

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA**

**EVALUACIÓN DE LA INTEGRIDAD Y METABOLISMO ENERGÉTICO
MUSCULAR EN EQUINOS EN ENTRENAMIENTO PARA PRUEBA COMPLETA**

por

ALIQUO FERNANDEZ, Karina Micaela

TESIS DE GRADO presentada como uno de
los requisitos para obtener el título de
Doctor en Ciencias Veterinarias
Orientación: Medicina Veterinaria

MODALIDAD: Ensayo experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2016**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa:

Dr. Oscar Ferreira

Segundo Miembro:

Dr. Pedro Martino

Tercer Miembro:

Dr. Gonzalo Marichal

Cuarto Miembro:

Dr. Nicholas Bimson

Quinto Miembro:

Dr. Fernando Vila

Sexto Miembro:

Dra. Estefania Mesa

Fecha:

25/10/2016

Autora:

Karina Aliquo

AGRADECIMIENTOS

Especialmente al Dr. Pedro Eduardo Martino Contrera por aceptar ser mi tutor en este proyecto y dedicarle mucho tiempo y dedicación en todas las maneras posibles para que todo se lleve a cabo de la mejor manera. Por su apoyo incondicional y su predisposición siempre.

Al Dr. Nicholas Bimson por su trabajo como co-tutor en la tesis, dando toda su energía y conocimiento y formando parte del vínculo esencial para realizar esta investigación.

A la Dra. Estefanía Mesa por su entusiasmo y dedicación como co-tutora, siempre ayudando y aconsejándome.

Al Dr. Fernando Vila, quien dedicó mucho tiempo y aportó su enorme conocimiento sobre los cálculos estadísticos realizados.

A toda la Cátedra de Laboratorio de Análisis Clínicos por su colaboración en la medición de los parámetros a testear tanto como a la provisión del material.

A todo el equipo nacional de Prueba Completa uruguayo que aceptó formar parte de esta investigación y tuvo excelente predisposición siempre.

A los bachilleres Ignacio Bonino, Nicolás Álvarez, María Noel Castilla, Valentina Díaz que ayudaron a llevar a cabo el muestreo con gran entusiasmo.

A mi familia, ya que formó y formará siempre un pilar fundamental en el desarrollo de mi carrera universitaria brindando su confianza, apoyo y amor.

A mis amigos de siempre. Y a todos mis compañeros de esta carrera y en especial a aquellos que han sabido convertirse en amigos muy queridos.

A las funcionarias de la biblioteca por su ayuda en la búsqueda del material.

Y por último agradecer a todos los que forman parte de esta gran casa de estudio que de una manera u otra me han acompañado durante toda la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	Página 2
AGRADECIMIENTOS.....	Página 3
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS.....	Página 6
RESUMEN.....	Página 9
SUMMARY.....	Página 10
1.INTRODUCCIÓN.....	Página 11
1.1 PRUEBA COMPLETA O EVENTING.....	Página 11
2.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	Página 14
2.1 HISTORIA DEL CABALLO EN URUGUAY.....	Página 14
2.2 HISTORIA DE PRUEBA COMPLETA EN URUGUAY.....	Página 15
2.3 FISIOLÓGÍA DEL EJERCICIO	Página 16
2.4 METABOLISMO ENERGÉTICO	Página 16
2.5 LACTATO.....	Página 19
2.6 EL SISTEMA MUSCULAR	Página 28
2.7 ENZIMOGRAMA MUSCULAR.....	Página 37
2.8 EL SISTEMA CARDIOVASCULAR.....	Página 39
2.9 TERMORREGULACIÓN	Página 42
3.OBJETIVOS.....	Página 45
4.MATERIALES Y MÉTODOS.....	Página 46
5.RESULTADOS.....	Página 49
5.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	Página 49
5.2 ESTADÍSTICA INFERENCIAL.....	Página 53
6.DISCUSIÓN.....	Página 56
7.CONCLUSIONES.....	Página 62
8.BIBLIOGRAFÍA.....	Página 64

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

FIGURA 1.....Página 19

Esquema de Integración Metabólica.

FIGURA 2.....Página 20

Ciclo de Cori.

FIGURA 3.....Página 27

Concentración de lactato hemático en caballos después de correr escalones de 5 minutos de duración a diferentes velocidades (6 caballos; promedio \pm desviación estándar).

FIGURA 4.....Página 27

Concentración de lactato hemático en caballos después de correr escalones de diferente duración a la misma velocidad (6 caballos; promedio \pm desviación estándar).

FIGURA 5Página 29

Estructura de un Músculo Esquelético.

TABLA 1.....Página 30

Características de los Diferentes Tipos de Fibras Musculares.

FIGURA 6.....Página 31

Preparados Histológicos de Distintos Músculos para comparar su Composición de los Diferentes Tipos de Fibras.

FIGURA 7.....Página 32

Sección transversal del músculo glúteo medio coloreada con adenosina trifosfatasa miofibrilar luego de preincubación ácida (pH 4,4), tomada de cuatro razas deportivas diferentes a la misma profundidad.

FIGURA 8.....Página 33

Resumen de las tres respuestas básicas del músculo esquelético al entrenamiento.

FIGURA 9.....Página 34

Cortes transversales seriados de biopsias del músculo glúteo medio del mismo caballo extraídas antes y después de 9 meses de entrenamiento.

FIGURA 10.....Página 40

Frecuencia cardíaca en caballos después de correr escalones de diferente duración a la misma velocidad (5 caballos; promedio \pm desviación estándar).

FIGURA 11.....Página 41

Frecuencia cardíaca en caballos después de correr escalones de 5 minutos de duración a diferentes velocidades (6 caballos; promedio \pm desviación estándar).

FIGURA 12.....Página 43

Obsérvese los diferentes mecanismos de producción y disipación de calor que posee el caballo.

FIGURA 13.....Página 44

Diferentes variables que afectan en mayor o menor medida la disipación de calor.

FIGURA 14.....Página 49

Milimol por Litro de Lactato plasmático de cada caballo medido en las diferentes etapas de estudio en el Día 1.

FIGURA 15.....Página 49

Milimol por Litro de Lactato plasmático de cada caballo medido en las diferentes etapas de estudio en el Día 2.

FIGURA 16.....Página 50

Media de Lactato Comparando entre Fases del Día 1 y 2 .

FIGURA 17.....Página 51

Evolución de la Media de la Creatinquinasa Sérica.

FIGURA 18.....Página 52

Comparación de las Medias de la Frecuencia Cardíaca Medida en Cada Fase Entre el Día 1 y Día 2.

FIGURA 19.....Página 53

Relación de la Media de Lactato de Cada Fase con la Media General.

FIGURA 20.....Página 54

Relación de la Media de Creatinquinasa de Cada Fase con la Media General.

FIGURA 21.....Página 55

Relación de la Media de la Frecuencia Cardíaca de Cada Fase con la Media General.

RESUMEN

El Eventing o Prueba Completa es una modalidad ecuestre que requiere de una enorme preparación física dado que es un deporte que exige un gran esfuerzo a los animales. En Uruguay, es un deporte difundido casi exclusivamente a nivel militar y no se han realizado muchas investigaciones vinculadas a estos animales. Por tal razón se realizó este estudio como punto de partida para evaluar animales dentro de este deporte en nuestro país. En este trabajo, se estudió el metabolismo energético de los caballos, mediante la medición de lactato plasmático y de la frecuencia cardíaca (FC), y la integridad muscular de los animales, mediante la medición de creatinquinasa (CK) en el suero sanguíneo. Dicho estudio se realizó en 5 caballos del Equipo Nacional de Prueba Completa. La razas presentes fueron: la Deportivo Uruguay, Pura Sangre de Carrera y Mixta y el rango de edades de los equinos fue entre 8 y 16 años. Este trabajo se basó en la evaluación de manera experimental de dos entrenamientos, con una diferencia de 10 días, llevadas a cabo en el Hipódromo Nacional de Maroñas. En cada evaluación se realizaron una serie de ejercicios en pista a diferentes velocidades, determinándose al final de cada serie la frecuencia cardíaca de cada animal mediante fonendoscopio común, y se extrajeron las muestras de sangre de la vena yugular. Los resultados obtenidos en la evaluación determinaron que los caballos estudiados superaron los 4 mmol/litro establecidos para el umbral anaeróbico, constatándose por lo tanto un metabolismo anaeróbico durante las instancias evaluadas. A medida que se aumentó la duración de ejercicio realizado, aumentaron también los niveles de CK pero siempre dentro del rango fisiológico, por lo que se atribuye a un aumento en la permeabilidad de la membrana y no a un daño muscular. También se observó que existe una relación directa entre la duración de ejercicio y la frecuencia cardíaca. No obstante, debería realizarse otro estudio con una población mayor para darle mayor confiabilidad a lo observado.

SUMMARY

Eventing or Complete Test is an equestrian modality that requires enormous physical preparation, requiring great effort from animals. In Uruguay, it is a sport widely spread almost exclusively at military level and not much research has been done related to these animals. For this reason, this investigation was conducted as a starting point in order to evaluate animals within this sport in our country. In this research, we studied horses' energy metabolism by measuring plasma lactate and heart rate (HR) and animals' muscle integrity was studied by measuring creatine kinase (CK) in blood serum. Such investigation was held on 5 horses of the National Eventing Team. The races present were: Deportivo Uruguay, Thoroughbred race horses and mixed and the age range of horses was between 8 and 16 years. This research was based on the evaluation of two experimental training events, with a difference of 10 days, that took place at the Maroñas National Race Track. In each evaluation, a series of exercises were performed on track at different speeds, determining at the end of each series the heart rate of each animal by common stethoscope and blood samples were also drawn from the jugular vein. The results showed that the horses examined exceed 4 mmol/liter established for the anaerobic threshold, thus proving anaerobic metabolism during evaluated instances. While the duration of exercise increased, CK levels also increased but always within the physiological range, which is attributed to an increase in cell membrane permeability and not to damage in the muscle cells. It was also observed that there is a direct relationship between the duration of exercise and heart rate. However, another study should be conducted in a larger population in order to provide greater reliability to what was observed.

INTRODUCCIÓN

En las diferentes modalidades ecuestres, especialmente las que demandan un gran esfuerzo físico como la prueba completa, el nivel de preparación físico de los caballos es decisivo para el alcance de resultados positivos(Gonçalves y col., 2013)

Durante las últimas décadas, los profesionales ligados a la hípica se han interesado en investigar métodos para evaluar las respuestas y/o adaptaciones que el organismo pone en juego frente a la actividad muscular, en aras de mejorar la condición física y el entrenamiento de los atletas para lograr un rendimiento óptimo. Los factores fundamentales a tener en consideración a la hora de programar y realizar el entrenamiento son: el conocimiento de la fisiología del ejercicio efectuado por el deportista y el perfil de su performance con el fin de valorar su tolerancia al ejercicio y permitir la detección temprana de posibles patologías relacionadas(Ponce y col.,1997, Yarza, 2007).

El deportista en general, y especialmente el de alto rendimiento, precisa de un seguimiento constante de su estado de salud y condición física. Aunque el rendimiento deportivo es multifactorial, el objetivo prioritario es la valoración del metabolismo energético, del que depende en gran medida la realización de un esfuerzo(Ponce y col.,1997).

Varios autores citan que la determinación de lactato en plasma , asociado a la medición de la frecuencia cardiaca y el control de la velocidad de la corrida , representan las principales pruebas utilizadas para evaluar el nivel de acondicionamiento físico de los caballos atletas y la eficacia de los protocolos de capacitación dirigidos específicamente a estos animales (Aguera y col., 1995 , Couroucé y col., 1997 , Richard y col. 2009).

PRUEBA COMPLETA O EVENTING

Esta disciplina tiene un origen netamente militar. Cuando en las antiguas guerras no existían las comunicaciones (radio o de otra índole) se usaban los mensajeros. Estos eran expertos jinetes que se desplazaban de una ciudad a otra con sus noticias de guerra. Los mismos debían cubrir largas distancias sorteando distintos obstáculos del terreno (cursos de agua, vegetación, árboles,etc), por lo cual, estos mensajeros eran personajes de verdadera importancia en la estructura militar. Con el advenimiento de largos periodos de paz, los Comandantes debían mantener el entrenamiento de su tropa, para lo cual comenzaron a desarrollarse competencias internas a los ejércitos empleando las técnicas de los mensajeros, es así que nace la disciplina de Eventing.

La Prueba Completa, conocida en el habla inglesa como eventing, es un deporte de origen europeo. Originalmente se diseñó como prueba de condición física y calidad de entrenamiento para caballos y jinetes militares. Tiene como fin, determinar la agilidad, resistencia, velocidad, obediencia y valentía del caballo, así como la destreza del jinete. Consiste en una prueba realizada en tres días consecutivos, en la que se combinan tres disciplinas ecuestres: Adiestramiento o doma (dressage), en el primer día; Cross Country o trabajo de fondo en el segundo, y Salto en el último día (Edwards, 1993, Holderness-Roddam, 1993, Echeverría, 2003).

Una competencia de Prueba Completa que se asemeja al deporte en la actualidad, se llevó a cabo por primera vez en 1902 en el Championnat du Cheval d'Armes en Francia. La primera aparición de la Prueba Completa en las Olimpiadas, fue en 1912 cuando el Conde Clarence von Rosen, Amo del Caballo para el Rey de Suecia, ideó el primer evento. El objetivo del mismo era para probar aptitud e idoneidad de los caballos de batalla de los oficiales de la caballería. El adiestramiento, originalmente demostraba la habilidad del caballo de lucirse en el patio de armas, donde la clave era la elegancia y la obediencia. El Cross-country empezó como un examen de resistencia, coraje y valentía sobre terrenos difíciles, características importantes en corceles destinados a largas marchas en diversos terrenos. La fase de salto buscaba probar la solidez y aptitud continua del caballo después de haber realizado la difícil prueba de cross-country.

(<http://www.discovereventing.com/?q=node/67>).

La prueba Cross Country o trabajo de fondo es la que presenta la mayor dificultad de la competencia, ya que es en la que se pone a prueba la capacidad de recuperación, valentía, fuerza y habilidad para sortear obstáculos naturales y artificiales. Comprende cuatro etapas: la etapa A, caminos y senderos, es una prueba de resistencia donde el caballo trotea de 20 a 30 minutos, para calentar. Sin intervalo, se inicia la etapa B o prueba de fondo, también denominada "Steeplechase" o prueba de obstáculos, donde el animal salta de 6 a 8 obstáculos a una velocidad elevada. La etapa C (caminos y senderos nuevamente) tiene una duración de 40 a 50 minutos, el conjunto (Jinete y caballo) hace un recorrido en la pista, el objetivo es descansar y recuperar el animal. El caballo podrá recibir en esta fase, agua, baño, masajes y un característico chequeo veterinario (check up). En la última etapa, la etapa D es el punto más alto de la competición del segundo día, Campo traviesa o Cross-country. En ella, hay cerca de 35 obstáculos rústicos y naturales dispersos en un campo abierto, donde el conjunto (Jinete y caballo) deberá mostrar toda su valentía saltándolos (Edwards, 1993).

La Prueba Completa es universal, y tiene dos grandes formatos de competición: uno corto y otro largo, donde se realizan las tres disciplinas que

caracterizan al deporte y lo que varía es la distancia. Estos dos formatos existen con las distintas exigencias que tiene cada nivel de competencia (debutante, media, una estrella, dos estrellas, tres estrellas y cuatro estrellas). Por eso es que los formatos cortos pueden realizarse en dos días, donde el adiestramiento se hace en la mañana del primer día, luego cross-country en la tarde, y al otro día se realiza el salto. En los formatos largos, se hace adiestramiento un día, cross-country al otro día, y salto en el último día, siempre con dos inspecciones veterinarias de caballos, siendo una al inicio de la competición y otra después del cross-country, que es la parte de mayor exigencia (Comunicación personal Juan Carlos Núñez, 2015).

En la inspección veterinaria se ejerce el derecho y la obligación de eliminar de la competencia a cualquier caballo que a su juicio no esté apto. Los principales objetivos durante la inspección son:

- a) verificar la identidad de cada caballo desde su correspondiente pasaporte
- b) comprobar que el estado de vacunación concuerde con los requerimientos exigidos.
- c) verificar que todos los otros detalles estén correctamente ingresados en el pasaporte;
- d) averiguar si los caballos han estado en contacto con otros animales padeciendo enfermedades infecciosas o provienen de una zona o establecimiento que no está libre de tales enfermedades;
- e) asegurar que los caballos no estén padeciendo alguna enfermedad infecciosa, que presente un riesgo a la bioseguridad o cualquier otro problema médico o de bienestar.

Esto puede incluir: a) un examen clínico para valorar la frecuencia cardíaca y respiratoria como también la temperatura corporal; b) cualquier otro parámetro clínico pertinente; c) sólo cuando existe una preocupación con respecto a una sospecha de lesión o enfermedad ocurrida durante el viaje, se realiza la palpación de los miembros y/o del cuerpo. Una vez que un animal es eliminado por parte del jurado veterinario, la decisión es inapelable (Veterinary Regulations, FEI)

El objetivo final del Concurso Completo es probar el armonioso desarrollo, velocidad, resistencia, obediencia y habilidad de salto del caballo, y requiere un entendimiento prácticamente perfecto entre el animal y su jinete (Echeverría, 2003).

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

HISTORIA DEL CABALLO EN URUGUAY

El caballo, animal perteneciente al género *Equus* tuvo su origen en América del Norte hace un millón de años, donde se formó como un animal atleta extraordinario, una característica atribuida a el desarrollo de la velocidad para escapar de los predadores y a la resistencia requerida para viajar largas distancias en búsqueda de alimentos y agua. Los insectos, las enfermedades, la actuación del hombre primitivo y la desaparición o agotamiento de alimentos por los efectos de las glaciaciones forzó a estos animales a migrar hacia Asia y Europa extinguiéndose aquellos ejemplares que no lo hicieron (Molerens, 1978, Warren Evans y col, 1979, Hinchcliff, 2007).

