

### Evaluación de la capacidad competitiva y del efecto del entrenamiento en el caballo de deporte

Lindner A.; Rivero J.L.L.; Lightowler, C.; Islas Letelier, A.

#### Introducción

Para evitar malentendidos desde un principio: este artículo no trata sobre la evaluación de la falta de capacidad competitiva. Las variables y los métodos que se pueden usar para proveer este servicio son, a menudo, los mismos que se usan para la evaluación de la capacidad competitiva. La diferencia radica en la forma de usarlos: mientras que para la evaluación de la capacidad competitiva el experto define cuándo hay que hacer las mediciones – por ejemplo a cierta edad, a cierta distancia de la competencia o en determinadas fechas durante la temporada de entrenamiento y competencia –, para la evaluación de la falta de capacidad competitiva el cliente decide cuándo se hace pues pide al experto que provea el servicio cuando sospecha que algún sistema de su caballo está fallando debido a que los resultados en competencia son insatisfactorios.

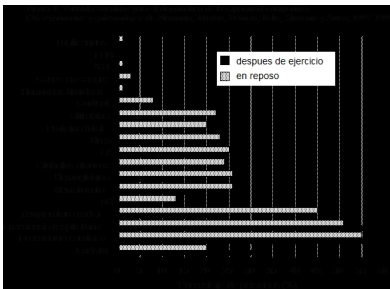
La mejor forma de evaluar la capacidad competitiva de un atleta es en plena competencia. Sin embargo hay circunstancias en las cuales es ventajoso evaluar la capacidad competitiva de caballos antes de hacerlos competir:

- Cuando hay más de una competencia importante y poco tiempo de recuperación entre las competencias.
- Cuando hay más de un caballo para una competencia en

cuestión y no se quiere o no se puede competir a todos en ella.

Pero más importantes son las siguientes razones:

1. para estimar el potencial competitivo = posibilidad de que el caballo tenga la capacidad competitiva esperada = diagnóstico del potencial de capacidad competitiva.
2. para comparar la calidad de los caballos = diagnóstico de la capacidad competitiva actual.
3. para conocer la reacción al entrenamiento y, por ende, la eficacia del



programa de entrenamiento = diagnóstico de la efectividad del entrena-miento.

Una gran diversidad de variables son usadas para la evaluación de la capacidad competitiva y el efecto del entrenamiento. Las más habituales están presentadas en la figura 1. Pero hay una gran cantidad más, como por ejemplo la medición de variables cinéticas y cinemáticas del movimiento y la conformación del caballo (Clayton 1998; Barrey y Langlois 2000; Holmström 2000; Barrey y Biau 2002) o variables de la morfología muscular (Rivero 1997). Nosotros daremos una revisión sobre la validez del uso de los siguientes sistemas y

variables medidos en el caballo sin ejercitar y en el caballo ejercitándose o después del ejercicio:

1. Sistema energético
2. Sistema muscular
3. Sistema cardíaco
4. Hematología y enzimas sanguíneas

### 1. Sistema energético

Para evaluar la capacidad del sistema energético se miden en la sangre (por ejemplo: glucosa, alanina, amonio, ácidos grasos no saturados, etc.) y en el músculo (por ejemplo: adenosín trifosfato, inosín monofosfato, glucógeno, creatínfosfato, etc.) metabolitos con los cuales la energía es generada o que se producen durante la generación de energía. También cae en este renglón la medición del consumo de oxígeno en el aire expirado por los caballos. Sin embargo, esto es algo que tiene poco valor práctico debido a que no se puede usar (aún) en el campo y además no se ha demostrado que valga para discriminar entre caballos de deporte de diferente capacidad competitiva. Por ello, no se tratará esta variable en este artículo.

#### 1.1 Para el diagnóstico del potencial competitivo

##### 1.1.1 En el caballo sin ejercitar

Los estudios al respecto han demostrado que la relación entre variables hemáticas del sistema energético en caballos sin ejercitar es de poca utilidad para el diagnóstico del potencial competitivo (Xanke 1985; Donandt 1986). Estudios sobre el potencial de variables musculares del sistema energético para este servicio no fueron encontrados.

##### 1.1.2 En el caballo ejercitándose o después del ejercicio

Se ha descrito que la medición de lactato sanguíneo permite una evaluación del potencial atlético de caballos de silla (Donandt 1986). Más concretos son los resultados de Couroucé y col (1987) para caballos de carrera al trote. Ellos, a partir de los valores de lactato hemático calcularon la  $v_4$  (velocidad a la cual en la sangre hay una concentración de lactato de 4 mmol/l) de los caballos y encontraron que a mayor valor los caballos tenían mejores resultados competitivos. En sí, la  $v_4$  no es sino la velocidad a la cual, en teoría una concentración de lactato de 4 mmol es medida en un litro de sangre o plasma sanguíneo (no se pueden comparar valores medidos en ambos sustratos pues la concentración de lactato difiere; Lindner 1997). Este parámetro es teórico debido a que, – a menos que sea por casualidad –, no es medido sino que es calculado o derivado de una curva construida con valores de lactato medidos después de dejar correr a un caballo a diferentes intensidades (intensidad = duración/distancia + velocidad + carga/pendiente) siguiendo un protocolo fijo (estandarizado) de una prueba de ejercicio. Esta curva describe la relación entre la concentración de lactato y la intensidad del ejercicio. La intensidad del ejercicio es descrita casi siempre por medio de la velocidad a la cual trabaja el caballo pues los otros parámetros que están enmascarados en el término intensidad (distancia/duración y carga/pendiente) se mantienen constantes. Lo que se debe tomar siempre en cuenta es que no se debe cambiar un protocolo de ejercicio si se quieren comparar resultados.

Ninguna otra variable ha demostrado permitir este servicio.

### 1.2 Para el diagnóstico de la actual capacidad competitiva

#### 1.2.1 En el caballo sin ejercitar

Ningún estudio científico ha demostrado que la medición de variables hemáticas del sistema energético en caballos sin ejercitar tenga sentido para el diagnóstico de la capacidad actual de un caballo para competir (Lindner 2000).

### 1.2.2 En el caballo ejercitándose o después del ejercicio

De todas las variables hemáticas estudiadas del sistema energético la mejor por no decir la única que en una gran cantidad de estudios ha demostrado describir la capacidad competitiva de caballos es el lactado (Krzywanek 1973; Bayly et al 1987; Demonceau 1989; Erickson et al 1990 y 1991; Galloux 1991; Evans et al 1993; Harkins et al 1993; Casini and Greppi 1996; Couroucé 1997; Ponchard 1998; Davie 1999). Pero la medición de la concentración hemática del láctato en sí no es tan eficiente como cuando se utiliza para calcular  $v_4$ . Esto es válido para caballos compitiendo en enduro (Demonceau 1989; Erickson et al 1990), carrera al trote (Casini and Greppi 1996; Couroucé 1997; Ponchard 1998), carrera al galope (Davie 1999; Harkins et al 1993; Ponchard 1998; Erickson et al 1991), concurso completo (Galloux 1991) y enganche (Lindner 1997). Se desconoce si esto es válido para caballos de otras disciplinas deportivas como salto, doma y rodeo. En la figura 2 se demuestra la correlación entre  $v_4$  y el record de velocidad de caballos de carrera al trote: A mayor  $v_4$  menos tiempo – más veloz – necesitan los caballos para correr 1.000 metros (Lindner 2000). La  $v_4$  en este ejemplo describe casi el 60 % de la velocidad de los caballos. Este alto índice ha sido reproducido en otro estudio publicado (Lindner 1998).



### 1.3- Para el diagnóstico de la efectividad del entrenamiento

### 1. 3.1 En el caballo sin ejercitar

Los niveles de variables hemáticas del sistema energético en caballos sin ejercitar no permiten evaluar la efectividad del entrenamiento. Por el contrario varios estudios sobre el entrenamiento han descrito que un efecto puede ser el aumento de la concentración de glucógeno (Gansen et al 1999). En el caballo se desconoce si una concentración de glucógeno sobre el promedio es de ventaja para la resistencia de caballos pero en el humano este es el caso (Bergström et al 1967).

### 1. 3.2 En el caballo ejercitándose o después del ejercicio

Lo mismo que es válido para dar el servicio del diagnóstico actual de la capacidad competitiva es válido para el servicio de la evaluación de la efectividad del entrenamiento (Sloet 1998; Trilk et al 2002).

