALBERG, S.; ESSÉN-GUSTAVSSON, B.; LINDHOLM, A.; PERSSON, S.G.B.. Energy metabolism in relation to skeletal muscle fibre properties during treadmill exercise. **Equine Vet. J.** 17:439-444. 1985.
- [29] VALETTE, J.P.; HEILES, P.H.; WOLTER, R. Multivariate analysis of exercise parameters measured during the training of Thoroughbred racehorses. **Pferdeheilkunde** 12: 470-473. 1996.
- [30] VON WITTKE, P.; LIDNER, A.; DEEGEN, E.; SOMMER, H. Effects of training on blood lactate-running speed relationship in Thoroughbred racehorses. **J. Appl. Physiol.** 77:470-473. 1994.