Indudablemente, la primera asociación entre hombre y caballo fue de naturaleza unilateral porque el hombre cazaba y subsistía con la carne de los caballos. Junto con la civilización, creció la necesidad de domesticar animales para su posterior usufructo. Fue el caballo uno de los últimos animales de granja en ser domesticados hace aproximadamente unos 6000 años en la región de Eurasia (Ensminger, 1975, Warren Evans, 1979).

Como ya establecimos, gran parte de la evolución del caballo tuvo lugar en América, pero éste animal ya no vivía en el hemisferio occidental cuando se produjo el descubrimiento de Colón, y por lo tanto, el conquistador en su segundo viaje, reintrodujo a los caballos a América en 1519 cuando desembarcó en México (Ensminger, 1975).

Llegan a la Banda Oriental, atravesando el río Uruguay, a mediados del siglo XVI, descendientes de los caballos dejados por la expedición de Don Pedro de Mendoza en Buenos Aires, luego que la población indígena de la zona incendiara la recién nacida población. Otros historiadores dilatan el arribo hasta el año de 1574, cuando Ortiz de Zárate deja parte de su caballada al abandonar nuestro territorio (Ponce de Leon & Zorrilla, 2005).

Por la gran velocidad que poseían los caballos, atributo del cual dependió en parte la supervivencia de las especies salvajes, en el año 1450 a.c., los griegos, amantes de los deportes, introdujeron el caballo en los juegos olímpicos, para las carreras de carros y de caballos montados naciendo con estos los primeros equinos de deporte (Ensminger, 1975).

En la actualidad, los deportes ecuestres son varios, dentro de los cuales se encuentran aquellos de disciplina olímpica y no olímpica. Dentro de los deportes

ecuestres de disciplina olímpica se encuentran el salto, adiestramiento o doma clásica y prueba completa.

HISTORIA DE PRUEBA COMPLETA EN URUGUAY

Aunque no hay documentada una fecha exacta para el primer evento de Prueba Completa realizado en el Uruguay, ediles en el tema presumen que pudo ser con los comienzos de la Escuela de Equitación del Ejército, alrededor de la década de los 40'. Ya en la década del 70' Uruguay tuvo binomios de actuación destacada a nivel regional, compitiendo en Argentina, Brasil y otros países. Desde la década del 80' cuenta con un calendario anual de competencias en todos los niveles, desde categorías debutantes (caballos de corta edad) a los eventos de 2 y 3 estrellas (*) (Comunicación personal Juan Carlos Núñez, 2015).

En tal sentido, se ha participado en los tiempos recientes en los siguientes eventos continentales:

- Juegos Panamericanos: 1995 BsAs -Argentina; 1999 Winnipeg-Canadá; 2007 Rio de Janeiro-Brasil y los recientes Juegos de Guadalajara. México.
- Juegos Olímpicos: 2000 Sydney. Un año memorable para la Prueba Completa de Uruguay, su primera participación olímpica en la historia del hipismo nacional con 2 binomios en la prueba individual.

Actualmente, se encuentran aproximadamente 130 caballos que se dedican a competir en este deporte en nuestro país y la mayoría de ellos son aquellos que se dedican o se dedicaron alguna vez al salto. En el pasado, se decidía destinar a un caballo para Prueba Completa generalmente cuando éste no rendía adecuadamente en competencias de salto, por lo que comenzaban a competir en éste deporte como otra alternativa (Comunicación personal Juan Carlos Núñez, 2015).

Hoy en día es un deporte muy técnico, por lo que se necesitan caballos que se muevan correctamente, para realizar una buena prueba de adiestramiento, que salten a ágilmente, para que no se golpeen en el cross-country, livianos, para que sean más veloces, rústicos, con buenos aplomos, para que las articulaciones puedan soportar las exigencias de los saltos y para que tenga una buena locomoción. Es fundamental, junto con la salud, que un caballo deportivo tenga buen carácter y un entrenamiento que tenga método, que sea progresivo y constante para que el caballo pueda desempeñarse adecuadamente en las tres disciplinas de Prueba Completa (Comunicación personal Juan Carlos Núñez, 2015).

Existen en nuestro país diferentes niveles de competencia. Dentro de los niveles más bajos existe la categoría de debutantes, los cuales en general son caballos de salto que también se los incursiona hacia la prueba completa con

exigencias mínimas. La media estrella, consiste en superar obstáculos más altos y anchos y los recorridos son más largos que en la categoría anterior. Los niveles de una y dos estrellas son más exigentes y siguen los parámetros internacionales de competencia. Se ha llegado a competir de tres estrellas, el cual es el nivel exigido para los campeonatos olímpicos, cuando se tiene la oportunidad de tener caballos de ese nivel (Comunicación personal Juan Carlos Núñez, 2015).

En la actualidad, se mantiene el calendario anual con pruebas periódicas nacionales y 3 pruebas Internacionales (en 1,2 y 3*) con el agregado de pruebas combinadas, para los binomios más jóvenes que se realizan durante el año en algunos de los Clubes civiles del territorio nacional (Comunicación personal Juan Carlos Núñez, 2015).

FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO

El caballo atleta durante su entrenamiento lleva al máximo de su potencial varios sistemas orgánicos, como aquellos involucrados en la producción de energía y principalmente a nivel del sistema músculo-esquelético, respiratorio y circulatorio(Loving, 2010).

Cada animal tiene diferentes potenciales y exigencias condicionadas por una serie de factores tales como la edad, la actividad física y sus características morfo-fisiológicas. El sobreentrenamiento del equino atleta se ve reflejado en un mal rendimiento, causado por el estado de fatiga que se produce, incrementando la posibilidad de lesiones por sobrecarga. Por lo tanto, para no llegar a esto, existen algunas variables fisiológicas que se pueden medir para evaluar la respuesta de los principales sistemas orgánicos involucrados, a los diferentes grados de entrenamiento(Loving, 2010).

Primero debemos entender de donde provienen los parámetros a medir para entender cómo perjudica la performance del equino atleta, y para esto debemos comenzar con los sistemas metabólicos del animal.

METABOLISMO ENERGETICO

La producción de energía es obtenida mayoritariamente a partir de la degradación de adenosin trifosfato (ATP) libre, del fosfato de creatina (PCr), de los carbohidratos y de las grasas, ubicando estos dos últimos sustratos tanto dentro como fuera del músculo (Boffi, 2007).

Los depósitos de ATP libre son escasos y se agotan en corto tiempo, por lo tanto, la célula durante el ejercicio se ve obligada a reponer estos depósitos de ATP y continuar generando energía a partir de otras vías metabólicas.

Además de contener depósitos de ATP libre, la fibra muscular contiene fosfato de creatina (PCr) que puede ser utilizado en ejercicios de alta intensidad y corta duración mediante la degradación que ocurre gracias a la enzima creatinquinasa (CK) que permite la generación de ATP por un corto periodo de tiempo, no mayor a los 7 a 10 segundos (Boffi, 2007).

Bajo condiciones de ejercicio severo los depósitos de ATP y PCr pueden deprimirse en un 50 a 70% ya que estos depósitos son regenerados durante la recuperación pos ejercicio o durante los ejercicios de baja intensidad (Boffi, 2007).

Dentro de la principal vía alternativa de producción de energía se encuentra la metabolización de los carbohidratos, al cual le vamos a dar el mayor enfoque. Los carbohidratos comúnmente utilizados son el glucógeno y la glucosa, que pueden ser degradados por la vía aeróbica, también llamada oxidativa, o por la vía anaeróbica láctica o glucolítica. La vía aeróbica necesita de la presencia de oxígeno para poder generar energía, mientras que la vía anaeróbica no lo requiere. El oxígeno es transportado a las fibras oxidativas del músculo unido a una proteína del grupo hem denominada mioglobina (Boffi, 2007).

La vía oxidativa es la continuación de la degradación aeróbica a través del ciclo de Krebs y de la cadena de transporte electrónico mitocondrial. La producción de energía en forma anaeróbica es esencial para el mantenimiento de los ejercicios de máxima intensidad, cuando la demanda de ATP por unidad de tiempo supera la velocidad con la que puede ser producido en forma aeróbica. Esta vía metabólica, al igual que la degradación de PCr, se activa cuando comienza un ejercicio de máxima intensidad o cuando hay un cambio brusco de intensidad del mismo (Boffi, 2007).

La degradación del glucógeno es producido por la enzima fosforilasa que tiene como metabolito final la glucosa-6-fosfato. Esta enzima fosforilasa es activada por el incremento en la concentración de calcio intracelular generado durante la contracción muscular o por el incremento de epinefrina liberada con el inicio del ejercicio, que hace que la fibra muscular disponga de energía, desde prácticamente el inicio mismo de la actividad física (Boffi, 2007).

La vía glucolítica tiene como enzima paso limitante a la fosfofructocinasa (PFK) que es estimulada o inhibida, entre otros factores, por la relación ATP-ADP y por la concentración de glucosa-6-fosfato. Cuando la concentración de ADP aumenta, la PFK es estimulada, y lo contrario sucede cuando el que aumenta es el ATP. El producto final de esta vía metabólica es el piruvato, que dependiendo de su concentración, de la presencia o no de oxígeno y de la concentración de la enzima lactato deshidrogenasa (LDH) en la fibra muscular, ingresará a la mitocondria para continuar con su oxidación, o será transformado a lactato por intermedio de la LDH con el consiguiente acúmulo de lactato e hidrogeniones en el citoplasma de la fibra muscular (vía anaeróbica láctica) (Boffi, 2007).

En presencia de oxígeno, el piruvato ingresa a la mitocondria y por descarboxilación oxidativa dentro de la misma, es convertido a acetil CoA que ingresa al ciclo de Krebs, que es el inicio de la fase aeróbica u oxidativa (Boffi, 2007).

El ciclo de Krebs o de los ácidos tricarboxílicos consiste en una serie de reacciones entre las que encontramos condensaciones, oxidaciones y descarboxilaciones oxidativas que generan como producto final 2 moléculas de dióxido de carbono (CO_2), 3 moléculas de dinucleótido de nicotinamida hidrogenado (NADH), 1 molécula de dinucleótido de flavina hidrogenado (FADH_2) y 1 molécula de guanosina trifosfato (GTP) (Boffi, 2007).

El NADH y FADH_2 son ricos en energía porque contienen un par de electrones con un alto potencial de transferencia. La cadena de transporte electrónico o fosforilación oxidativa es el proceso por el cual se transforma ATP cuando los electrones se transfieren desde el NADH y FADH_2 al oxígeno. Este proceso consta de una serie de reacciones que ocurren en la membrana mitocondrial interna y donde intervienen una serie de portadores de electrones (Boffi, 2007).

La mayor eficiencia de conversión de una molécula de glucosa a ATP ocurre en el metabolismo aeróbico, ya que tiene un resultado final de 36 ATP, mientras que en el metabolismo anaeróbico solo se producen 2 ATP y 2 moléculas de lactato (Boffi, 2007).

Cuando la velocidad de generación de piruvato por la glucólisis supera la capacidad de oxidación del ciclo de Krebs en el tejido muscular durante un ejercicio anaeróbico, el NADH y el piruvato se van acumulando en la fibra muscular. La enzima LDH oxida el NADH a NAD^+ cuando reduce el piruvato a lactato y de esta forma permite que continúe en funcionamiento la vía glucolítica con el consiguiente incremento de lactato en el interior de la célula.

ESQUEMA DE INTEGRACIÓN METABÓLICA

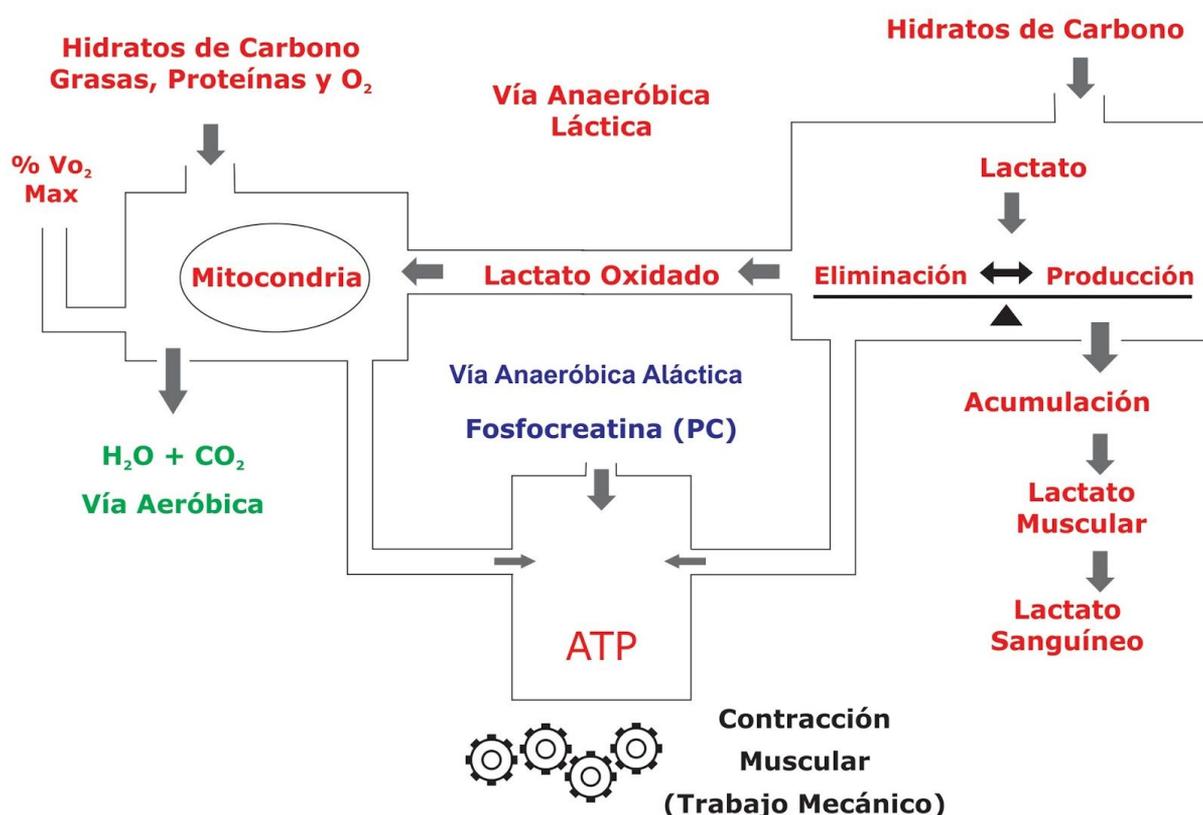


Figura 1. Esquema de Integración Metabólico. Se demuestran las vías energéticas más comunes en los animales que tienen como destino la producción de ATP, en este caso para la contracción muscular. La Vía Aeróbica tiene lugar en la mitocondria, y sus principales sustratos son: Hidratos de Carbono, Grasas, Proteínas y O_2 y los desechos son H_2O y CO_2 . Mientras que la Vía Anaeróbica Aláctica tiene como sustrato a la Fosfocreatina y da como resultado ATP y creatina. Finalmente la Vía Anaeróbica Láctica tiene como sustratos a los Hidratos de Carbono y produce como consecuencia a la producción de ATP Lactato el cual puede ingresar en la mitocondria y ser metabolizado o si su producción es mayor a la tasa de eliminación entonces se comienza a acumular primero a nivel muscular, en este caso, y posteriormente pasa a la sangre.

LACTATO

El lactato, al igual que el piruvato, se difunde fácilmente a través de la membrana plasmática o sarcolema de las fibras musculares. El lactato que sale de la fibra muscular es transportado por la sangre hasta el hígado, donde es oxidado a piruvato y luego transformado a fructosa por la gluconeogénesis de los hepatocitos. Entonces la glucosa formada en el hígado es liberada a la sangre y transportada hasta el tejido muscular completando el ciclo denominado Ciclo de Cori.

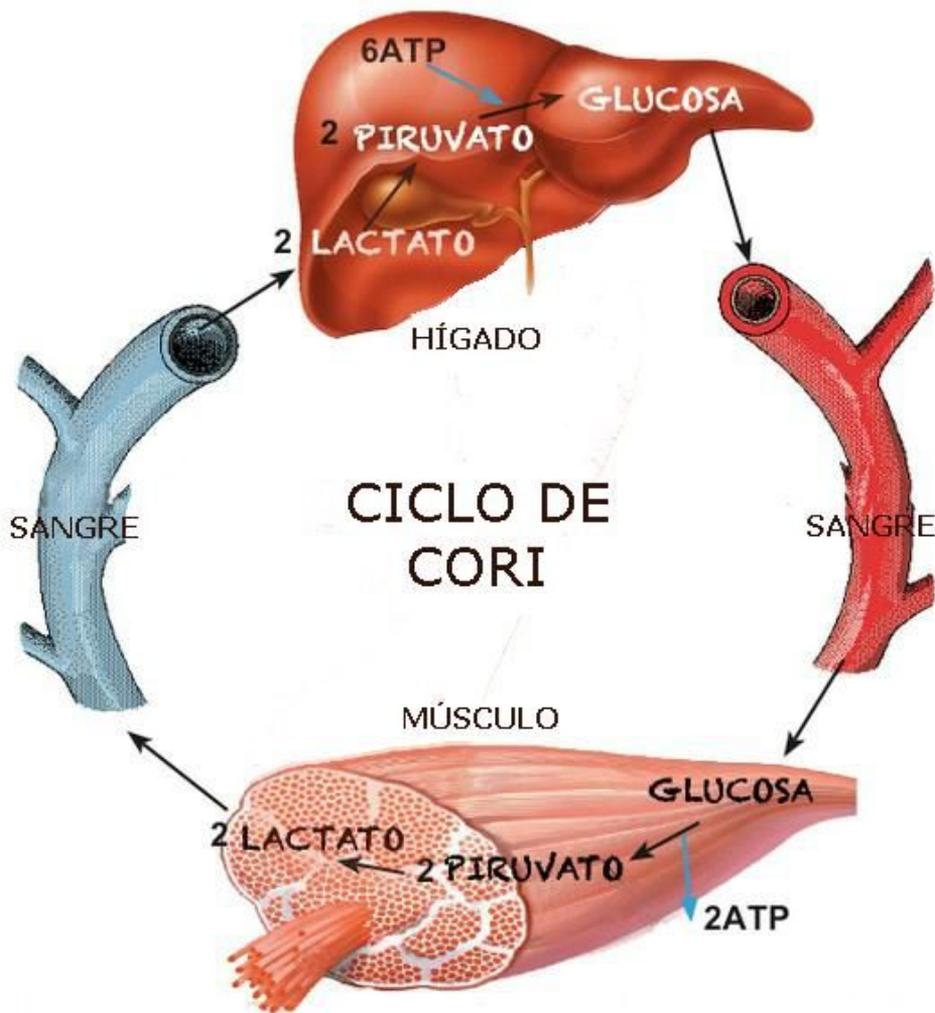


Fig. 2 Ciclo de Cori. La glucosa sanguínea llega al músculo y se degrada a 2 ATP y 2 moléculas de piruvato que posteriormente se convierten en 2 moléculas de lactato. El lactato acumulado luego pasa a la sangre y llega al hígado donde se convierte a 2 moléculas de piruvato que, con la ayuda de 6 moléculas de ATP producen una molécula de glucosa, continuando así el ciclo.