## 2.- Sistema muscular

Aunque el músculo esquelético es un sistema clave del rendimiento atlético, la naturaleza multifactorial de éste hace que el examen aislado de un único sistema corporal tenga un valor limitado para identificar individuos con un potencial atlético superior, para evaluar la capacidad competitiva actual y para conocer la efectividad de un programa de entrenamiento concreto. La utilidad práctica del análisis de biopsias musculares para estos fines ha estado cuestionada desde siempre, precisamente por el carácter multifactorial del rendimiento atlético, por las dificultades para reproducir los resultados, por la excesiva complejidad de los métodos de análisis y su interpretación correcta, y por la naturaleza traumática del procedimiento de biopsia empleado.

A pesar de lo expuesto en el párrafo anterior, nuestro laboratorio ha desarrollado una labor de investigación ininterrumpida durante los pasados 15 años sobre los usos y limitaciones de la técnica de biopsia muscular con aguja percutánea en Medicina deportiva equina. La actual presentación pretende sintetizar los resultados obtenidos y

ofrecer una propuesta original sobre la obtención e interpretación de un índice muscular para cuantificar objetivamente, en forma práctica las características musculares de un determinado caballo. Este índice muscular pretende servir como herramienta para establecer comparaciones no sesgadas entre caballos, o mejor dicho, entre biopsias musculares, dado que la comparación puede estar referida a un mismo individuo (por ejemplo, cuando se pretende objetivar las adaptaciones musculares a un programa de entrenamiento concreto). El uso práctico que cada veterinario o propietario haga de esta información no está en el objetivo de esta charla, pero por la estructura del seminario podríamos ofrecer las siguientes finalidades en caballos deportivos sanos: 1) como valoración 'predictiva' de la capacidad competitiva esperada de un animal joven antes de iniciar el entrenamiento, 2) como valor 'diagnóstico' de la capacidad competitiva actual, y 3) como valor 'diagnóstico' de la eficacia del entrenamiento. Pero antes de relatar esta propuesta concreta, queremos introducir los antecedentes científicos sobre las características del músculo esquelético equino para situar al lector en un marco de discusión apropiado para poder comprenderla.

### 2.1 El músculo esquelético equino

Durante el ejercicio físico máximo, el flujo sanguíneo muscular representa el 78% del gasto cardíaco (Armstrong y col 1992). Si a esto añadimos que el tejido muscular estriado constituye más de la mitad del peso corporal del caballo (en un Purasangre puede alcanzar el 55%, Gunn 1987), será fácil comprender porqué el sistema muscular es un factor limitante del rendimiento atlético. Para que los nutrientes y el oxígeno alcancen las células musculares es necesaria la perfecta coordinación entre los sistemas respiratorios, cardiovascular y hematólogico.

Las características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas del tejido muscular del caballo pueden consultarse en revisiones previas (Snow y Valberg 1994; Rivero 1997 y 1998; Rivero y Piercy 2003). La función

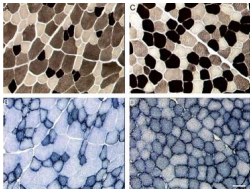
primordial de las fibras musculares es producir energía en forma de ATP que, por medio de la maquinaria contráctil, es convertida en trabajo mecánico cuyo resultado último es la locomoción. El músculo equino dispone de dos mecanismos básicos para la producción de ATP: las rutas metabólicas aeróbicas y las anaeróbicas. La prontitud y efectividad con que cada una de estas rutas produce energía son muy diferentes y, aunque ambos mecanismos permanecen activados durante el ejercicio, la contribución relativa de cada uno de ellos a la producción energética global depende del tipo, intensidad y duración de la actividad, de la distribución de los diferentes tipos de fibras musculares, de la disponibilidad de oxígeno y nutrientes y de las concentraciones de determinados metabolitos intermediarios que pueden activar o inhibir ciertos procesos metabólicos.

El músculo esquelético equino puede realizar una amplia gama de actividades físicas por su gran diversificación celular y molecular, especialización funcional y capacidad plástica. El principal elemento de esta heterogeneidad es la existencia de diferentes tipos de fibras musculares (figura 3). El marcador que se utiliza para esta clasificación fibrilar es la variedad (isoforma) de cadena pesada de miosina, el componente mayoritario del aparato contráctil. Este indicador se utiliza no sólo por su responsabilidad directa en las propiedades contráctiles (velocidad de contracción, máxima tensión tetánica, etc.) de las fibras musculares, sino también por estar altamente coordinado con otras características morfológicas (tamaño, capilarización, densidad mionuclear) y metabólicas (capacidad oxidativa, capacidad glucolítica, contenido de sustratos) muy importantes de las fibras musculares (Quiroz-Rothe y Rivero 2001). Por este motivo, las diferentes isoformas de miosina son consideradas como 'motores moleculares' del músculo. Así, las fibras de tipo I hidrolizan el ATP muy lentamente (reducida velocidad de contracción) y tienen pequeño tamaño, elevado número de capilares, gran capacidad oxidativa, baja capacidad glucolítica y un contenido de glucógeno relativamente bajo. En su conjunto, estas propiedades hacen que las fibras de tipo I produzcan movimientos relativamente lentos, pero muy económicos energéticamente y



prolongados en el tiempo (alta resistencia a la fatiga). En el extremo opuesto se sitúan las fibras tipo IIX, muy adaptadas para generar contracciones rápidas y vigorosas pero durante un tiempo muy limitado (baja resistencia). Las fibras tipo IIA tienen propiedades intermedias.

Figura 3



Los diferentes tipos de fibras son activados de modo selectivo conforme a un patrón específico bien definido y que depende del aire de la locomoción y de la intensidad y duración del ejercicio. La composición de los tipos de fibras también varía considerablemente entre músculos y dentro de un mismo músculo, en estrecha concordancia con el principio universal que establece la relación entre estructura y función.

Algunos estudios previos han demostrado una correlación entre determinadas características musculares y el rendimiento atlético individual. Así, la capacidad para realizar ejercicios de resistencia (larga duración, moderada o baja intensidad) está correlacionada con elevados porcentajes de fibras musculares de tipo I y IIA (Rivero y col 1993), mientras que la aptitud sprinter (corta duración, alta velocidad) se correlaciona con elevados porcentajes de fibras tipo II (Barrey y col 1999). Además, determinadas características musculares están correlacionadas con importantes atributos cinemáticos de la locomoción equina (Rivero y Clayton 1996). Basándonos en estas correlaciones, es preciso discriminar caballos con diferentes antecedentes en la competición mediante el examen de biopsias

musculares (Rivero y Henckel 1996). Téngase siempre muy presente que esta discriminación no implica en modo alguno una necesaria relación causa-efecto entre los atributos musculares y la capacidad competitiva para eventos de resistencia.

La diversidad celular y molecular del músculo esquelético equino está regulada por múltiples factores, unos de origen miogénico y otros extra-miogénicos. Así, por ejemplo, el linaje miogénico a partir del cual se desarrolla cada fibra muscular define su diferenciación en un tipo fibrilar concreto. La influencia de los factores genéticos sobre los tipos de fibras musculares del caballo está claramente ilustrada por sus marcadas diferencias entre razas (López-Rivero y col 1989) y entre líneas genéticas dentro de una vista raza (Rivero y col 1996). El moderado coeficiente de heredabilidad recientemente calculado para la proporción de los dos tipos principales de fibras musculares (I y II) también habla en este sentido (Barrey y col 1999; Rivero y Barrey 2001). La edad y el sexo también son influyentes (Rivero 1997). Entre los factores extra-miogénicos que controlan la diversidad miofibrilar destaca la influencia neural y determinadas sustancias extracelulares (hormonas y fármacos dopantes).

Un interés particular merece la influencia que tiene la actividad neuromuscular asociada con el entrenamiento sobre las características de los tipos de fibras musculares. La respuesta del músculo equino al entrenamiento suele ser estereotipada y depende cualitativa y cuantitativamente de las características del estímulo (tipo, intensidad y duración del entrenamiento) y del estado basal del músculo antes de iniciarse el entrenamiento. Como esta respuesta suele ser unidireccional hacia las características de un músculo más lento y oxidativo (tabla 1), los músculos con una elevada proporción de fibras rápidas y glucolíticas son más susceptibles de experimentar adaptaciones más intensas que los músculos lentos y oxidativos. Así, la respuesta muscular al entrenamiento será siempre más pronunciada en caballos jóvenes e inactivos que en caballos maduros y entrenados regularmente (figura 3). En todo caso, la respuesta muscular al entrenamiento puede objetivarse individualmente mediante el análisis

de biopsias musculares extraídas antes y después del programa de entrenamiento cuya efectividad se desea probar (Rivero 1996).

Tabla 1. Lista de los principales efectos fisiológicos que el entrenamiento puede inducir en el músculo esquelético equino

q	Hipertrofia fibrilar <sup>1</sup>
q	Incremento del cociente fibrilar IIA/IIX
q	Incremento del cociente fibrilar I/II
q	Conversión tipo fibrilar en el sentido IIX ÷ IIA ÷ I
q	Incremento de la actividad de enzimas oxidativas
q	Incremento de la densidad de las mitocondrias
q	Incremento de la densidad capilar
q	Nulo efecto o descenso de la actividad de enzimas anaeróbicos
q	Aumento de la actividad de la enzima AMP diaminasa
q	Incremento moderado del contenido de glucógeno intramuscular
q	Incremento del número de transportadores de glucosa a nivel de m
q	Incremento del número de transportadores de ácidos grasos libres
q	Mejora del transporte iónico a través de membrana
q	Incremento de la capacidad tampón del músculo

1 Algunos estudios no han obtenido efectos sobre el tamaño celular mientras otros han obtenido un incremento inverso (atrofia fibrilar)

## 2.2 Propuesta de un índice de calidad muscular

Si bien el tema del seminario contempla la evaluación de la capacidad competitiva y el control del entrenamiento mediante el examen de diferentes sistemas corporales antes y durante o tras el ejercicio, nuestra experiencia con el uso de biopsias musculares se limita a estudios realizados en reposo, por lo que nada podemos aportar sobre su valor práctico en el contexto de otras pruebas de ejercicio

estandarizadas. No obstante, aunque son muy diversos y numerosos los estudios que han investigado la respuesta muscular al ejercicio y cómo el entrenamiento modifica esta respuesta (ver, por ejemplo, Snow y Valberg 1994, Rivero y Piercy 2003), son muy pocos los que han atravesado la frontera entre estos conocimientos básicos y su aplicación práctica para evaluar la capacidad competitiva y controlar el entrenamiento del caballo. No tengo dudas que esta parcela será objetivo de atención en un futuro cercano y de que abrirán nuevas posibilidades entre los investigadores más jóvenes interesados en la Ciencia deportiva equina. Por todo ello, el contenido posterior de esta presentación se refiere únicamente al uso de biopsias musculares en el contexto de las pruebas funcionales de reposo.

Nuestra propuesta para la obtención e interpretación de un índice de calidad muscular se basa en la cuantificación individual de determinados atributos musculares, realizada mediante un sistema de puntuación relativa y ponderada, y en su comparación con grupos de caballos homogéneos de la misma raza, edad, sexo y situación teórica de entrenamiento. Resultaría superfluo pretender comparar las características musculares de un semental adulto bien entrenado con las de una potra de dos años sin entrenamiento. Mucho más atractivo por su valor práctico nos parece establecer comparaciones puntuales en los 3 supuestos siguientes:

- 1) Comparación de un caballo joven sin entrenamiento con un grupo de referencia de caballos de su misma raza, edad, sexo, nivel de entrenamiento y condiciones de manejo (diagnóstico del potencial atlético).
- 2) Comparación de un caballo adulto en competición con un grupo de referencia de similares características en cuanto a la disciplina deportiva, edad, preparación física y nivel competitivo (diagnóstico de la capacidad competitiva actual).
- 3) Comparación de las características musculares de un determinado caballo antes y después (o durante) de completar un programa de entrenamiento concreto (diagnóstico de la efectividad del entrenamiento).

Para establecer estas comparaciones es necesario que el laboratorio, ganadería o clínica equina elaboren sus propias bases de datos debidamente clasificadas y ordenadas por entradas relevantes por su influencia sobre las características musculares que se pretenden evaluar en cada caballo en concreto. La precisión del diagnóstico será tanto mayor cuanto mayor sea el número de entradas en nuestra base de datos de referencia. La participación del veterinario especialista en Ciencia deportiva equina también es determinante para el éxito o el fracaso de nuestra propuesta, pues su participación como enlace entre el propietario (a quien se ofrece el servicio) y el laboratorio de referencia (al que se solicita) nos parece clave para la consecución de los objetivos.

Nuestra propuesta concreta se basa en la obtención de al menos 2 (ideal son 3) biopsias con aguja percutánea de las porciones superficial y profunda del M. Gluteus medius de cada caballo. El máximo poder discriminativo de la prueba se obtiene cuando los resultados se basan en el análisis de 3 biopsias extraídas a diferentes profundidades (superficial, intermedia y profunda), disminuye considerablemente con sólo 2 biopsias (superficial y profunda) y no resulta fiable con una única biopsia (Rivero y Henckel 1996; Rivero 1996). El procedimiento técnico para la realización de las biopsias musculares, así como el manejo, conservación y transporte de las muestras, están extensamente descritos en las publicaciones previas del autor (ver, por ejemplo, Rivero y col 1993 y 1995). La necesidad de analizar varias biopsias y de estandarizar rigurosamente el sitio y la profundidad del músculo desde donde se extraen se debe a las grandes variaciones que experimentan las características musculares que se pretenden analizar en función de estos aspectos. El proceso de congelación de la muestra también es crítico para la correcta interpretación de los análisis.

Una vez recibidas y analizadas en el laboratorio, de cada biopsia muscular se calculan los 12 parámetros musculares listados en la figura 4. Por supuesto que se podrían incluir otras muchas variables, pero nuestra selección ha sido realizada por criterios de experiencia previa en su interpretación y por su representatividad de las

propiedades morfológicas, contráctiles y metabólicas de los diferentes tipos de fibras musculares. Los parámetros musculares obtenidos para cada caballo pasan a engrosar la base de datos a partir de la cual se obtendrán los valores de referencia con los que poder comparar cada caballo presentado para su evaluación.

Para cada caballo problema, se confecciona un informe individualizado como el que se ilustra en la figura 4. En este informe, emitido por el laboratorio de referencia para el cliente, figuran los valores numéricos de los parámetros musculares calculados en cada una de las 3 biopsias examinadas, así como su valor promedio y las medias de referencia con las que poder comparar los valores obtenidos (Téngase en cuenta que estas medias de referencia no son estáticas sino móviles, pues se modifican automáticamente cada vez que se produce una nueva entrada en la base de datos). Además de la anterior información en términos absolutos y para una mejor interpretación de los resultados por parte del cliente, el informe también incluye un sistema de puntuación relativa y ponderada construido a partir de 5 ítems con distinto significado teórico desde el punto de vista fisiológico. Estos ítems son:

1) Índice teórico de resistencia muscular. Se calcula promediando los atributos musculares con mayor poder discriminativo para la capacidad de resistencia: porcentajes de fibras tipo I y IIA y proporción de cadenas pesadas de miosina I y IIA (Rivero y Henckel 1996).

2) Índice teórico de velocidad muscular. Se obtiene a partir de los porcentajes de fibras de tipo II y de isoformas de cadenas pesadas de miosina tipo II, por su correlación directa con atributos de velocidad (Barrey y col 1999).

3) Índice teórico de heredabilidad. Participan sólo las fibras y miosinas de contracción lenta, al ser las que tienen un mayor coeficiente de heredabilidad (Rivero y Barrey 2001; La utilidad de este índice en Ciencia deportiva equina es cuestionable, pero su aplicación en programas de mejora genética justifican su inclusión en nuestro informe).

4) Índice teórico de fuerza muscular. Depende directamente del



5 índices teóricos descritos anteriormente. La interpretación de esta puntuación global ha de ser muy cautelosa, pues si bien la mayoría de ellos son sinérgicos (por ejemplo, ítems 1, 3, 4 y 5), otros son claramente antagónicos al estar basados en parámetros correlacionados negativamente. Este es el caso de los ítems 1 y 2, que están indicando aptitudes atléticas opuestas (resistencia y velocidad, respectivamente).

### 3.- Sistema cardíaco

#### 3.1 Para el diagnóstico del potencial competitivo

Menciona David Hodgson en su libro *The Athletic Horse*: “La selección del caballo con potencial fisiológico sobresaliente para un determinado deporte antes de comenzar el entrenamiento es el sueño no realizado de todos los involucrados en el estudio de la fisiología del ejercicio de los equinos”. Sin duda, a través del tiempo se han desarrollado distintas técnicas con el objeto de poder evaluar “cual será el mejor”. Cual será entonces el mejor caballo y cual el mejor entrenamiento? El que pueda hacer llegar y el que haga llegar a la mitocondria muscular en el momento oportuno la mayor cantidad de oxígeno para la obtención de energía a través de la beta-oxidación.