Durante muchos años se creyó que el lactato era un metabolito de desecho de la glucólisis, generado en situaciones de isquemia o durante los ejercicios de máxima intensidad y que era nocivo para la célula. Hoy se sabe que es inocuo para el organismo y que es un importante metabolito intermediario en la gluconeogénesis (Ciclo de Cori) así como también que es utilizado por el músculo cardíaco y por las fibras oxidativas del músculo esquelético como sustrato energético durante la contracción muscular. Los hidrogeniones retenidos por el lactato son los que realmente producen el descenso del pH intracelular (acidosis láctica) y generan la fatiga. La generación de lactato no solo depende de la disponibilidad de oxígeno, sino que hay otros varios factores que intervienen, entre los que encontramos el tipo

de fibra, la velocidad de la glucogenólisis muscular, la dieta, el nivel de entrenamiento y el nivel de catecolaminas circulantes (Boffi, 2007).

Las fuentes de energía en el caballo comprenden a los carbohidratos y las grasas del alimento. En los caballos que realizan actividades anaeróbicas, las grasas de la dieta tendrían menor importancia como fuente de energía.

Uno de los carbohidratos más importantes para la producción de energía es el almidón. En el caballo el almidón debe digerirse a nivel ileal; si la cantidad de almidón es excesiva, entonces ocurre una sobrecarga del mismo en el intestino grueso lo que potencialmente ocasiona acidosis, hiperhidratación del contenido del órgano, liberación y producción de toxinas, todo ello tendiendo a la aparición de diarreas, cólicos e infosura. Según Lacome y col. las dietas ricas en almidones favorecen la utilización del glucógeno. A su vez, cuando las reservas de glucógeno muscular son bajas antes del ejercicio, se observa una menor producción de lactato durante el esfuerzo, debido a una más baja disponibilidad de sustrato, condicionando menos rendimiento en altas velocidades(Boffi, 2007; Lacome y col., 2003).

La acidosis sanguínea que resulta de un pH disminuido y un aumento de lactato es inducida por el ejercicio y los niveles de proteína en la dieta . Se sugirió que la ingesta de proteínas más allá de los requerimientos del caballo, puede alterar el equilibrio ácido - base y puede interferir con otras funciones afectadas por el pH. Algunos estudios informaron que el efecto acidogénico producido por el ejercicio está influenciado por los niveles de proteína en la dieta y puede tener un impacto negativo en el rendimiento del caballo. Una cantidad óptima de proteínas de la dieta para el ejercicio de los caballos aún no se ha determinado(Chiara y col., 2014)

Las reservas de glucógeno muscular comienzan a disminuir luego de unas 6 a 8 horas de ayuno, lo cual implica que no sería conveniente ayunar a los caballos más allá de las 6 horas. El suministro de granos a dosis no mayores de 0,3% del peso vivo durante las 4 a 6 horas previas a la competencia previene esta depleción muscular de glucógeno. También la alimentación posterior a la competencia es decisiva para garantizar la adecuada reposición del glucógeno muscular, y el anabolismo proteico en los músculos. Una alimentación rica en almidones luego del ejercicio favorece el ingreso de glucosa al músculo debido a un efecto sinérgico entre la insulina y el ejercicio sobre los transportadores de glucosa de las células musculares. Así mismo previene una mayor depleción muscular de glucógeno ya que la glucogenólisis persiste hasta 4 horas después de finalizado el ejercicio (Boffi, 2007; Lacome y col., 2003).

Merece la pena mencionar, que las alteraciones endocrinas también podrían ser útiles como indicadores de la condición física en el caballo. Tal como se ha reportado en varios estudios, la principal variación hormonal en el ejercicio de alta intensidad y corta duración, depende de la activación del sistema simpaticoadrenal. Dentro de las acciones más importantes de las catecolaminas están: el incremento

de la oxigenación muscular durante el ejercicio, mejorar el rendimiento cardiaco, incrementar la liberación esplénica de eritrocitos y el flujo sanguíneo del músculo esquelético. A su vez, promueven la glucogenólisis y lipólisis muscular. Se constataron evidencias de una alta correlación entre las concentraciones de catecolaminas y de lactato en sangre. Al cabo de unos minutos luego del ejercicio, las concentraciones de catecolaminas vuelven a valores basales. Las catecolaminas, presentan una alta variabilidad dependiendo de: factores individuales, ritmo circadiano y vida media reducida en sangre, razón por la cual no se mide en forma rutinaria (Boffi, 2007).

Durante los primeros 10 segundos de ejercicios de máxima intensidad la energía utilizada proviene de la degradación de ATP libre y PCr. A medida que el ejercicio continúa, el aporte energético se realiza mayoritariamente a partir de la degradación del glucógeno por la vía anaeróbica, y si el ejercicio sigue, el metabolismo aeróbico cobra mayor importancia. La intensidad del ejercicio a la cual la producción de energía por vía aeróbica se hace crítica, varía. Esta variación se debe a varios factores, entre los que encontramos: la disponibilidad de oxígeno que posee la fibra muscular, la concentración enzimática intracelular, la densidad mitocondrial, el nivel nutricional, precalentamiento previo y la velocidad a la que se corre la carrera. A medida que la distancia aumenta (distancias superiores a los 1600 metros), aproximadamente el 80% de la energía utilizada es generada por la vía aeróbica y solo un 20% proviene del metabolismo anaeróbico. También se puede decir que los ejercicios que no generan una frecuencia cardiaca superior a los 150 o 160 latidos por minuto, usan la vía aeróbica como generadora de energía. Esto se debe a que la vía oxidativa puede generar energía suficiente por unidad de tiempo como para satisfacer esa demanda energética de la fibra muscular (Boffi, 2007)

La disponibilidad de oxígeno a nivel muscular en general siempre es suficiente. Es importante tener en cuenta que dentro de un mismo músculo hay fibras musculares que, independientemente de la disponibilidad de oxígeno, no pueden generar energía por la vía oxidativa debido a la ausencia de mitocondrias y de mioglobina, ambas vitales para el funcionamiento del metabolismo aeróbico (Boffi, 2007).

En los ejercicios de alta intensidad, el lactato producido aumenta la presión osmótica en la célula muscular, lo que permite la entrada de agua del espacio extracelular al espacio intracelular aumentando el volumen de la célula. Ésto repercute directamente en el metabolismo energético ya que produce una reducción en la glucogenólisis muscular. Cuando la producción de lactato excede la capacidad de metabolización de la fibra muscular, éste es liberado al plasma con el consiguiente descenso del pH, producto del incremento de los hidrogeniones, haciendo que los sistemas buffer incrementen la producción de CO₂ como consecuencia de su acción (Pösö, 2002; Boffi, 2007).

Las concentraciones de lactato en sangre constituyen un buen indicador del índice de glucólisis anaeróbica que se está produciendo. El lactato impide el funcionamiento de la bomba de calcio de los canales del retículo sarcoplásmico, aumentando el tiempo de relajación de los sarcómeros musculares. Los protones también tienen un efecto sobre la conformación de la ATPasa que es necesaria para la contracción muscular. Además de eso, la reducción de la producción de energía por inhibición de la actividad celular, limitación de la fosfofructoquinasa e inhibición de la fosforilación glucogénica. En conclusión, el ácido láctico contribuye a la fatiga muscular al disminuir indirectamente el pH, el cual interfiere con el proceso de contracción muscular (Pösö, 2002).

Donovan y Brooks (1983) relataron tasas semejantes de producción de lactato en ratas entrenadas y no entrenadas durante el reposo, ejercicio de baja intensidad y ejercicio de alta intensidad. Los niveles más bajos de lactato verificados durante el ejercicio en animales entrenados se deben a un mayor aclaramiento del mismo. En ratas entrenadas, hubo una mayor conversión de lactato en glucosa y reducción de oxidación de lactato durante el ejercicio intenso (Donovan y Brooks, 1983).

Después de un ejercicio máximo, el pH de la sangre equina disminuye desde un valor normal de 7,4 a aproximadamente 7. El ácido láctico es fácilmente transportado a través de la membrana celular. Ésto puede ocurrir por medio de transportadores específicos, siendo el monocarboxilato el que cumple la función en el equino, o por la difusión iónica, que podría hacer más lento el proceso de acidificación, prolongando la capacidad anaeróbica del músculo. Durante los ejercicios de intensidad moderada, el lactato producido por glucólisis en las fibras rápidas (tipos IIA y IIB) es el combustible de preferencia para las fibras musculares altamente oxidativas (tipo I). No obstante, este proceso es de corta duración ya que se agota su sistema enzimático rápidamente. El ácido láctico acumulado es usado en el Ciclo de Cori, pero cuando el ejercicio incrementa en intensidad y duración, no se logra utilizar todo el lactato producido. De este modo, las concentraciones de lactato en sangre se elevan con rapidez, disminuyendo el pH de los músculos y provocando el cansancio. Esta velocidad o nivel de intensidad del esfuerzo se conoce como el umbral del lactato (Boffi, 2007).

Existe cierta controversia sobre el momento en el cual se alcanza dicho umbral. Art y col. (1990) lo establecen cuando los caballos alcanzan una velocidad de 350 a 400 m/min, ya que en esta velocidad se llega a valores de lactato superiores a 4 mmol/L, y los latidos cardíacos son entre 150 a 160 por minuto. Por otra parte, Boffi fija dicho umbral a la velocidad en la cual la concentración de lactato llega a los 4 mmol/L o cuando los latidos cardíacos del animal son alrededor de 200 por minuto. Mientras que Robinson menciona que en ejercicios de menos de 450 m/minuto se produce poca acumulación de lactato en la mayoría de los equinos (Robinson, 1995).

Con el entrenamiento, los niveles de lactato en sangre aumentan debido a la mayor capacidad del caballo para eliminar el lactato de los músculos. Los eritrocitos actúan como reserva del exceso de lactato que los músculos no pueden usar (Boffi, 2007). Los caballos identificados por su buen desempeño tienden a presentar concentraciones de lactato elevadas, probablemente debido al mayor índice de transporte de éste a los eritrocitos (Pösö y col., 1995).

Guhl, Linder y Von Wittke (1996), encontraron una correlación altamente positiva entre la concentración de lactato y la intensidad de las sesiones de entrenamiento. Sin embargo, Donovan y Brooks (1983), hallan una baja concentración de lactato sanguíneo cuando se considera a los animales entrenados. Persson y Roneus y col. comparten este concepto estableciendo que caballos bien entrenados para un determinado tipo e intensidad de ejercicio, producen menos lactato que los caballos no entrenados (Persson, 1983; Roneus y col., 1994). También lo hace Rose de manera más amplia, estableciendo que los caballos bien entrenados presentan concentraciones de lactato más bajas que los caballos no entrenados luego de haber realizado un ejercicio submáximo (Rose y col., 1983). La ocurrencia de alteraciones en la concentración de lactato en diferentes intensidades de ejercicio además fue documentada por MacLeay y col. (2000).

En ejercicios de baja a moderada intensidad (menos de 450 m/minuto) se produce poca acumulación de lactato en la mayoría de los equinos (Robinson, 1995). La concentración de lactato sanguíneo en un caballo en descanso es aproximadamente 0,5 mmol/L. Pequeños incrementos en esta concentración ocurren a medida que la velocidad del ejercicio aumenta; a velocidades más altas, la concentración de lactato sanguíneo se incrementa exponencialmente. La velocidad a la cual se acumula el ácido láctico depende de muchos factores inherentes al animal, pero pueden ser mejoradas con el entrenamiento. Estos incluyen la tasa de suministro cardíaco de oxígeno al músculo en ejercicio, la habilidad de la célula muscular para usar oxígeno y la tasa de metabolización del lactato en la célula muscular durante el ejercicio (Acuña, 2005).

En un estudio realizado en caballos no condicionados atléticamente, se midió la concentración de lactato antes, durante y después del ejercicio. El pico de lactato ocurrió luego de haber realizado 4,5 minutos de ejercicio permaneciendo elevado durante toda la prueba y en la recuperación (Schott y col., 2002).

La concentración de ácido láctico o lactato permite evaluar la capacidad competitiva potencial, la capacidad competitiva actual y la efectividad del entrenamiento (Boffi, 2007). El entrenamiento promueve varios cambios que afectan la concentración de lactato. Una de ellas es el aumento del número de mitocondrias en la fibra muscular que aumentan la capacidad oxidativa del músculo en ejercicio y reduce la producción de lactato durante tal actividad. El entrenamiento también induce un aumento de proteínas de transporte monocarboxiladas, aumentando el flujo de lactato del músculo hacia el torrente sanguíneo (Väihkönen, 1998). El

entrenamiento podría también inducir una oscilación entre las tasas de producción y de remoción del lactato(Anderson, 1975; Donovan y Brooks, 1983)

En general, luego de un ejercicio máximo se requieren, al menos 25 minutos de recuperación para la retirada de la mitad del ácido láctico acumulado, y 1 hora 15 minutos para la retirada del 95%. Cuando se realiza un ejercicio submáximo, en el cual la acumulación del ácido láctico no es tan grande, se requiere menos tiempo para la retirada del total acumulado. El período de recuperación puede tener lugar en estado de reposo absoluto (inactividad), o en estado de actividad ligera (García y col., 1999). La retirada del ácido láctico se ha estudiado en tres tipos de actividad: 1) reposo, 2) ejercicio ligero continuado, 3) ejercicio ligero intermitente. Se ha observado un aumento sustancial del ritmo de depuración de ácido láctico en la recuperación en el ejercicio ligero continuo e intermitente en comparación con el de reposo. A su vez, se observa que el ritmo de retirada es más rápido con el ejercicio continuado que con el intermitente (De Luca, 2000).

Islas y col. (1992) reportan que los valores de lactato retornan a la normalidad aproximadamente a las 24 horas post ejercicio. Sin embargo, Guerrero y col. (2009) encontraron que 6 horas después de haber finalizado el ejercicio, las concentraciones séricas de ácido láctico comienzan a restablecerse a valores muy cercanos a los encontrados en la etapa de reposo. Varios autores también evidencian que realizar ejercicios livianos aeróbicos al finalizar el ejercicio acelera la metabolización del lactato(Caviglia y col., 1998; Perrone y col., 1999; White, 1998). La importancia de realizar ejercicios leves a los caballos con valores elevados de lactato plasmático post-ejercicio radica en evitar su acumulación en el músculo, ya que la acumulación repetida de lactato en el músculo podría generar fatiga muscular en sucesivas competiciones según lo presentado por Perrone y col., 2006.

Para asegurar una óptima repetitividad y objetividad de los resultados de las pruebas de ejercicio hay que conocer cómo influyen los distintos factores sobre la concentración de lactato en la sangre de caballos durante el ejercicio. El momento de la toma de la muestra de sangre es crucial. Se recomienda tomar la misma lo más pronto posible después de finalizado el ejercicio , momento en el cual se encuentra la mayor concentración de lactato inducida por el ejercicio prescrito (La_{max}). El aumento del lactato plasmático es rápido y pequeñas variaciones en el tiempo de colecta de la muestras o la duración del ejercicio pueden provocar diferencias en las concentraciones detectadas (Schuback y col., 1998). Hasta una concentración máxima de 8 mmol/L de lactato en sangre casi siempre se corresponderá con valores encontrados inmediatamente después de finalizado el ejercicio (Boffi, 2007).

La excepción a esto es cuando se les exige a los caballos ejercicios de sub-máxima intensidad y muy corta duración (menor a 20 segundos). En este caso hay que seguir tomando muestras a intervalos de 2 minutos hasta que decaiga otra

vez la concentración de lactato, lo cual casi siempre sucede alrededor de los 6 minutos post ejercicio (Signorini y col., 2006).

Cuando el ejercicio prescrito es más largo que el referido anteriormente e induce la generación de más de 8 mmol de lactato por litro de sangre, entonces hay que tomar muestras cada 2 minutos hasta los 14 minutos. En la gran mayoría de los casos, el La_{max} y un valor posterior ya más bajo se medirá dentro de este tiempo. Por regla general, mientras más alto es el La_{max} más tarde aparecerá en sangre (Lindner y col., 1992).

El manejo de la muestra después de la toma también juega un papel importante. Lo mejor es efectuar la medición inmediatamente. De no ser posible, entonces, el mejor método para conservar el lactato dentro de la muestra es desproteinizando la sangre con ácido perclórico inmediatamente después de su toma. Se centrifuga la muestra y se separa el sobrenadante. En un freezer a $-20^{\circ}C$ se conserva la muestra por años. Otra opción es tomar la muestra en envases con heparinato de sodio o litio y centrifugar a la brevedad posible (hasta 2 horas) para separar el plasma de las células hemáticas. Si la temperatura ambiental no sobrepasa los $20^{\circ}C$ el lactato se conserva hasta 3 días y hasta 1 semana a $4^{\circ}C$ respectivamente (Lindner y col., 1992).