El oxígeno es transportado por la sangre y ésta bombeada por el corazón. De hecho, a mayor exigencia metabólica mayor necesidad de oxígeno, de tal manera que es necesario incrementar el gasto cardíaco para sostener la demanda. Se sabe hoy que el incremento del gasto cardíaco se hace fundamentalmente aumentando la frecuencia cardíaca y sólo en un 10 a un 15 % aumentando el vaciado sistólico (Patteson 1996; Rose, et al 1990; Lightowler y col 2002). Parecería entonces que el factor limitante es el vaciado sistólico y por ende el volumen del ventrículo. Un simple razonamiento indica que si se parte de un ventrículo de mayor tamaño, se cuenta con la ventaja de tener un “plus” de vaciado sistólico. Este es el principio por el cual, una de las técnicas para seleccionar al caballo “superior” es buscando aquel que posea el mayor tamaño cardíaco (Haun 1999; Stewart 1980).



Dos técnicas se conocen para evaluar el tamaño cardíaco en el animal vivo. Una es a través del electrocardiograma y la otra por medio de la ecocardiografía bidimensional

### 3.1.1 Electrocardiografía

En el año 1963 John Steel comprobó la existencia de relación entre algunos parámetros del electrocardiograma, el peso del corazón equino y la cantidad de dinero ganado en carreras, relaciones que verificó estadísticamente. Por encontrar la mayor correlación entre el valor en milisegundos del promedio del intervalo QRS en las tres derivaciones bipolares estándar y el peso cardíaco, estableció el concepto de "Heart Score" ("HS"), sugiriendo que dicha medida permitía inferir respecto al tamaño cardíaco y, considerando que este es un carácter deseable para el buen desempeño competitivo el "HS" era un buen indicador de "performance potencial" (Steel1963a; Steel1963 b; Steel et al 1974; Steel et al 1977). A partir de la publicación y difusión de este concepto se instaló una controversia que todavía hoy continúa, entre aquellos que consideran válido el concepto (Stewart 1980; Nielsen et al 1980) y sus resultados aceptables en la selección de los mejores competidores y quienes entienden que la duración promedio del intervalo QRS del electrocardiograma ("HS") no es un indicador adecuado de performance potencial (Gross et al 1974; Leadon et al 1982,1991; Moodie 1980). Sin dudas, la sencillez del procedimiento lo convierte en una técnica atractiva.

Sin embargo, el advenimiento de la ecocardiografía, con la cual puede medirse la masa miocárdica ventricular izquierda, relacionada fuertemente con el peso corporal (Lightowler y col 2000, 2001c) permitió demostrar que no existe ninguna relación entre dicha masa y el "Heart score". Ello es un punto importante pues si la masa miocárdica ventricular izquierda es un porcentaje del peso cardíaco y el valor del Intervalo QRS depende de la cantidad de músculo que se despolariza (peso), ambas variables deberían correlacionar en forma estadísticamente significativa y no lo hacen (coeficiente de Pearson:

0,0705; p-value 0,7482; Lightowler y col 2001a). Por otro lado, si lo mencionado por Steel en el sentido de que el valor del intervalo QRS correlaciona fuertemente con el peso cardíaco y la masa miocárdica ventricular izquierda lo hace fuertemente con el peso corporal, el intervalo QRS debería correlacionar de la misma manera con el peso corporal. Estudios recientes demuestran que tal correlación no existe (coeficiente de Pearson: 0,1315, p-value 0,5497; Lightowler y col 2001a, 2002). Es importante mencionar que cuando el animal se entrena, el valor del denominado "Heart score" crece como consecuencia de la hipertrofia cardíaca fisiológica, aunque este hecho carece de valor predictivo (Piccione et al 2000). De lo mencionado surge claramente que el denominado "Heart Score" no es un índice adecuado para evaluar el tamaño cardíaco en el caballo, de tal manera que no debe utilizarse como herramienta con este propósito y por lo tanto carece de valor para evaluar performance potencial

### 3.1.2 Ecocardiografía bidimensional

Se mencionó ya que para que un caballo tenga un desempeño atlético superior, la estructura y función de su sistema cardiovascular es fundamental y el tamaño cardíaco es el factor más importante para lograr un volumen minuto cardíaco máximo y por ende una óptima capacidad aeróbica (Kubo et al 1974; Hodgson et al 1994). La ecocardiografía es en la actualidad la técnica más idónea para obtener imágenes del corazón equino (Pipers 1977, 1978, 1982; Bonagura 1985, 1995; Reef 1990, 1991; Kienle 1995). En ellas, no solo es factible evaluar la funcionalidad (movimiento) de sus estructuras, sino además, analizarlas desde el punto de vista anatómico. Tanto en la evaluación en eje corto como en eje largo se pone en evidencia el tamaño y la forma de sus cavidades y las características cuali y cuantitativas de las paredes, tabiques divisorios y válvulas (Kienle 1995; Long 1992). Asimismo y si se siguen los lineamientos establecidos para realizar las mediciones necesarias (Schiller 1987), esta técnica se muestra como la más idónea para medir la masa miocárdica ventricular izquierda

(Deveraux et al 1977; Reichek et al 1983; Schiller 1987; Reichek 1987; Lightowler y col 2000, 2001c). Se sabe de la existencia de una estrecha relación entre los valores de la masa ventricular izquierda determinada ecocardiográficamente y el peso de la misma determinado por necropsia (O'Callaghan 1985). Muchas son las técnicas y fórmulas empleadas para la determinación de la masa miocárdica ventricular izquierda en el hombre y en animales. La elección de una u otra depende de varios factores, entre los que se destaca la especie (Deveraux et al 1977; Kienle 1995; Lightowler y col 2001c).

Específicamente para el caso del caballo, es necesario emplear fórmulas que no requieran la medición del eje largo cardíaco, dado que es imposible lograr en esta especie una imagen ecocardiográfica única que muestre el eje largo del ventrículo izquierdo en su verdadera dimensión (Kienle 1995). Es importante destacar, que desde el punto de vista práctico, no es necesaria la determinación de la masa cardíaca total, dado que es el ventrículo izquierdo el responsable básico del volumen minuto cardíaco (Schiller 1987; Reichek 1987). Determinar la masa ventricular como dato aislado carece de valor dado que de esta manera no se cuenta con un elemento comparativo que permita realizar inferencias de su superioridad o no (o de su normalidad o no, cuando se analizan patologías).

Se ha comprobado en el caballo la existencia de una altísima y significativa correlación positiva entre la masa miocárdica ventricular izquierda, el peso y la superficie corporal (Lightowler 2000, 2001c), de tal manera que a través de formulas alométricas desarrolladas (Kline et al 1991; Lightowler y col 2000, 2001c) se puede, a partir de cualquier rango de peso o superficie corporal estimar el valor medio para dicho intervalo de la masa ventricular izquierda en el caballo.

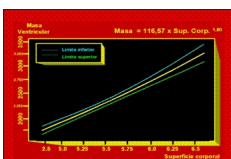


Figura 5: Línea de regresión de la masa miocárdica ventricular izquierda en función del peso corporal y la correspondiente fórmula alométrica. Sobre la base de ambas (línea o fórmula) puede determinarse si los datos encontrados de masa miocárdica ventricular izquierda en un determinado individuo se encuentran dentro del pro-medio, por encima o por debajo del mismo.

Es importante mencionar que si se pretende conocer la potencialidad futura es necesario partir de la evaluación de corazones que no han sufrido las adaptaciones y modificaciones derivadas del entrenamiento pues, en esencia, lo que debe medirse es la masa adquirida solo por el efecto genético (Lightowler y col 2002). Cuando se determina el valor de la masa ventricular a través del estudio ecocardiográfico se obtiene un dato cuantitativo, el cual puede encontrarse dentro de la media para el rango de peso estudiado, por debajo de la misma o por encima de esta y aún sobrepasando o no, los límites de confianza establecido en las líneas de regresión (Lightowler y col 2000, 2001c). Así, y sobre la base del conocimiento actual, es válido considerar que el caballo que presenta un valor de masa ventricular izquierda por encima de la media para un peso corporal determinado, estará mejor adaptado cardiológicamente para el ejercicio (Haun 1999; Lightowler 2000, 2001c). Si este animal presentan además las condiciones medias que lo convierten en un animal apto para desempeñar una actividad deportiva, es bien entrenado y no sufre lesiones limitantes ajenas al aparato circulatorio que entorpezcan su performance, es probable que tenga un mejor desempeño competitivo que otro, en las mismas condiciones pero con menor masa miocárdica ventricular izquierda.

En un estudio preliminar no publicado (Lightowler y col 2003) se obtuvieron los siguientes resultados: sobre el total de 37 caballos SPC (machos enteros), sin entrenamiento previo se realizó la evaluación de la masa miocárdica ventricular izquierda (MMVI) por medio de ecocardiografía bidimensional. En base a los resultados obtenidos se separaron tres grupos: a) caballos que presentaban una MMVI dentro

de los valores normales para el peso- n=26, b) caballos cuya MMVI fue menor que los valores normales esperados- n: 7) y c) caballos cuyo valor de MMVI fue superior al esperado según peso corporal- n= 4). Se siguió a posteriori y durante 16 meses la campaña competitiva de dichos caballos verificando los siguientes resultados: Grupo a) de los 26 estudiados corrieron 18, de los cuales 5 ganaron 1 carrera, 2 ganaron 2 carreras y 1 ganó tres carreras, Grupo b) corrieron los 7 caballos y 1 fue ganador de 1 carrera. Grupo c) de los 4 corrieron 3, con los siguientes resultados 1 no ganó ninguna carrera y los otros 2 ganaron cada uno 2 carreras. Si bien los mencionados resultados necesitan más procesamiento, la tendencia que muestran es que, descartados otros factores, la selección en base al tamaño cardíaco proporciona resultados alentadores.

### 3.2 Para el diagnóstico de la efectividad del entrenamiento

El músculo cardíaco sometido a un esfuerzo modifica tanto su tamaño como su forma y lo hace en función del tipo de entrenamiento al cual es sometido (Kubo et al 1974; Fregin 1983). En general las modificaciones se producen en un periodo de tiempo corto, obviamente dependiendo de la intensidad del entrenamiento. Es importante tener en cuenta que las modificaciones logradas, no son permanente, sino que, retirado el caballo del entrenamiento, se produce el efecto contrario: las modificaciones de tamaño y forma se revierten, aunque nunca alcanzando los niveles de pre-entrenamiento (Kriz et al 1966).

Como describiremos más adelante, las modificaciones que sufre el corazón como consecuencia del entrenamiento son semejantes a las que desarrollan como secuela de los procesos patológicos, lo que demuestra que las respuestas cardiacas son limitadas, no importando cual sea el fenómeno que la provoca (Patteson 1996). Este hecho es digno de tener en cuenta pues en oportunidades puede ser necesario tener que diferenciar si el estado cardíaco que se presenta es debido a un proceso patológico o sólo la respuesta al entrenamiento.

Las formas de entrenamiento pueden resumirse en tres: para

resistencia (por ejemplo enduro), para potencia (velocistas, tracción) y mixto (potencia y resistencia).

El entrenamiento para resistencia se caracteriza por la realización de ejercicios de cierta duración (en general mayor a 10 minutos), donde se desarrolla una frecuencia cardíaca y una tensión arterial submáximas, requiere metabolismo aeróbico, sin acumulación de lactato. Esto produce una adaptación cardíaca caracterizada por incremento del tamaño de las cámaras cardíacas, acompañado de aumento de la masa miocárdica como consecuencia del incremento moderado del espesor de las paredes cardíacas. Estos fenómenos tienen la característica de que respetan la relación de la pared ventricular y tabique interventricular con la correspondiente cavidad (Byrd 1985; Fagard 1997). Funcionalmente se produce un leve incremento de la descarga sistólica y una disminución de la frecuencia cardíaca.

Como contrapartida, el entrenamiento para potencia implica la realización de ejercicios fuertes y de corta duración, donde la frecuencia cardíaca desarrollada y la tensión arterial son máximas, lo que implica metabolismo anaeróbico con acumulación de lactato. En esta situación la adaptación cardíaca se caracteriza por un incremento notable del espesor de las paredes del corazón, con incremento de la masa miocárdica, pero sin aumento del tamaño de la cavidad. Ello implica la pérdida de la relación espesor de pared-volumen de la cavidad (Espesor Parietal Relativo; Fagard 1996). En ambas situaciones se produce un incremento de la masa miocárdica del alrededor del 30 %.

Desde el punto de vista ecocardiográfico el entrenamiento puede seguirse monitoreando las modificaciones morfogeométricas que sufre el corazón. Es importante tener en cuenta que en general las modificaciones que se producen son de valor discreto y que existen muchas variaciones, razón por la cual, cada caso analizado debe considerarse como una situación particular y única (Lightowler y col 2001b).

Que valoramos ecocardiográficamente? Cuanto y de que manera crece el corazón. El corazón puede crecer en tamaño y ello lo

valoramos midiendo por un lado el diámetro ventricular en sístole y en diástole y calculando los volúmenes de las cámaras (Lightowler y col 2002a).

También crece en peso, hecho que ecocardiográficamente podemos valorar calculando la masa miocárdica ventricular izquierda. La forma en que se distribuye ese tamaño en relación al peso logrado caracteriza la geometría, la cual puede evaluarse en el ecocardiograma calculando el denominado espesor parietal relativo y la relación existente entre el volumen ventricular y la masa miocárdica. Con los parámetros mencionados puede definirse perfectamente como se comporta el corazón cuando recibe entrenamiento para potencia o para resistencia, situación que se resume en la tabla siguiente (Lightowler et al 2002):

Parámetro

Normal

Potencia

Resistencia

Diámetro ventricular

N

N

>

Masa miocárdica

N

>

>

Volumen ventricular

N

N



>

Espesor parietal relativo

N

>

N

Relación Volumen / Masa

N

<

N

Dos estudios recientes demostraron que caballos que fueron entrenados para resistencia incrementaron significativamente su diámetro ventricular izquierdo, su masa ventricular izquierda y su volumen ventricular, conservando dentro de valores normales el espesor parietal relativo y la relación volumen/masa, mientras que los entrenados para velocidad mantuvieron el diámetro y el volumen ventricular dentro de valores normales, aumentando el valor del espesor parietal relativo y disminuyendo la relación volumen/masa (Lightowler y col 2001b, 2002)

#### 4.- Hematología y enzimas sanguíneas

A través de la hematología y bioquímica clínica se puede evaluar el estado de salud y las adaptaciones de los equinos al ejercicio. El recuento de eritrocitos, la determinación de hemoglobina, hematocrito, lactato plasmático, electrolitos y enzimas musculares entre otras determinaciones permiten evaluar el estado de adaptación de los animales al ejercicio, sometiendo los caballos a un ejercicio estandarizado ya sea en una cinta rotatoria "treadmill" o en condiciones de campo (Lindner 1998; Couroucé et al 2000). Sin embargo, es imposible determinar si el caballo será ganador por los análisis realizados en el laboratorio.

De los parámetros señalados, la determinación del hemograma está influenciada por: la raza, el sexo, la edad, el tiempo de toma de la muestra, el momento de la alimentación, la actitud de los animales y la cantidad de ejercicio realizado antes de la toma de la muestra, factores que deben ser considerados en el momento de realizar el examen (Feldman et al 2000).

Normalmente se usa la vena yugular externa utilizando sistemas de vacío con tubos con o sin anticoagulante. La muestra se debe mantener refrigerada hasta su análisis para evitar cambios en las concentraciones de algunos componentes y alterar los resultados del

examen (Messer 1995). Se puede determinar el recuento total de eritrocitos ( $10^6 \times \mu\text{L}$ ), hematocrito o volumen globular (L/L), hemoglobina (g/L) y los índices hematológicos: Recuento total y diferencial de leucocitos y recuento de trombocitos. Además se puede realizar el estudio de las características de los eritrocitos, leucocitos y trombocitos en el frotis sanguíneo (Feldman et al 2000).

En la práctica, en el análisis de la serie roja, la determinación del volumen globular (VG) o hematocrito es el más usado, determinándose mediante la técnica del microhematocrito.

La actividad de las enzimas creatina fosfoquinasa (CK), aspartato amino transferasa (AST) y láctico deshidrogenasa (LDH) se presentan en concentraciones menores de: 200 UI/L, 400 UI/L y 700 UI/L, respectivamente en equinos en condiciones basales, siendo su determinación útil para realizar el pronóstico y diagnóstico de patologías musculares y evaluar la respuesta del músculo esquelético al ejercicio. Debido a que no todas estas enzimas son órgano-específicas, en algunas oportunidades es importante determinar sus isoenzimas.

#### 4.1 Para el diagnóstico del potencial competitivo

En condiciones basales el VG en equinos de sangre caliente, tiene valores entre 0.30 y 0.40 l/l. Cuando un caballo es sometido a un ejercicio se produce una estimulación simpática y contracción del bazo, incorporándose a la circulación los eritrocitos de reserva, aumentando el VG en un 33% aproximadamente, alcanzando durante el ejercicio valores que oscilan entre un 0.5 a 0.55 l/l en equinos de competencia ecuestre, presentándose en los fina sangre de carreras valores que pueden superar al 0.60 l/l. El aumento significativo del VG y la recuperación de los valores basales terminado el ejercicio indican que el animal tiene un potencial competitivo.