El sitio de la toma de muestra de sangre no es importante debido a que la concentración de lactato en sangre arterial, venosa o capilar es la misma. Pero si es imprescindible diferenciar entre la concentración de lactato en sangre o en plasma sanguíneo. Hay que decidirse por uno de los dos sustratos (Lindner y col., 1992).

Según Boffi, lo que siempre genera una gran discusión en el campo práctico es el tiempo que transcurre entre la última comida y la prueba de ejercicio, pero su experiencia e interpretación de resultados de otros grupos le permiten concluir que este factor no juega un papel muy importante. Lo mismo se puede decir de las variaciones habituales de los ingredientes constitutivos de la ración.

Sin lugar a dudas que los dos factores que más afectan la concentración de lactato en sangre son la velocidad y la duración del ejercicio. A mayor velocidad la concentración de lactato hemático será mayor (fig. 3) y lo mismo pasa cuando se deja trabajar a un caballo a la misma velocidad pero por más tiempo (fig.4).

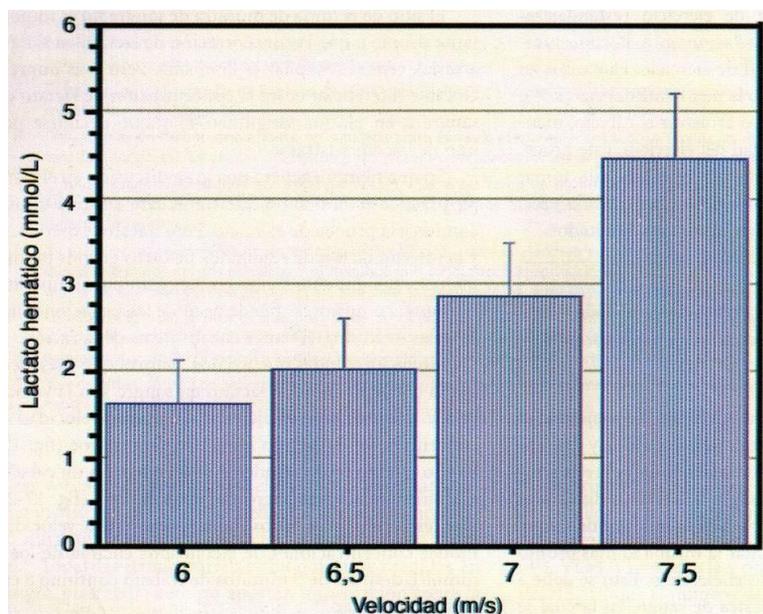


Fig. 3 Concentración de lactato hemático en caballos después de correr escalones de 5 minutos de duración a diferentes velocidades (6 caballos; promedio \pm desviación estándar)(Boffi, 2007)

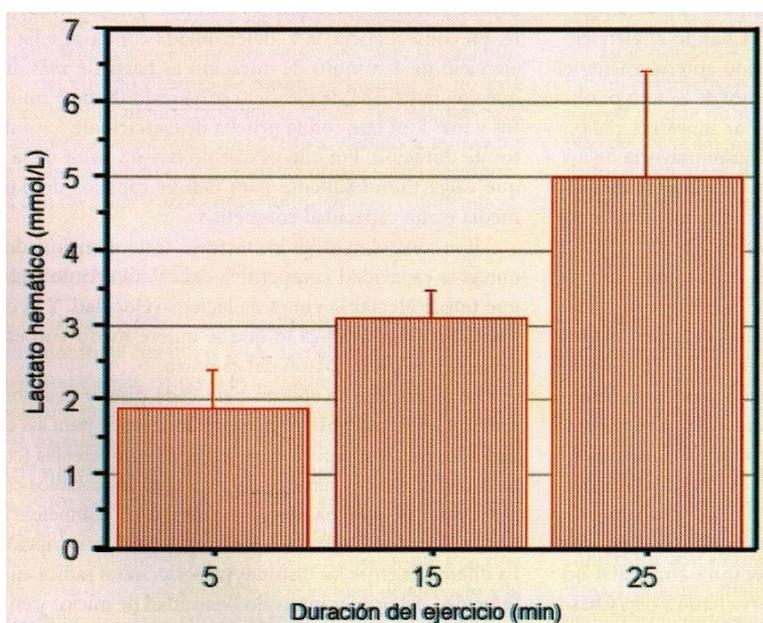


Fig. 4 Concentración de lactato hemático en caballos después de correr escalones de diferente duración a la misma velocidad (6 caballos; promedio \pm desviación estándar)(Boffi, 2007)

La significativa acumulación de lactato está bien documentada en caballos de eventos que compiten en Prueba Completa a niveles de 1 * y 2 ** (Rose y col., 1980; Amory y col. 1993; Andrews y col., 1994; Sommardahl y col., 1994) y al nivel de 4 **** (Marlin y col., 1995). Se ha medido también la respuesta del lactato en dos estudios realizados en un pequeño número de caballos dedicados a 3 *** (White y col., 1995a; Muñoz y col. 1999). Los resultados de estos estudios muestran que la fase D implica un reclutamiento sustancial del metabolismo anaeróbico, y también sugieren que la respuesta del lactato en la fase de cross-country es independiente

del número de estrellas del concurso. Sin embargo, un estudio realizado por White y col. (1995b) en los caballos que compiten en eventos realizados en un día, encontró diferencias significativas en las concentraciones de lactato en plasma realizadas luego de la etapa de cross-country entre los diferentes niveles. No ha habido informes de lactato en sangre después de las sesiones de ejercicio en caballos que se están preparando para una competición de prueba completa (Serrano y col., 2002)

Mientras que, en el estudio realizado por Amory y col., la acumulación de lactato en sangre durante el cross-country fue superior a los valores obtenidos en la resistencia, (Grosskopf y col., 1983) y caballos de salto, pero menores que los valores reportados en caballos de carrera. Tanto la intensidad y duración del ejercicio realizado por los caballos durante estos diversos concursos son los responsables de estas diferencias (Judson y col., 1983; McArdle y col., 1991; Persson y col., 1983)

En conclusión, las mediciones de lactato permiten la adopción de conductas preventivas a la salud atlética del caballo, como la modificación del programa de entrenamiento. Siendo así, el conocimiento de los valores de lactato sanguíneo auxilia en la evaluación de la capacidad atlética de un caballo sometido a determinado programa de entrenamiento, de modo tal, que alteraciones en este entrenamiento puedan mejorar su desempeño y prevenir lesiones, que a veces pueden pasar desapercibidas, u observadas tardíamente, y que estén limitando su capacidad funcional (Thomassian, 2000). La concentración de lactato es una variable que presenta mejor correlación con el desarrollo competitivo del animal (Linder, 2000).

EL SISTEMA MUSCULAR

La musculatura esquelética del caballo está altamente desarrollada y adaptada para alcanzar el potencial atlético del animal. En contraposición a la mayoría de los mamíferos, en donde 30-40% del peso corporal corresponde a tejido muscular, en caballos adultos el porcentaje de músculo supera el 50% (Gunn, 1987).

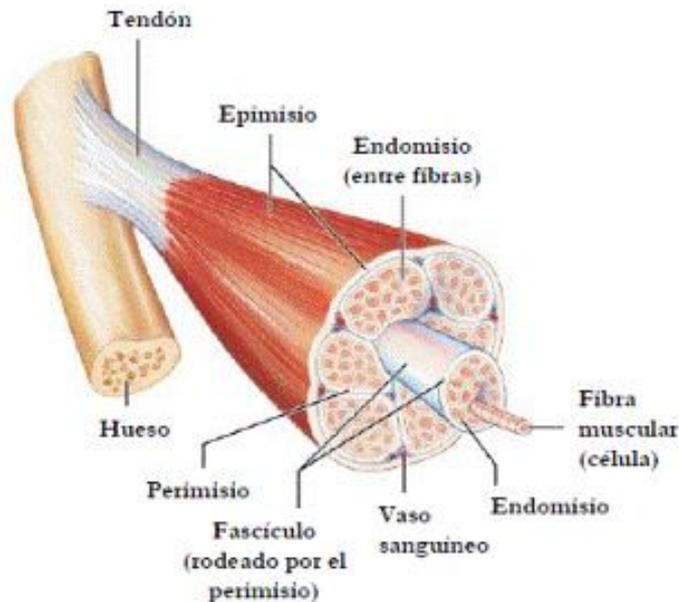


Fig. 5 Estructura de un Músculo Esquelético. El Músculo esquelético está compuesto por tendones situados en los extremos, mediante los cuales se inserta en el hueso. Presenta también tejido conjuntivo el cual se puede dividir en: Epimisio, tejido conjuntivo que rodea todo el vientre muscular; Perimisio, el cual rodea los fascículos musculares, grupo de fibras en el interior del músculo; y el endomisio, tejido que rodea las fibras musculares.

<http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211614/Modulo/fig2.jpg>

Los sustratos energéticos y oxígeno llegan al tejido muscular por intermedio de la acción de los sistemas respiratorio, cardiovascular y hemático, con la finalidad de que la fibra muscular pueda producir energía bajo la forma de ATP, que es transformada en energía mecánica por el aparato contráctil de la fibra (Boffi, 2007).

Más del 90% del tejido muscular está representado por las miofibras, mientras que el porcentaje restante corresponde a nervios, vasos sanguíneos, grasa y tejido conjuntivo que separa cada una de las fibras musculares (endomisio) , los fascículos (perimisio) y el músculo en su totalidad (epimisio).

La habilidad del tejido muscular para desempeñarse con eficiencia en los diferentes tipos de ejercicios, depende de la alta heterogeneidad muscular. Esta flexibilidad funcional deriva parcialmente de la regulación nerviosa y de la combinación de características de los diferentes tipos de fibras musculares. La mejor forma de diferenciar los distintos tipos de fibras musculares es por el análisis de la isoforma de la cadena pesada de miosina específica (MyHC) expresada en cada fibra, ya que la composición de la MyHC refleja cada fenotipo de fibra muscular (Quiroz-Rothe, 2001).

Tres isoformas de MyHC han sido caracterizadas en el músculo esquelético de equinos adultos a nivel proteico: tipo I, IIA y IIB (Rivero, 1999).

Las fibras tipo I tiene una isoforma de MyHC que hidroliza el ATP en forma lenta, por lo tanto el ciclo de contracción-relajación ocurre lentamente. Por esto son también conocidas como fibras musculares altamente oxidativas de contracción lenta. Tienen un diámetro de sección de la fibra reducido, que hace que le llegue más sangre y oxígeno, alto número de capilares (relación capilar -fibra de 5,0) y capacidad oxidativa por su alto contenido lipídico y un gran número de mitocondrias. No obstante, la capacidad glucolítica y el contenido de glucógeno son bajos. Juntas, estas propiedades hacen que las fibras tipo I sean altamente eficientes y económicas en la generación de movimientos lentos y repetitivos, así como también en la de fuerza isométrica mantenida por un tiempo prolongado, haciéndolas más resistentes a la fatiga muscular, pero no provocan una potencia significativa (Boffi, 2007; Loving, 2010).

En contraste, las fibras tipo II tienen isoformas de MyHC que generan ciclos de contracción-relajación rápidos y por lo tanto generan fuerza rápidamente. Dentro del grupo tipo II, las fibras tipo IIB, o poco oxidativas de contracción rápida, tienen una velocidad de contracción máxima que es 3 veces superior a las de las fibras de tipo IIA. Por eso, las fibras IIB están adaptadas para generar una alta potencia por un corto periodo de tiempo, ya que poseen poca capacidad oxidativa y baja disponibilidad de oxígeno (reflejada por el gran diámetro de sección de las fibras y la relativa baja capilarización (relación capilar-fibra de 5.6 y 5.9 para las fibras tipos IIA y IIB respectivamente)) haciendo que el músculo pierda su eficacia metabólica y locomotriz y se fatigue rápidamente. Por otra parte, las fibras tipo IIA, o altamente oxidativas de contracción rápida, poseen un considerable número de capilares y de mitocondrias que le permiten realizar un metabolismo tanto glucolítico como oxidativo; por lo tanto, son capaces de generar una alta potencia y de mantener la misma por un mayor periodo de tiempo que las fibras de tipo IIB (Boffi, 2007; Loving, 2010).

	Tipo I (lentas, oxidativas, o ST)	Tipo IIA(rápidas y oxidativas o FTa)	Tipo IIB(rápidas y glucolíticas o FTb)
Capacidad oxidativa(aeróbica)	Alta	Baja	Muy Baja
Capacidad glucolítica(anaeróbica)	Baja	Alta	Muy Alta
Resistencia a la fatiga	Alta	Intermedia	Baja
Frecuencia de descarga	Baja	Alta	Alta
Contenido de glucógeno	Bajo	Intermedio	Alto
Contenido en triglicéridos	Alto	Intermedio	Bajo
Contenido en mioglobina	Alto	Alto	Bajo
Capilares	Muchos	Pocos	Muy Pocos
Diámetro	Pequeño	Intermedio	Grande

Tabla 1. Características de los Diferentes Tipos de Fibras Musculares.

Los tipos de fibras musculares varían ampliamente entre caballos de diferente sexo (los machos enteros poseen un 5% más de fibras tipo IIA que las hembras) y dentro de un mismo músculo en función de la actividad que realiza el mismo. Por ejemplo, en los músculos de los miembros anteriores hay una alta proporción de fibras posturales tipo I, mientras que en los miembros posteriores los músculos que generan la propulsión tienen fibras de contracción rápida tipo II. (Figura 6)

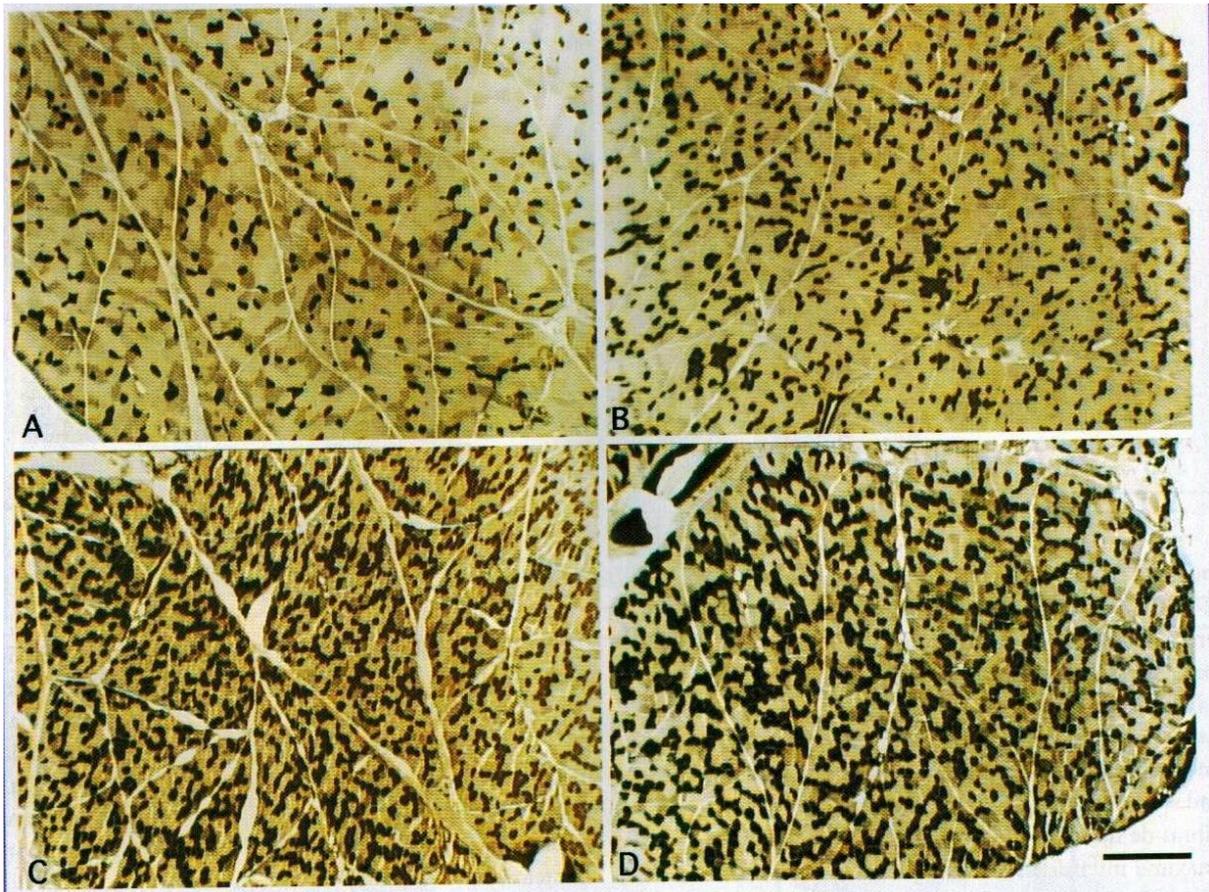


Figura 6. Preparados Histológicos de Distintos Músculos para comparar su Composición de los Diferentes Tipos de Fibras. A-B Secciones transversales coloreadas para detectar la actividad de la adenosina trifosfatasa de las miofibras a pH 4,4 demostrando las diferencias en la composición de los diferentes tipos de fibras en dos músculos locomotores con distintas funciones. M. semitendinoso (A) vs. M. romboideo cervical (B). Nótese el alto porcentaje de fibras tipo I (negras) y la baja proporción de fibras tipo IIA (blancas) y tipo IIX (grises) en el M. romboideo comparado con el M. semitendinoso. C- D, Secciones transversales coloreadas luego de la preincubación ácida (pH 4,4) para ver la actividad de la adenosina trifosfatasa miofibrilar en dos muestras tomadas del M. glúteo medio a diferentes profundidades: 2 cm (C) vs 8 cm (D). Nótese el mayor porcentaje de fibras tipo I y el menor porcentaje de fibras tipo IIX en la región profunda del músculo comparada con la región superficial. Barra de escala de 1000 μ m.(Boffi, 2007)

La influencia de los factores genéticos en la expresión de los diferentes tipos de fibras está claramente ilustrada en las grandes variaciones existentes entre las diferentes razas de caballos. (Figura 2-23 del Boffi).