Equinos con un volumen globular bajo el promedio en condiciones basales y con aumento no significativo durante el ejercicio son indicativos de un potencial no competitivo y en algunas oportunidades

ello podría asociarse con anemias o procesos infecciosos (Jain et al 1995).

El recuento de leucocitos aumenta durante el ejercicio asociado a neutrofilia, sin embargo, no tiene utilidad como valor predictivo de potencial competitivo.

En relación a las enzimas, la CK es la primera que aumenta durante el ejercicio debido a su peso molecular y ubicación en el citosol (Kaneko et al 1997). Cuando los animales realizan un trabajo de intensidad moderada, se produce un aumento de 50 a 100% sobre los valores basales de ellas. Si el caballo no está en condiciones para competir y se determinan las enzimas éstas van a presentar valores cuya magnitud está relacionada con la intensidad y duración del ejercicio (Hodgson et al 1985), registrándose valores de CK del orden de 5.000 a 10.000 UI/l y de AST y LDH sobre las 1.000 UI/l (Michaux et al 1987). Si la actividad de estas enzimas en el suero no disminuye, significa que hay un daño muscular activo en ejemplares que no están en condiciones de competir (Deldar 1982). En la medida que la enzima CK retorna a los valores basales y la AST y LDH están aumentadas, hay una recuperación del daño de la fibra muscular.

#### 4.2 Para el diagnóstico de la actual capacidad competitiva

En un equino que está participando en actividad competitiva, en condiciones basales, los valores de hematocrito son levemente superiores a los de un caballo en condiciones de reposo (sin ejercicio). Ello se debe al aumento de la producción de eritropoyetina que estimula la eritropoyesis en la médula ósea. Este efecto es significativo cuando los caballos son sometidos a ejercicios de alta intensidad, algunos autores reportan un aumento del VG en condiciones basales en equinos de competencia ecuestre, pero estos cambios no son tan significativos como en equinos de carrera. Cuando son evaluados durante el ejercicio, se produce un aumento significativo del hematocrito, pudiendo alcanzar valores de VG de 0.60 l/l, dependiendo del tipo de deporte ecuestre.

En caballos de competencia de enduro se observa un aumento progresivo del VG durante las distintas etapas de la carrera; este aumento en el tiempo se asocia con un aumento de las proteínas plasmáticas debido a la deshidratación que presentan los animales durante la prueba (Martínez et al 2001).

Respecto a las enzimas, en condiciones basales presentan baja actividad y aumentan en la sangre durante los primeros meses de entrenamiento, posteriormente las enzimas van disminuyendo debido a la adaptación de la fibra muscular al ejercicio, por lo que si bien se pueden presentar aumentos moderados de sus actividades, las enzimas retornan a los valores basales rápidamente siendo indicativo de una adaptación adecuada de las fibras musculares al ejercicio. El aumento transitorio y moderado de ellas en la sangre es producto de cambios en la permeabilidad de las membranas de las fibras.

#### 4.3 Para el diagnóstico de la efectividad del entrenamiento

Un equino sometido a un entrenamiento adecuado para el deporte que ejecuta, presenta en condiciones de reposo un VG superior al compararlo con equinos de la misma raza y sexo sin entrenamiento. Sin embargo, en algunas oportunidades no se observa este aumento significativo. Al someter un animal al ejercicio, se observa rápidamente un aumento de volumen globular asociado a la intensidad y la duración del ejercicio, indicando una capacidad adecuada del transporte de oxígeno a los tejidos.

Las enzimas se encontrarán en los valores basales para la especie en los animales antes del ejercicio, produciéndose, por efecto de éste, adaptaciones metabólicas y estructurales de las fibras musculares. Sin embargo, no se producen aumentos significativos en la actividad de las enzimas CK, AST y LDH y los valores de ellas vuelven rápidamente a la normalidad, lo que es indicativo de la adaptación de la fibra muscular al ejercicio (Snow et al 1982; Rudolph 1985).

Es importante tener presente que cuando se trabaja con un grupo de equinos bajo un mismo programa de entrenamiento hay variaciones

individuales especialmente en las actividades de las enzimas, principalmente en las actividades de la CK, que presenta un aumento significativo entre las 4 a 6 horas después de realizado el ejercicio, recuperándose los valores basales rápidamente lo que debe considerarse cuando se evalúa el entrenamiento de ellos.

Un caballo bien entrenado sometido a un ejercicio en “treadmill” o en condiciones de terreno, va a presentar un aumento significativo del VG inmediatamente de iniciado el ejercicio (entre los 2 y 4 minutos), recuperando los valores basales entre los 5 a 10 minutos de terminado él. Respecto a las enzimas, por efecto del ejercicio se produce un aumento de la permeabilidad de la fibra muscular, la cual ha sufrido un proceso de adaptación por el entrenamiento y los valores de las enzimas determinados a las 6 y 12 horas de finalizado el ejercicio van a presentar aumentos moderados (no significativos estadísticamente) y un buen índice de la capacidad adaptativa del músculo es que la actividad de la CK tiende a recuperar sus valores basales rápidamente debido a su corta vida media. De esta manera, la recuperación de los valores de VG una vez terminado el ejercicio y los aumentos moderados de las enzimas en el músculo, indican que el animal ha realizado un entrenamiento adecuado para la exigencia de la prueba. La intensidad y el tiempo de la prueba a ejecutar para evaluar el entrenamiento debe estar en relación con el tipo de prueba en que participará el animal posteriormente.

### Bibliografía

- Armstrong RB, Essén-Gustavsson B, Hoppeler H et al (1992) O<sub>2</sub> delivery at VO<sub>2</sub>max and oxidative capacity in muscles of Standardbred horses. *J Appl Physiol* 73: 2274-2282.
- Barrey E y Langlois B (2000) How to breed for elite show jumper? In: *The Elite Show Jumper*. Ed: Lindner A. Arbeitsgruppe Pferd, Essen, Germany. ISBN 3-00-006051-0. Pp 13-23.
- Barrey E y Biau S (2002) Locomotion of dressage horses. In: *The Elite Dressage and Three-Day-Event Horse*. Ed: Lindner A. Arbeitsgruppe

Pferd, Essen, Germany. ISBN 3-00-009834-8. Pp 17-32.

-Barrey B, Valette JP, Jouglin M et al (1999) Heritability of percentage of fast myosin heavy chains in skeletal muscles and relationship with performance. *Equine Vet J Suppl* 30: 289-292.

-Bayly WM, Grant BD and Pearson RC (1987) Lactate concentrations in thoroughbred horses following maximal exercise under field conditions. In: Gillespie JR, Robinson NE (eds): *Equine Exercise Physiology 2*. ICEEP Publications, Davis, California, USA. Pp 426-437.

-Bergström J, Hermansen L, Hultman E and Saltin B (1967) Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta physiol Scand* 71: 140-150.

-Bonagura JD, Herring DS and Welker F (1985) Echocardiography *Vet Clin N Am Equine Pract.* 1: 311-333.

-Bonagura JD and Blissitt K (1995) Echocardiography. *Equine vet J Suppl* 19: 5-17.

Byrd III BF, Wahr D, Wang YS, Bouchard A, Schiller NB (1985) Left Ventricular Mass and Volume / Mass Ratio Determined by Two-Dimensional Echocardiography in Normal Adults. *JACC* 6: 1021-1025.

-Casini L and Greppi GF (1996) Correlation of racing performance with fitness parameters after exercise tests on treadmill and on track in Standardbred racehorses. *Pferdeheilkunde* 1996 12: 466-469.

-Clayton HM (1998) Gait analysis of dressage performance. In: *Proceedings of the Conference on Equine Sports Medicine and Science*. Ed: Lindner A. Wageningen Pers, ---Wageningen, Netherlands. ISBN 90-74134-56-4. Pp 183-189.

-Couroucé A (1997) Epreuve d'effort standardise de terrain apliquee au cheval trotteur. PhD thesis of the University of Jean Monnet Saint Etienne, Francia.

-Couroucé A, Chatard JC and Auvinet B (1997) Estimation of performance portential of Standardbred Trotters from blood lactate concentrations measured in field conditions. *Equine Vet J* 29: 365-369.

-Couroucé A, Corde R, Valette JP, Cassiat G, Hodgson DR and Rose

RJ (2000) Comparison of some responses to exercise on the track and the treadmill French trotters: Determination of the optimal treadmill incline. *The Veterinary Journal* 159: 57-63.

-Davie A (1999) A scientific approach to the training of Thoroughbred horses. In: Bowden B (ed). *Norsearch Reprographics*, Lismore, Australia.

-Deldar A, Fregin FG, Bloom JC, Davanipour Z (1982) Changes in the selected biochemical constituents of blood collected from horses participating in a 50-mile endurance ride. *Am J Vet Res* 43: 2239-2243.