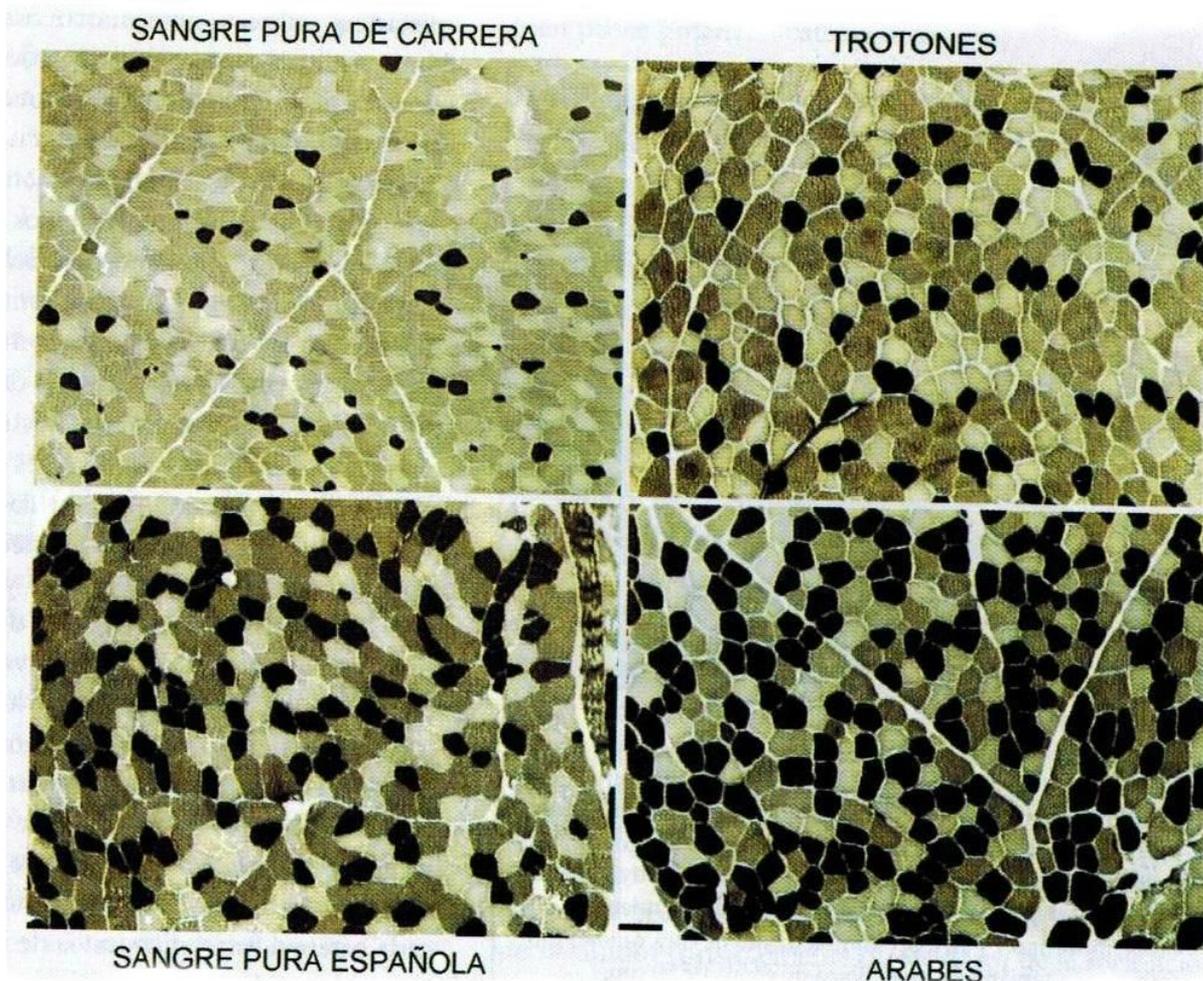


Fig. 7. Sección transversal del músculo glúteo medio coloreada con adenosina trifosfatasa miofibrilar luego de preincubación ácida (pH 4,4), tomada de cuatro razas deportivas diferentes a la misma profundidad. Se nota que el porcentaje de fibras tipo I (oxidativas) y el tamaño de las fibras aumenta desde la raza mas rapida (SPC) hacia la más lenta, raza preparada para la resistencia (Árabe). Barra de escala de 150 μ m.(Boffi, 2007).

El músculo esquelético del caballo tiene un potencial considerable para adaptarse al entrenamiento por intermedio de la plasticidad de la estructura y función de las miofibras. El ejercicio induce cambios en la regulación y transcripción de genes específicos que provocan modificaciones en la cantidad de proteínas de una determinada isoforma en las fibras musculares. Dependiendo de la naturaleza (tipo, frecuencia, intensidad y duración) y del estímulo (ejercicio o entrenamiento), la respuesta adaptativa puede tomar diferentes formas : 1) hipertrofia, cuando las fibras aumentan su tamaño pero mantienen su estructura basal, y sus propiedades fisiológicas y bioquímicas; 2) remodelación sin hipertrofia, cuando las miofibras no aumentan de tamaño pero sufren modificaciones de sus características estructurales y enzimáticas notorias, y que generalmente van acompañadas de cambios en la micro vascularización, y 3) respuesta mixta, cuando se combina la remodelación con la hipertrofia. Yendo más lejos, la modalidad y amplitud de la

respuesta depende significativamente del perfil muscular basal previo al entrenamiento por ésto es que las biopsias musculares han permitido lograr un mayor entendimiento de la respuesta y adaptación del músculo al ejercicio y entrenamiento (Boffi, 2007).



Fig. 8. Resumen de las tres respuestas básicas del músculo esquelético al entrenamiento: 1) hipertrofia, 2) remodelación sin hipertrofia, y 3) remodelación con hipertrofia. Se indican el posible estímulo, la naturaleza de la respuesta y las implicancias fisiológicas (Boffi, 2007).

Las modificaciones a nivel muscular se deben al incremento de la actividad contráctil que está asociada con los cambios inducidos por el entrenamiento hacia un músculo más oxidativo. Por lo tanto, las fibras de contracción rápida así como también los músculos con una alta proporción de las mismas, muestran una mayor adaptación al entrenamiento que las fibras de contracción lenta.

Las adaptaciones musculares inducidas por el entrenamiento tienen implicancias fisiológicas que influyen en la generación de fuerza, velocidad y resistencia a la fatiga. El efecto del entrenamiento sobre la fibra muscular continúa siendo controvertido. Una hipertrofia muscular específica puede ser estimulada con ejercicios de alta velocidad y corta duración y con ejercicios que generen un estiramiento máximo del sistema músculo esquelético, pero dentro del rango normal del mismo. Ésto se da gracias al acondicionamiento anaeróbico que aumenta la sección transversal de las fibras musculares de contracción rápida para mejorar la fuerza y la potencia. Un aumento de la sección de las fibras individuales

aumenta la masa muscular en su conjunto, siendo los músculos más afectados los de la cadera, muslo, pecho y antebrazo (Boffi, 2007; Loving, 2010).

Durante el entrenamiento aeróbico, puede aumentar la proporción de fibras musculares tipo IIA, aunque la transformación de fibras tipo IIB, a tipo IIA es limitada (hasta el 7%). Algunos estudios especulan que la proporción de fibras tipo I, cambia espectacularmente al transformarse en ellas las fibras tipo IIA o porque hay una pérdida de éstas últimas con la edad (Loving, 2010).

La adaptación muscular más precoz y común al entrenamiento es el incremento de la actividad enzimática del metabolismo aeróbico, como las enzimas del ciclo de Krebs, de la cadena respiratoria mitocondrial y de la β -oxidación. Estos cambios están asociados con el incremento de mitocondrias y de la densidad capilar (fig.9)(Rivero y col., 1995).

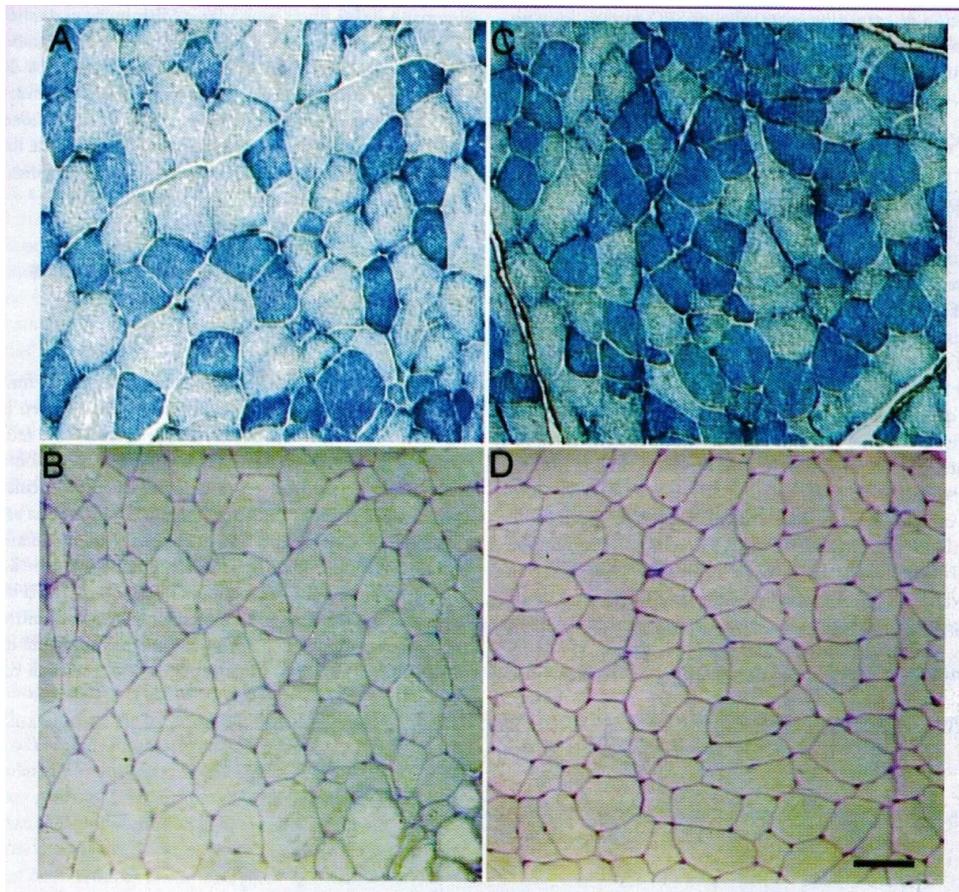


Fig.9 Cortes transversales seriados de biopsias del músculo glúteo medio del mismo caballo extraídas antes (A y B) y después (C y D) de 9 meses de entrenamiento. A y C, Los cortes están coloreados con succinato deshidrogenasa para demostrar la capacidad oxidativa de una fibra muscular; nótese el aumento en el número de fibras con coloración oscura luego del periodo de entrenamiento. B y D, Las secciones coloreadas con PAS α -amilasa son para visualizar la densidad capilar (número de capilares por mm^2) luego del periodo de entrenamiento. (Barra de escala a 75 μm .) (Boffi, 2007)

Las respuestas adaptativas más tardías, involucran la mejora en la difusión de oxígeno y en la remoción de los desechos metabólicos como el CO₂. La actividad de las enzimas paso limitantes del metabolismo anaeróbico, como la fosfofructocinasa y el lactato deshidrogenasa, no sufren variaciones durante el entrenamiento. A pesar de esto, ocurre un aumento de la enzima AMP deaminasa y otras enzimas involucradas en el ciclo de los nucleótidos de purinas como la creatinquinasa (CK) por el entrenamiento, pero no se ve afectada la concentración total de los mismos en el músculo. Por otra parte, la captación de ácidos grasos libres desde el lecho vascular hacia el interior de la fibra, aumenta como consecuencia del entrenamiento aeróbico, por el incremento de la concentración de albúmina en el espacio extracelular (intersticial). Otras adaptaciones observadas durante el entrenamiento, incluyen el aumento de la concentración de calcio en el retículo sarcoplásmico, de la actividad de la Ca²⁺-ATPasa, así como también una disminución tanto en la captación de calcio como de la actividad de la Ca²⁺-ATPasa inducida por el ejercicio (Boffi, 2007).

Las respuestas adaptativas al entrenamiento del músculo esquelético pueden mantenerse durante un periodo de 5-6 semanas de inactividad y luego ocurre una inversión en el tamaño de las fibras musculares, en la actividad metabólica y en el grado de capilarización del músculo hasta niveles propios de animales sin entrenamiento (Boffi, 2007).

Debemos entonces desarrollar un proceso de entrenamiento lo más armónico y seguro posible, dado que los caballos de deporte están permanentemente expuestos a situaciones estresantes, como el ejercicio mismo. Es en este sentido que la finalidad del entrenamiento pasa por retrasar la aparición de la fatiga (Boffi, 2007).

La función muscular está limitada por la aparición de la fatiga. Ésta no se produce de una vez en todas las fibras musculares, pero el rendimiento del caballo empieza a resentirse, al principio gradualmente, para después deteriorarse rápidamente. Cuando los músculos se fatigan, los tendones asumen gran parte de la carga para compensar la reducción del tono muscular. Ésto hace que los tendones tengan más riesgo de sufrir distensiones y lesiones serias que pueden repercutir y dañar también los músculos. La fatiga se produce como resultado de alguno de los procesos bioquímicos siguientes:

- 1) depleción de los almacenamientos de energía, como los de glucógeno,
- 2) cambios en la absorción y la liberación del calcio que interfieren con la contracción muscular normal,
- 3) aberraciones de la irritabilidad muscular debido a una depleción de electrolitos como calcio, potasio, sodio, cloro y magnesio,
- 4) deshidratación que produce una disminución del flujo sanguíneo y una circulación de oxígeno inadecuada para mantener el trabajo aeróbico,
- 5) exceso de temperatura en los tejidos y por último, pero no menos importante,

6) la disminución de la producción de ATP debido a lesiones en las fibras musculares o a la acumulación de ácido láctico en los músculos (Loving, 2010).

Vamos a concentrarnos en esta última causa de fatiga como la de mayor importancia para el estudio en cuestión. El lactato generado por las fibras musculares es constantemente removido, pero a elevada intensidad de ejercicio el sistema de remoción se satura y el lactato comienza a acumularse dentro de las células. La velocidad de remoción desde el interior de las fibras musculares varía de acuerdo a: la intensidad del ejercicio, al nivel de angiogénesis muscular y al tipo de recuperación pos esfuerzo que realiza el animal (Boffi, 2007).

Se menciona también las lesiones en las fibras musculares como causantes de fatiga por disminución de la producción de ATP, pero las lesiones en las fibras musculares también pueden dar lugar a dolor muscular que también es causa de disminución del rendimiento en caballos de deporte, aunque también hay muchos caballos con dolencias musculares que al parecer no afectan su capacidad deportiva (Boffi, 2007).

Las lesiones musculares están asociadas a la pérdida de la fuerza de contracción y a la sensación de dolor. Los signos clínicos de los trastornos musculares son inespecíficos y pueden incluir: contracturas musculares de tamaño variable y zonas de edema con o sin dolor, rechazo a moverse, atrofia y mioglobinuria. Dentro de las causas de lesión muscular se encuentran aquellas específicas de cada disciplina hípica por el tipo de ejercicio, y muchas otras causas son genéricas e involucran un insuficiente precalentamiento, un incorrecto diseño del plan de entrenamiento, un ejercicio excesivamente intenso para el nivel de entrenamiento que posee el animal, la presencia de contracturas o de debilidad muscular, un desequilibrio entre músculos agonistas y antagonistas o una incorrecta rehabilitación post lesión.

Sin embargo, la mayoría de las hipótesis sobre cuál es el factor iniciador de la lesión muscular pueden dividirse en las que involucran causas físicas y metabólicas. Las causas físicas pueden a su vez dividirse en mecánicas y térmicas. Las primeras, particularmente asociadas con el daño muscular, son las contracciones excéntricas del músculo, mientras que la hipótesis térmica se refiere al incremento de la temperatura intramuscular como consecuencia del elevado consumo de oxígeno. Dentro de las causas metabólicas de lesión muscular se encuentra la disminución de la concentración de ATP, ya que por ejemplo, la reducción en la concentración de ATP en la vecindad de la enzima Ca^{2+} -ATPasa, puede afectar la remoción del Ca^{2+} desde el citoplasma y el elevar la concentración del mismo con la consiguiente generación de daño. También se ha enunciado que la acidosis puede inducir daño muscular, porque la disminución del pH intracelular impide la normal liberación y recaptación del calcio a nivel del retículo sarcoplásmico afectando la contracción muscular. Además la acidosis produce edema mitocondrial, situación que altera la función normal de la mitocondria y ocasiona una disminución de la capacidad oxidativa del músculo (Boffi, 2007).

Para poder llegar a un diagnóstico definitivo de lesión muscular, el veterinario dispone de pruebas complementarias como las biopsias musculares, la ecografía, tomografía y enzimogramas entre otras.

ENZIMOGRAMA MUSCULAR

Dentro del enzimograma utilizado para el diagnóstico de miopatías, se utiliza básicamente la evaluación de las enzimas creatinquinasa (CK), aspartato aminotransferasa (AST) y lactato deshidrogenasa (LDH). Estas enzimas no son específicas del tejido muscular, sino que se encuentran también en otros tejidos. Independientemente de esto, estas enzimas asociadas a la sintomatología clínica pueden aportar valor diagnóstico. Los aumentos se producen en la mayoría de los casos, debido a un incremento de la permeabilidad del sarcolema que contiene a las enzimas. Una de las causas es el incremento de la actividad celular, como ocurre durante el ejercicio. Por otra parte, la disminución del pH celular, la liberación de catecolaminas, la hipoglicemia y las modificaciones electrolíticas, entre otros, pueden incrementar la permeabilidad del sarcolema también. Por lo tanto, asumir un grado particular de lesión muscular en función única de la concentración enzimática sérica es inapropiado y existen muchas discrepancias en la bibliografía respecto a la respuesta normal de las enzimas al ejercicio. (Boffi, 2007; Hodgson and Rose, 1994).

Después de una lesión muscular, el nivel de CK alcanza su máximo en el torrente sanguíneo a las 5 horas, y se elimina a los 3 o 4 días de cesar la rotura de fibras o la lesión muscular. Por otro lado, la LDH no alcanza su máximo hasta pasadas 12 horas y la AST a las 24.

Podemos decir entonces que el incremento significativo de la CK en forma individual pone de manifiesto un daño ocurrido durante las 6 horas previas a la obtención de la muestra, mientras que el incremento de la CK y LDH sin modificaciones de la AST indica una lesión muscular de fase aguda cercana a las 24 horas de evolución. Cuando se observa un incremento de la AST y de la LDH sin variación de la CK significa que estamos en presencia de una lesión muscular que ya lleva no menos de 2 o 3 días de evolución (Boffi, 2007).

La CK es una enzima de bajo peso molecular (80.000 D) producida principalmente en el miocardio, el músculo esquelético y el cerebro. Debido a que parece haber poco o casi ningún intercambio de CK entre el líquido cefalorraquídeo y el plasma, un aumento de la CK plasmática está causado por un daño a nivel de músculo esquelético o cardíaco. Ésta enzima convierte el ATP y la creatina en ADP y fosfocreatina. Algunas veces, se realiza un análisis de CK luego del ejercicio para detectar la presencia de rabdomiólisis por esfuerzo. Los caballos con ésta patología podrían presentar una concentración de CK plasmática entre 10 y 900 veces mayor.

En algunos casos, el ejercicio extenuante puede causar elevaciones dentro del rango normal de CK para la especie sin evidenciar síntomas de daño muscular. Según lo que demostraron Snow y col. (1982) y Caviglia y col. (2000), debido a que el proceso de acidosis de las células musculares incrementa la permeabilidad de la membrana (Islas, 1992), como consecuencia de la hipoxia celular generada por el trabajo muscular anaeróbico, pero sin dañar las células (Milne, 1982). A su vez, las tasas plasmáticas de CK son muy sensibles al daño muscular, así que un daño muscular débil (transporte en buenas condiciones, ejercicio físico moderado, inyección intramuscular) es suficiente para producir un alza en la concentración plasmática de ésta enzima, con una disminución rápida una vez finalizada la alteración muscular (antes de 72 horas)(Michaux, 1987).

El nivel y el tipo de entrenamiento del caballo podría influenciar también la intensidad y la duración del aumento de la concentración de CK (Muñoz y col, 1999). Pero, aunque el entrenamiento produce un aumento de la CK, la concentración total de los mismos en el músculo no se ve afectado por el entrenamiento (Boffi y col., 2008)

Murakami y Takagi (1974) presentaron evidencias de que el aumento de CK durante el ejercicio está directamente relacionado a la carga de trabajo. Según Harris, Marlin y Gray (1998) el efecto del ejercicio físico en la actividad enzimática de la CK en caballos saludables depende del acondicionamiento físico del animal, de la intensidad del ejercicio, de la duración y del ambiente (Murakami y Takagi, 1974; Harris y col., 1998)

Los niveles de CK presentan un aumento máximo 5 horas después de la realización de la actividad física. La extensión del aumento de los niveles de CK post-ejercicio es considerada inversamente proporcional a la preparación física y directamente proporcional a la duración de la actividad física (Anderson, 1975).

En un estudio realizado por Queiroz en el 2006 en equinos atletas utilizados para Prueba Completa, se relatan valores promedio de CK expresados en UI/L de: 56 en reposo, 93,2 inmediatamente después del ejercicio físico, 87,5 diez minutos post-ejercicio, 102 veinte minutos post-ejercicio, y 117 dos horas post-ejercicio. (Queiroz, 2006).

Es difícil cuantificar la cantidad de músculo dañado basándose en la concentración plasmática de CK (1500-10.000 UI/L) que puede observarse ante la presencia de una miopatía de variada gravedad. Más allá de eso un incremento 3-5 veces superiores a los valores normales representaría una aparente miolisis de 20 gramos de tejido muscular. La CK tiene una actividad pico entre las 4 y las 12 horas luego de la lesión muscular y en equinos posee una vida media corta (3 horas), permitiendo que sólo sea de utilidad en la fase aguda del proceso (Boffi, 2007).

El enzimograma, por lo tanto, aporta datos importantes para hacer un seguimiento de la capacidad del cuerpo para curarse y como medida de cuando el caballo puede regresar al trabajo. En general, una vez que la CK es menor de 1.000 UI/L y la AST ha recuperado sus niveles normales (menos de 500 UI/L), se puede reiniciar el ejercicio suave (Loving, 2010).

EL SISTEMA CARDIOVASCULAR

Para el éxito y el bienestar de cualquier caballo deportista es esencial tener un sistema cardiovascular en buena forma (Loving, 2010). La capacidad del corazón de bombear suficiente cantidad de sangre para cubrir las necesidades del animal en ejercicio, y la redistribución efectiva de sangre hacia el músculo esquelético, son las dos circunstancias clave para que el caballo proporcione un buen rendimiento (García y col., 1995).

La frecuencia cardiaca en reposo se relaciona con la superficie corporal, el índice metabólico y el balance autonómico propio de la especie, raza e individuo. Para equinos adultos los valores de frecuencia cardiaca son de 35-45 latidos por minuto. En las razas deportivas se observan frecuencias más bajas (28-32 lat/min) en reposo, posiblemente a causa de un aumento del tono vagal, aún más marcado al hallarse el animal en entrenamiento. La frecuencia cardiaca máxima, la cual se establece en los 200 lat/min, no se altera con la condición del entrenamiento, de forma que la velocidad en la cual es obtenida puede ser mayor en animales con mejor acondicionamiento y menor en aquellos que presentan, por ejemplo, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, hemorragia pulmonar inducida por ejercicio o enfermedad cardiaca (Thomassian, 2000). Con relación a la edad, la frecuencia cardiaca máxima en los equinos disminuye con los años ya que caballos con 15 o más años difícilmente puedan llegar a los 190 lat/min (Boffi, 2007).

La hora del día influye también en la frecuencia cardiaca, ya que en general, los caballos durante el trabajo alcanzan promedios máximos de 129 ± 4 lat/min en la mañana y de 137 ± 8 lat/min en la tarde, mientras que en reposo los valores promedio son 38 ± 3 y 40 ± 2 lat/min en la mañana y en la tarde, respectivamente (Eckert, 1997).

Las mediciones de la frecuencia cardiaca durante el ejercicio en caballos atletas son empleadas para cuantificar la intensidad de la carga de trabajo, monitorear el acondicionamiento físico y para estudiar los efectos del ejercicio sobre el sistema cardiovascular (Thomassian, 2000).

Durante el ejercicio se produce un aumento de la frecuencia cardiaca y una redistribución del flujo sanguíneo para sostener la respuesta a la demanda muscular

como también la del sistema coronario (Asheim y col., 1970; Engelhardt, 1977). Este aumento está directamente relacionado con la intensidad y velocidad a la cual se realice el ejercicio (Gottlieb y col., 1988; Merino y col., 1997; Hinchcliff y col., 2002). Se ha demostrado que existe una relación lineal entre el aumento de la frecuencia cardiaca y de la velocidad durante el ejercicio (Couroucé, 1998). A su vez, un estudio realizado por Muñoz (1997) y otro de Rose y col. (1988), también vio que el aumento constante de la frecuencia cardiaca estaba relacionada con una disminución en el volumen central de sangre producida por la redistribución periférica de sangre a la piel con el fin de disipar el calor del cuerpo.

El aumento de esta frecuencia cardiaca puede ser de hasta seis o siete veces el ritmo de reposo, aumentando el flujo sanguíneo y el oxígeno en los músculos que están trabajando (Arias y col., 2006; Loving, 2010).

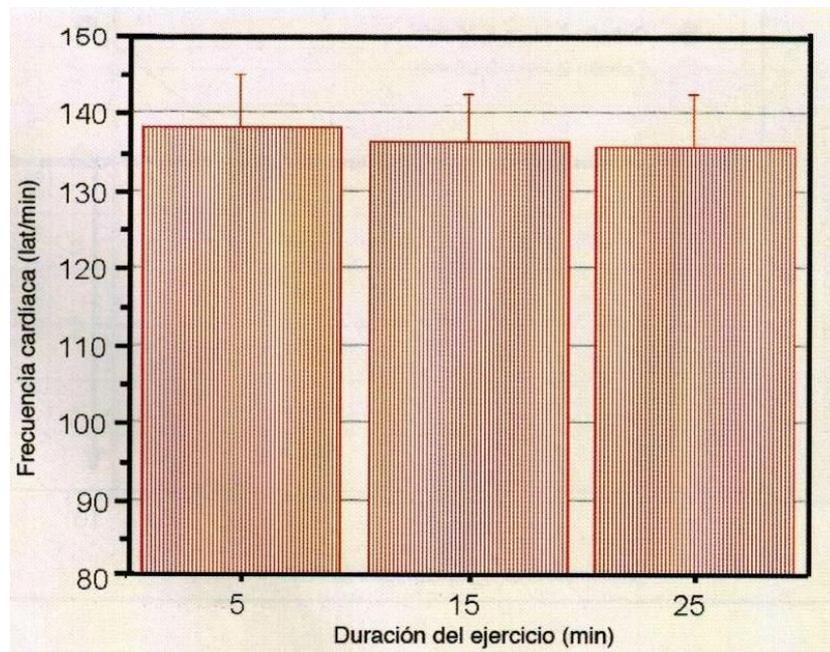


Fig. 10 Frecuencia cardiaca en caballos despues de correr escalones de diferente duración a la misma velocidad (5 caballos; promedio \pm desviación estándar). (Boffi, 2007).

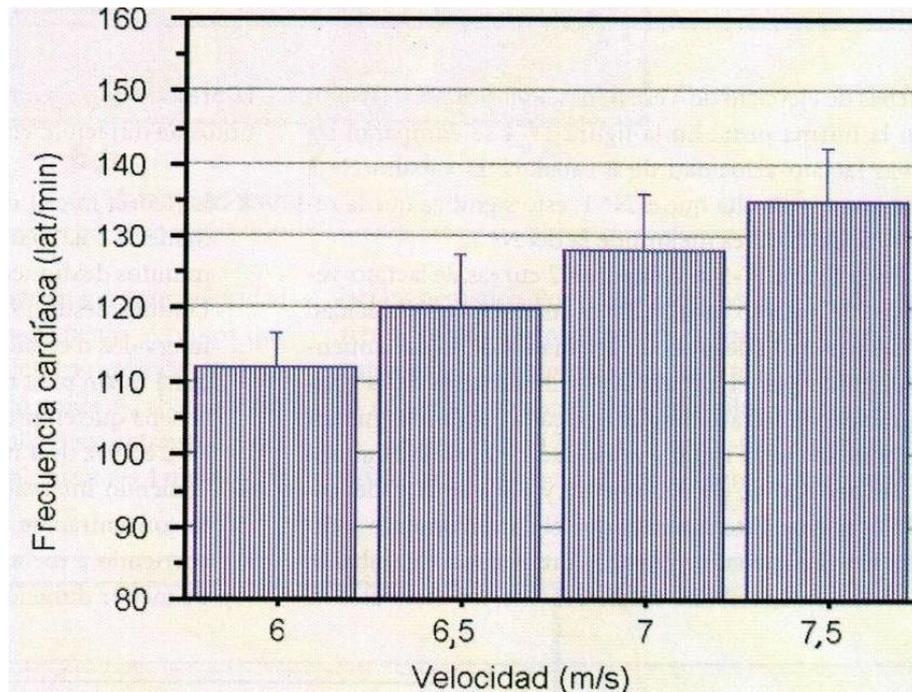


Fig.11 Frecuencia cardíaca en caballos después de correr escalones de 5 minutos de duración a diferentes velocidades (6 caballos; promedio \pm desviación estándar)(Boffi, 2007).

Cuando el caballo galopa se puede asegurar que la frecuencia cardíaca observada es indicativa del nivel de exigencia del trabajo, no pudiendo decir lo mismo cuando esta FC se relaciona con bajas velocidades como ser el paso y el trote. En este último caso la FC no es un indicador confiable del nivel de trabajo, debido a que su aumento queda sujeto a la excitación cardíaca provocada por el simpático (Boffi, 2007).

En otras palabras, la FC inferior a 120 lat/min, es influenciada, como ya mencionamos, por factores psicogénicos, como el miedo y la excitabilidad del sistema nervioso autónomo (Evans, 1985)

Midiendo la frecuencia cardíaca sabemos el tipo de metabolismo energético que realiza el animal, aeróbico o anaeróbico, el cual determina si hay una adecuada producción y utilización la energía por el músculo, factor esencial en el óptimo desempeño del atleta. Una frecuencia cardíaca de 200 latidos por minuto coincide con el umbral anaeróbico y pulsaciones de 120 a 150 latidos por minuto coincide con el umbral aeróbico (Arias y col., 2006).

Uno de los mejores indicadores que el caballo tolera el esfuerzo exigido, es la rapidez con que el ritmo cardíaco disminuye cuando la demanda se hace más ligera (Loving, 2010). La reducción de la frecuencia cardíaca después del ejercicio hasta los niveles pre-ejercicio es alcanzada entre 2 a 20 minutos. Ésto depende fundamentalmente de la duración e intensidad del ejercicio, la capacidad física del animal, factores emocionales y algunos factores extrínsecos (sudoración,

temperatura, humedad del aire, componentes del viento) los que pueden afectar marcadamente el periodo de recuperación (Thomas y col., 1980; Engelhardt, 1977).

En la recuperación post ejercicio, la curva de descenso de la FC consta de una primera etapa con una duración aproximada de 1 minuto en donde el descenso es bien pronunciado ya que la FC puede caer hasta valores cercanos al 50% de los alcanzados durante el ejercicio. A continuación, aparece la segunda etapa que se caracteriza por un descenso lento que alcanza los valores basales recién a los 25-30 minutos en condiciones normales (Boffi, 2007).

Los caballos que presentaban FC inferiores a los 60 lat/min dentro de los 30 minutos de haber finalizado su actividad física, no mostraban signos de deshidratación ni de lesión muscular, mientras que caballos con FC de 65-70 lat/min dentro de los 30 minutos de recuperación post-ejercicio en competencias de endurance, mostraron ser caballos con una alta disposición a sufrir deshidratación grave y síndrome del caballo exhausto (Rose y col., 1977; Rose, 1983).

En caballos de prueba completa se registraron durante la fase B y D, FC de 175 ± 23 y 171 ± 19 lat/min respectivamente en un estudio realizado por Boffi (2007). A su vez, Amory y col. (1993) midieron la frecuencia cardíaca durante la fase de cross-country en caballos de diferentes niveles de competencia de Prueba Completa con resultados que oscilaron entre 170 y 190 latidos/min durante la primera parte de la fase y tendía a alcanzar o superar los 200 latidos/min al final de la misma. Debido a que en la especie equina el umbral anaeróbico es alcanzado a los 200 latidos/min., ellos concluyeron que las necesidades metabólicas de un cross-country parecen ser tanto aeróbicas como anaeróbicas (.Amory y col., 1993).

Serrano y col., en su investigación, encontraron frecuencias cardíacas y concentraciones de lactato en sangre significativamente más bajas en las sesiones de ejercicio en comparación con los de la competencia y sugieren que la mayoría de los caballos eran sub-entrenados en las sesiones investigadas (Serrano y col., 2002). El sub-entrenamiento puede comprometer la condición física, porque las respuestas al ejercicio durante el entrenamiento dependen de la intensidad del mismo y la capacidad de amortiguación del músculo, factor que podría influir en el rendimiento en la fase de cross-country, siendo mayor esta capacidad en los caballos entrenados en intensidades relativas más altas (Sinha y col. 1991).

TERMORREGULACION

Cuando se habla de temperatura corporal hay que saber que la misma resulta de la ganancia o producción de calor y de la pérdida del mismo. En caso de que haya una excesiva producción de calor el organismo debe ser capaz de poder liberarse de él. Al equilibrio entre la producción y disipación de calor se lo conoce

como termorregulación. Es importante destacar que en el ejercicio la producción de calor puede aumentar hasta unas 40-60 veces por sobre la producción basal (Boffi, 2007).

Los mecanismos generadores de calor en condiciones de reposo son la actividad voluntaria, las contracciones musculares esqueléticas involuntarias o escalofríos, la ingestión de comida y es influenciada por la secreción de tiroxina, adrenalina y noradrenalina. Durante el ejercicio, el principal generador de calor es el trabajo muscular, lo que dispara los mecanismos de disipación del calor. Si no son suficientes, el animal puede llegar a morir por hipertermia y deshidratación al llegar a una temperatura superior a los 44°C. La temperatura confort de los equinos oscila entre los 10° y 12 (Boffi, 2007).



Fig. 12 Obsérvese los diferentes mecanismos de producción y disipación de calor que posee el caballo.