-Demonceau T (1989) *Appreciation de l'aptitude physique du cheval d'endurance: interet du seuil anaerobie lactique*. PhD thesis of the *Ecole Nationale Veterinarie d'Alfort*, Francia.

Deveraux MD et al (1977) Echocardiographic determination of left ventricular mass in man. *Circulation* 55: 613.

-Donandt D (1986) *Estudios en el centro bavaro de selección equina sobre la valia de variables hemáticas para la selección*. Tesis doctoral en *Medicina Veterinaria*, Universidad de Muenchen, Alemania.

-Erickson HH, Erikson BK, Lundin CS, Gillespie JR and Coffman JR (1990) Performance indices for the evaluation of the equine athlete. *Proc Am Ass Equine Pract* 36: 457-469.

-Erickson HH, Lundin CS, Erikson BK and Coffman JR (1991) Indices of performance in the Racing Quarterhorse. In: Persson SGB, Lindholm A and Jeffcott LB (eds): *Equine Exercise Physiology 3*. ICEEP Publications, Davis, California, USA. Pp 41-46.

-Evans DL, Harris RC and Snow DH (1993) Correlation of racing performance with blood lactate and heart rate after exercise in Thoroughbred horses. *Equine Vet J* 25: 441-445.

-Fagard RH (1996) Athlete's heart: a meta-analysis of the echocardiographic experience. *Cardiol Clin* 14: 256-263.

-Fagard RH (1997) Impact of different sports and training on cardiac structure and function. *Cardiol Clin* 15: 397-412.

-Feldman B, Zinkl J, Jain N (2000) *Schalm' Veterinary hematology*. 5<sup>a</sup> Ed. Feldman, Zink, Jain. Lippcott Williams & Wilkins London.

-Fregin GF, Thomas DP (1983) Cardiovascular response to exercise in



- the horse: a review. in SNOW, D.H.; Persson SGB, Rose RJ (ed). Equine Exercise Physiology 2. Cambridge, England; Granta, pp 76-90.
- Galloux P (1991) Contribution à l'élaboration d'une planification de la préparation énergétique du cheval de concours complet suivi de l'entraînement par la mesure de la fréquence cardiaque et le dosage de la lactatémie. PhD thesis of the University of Poitiers, Francia.
  - Gansen S, Lindner A, Marx S, Mosen H and Sallmann HP (1999) Effects of conditioning horses with lactate-guided exercise on muscle glycogen content. Equine Vet J Suppl 30: 329-331.
  - Gross DR, Muir WW, Pipers FS, Hamlin RL (1974) Reevaluation of the Equine Heart Score. The Southwestern Veterinarian 52: 231-233.
  - Gunn HM (1987) Muscle, bone and fat proportions and muscle distribution of Thoroughbreds and quarter horses. In: Gillespie JR, Robinson NE, eds. Equine exercise physiology 2. Davis CA: ICEEP Publications. Pp 253-264.
  - Harkins MR, Beadle RE and Kamerling SG (1993) The correlation of running ability and physiological variables in thoroughbred racehorses. Equine Vet J 25: 53-60.
  - Haun M (1999) The X Factor. What it is and How to find it. The relationship between inherited heart size and racing performance. The Russell Meerdink Co. Ltd 155 Park Av. Neenah WI 54956 USA ISBN 0-929396-46-7.
  - Hodgson DR, Rose RJ, Di Mauro J and Allen JR (1985) Effects of a submaximal treadmill training programme on histochemical properties, enzyme activities and glycogen utilisation of skeletal muscle in the horse. Equine Vet J 17: 300-305.
  - Hodgson DR et al (1994) Evaluation of performance potential. In: Hodgson D y Rose R. Principles and practice of Equine Sport Medicine. The Athletic Horse. WB Saunders Co. p. 238.
  - Holmström M (2000) How do we recognize elite Show jumpers? In: The Elite Show Jumper. Ed: Lindner A. Arbeitsgruppe Pferd, Essen, Germany. ISBN 3-00-006051-0. Pp 45-56.
  - Jain, N (1993) Essentials of Veterinary Hematology. Ed Lea and Febiger. Philadelphia, USA.

Kaneko J, Harvey J and Bruss M (1997) Clinical biochemistry of domestic Animals. (5<sup>a</sup>ed) Ed. Academic Press New York, USA.

-Kline, H et al (1991) Heart and spleen weights as a function of breed and somatotype. In: Pearsson SGB, Lindholm A, Jeffcott LB (eds): Equine exercise Physiology 3. Davis, Calif. ICEEP Publication p.17.

-Kienle RD, Thomas WD (1995) Equine echocardiography. In Nyland TG, Matton JS. Veterinary Diagnostic Ultrasound. 1st Edition, W.B. Saunders Co. p. 321-32.

-Kriz NG, Rose RJ (1996) Effect of Detraining on Cardiac Dimensions and Indices of Cardiac Function in Horses. Proceeding of the AAEP (CD).

Krzywanek H (1973) Untersuchungen zur Beurteilung der aktuellen Leistungsfähigkeit von Trabrennpferden. Zbl Vet A 20: 265-276.

-Kubo K et al (1974) Relationship between training and heart in the thoroughbred racehorses. Exp Rep Equine Health Lab 11: 87.

-Leadon DP, Cunningham EP, Mahon GA, Todd AJ (1982) Heart score and performance ability in the United Kingdom. Equine vet J 14: 80-90.

-Leadon D, McAllister H, Mullins E, Osborne M (1991) Electrocardiography and Echographic Measurements and Their Relationships in Thoroughbred Yearlings to Subsequent Performance. Equine Exercise Physiology 3: 22-29.

-Lightowler C, Pidal G, Cattaneo ML, Garcia L JA (2000) The left ventricular mass measurement through guided M-Mode echocardiography in the horse. In: Lindner A (Ed) The Elite Show Jumper. Lensing Druck, Dortmund, Germany, p. 149.

-Lightowler C, Pidal G, Romeo del Olmo G, Cattaneo ML (2001a) Masa Miocárdica Ventricular izquierda y "Heart Score" Resúmenes. CICADE 2001.

-Lightowler C, Pidal G, Romeo del Olmo G, Cattaneo ML (2001b) Ecocardiografía y Entrenamiento. Resúmenes CICADE 2001.

-Lightowler C, Pidal G, Cattaneo ML, García Liñeiro JA (2001c) Determinación ecocardiográfica de la masa miocárdica ventricular izquierda en el caballo. InVet 3: 63-74.

-Lightowler C, Pidal G, Piccione G, Giudice E, Romeo del Olmo G,

Cattaneo ML (2002) Using echocardiography to evaluate cardiac changes induced by training in the horse. *Archivio Veterinario Italiano*: 53-61.

-Lindner A (1997) *Laktat und Leistung beim Pferd*. Arbeitsgruppe Pferd. ISBN 3-00-001346-6.

-Lindner A (1998) v4 allows to distinguish better the performance level of standardbred horses than v200. In: *Proceedings of the Conference on Equine Sports Medicine and Science*. Ed: Lindner A. Wageningen Pers, Wageningen, Netherlands. ISBN 90-74134-56-4. Pp 251-253.

-Lindner A (2000) Use of blood biochemistry for positive performance diagnosis of sport horses in practice. *Revue Méd Vét* 151: 611-618.

-López-Rivero JL, Agüera E, Monterde JG et al (1989) Comparative study of muscle fiber type composition in the middle gluteal of Andalusian, Thoroughbred and Arabian horses. *J Equine Vet Sci* 9: 337-340.

-Long KJ (1992) Two-dimensional and M-mode echocardiography. *Equine Veterinary Education*, 4: 303-310.

-Martínez R, Scaglione MC, Luneburg C, Hernández E, Araneda O, González M, Estrada M y White A (2001) Cambios sanguíneos y sudorales en equinos sometidos a carreras de resistencia. *Avances en Ciencias Veterinarias* 16: 58-67.

-Messer NT (1995) The use of laboratory test in equine practice. In: *Clinical Pathology*. ---Messer NT ed. *Vet Clinics of North Am Equine Practice II*: 345-350.

-Michaux JM, Rior C et Roche-Fondeur S (1987) Particularités de la biochimie équine (foie-rein-muscle). *Rev Méd Vét* 163: 1083-1089.

-Moodie EW, Sheard RP (1980) The use of electrocardiography to estimate heart weight and predict performance in the racehorse. *Australian Veterinary J* 56: 557-558.

-Nielsen K, Vibe-Petersen G (1980) Relationship between QRS-duration (heart score) and racing performance in trotters. *Equine vet J* 12:81-84.