Como se detalla en la figura, los principales mecanismos de disipación de calor son: los no evaporativos como ser la radiación, la conducción y la convección y los evaporativos constituidos por la evaporación, la respiración y la perspiración. La radiación es la pérdida de calor entre el animal y el medio ambiente, transferencia de calor entre una superficie caliente y otra de menor temperatura sin haber contacto físico, como por ejemplo la radiación solar y la radiación reflejada desde el suelo. La conducción es la transferencia de calor por contacto físico con superficies menos cálidas, y para la disipación del calor su rol es mínimo a no ser que se acompañe de la inmersión del caballo en agua fría o la utilización de aspersores de agua fría junto con ventiladores. La convección es la pérdida de calor por los movimientos de aire, ya sean por movimientos de aire o del animal, por lo que climas ventosos o en su defecto el uso de ventiladores favorece éste mecanismo. La

evaporación es el medio más importante para perder calor, ya sea con agua evaporada desde la piel (sudoración) o desde las vías respiratorias. Influyen sobre este medio de disipación calórica la temperatura cutánea, la humedad relativa del ambiente, el volumen minuto respiratorio, la humedad del aire inspirado o espirado y la cantidad de agua para ser evaporada (García, 1995)



Fig. 13 Diferentes variables que afectan en mayor o menor medida la disipación de calor.

En resumen, podemos decir que la disipación del calor en el caballo se produce mayormente por la sudoración y consecuente evaporación del sudor, de las vías respiratorias y por la pérdida convectiva de calor en el aire que pasa sobre la piel y las membranas respiratorias del animal (Hinchcliff y col., 2007).

Basados en estos fundamentos, nos proponemos realizar una evaluación , para tener una mejor visión del estado de entrenamiento de los caballos de prueba completa , midiendo la frecuencia cardíaca, la concentración del ácido láctico plasmático y la actividad de la CK sérica. Los datos allí obtenidos, serán de utilidad en el futuro para controlar el estado atlético de los equinos sometidos a pruebas exigentes.

OBJETIVOS

Objetivo General:

-Evaluar el estado físico de caballos en entrenamiento para Prueba Completa mediante algunas variables fisiológicas y parámetros bioquímicos.

Objetivos Específicos:

1. Medir la variación del ácido láctico, como indicador del metabolismo anaeróbico, para determinar sus cambios durante el transcurso del entrenamiento.
2. Determinar la integridad y la capacidad de recuperación de las fibras musculares mediante la concentración de la creatinquinasa sanguínea.
3. Valorar el comportamiento del aparato cardiovascular durante el entrenamiento midiendo la frecuencia cardíaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo experimental se llevó a cabo en la Escuela de Equitación del Ejército y en el Hipódromo Nacional de Maroñas, ubicados en el departamento de Montevideo.

Esta zona se caracteriza por una temperatura promedio anual de unos 17°C, presión atmosférica de 1015.0 hPa, precipitación anual media de 1100 mm y humedad relativa de 75% correspondiendo a características de un clima templado. <http://www.meteorologia.com.uy/>

Se analizaron cinco ejemplares del Equipo Nacional Uruguayo de Prueba Completa, de los cuales cuatro eran machos castrados y uno era hembra. La raza predominante fue la Deportivo Uruguay, seguida por Pura Sangre de Carrera y Mixta. El rango de edades de los equinos fue entre 8 y 16 años, siendo el promedio de edad 10 años. Estos caballos provinieron de distintos departamentos del país y permanecieron alojados por un mes en la Escuela de Equitación del Ejército donde realizaron el entrenamiento de rutina previo a este tipo de competencia.

Este trabajo se basó en la evaluación de manera experimental de dos entrenamientos, con una diferencia de 10 días, llevadas a cabo en el Hipódromo Nacional de Maroñas, en los cuales se analizaron variables bioquímicas y fisiológicas.

La temperatura promedio en esos días fue de 23 °C (22 y 26°C), un poco superior a la temperatura promedio anual.

Las pruebas que se realizaron luego de un calentamiento de 30 minutos a un ritmo de paseo son las siguientes:

- galope a 450 m/min por 4 minutos y posteriormente un descanso de 3 minutos seguido de
- galope de 6 minutos en el cual se le fue variando la velocidad,
 - realizando 2 minutos de galope a 450 m/min,
 - 30 segundos a 550 m/min,
 - 2 minutos a 450 m/min,
 - 1 minuto a 550 m/min y
 - culminando con 30 segundos a 450 m/min
- se descansó 3 minutos y se volvió a realizar el galope de 6 minutos variando velocidad tal cual se detalló anteriormente.

En el estudio se analizaron variables bioquímicas y fisiológicas vinculadas al metabolismo energético muscular y al sistema cardiovascular, las cuales consistieron en esta instancia en la medición del ácido láctico plasmático, creatinquinasa sérica y frecuencia cardiaca.

Toma de muestras

Se obtuvo por venoclisis de la vena yugular una muestra sanguínea que se colectó en tubos con heparinato de litio (EUROTUBO Deltalab) en las cuales cuantificamos el ácido láctico en plasma. El heparinato de litio se usa a razón de 0.1 - 0.2 mg de heparina por mililitro de sangre. Para la determinación de creatinquinasa se usaron tanto plasma como suero.

Antes del traslado de los animales desde la escuela de equitación hacia el hipódromo, se tomaron las muestras basales de sangre (T0), para evitar fluctuaciones en la concentración de ácido láctico plasmático producidas por el estrés del transporte. El viaje se realizó en camión con todos los animales juntos por una distancia aproximada de siete kilómetros (Martino, 2014).

Luego se realizó de una serie de ejercicios en pista a diferentes velocidades, como se detalló anteriormente, determinándose al final de cada serie la frecuencia cardíaca de cada animal mediante fonendoscopia común (FR1, FR2, FR3) y se extrajeron las muestras de sangre identificadas como T1, T2, T3.

El intervalo entre pruebas fue de 3 minutos, periodo en el cual tuvieron que tomarse las muestras y mediciones pertinentes.

El ácido láctico se midió en las muestras T1, T2, T3. La creatinquinasa se midió en la T3, 2, 6 y 20 horas después.

Procesamiento de muestras

Las muestras se centrifugaron a 4000 rpm por 10 minutos. Aquellas utilizadas para la medición de ácido láctico no sobrepasaron los 15 minutos entre la toma de la muestra y la centrifugación para la separación del plasma, por lo que el procedimiento se realizó en el lugar de extracción. Posteriormente, se extrajo el sobrenadante y se colocó en tubos Eppendorf conservados a 4°C hasta su análisis en el Laboratorio de Análisis Clínicos de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de la República.

La medición de lactato y creatinquinasa en el laboratorio, se efectuó en un periodo de aproximadamente 16 horas posteriores, el cual obtiene valores más confiables y representativos que aquellos obtenidos pasadas las 24 horas de la extracción(Boffi, 2007).

El fundamento del método de medición de lactato se basa en que el lactato es oxidado por la lactato oxidasa a piruvato y peróxido de hidrógeno el cual en presencia de peroxidasa, 4-aminofenazona y 4-clorofenol forma un compuesto rojo de quinona. La intensidad del color formado es proporcional a la concentración de lactato presente en la muestra ensayada y se mide por espectrofotometría.

La medición de la creatinquinasa se realizó mediante un método enzimático, recomendado por la IFCC (International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine).

Para ambas determinaciones se utilizó el analizador CB350i Biotechnica Instruments S.p.A. Roma, Italia.

Análisis Estadístico.

Todos estos datos fueron registrados y ordenados en una base de datos mediante el programa Microsoft Office Excel 2007. Se realizó un análisis de varianza donde se consideró a cada individuo como un bloque teniendo como factores el entrenamiento y las distintas instancias de ejercicio a las que se van a poner a prueba los animales.

RESULTADOS

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

LACTATO

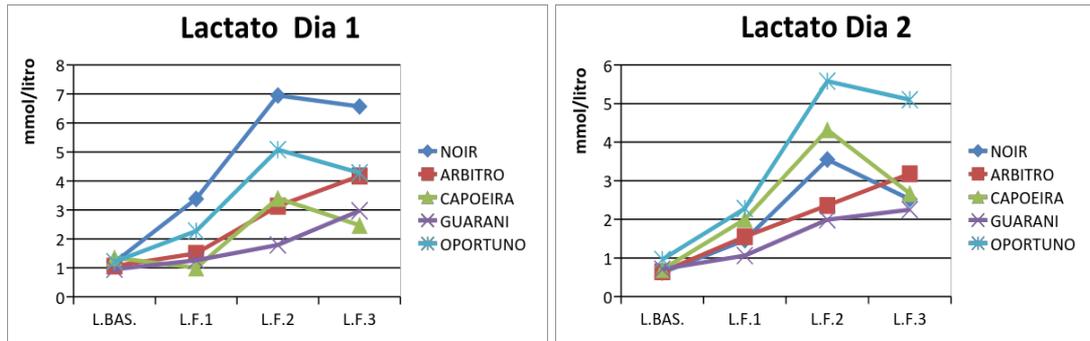


Figura 14 y 15 . Milimol por Litro de Lactato plasmático de cada caballo medido en las diferentes etapas de estudio en el Dia 1 y 2 respectivamente.

L.BAS.= Lactato Basal

L.F.1= Lactato en la Fase 1

L.F.2= Lactato en la Fase 2

L.F.3= Lactato en la Fase 3

En éste estudio se observa la variación de la concentración de lactato en el plasma sanguíneo desde que los caballos están en reposo (L. Bas.) y luego de cada fase de ejercicio (L.F.1, L.F.2 y L.F.3). Los resultados indican valores similares en los valores basales de los caballos, observándose un incremento gradual de los mismos en las dos primeras fases del ejercicio. En la mayoría de los casos, en la última fase se observa un leve disminución de los valores de lactato. La misma tendencia se observa en las muestras obtenidas en el segundo día de muestreo.

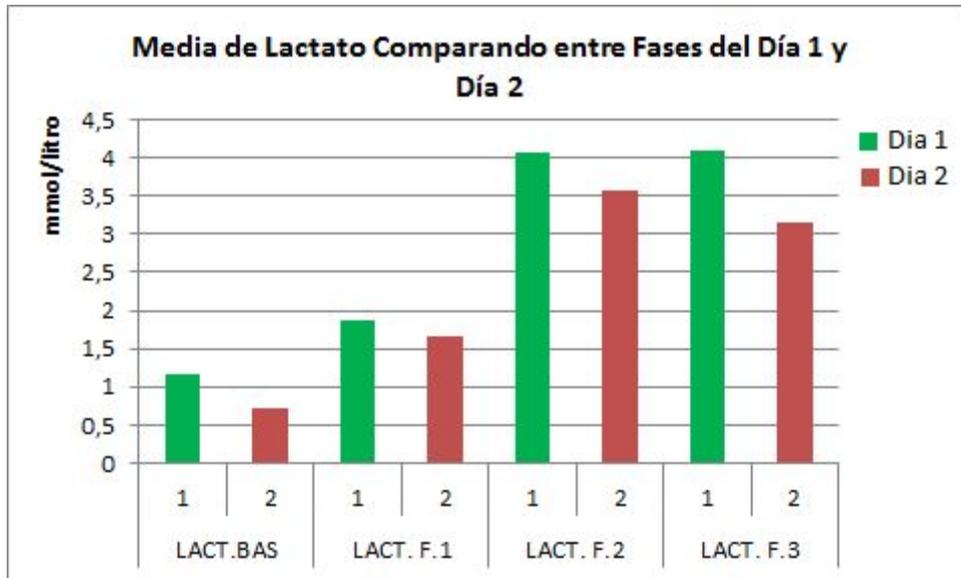


Figura 16.. Media de Lactato Comparando entre Fases del Día 1 y 2 .

L.BAS.= Lactato Basal

L.F.1= Lactato en la Fase 1

L.F.2= Lactato en la Fase 2

L.F.3= Lactato en la Fase 3

Luego de obtenidos los resultados de los valores de lactato, se realizó la medición de la media de cada fase (Lact. Bas, Lact.F.1, Lact.F.2 y Lact.F.3) para cada día. Se observa en el día 1 valores mayores en cada una de las fases con respecto al día 2. A su vez, la tendencia es que desde la fase basal hasta la fase 2 los valores de la media de lactato incrementan en ambos días. Además, en el primer día se aprecia un leve aumento y en el segundo día un marcado descenso de los valores de la fase 2 con respecto a la fase 3.

CREATINQUINASA

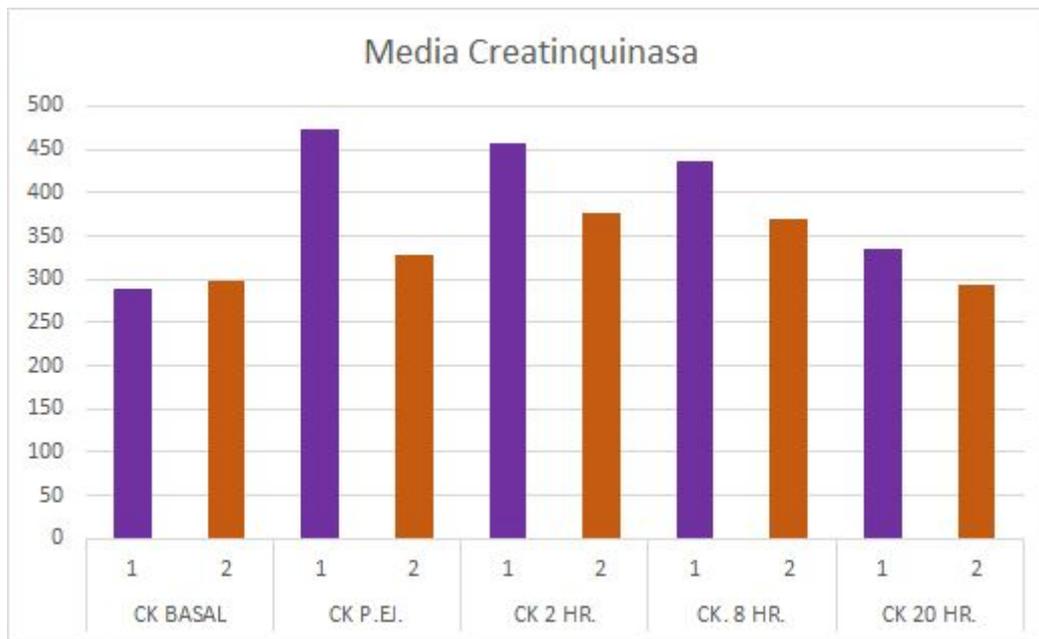


Figura 17. Evolución de la Media de la Creatinquinasa Sérica

CK BASAL= Creatinquinasa Basal

CK P. EJ.= Creatinquinasa Inmediatamente Post-Ejercicio

CK 2 HR.= Creatinquinasa 2 horas después de finalizado el Ejercicio

CK 8 HR.= Creatinquinasa 8 horas después de finalizado el Ejercicio

CK 20 HR.=Creatinquinasa 20 horas después de finalizado el Ejercicio

En relación a los datos obtenidos para la creatinquinasa, podemos mencionar que los valores del primer día fueron significativamente más altos que los del segundo día, excepto en las muestras basales donde se observa en el día 2 un leve aumento con respecto al día 1. En ambos días se observa una tendencia al incremento de los valores, desde la etapa basal hasta la medición tomada inmediatamente después de terminado el ejercicio. Luego hay una diferencia de tendencia entre la medición post ejercicio y aquella tomada dos horas después, donde encontramos que en el día 1 los valores disminuyen y en el día 2 los valores se incrementan levemente. Por último, se nota que, posteriormente a los valores obtenidos luego de dos horas de finalizado el ejercicio, éstos disminuyeron en el correr de las horas transcurridas.

FRECUENCIA CARDIACA

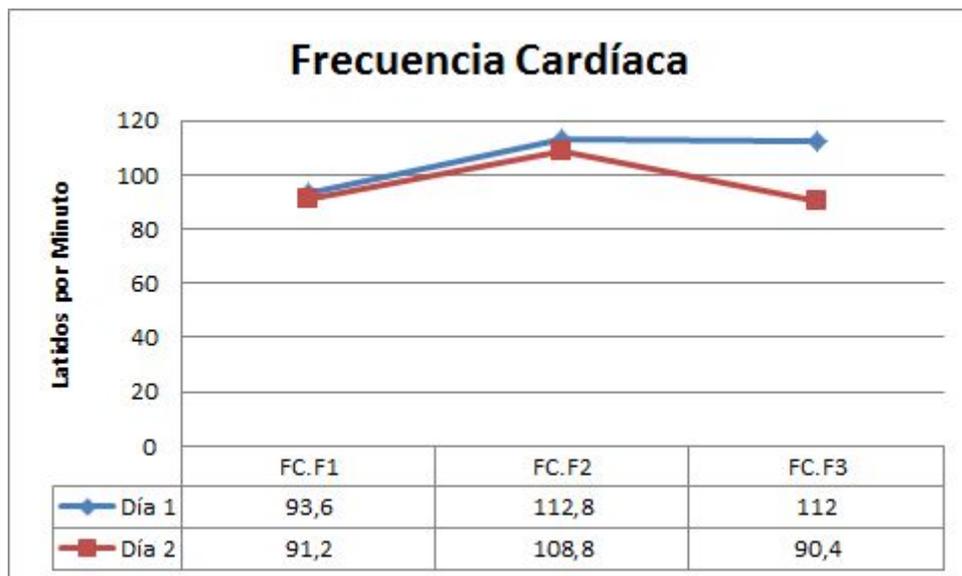


Figura 18. Comparación de las Medias de la Frecuencia Cardíaca Medida en Cada Fase Entre el Día 1 y Día 2.

FC.F.1= Frecuencia Cardíaca Medida Después de Finalizada la Fase 1.

FC.F.2= Frecuencia Cardíaca Medida Después de Finalizada la Fase 2.

FC.F.3= Frecuencia Cardíaca Medida Después de Finalizada la Fase 3.

Los registros adquiridos de la frecuencia cardíaca de los animales testeados nos demuestran valores más altos en cada una de las instancias medidas en el día 1 en comparación con el día 2. A su vez se nota un incremento de la frecuencia cardíaca entre la fase 1 (FC.F.1) y la fase 2 (FC.F.2), con un posterior disminución entre la fase 2 (FC.F.2) y la fase 3 (FC.F.3) siendo esta diferencia más marcada el segundo día.