-O'Callaghan MW (1985) Comparison of echocardiographic and autopsy measurements of cardiac dimensions in the horse. *Equine vet*

J 17: 361-368.

-Patteson M (1996) Equine Cardiology, Blackwell Science, London, 1th. Ed.

-Piccione G et al (2000) Cardiac parameters of the evaluation of performance in the athlete horse. The Elite Show Jumper, Lensing Druck. Dortmund, Germany. p. 161.

-Pipers FS, Hamlin RL (1977) Echocardiography in the horse. J Am Vet Med Assoc 170: 815-819.

-Pipers FS (1978) Echocardiography in the horse. In: Proceedings of the 23rd Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, pp 173-176.

-Pipers FS (1982) Applications of diagnostic ultrasound in veterinary medicine. Equine Vet J 14: 341-344.

-Ponchard MT (1998) Equine Exercise prescription and talent identification based on plasma lactate kinetics. PhD thesis of the University of Western Australia, Perth, Australia.

-Quiroz-Rothe E, Rivero JLLL (2001) Co-ordinated expression of contractile and non-contractile features of control equine muscle fibre types characterised by immunostaining of myosin heavy chains. Histochem Cell Biol 116: 299-312.

-Reef VB (1990) Echocardiographic examination in the horse: The basics. Compend Contin Educ Pract Vet 12: 1312 -1320.

-Reef VB (1991) Advances in echocardiography. Veterinary Clinics of North America (Equine Practice) 7: 435-450.

-Reichek N, Helak J, Plappert TSt, John Sutton M, Weber K (1983) Anatomic Validation of Left Ventricular Mass Estimates from Clinical Two-dimensional Echocardiography: Initial Results. Circulation 67: 348-352.

-Reichek N (1987) Standardization in the Measurement of Left Ventricular Wall mass. M-mode Echocardiography. Hypertension 9 [Suppl II]: II-27-II-29.

-Rivero JLL (1996) Muscle biopsy as a tool for assessing muscular adaptation to training in horses. Am J Vet Res 57: 1412-1416.

-Rivero Lopez JL (1997) Muscle variables. In: Performance Diagnosis

of Horses. Ed: Lindner A. Wageningen Pers, Wageningen, Netherlands. ISBN 90-74134-48-3. Pp 44-71.

-Rivero JLL (1997) Performance diagnosis and evaluation of fitness in horses by use of muscle biopsies. In: Lindner A, ed. Laboratory diagnosis for sport horses. Wageningen, Wageningen Pers. Pp 48-54.

-Rivero JLL, Clayton H (1996) The potential role of the muscle in kinematic characteristics. *Pferdeheilkunde* 12: 635-640.

-Rivero JLL, Barrey E (2001) Heritabilities and genetic and phenotypic parameters for gluteus medius muscle fibre type composition, fibre size and capillaries in purebred Spanish horses. *Livest Prod Sci* 72: 233-241.

-Rivero JLL, Piercy R (2003) Muscle physiology: responses to exercise and training. In: Hincchiff K, ed. *Equine sports medicine and surgery*. Dublin, Elsevier Press. In press.

-Rivero JLL, Henckel P (1996) Muscle biopsy index for discriminating between endurance horses with different performance records. *Res Vet Sci* 61: 49-54.

-Rivero JLL, Serrano AL, Henckel P et al (1993) Muscle fiber type composition and fiber size in successfully and unsuccessfully endurance-raced horses. *J Appl Physiol* 75: 1758-1766.

-Rivero JLL, Ruz MC, Serrano AI et al (1995) 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.

-Rivero JLL, Valera M, Serrano A et al (1996) Variability of muscle fibre type composition in a number of genealogical bloodlines in Arabian and Andalusian horses. *Pferdeheilkunde* 12: 661-665.

-Rose RJ et al (1990) Clinical exercise testing in the normal thoroughbred racehorse. *Aust Vet J* 67:345.

-Rose RJ and Hogson DR (1994) Hematology and biochemistry. In: *The athletic horses, principles and practice of equine sports. medicine*. Hogdson DR and RoseE RJ eds. WB Saunders Company. Philadelphia, USA

-Rudolph W (1985) *Perfiles bioquímicos de los animales*

domésticos. Monografías Med Vet 7: 5-16.

-Schiller NB (1987) Consideration in the Standardization of Measurement of Left Ventricular Myocardial Mass by Two-Dimensional Echocardiography. Hypertension (Suppl II) 9: II-33-II-39.

-Sloet M (1998) Appropriate blood variables helpfull in diagnosing (sub)clinical disease in the horse. In: Proceedings of the Conference on Equine Sports Medicine and Science. Ed: Lindner A. Wageningen Pers, Wageningen, Netherlands. ISBN 90-74134-56-4. Pp 14-33.

-Snow DH, Valberg SJ (1994) Muscle anatomy, physiology and adaptations to exercise and training. In: Hodgson DR, Rose RJ, eds. The athletic horse: principles and practice of equine sports medicine. Philadelphia: WB Saunders Company. Pp 145-179.

-Snow DH, Kerr MG, Nimmo MA and Abbott EM (1982) Alterations in blood, sweat, urine and muscle composition during prolonged exercise in the horse. Veterinary Record 110 : 377-384.

-Trilk JL, Lindner A, Greene HM, Alberghina D and Wickler SJ (2002) A lactate-guided conditioning program to improve endurance performance. Equine Vet J Suppl 34: 122-125.

-Steel JD (1963) Studies on the electrocardiogram of the racehorse. The electrocar-diogram In relation to the heart weight. Australasian Medical Publishing Company Limited, Sydney, pag 41-42.

-Steel JD (1963) Studies on the electrocardiogram of the racehorse. The electrocardio-gram in relation the racing performance. Australasian Medical Publishing Company Limited, Sydney, pag 42-46.

-Steel JD and Stewart GA (1974) Electrocardiography of the horse and Potential Per-formance ability. J S Afr Vet Ass 45: 263-268.

-Steel JD et al (1977) The inheritance of heart score in racehorse. Aust Vet J 53: 306.

-Stewart GA (1980) The use of electrocardiography to estimate heart weight and pre-dict performance in racehorse. Australian Veterinary J 56: 558-559.

-Xanke U (1985) Desarrollo de los criterios de selección en la raza Pura Sangre Arabe en Alemania. Tesis de diploma en Agronomía, Universidad de Goettingen, Alemania.

## Leyenda de las figuras

Figura 3. Cortes transversales seriados de biopsias del *M. gluteus medius*

teñidas mediante ATPasa miofibrilar tras preincubación ácida (A y C) y succínico deshidrogenasa (B y D) en un caballo Español adulto joven (3 años) sin entrenamiento (A y B) y en un caballo Español adulto (10 años) y entrenado regularmente (C y D). Nótese la más baja proporción de fibras tipo I (teñidas de negro en ATPasa) y el mayor porcentaje de fibras tipo IIX (intermedias en ATPasa) con baja capacidad oxidativa (escasamente teñidas en la técnica de succínico deshidrogenasa) en el animal joven comparado con el caballo adulto y bien entrenado. Esta diferencia en el estado basal del músculo explica el mayor rango de adaptaciones musculares en respuesta al entrenamiento en el animal joven que en el adulto.

Figura 4. Ejemplo de un informe individual de biopsia muscular en un caballo de raza española, en el que se detallan los parámetros musculares examinados en 3 biopsias del *M. gluteus medius* obtenidos a diferentes profundidades y se comparan con medias de referencia obtenidas a partir de una base de datos previamente establecida. También se muestran varios índices teóricos de diferentes aptitudes musculares establecidos a partir de una puntuación relativa en la escala de 0 a 10. Explicación en el texto.

## Correspondencia

Armando Islas Letelier

Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Concepción  
Casilla 537, Chillán, Chile  
E-mail: [aislas@udec.cl](mailto:aislas@udec.cl)

Arno Lindner  
Arbeitsgruppe Pferd, Laurahoehe 14, D-45289 Essen, Alemania  
E-Mail [arnolindner@t-online.de](mailto:arnolindner@t-online.de)

Carlos H. Lightowler  
Area Enfermedades Quirurgicas, Facultad de Ciencias Veterinarias,  
Universidad de Buenos Aires  
Chorroarin 280, C.P. 1427  
Buenos Aires, Argentina  
[olmo@fvet.uba.ar](mailto:olmo@fvet.uba.ar)

José Luis López Rivero  
Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, Sanidad Animal  
Crtra Madrid a Cádiz, Km 396, E-14014 Córdoba, España  
Teléfono: +34 957 21 81 43  
Fax: +34 957 21 88 47  
E-mail: [an1lorij@uco.es](mailto:an1lorij@uco.es)