ESTADÍSTICA INFERENCIAL

LACTATO

Se realizó análisis de varianzas, ANOVA, para las tres etapas y las medias difieren significativamente ($p=0.0009$) entre las mismas. En la primera etapa por debajo de la media general, y las otras dos por encima y se observó que en la segunda etapa presentó un mayor valor que en la tercera. Cuando se comparan estos valores (Lact.F.2 y Lact.F.3) en la prueba de T para medias de dos muestras pareadas, no se presentan diferencias significativas entre las etapas dos y tres ($P=0.537$).

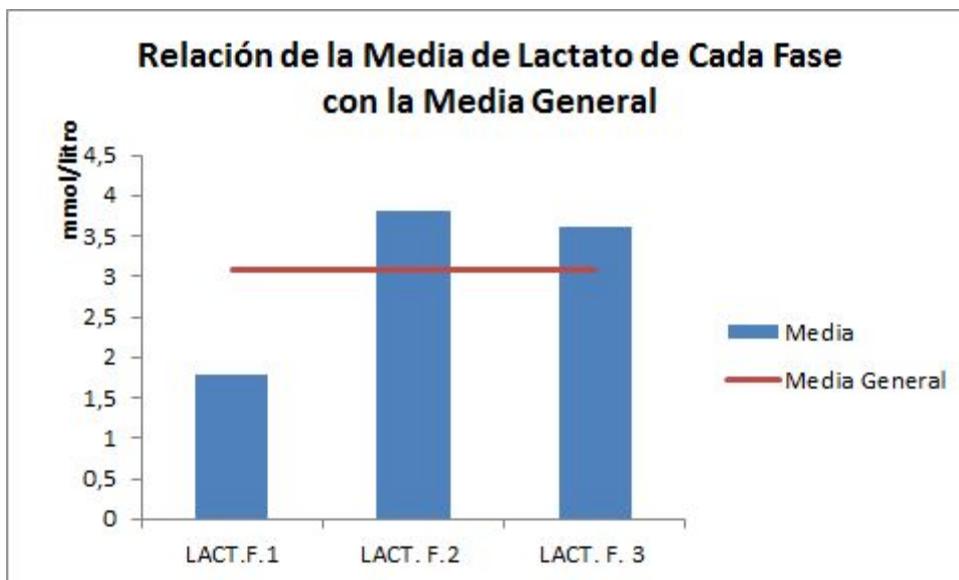


Figura 19. Relación de la Media de Lactato de Cada Fase con la Media General.

L.F.1= Lactato en la Fase 1

L.F.2= Lactato en la Fase 2

L.F.3= Lactato en la Fase 3

CREATINQUINASA

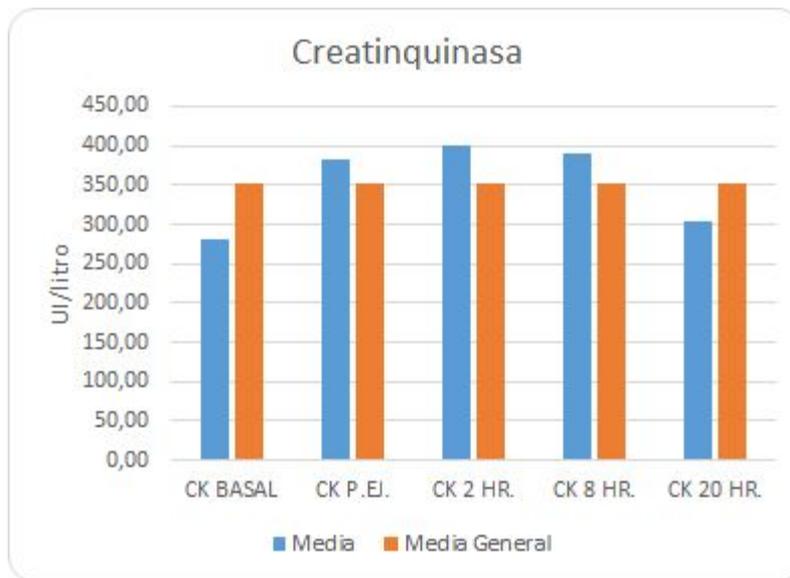


Figura 20. Relación de la Media de Creatinquinasa de Cada Fase con la Media General.

CK BASAL= Creatinquinasa Basal

CK P. EJ.=Creatinquinasa Inmediatamente Post-Ejercicio

CK 2 HR.=Creatinquinasa 2 horas después de finalizado el Ejercicio

CK 8 HR.=Creatinquinasa 8 horas después de finalizado el Ejercicio

CK 20 HR.=Creatinquinasa 20 horas después de finalizado el Ejercicio

El análisis de varianzas, ANOVA, realizado demostró que no hay diferencias significativas entre los valores de creatinquinasa de los animales ($P= 0,39$). Pero se efectuó un test de T comparando los valores del día 1 con los del día 2 observándose que las medias tienen diferencias significativas por lo que existen diferencias entre el día 1 y el día 2 ($P= 0,023$).

FRECUENCIA CARDIACA

La correlación entre la duración del ejercicio y la frecuencia cardíaca es positiva (coef.r.= 0.22), a medida que aumenta la duración aumenta la frecuencia ($R^2= 0.052$). Este valor de R^2 es muy bajo, que puede estar dado por un muestreo pequeño. De tomarse una muestra mayor, serían más confiables los datos. Pero con una correlación positiva ya se puede concluir que a medida que aumenta el tiempo de ejercicio aumenta la frecuencia cardíaca.

Además, cuando se analizan las frecuencias cardíacas en las diferentes fases, se detectaron diferencias significativas ($P= 0,024$) lo que denota una dependencia entre la duración del ejercicio y la frecuencia cardíaca de la misma forma.

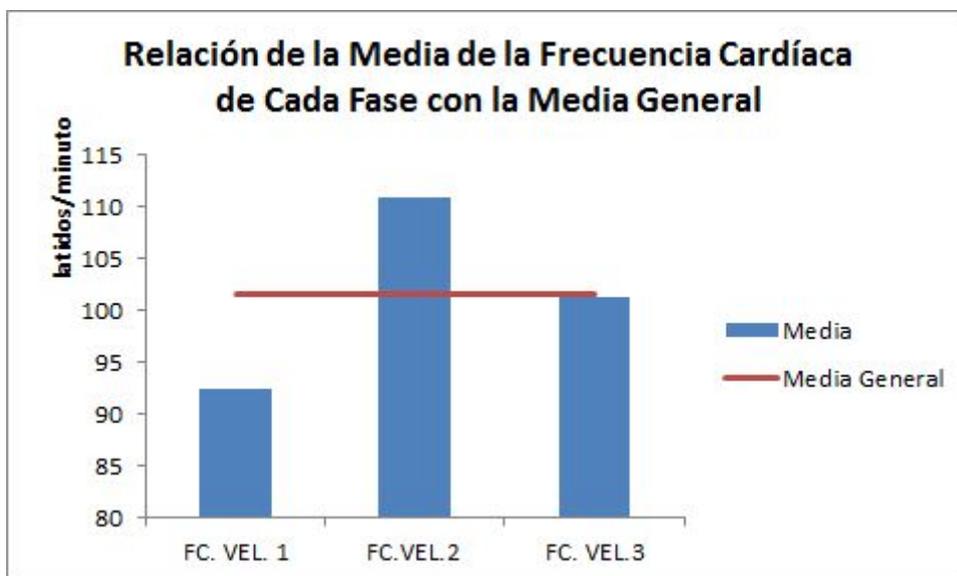


Figura 21. Relación de la Media de la Frecuencia Cardíaca de Cada Fase con la Media General.

FC.F.1= Frecuencia Cardíaca Medida Después de Finalizada la Fase 1.

FC.F.2= Frecuencia Cardíaca Medida Después de Finalizada la Fase 2.

FC.F.3= Frecuencia Cardíaca Medida Después de Finalizada la Fase 3.

DISCUSIÓN

En el presente estudio en el cual se evaluaron diferentes parámetros sanguíneos y fisiológicos, se encontró que los resultados obtenidos en la medición del lactato plasmático basal, fueron similares en todos los caballos. A su vez, se apreció que en los caballos del estudio, en la primera instancia evaluada, el lactato medido a nivel basal demostró ser un poco más alto a lo establecido por Acuña (2005) quien fijó la concentración de lactato sanguíneo en un caballo en descanso en aproximadamente 0,5 mmol/L. No obstante, estos valores mejoraron en la segunda instancia de evaluación, acercándose mucho más a lo esperado según la bibliografía. También se puede afirmar que en la segunda instancia los caballos presentaban un mejor nivel de entrenamiento que en la primera, compartiendo la idea de Donovan y Brooks (1983), quienes confirmaron que se presenta una concentración de lactato sanguíneo más baja, cuanto más está entrenado el animal.

Se observó un incremento gradual del lactato en las dos primeras fases del ejercicio. Esto acontece porque, según Boffi, a mayor velocidad de ejercicio en un mismo tiempo dado, la concentración de lactato hemático será mayor. Lo mismo sucede cuando se deja trabajar a un caballo a la misma velocidad pero por más tiempo, ya que en la sangre los dos factores que más afectan la concentración de lactato son la velocidad y la duración del ejercicio. En este estudio los resultados obtenidos concuerdan con la bibliografía.

La respuesta del lactato en la sangre a un ejercicio dado, se puede diferenciar entre los individuos y esto se puede relacionar con las propiedades de la fibra del músculo. Las diferencias pueden darse además por la edad, el sexo y el estado de entrenamiento como lo sucedido en el presente estudio (Roneus y col., 1994).

En esta investigación se produjo una leve disminución de los niveles de lactato entre la fase 2 y la fase 3, observándose la misma tendencia en el segundo día de muestreo. Podemos atribuir este fenómeno a la metabolización del lactato generado por las fibras musculares que es constantemente removido. El mismo podría haber ingresado al Ciclo de Cori, o haber sido utilizado por el músculo cardíaco y por las fibras oxidativas del músculo esquelético como sustrato energético durante la contracción muscular (Boffi, 2007). En general, luego de un ejercicio máximo se requieren, al menos 25 minutos de recuperación para la depuración de la mitad del ácido láctico acumulado, y 1 hora 15 minutos para la retirada del 95%. Cuando se realiza un ejercicio submáximo, en el cual la acumulación del ácido láctico no es tan grande, se requiere menos tiempo para la

retirada del total acumulado. El período de recuperación puede tener lugar en estado de reposo absoluto (inactividad), o en estado de actividad ligera (García y col., 1999). Varios autores evidencian que realizar ejercicios livianos aeróbicos al finalizar el ejercicio acelera la metabolización del lactato (Caviglia y col., 1998; Perrone y col., 1999; White, 1998). Esta acción se tomó con los animales evaluados pero de la cual no obtuvimos muestras en esta oportunidad, con lo que no podemos saber fehacientemente si los niveles de lactato disminuyeron drásticamente o gradualmente.

Es importante destacar que los animales realizaron un trabajo aeróbico durante la primera fase de ambas instancias evaluadas. Algunos llegaron y superaron el umbral anaeróbico en las siguientes fases, pero con valores razonables, no superando en ningún momento los 7 mmol/litro en ninguna de las muestras, pero sí superando los 4 mmol/litro que establecen Boffi y Art y col. como punto de partida de dicho umbral. Ésto significa que los animales no llegaron a utilizar todo el lactato producido y las concentraciones de lactato en sangre se elevaron demasiado rápido para ingresar al Ciclo de Cori y consecuentemente disminuyeron el pH de los músculos, provocando el principio de lo que sería una fatiga muscular en los animales (Boffi, 2007). También se debe considerar que en la fase dos y tres de ambos días las velocidades eran entre 450 m/min y 550 m/min., siendo superiores a lo que Robinson (1995) determina como de moderada intensidad (menos de 450 m/minuto). Hasta este punto sí se produciría poca acumulación de lactato en la mayoría de los equinos, no siendo el caso ya que la velocidad era superior. Acompaña esta idea Acuña (2005) quien dicta que a velocidades más altas, la concentración de lactato sanguíneo se incrementa exponencialmente como se observa en el presente estudio. La velocidad a la cual se acumula el ácido láctico depende de muchos factores inherentes al animal. Estos incluyen la tasa de suministro cardíaco de oxígeno al músculo en ejercicio, la habilidad de la célula muscular para usar oxígeno, y la tasa de metabolización del lactato en la célula muscular durante el ejercicio. Estos factores están limitados por las características fisiológicas propias del caballo como individuo, pero pueden ser mejoradas con el entrenamiento. Ello se logra al aumentar el número de mitocondrias en la fibra muscular y aumentar las proteínas de transporte monocarboxiladas, mejorando así el flujo de lactato del músculo hacia la corriente sanguínea (Väihkönen, 1998). Dichos factores no se midieron en el presente estudio ni antes de empezar a entrenar ni después, con lo cual no podemos determinar si los animales tuvieron un cambio de este tipo.

Además, podemos consolidar el concepto de Donovan y Brooks (1983), Persson, 1983; Roneus y col., 1994, MacLeay y col. (2000) y Rose y col., (1983)

que dicta que caballos bien entrenados para un determinado tipo e intensidad de ejercicio producen menos lactato que los caballos no entrenados. Esto concordó con el ensayo, ya que los caballos presentaron en el día 1 valores mayores en cada una de las fases con respecto al día 2. Teniendo en cuenta que pasaron diez días de entrenamiento entre cada instancia de evaluación, los animales presentaron entonces un mayor grado de entrenamiento. Esto no coincide con Poso y col. (1995) quienes dicen que los caballos identificados por su buen desempeño tienden a presentar concentraciones de lactato elevadas, probablemente debido al mayor índice de transporte de éste a los eritrocitos.

Considerando que el aumento del lactato plasmático es rápido y pequeñas variaciones en el tiempo de colecta de la muestras o la duración del ejercicio pueden provocar diferencias en las concentraciones detectadas, la toma de muestras se realizó inmediatamente después de cada fase, y rápidamente se efectuó la separación del plasma, se puede afirmar que el manejo fue preciso y ajustado a las directrices analíticas (Schuback; 1998).

En ninguna instancia ningún caballo superó los 8 mmol/litro, este hecho es importante ya que hasta una concentración máxima de 8 mmol/L de lactato en sangre casi siempre se corresponderá con valores encontrados inmediatamente después de finalizado el ejercicio (Boffi, 2007).

En cuanto a las mediciones de la CK, los valores del primer día fueron significativamente más altos que los del segundo día, excepto en las muestras basales donde se observa en el día 2 un leve aumento con respecto al día 1, según Harris, Marlin y Gray (1998) el efecto del ejercicio físico en la actividad enzimática de la CK en caballos saludables depende del acondicionamiento físico del animal, de la intensidad y duración del ejercicio y del ambiente. Esto justifica que los niveles de CK sean mayores en la primera instancia de evaluación. Y a su vez, hubieron variaciones en el ambiente que pudieron afectar los niveles de CK, especialmente a nivel basal, dado que los animales se transportaron de un destino a otro por un tiempo mayor en la segunda instancia por problemas vehiculares.

En ambos días se observa una tendencia al incremento de los valores, desde la etapa basal hasta la medición tomada inmediatamente después de terminado el ejercicio, manteniéndose dicho aumento dentro de los valores normales para la especie con lo cual se puede inferir que está dado como consecuencia fisiológica al ejercicio. En algunos casos, el ejercicio extenuante puede causar elevaciones dentro del rango normal de CK para la especie sin evidenciar síntomas de daño muscular, como en los animales de esta investigación. Según lo que demostraron Snow y col. (1982) y Caviglia y col. (2000) el proceso de acidosis de las células

musculares incrementa la permeabilidad de la membrana pero no lleva a un daño en la célula (Islas, 1992), siendo consecuencia de la hipoxia celular generada por el trabajo muscular anaeróbico (Milne, 1982). Por otra parte, la disminución del pH celular, la liberación de catecolaminas, la hipoglicemia y las modificaciones electrolíticas, entre otros, pueden incrementar también la permeabilidad del sarcolema (Boffi, 2007; Hodgson and Rose, 1994).

Luego hay una diferencia de tendencia entre la medición post ejercicio y aquella tomada dos horas después, donde encontramos que en el día 1 los valores disminuyen y en el día 2 los valores incrementan levemente, lo cual no está fuera de lo citado en la bibliografía. De acuerdo con Anderson (1975), los niveles de CK presentan un aumento máximo 5 horas después de la realización de la actividad física y la extensión del aumento de los niveles de CK post-ejercicio es considerada inversamente proporcional a la preparación física. Esta fue mayor en la segunda instancia, con lo que no coincide con lo observado en esta investigación. Los niveles de CK son directamente proporcionales a la duración de la actividad física, que fue la misma en ambas instancias, por tanto no deberían presentarse diferencias por esta causa (Anderson, 1975).

Posteriormente a los valores medidos dos horas de finalizado el ejercicio, los valores de la CK disminuyeron en el correr de las horas transcurridas, llegando a niveles muy próximos a aquellos medidos a nivel basal. La CK tiene una actividad pico entre las 4 y las 12 horas luego de la lesión muscular. Su posterior eliminación de la sangre al cabo de 2 horas, similar a lo que se observó en la investigación realizada. Podemos decir que los animales de este estudio son tolerantes al ejercicio implementado, y que se adaptan fácilmente a éste, no teniendo mediciones de CK elevadas más allá de lo considerado fisiológico, ni presentando signos clínicos que nos orienten a alguna lesión.

Los registros adquiridos de la frecuencia cardíaca de los animales testeados nos demuestran valores más altos en cada una de las instancias medidas en el día 1 en comparación con el día 2. Esto puede atribuirse a que existe un mejor acondicionamiento físico de los animales en el día 2, ya que hay diez días de diferencia entre una instancia de evaluación y la otra.

A su vez se nota un incremento de la frecuencia cardíaca entre la fase 1 y la fase 2, dado que durante el ejercicio se produce un aumento de la frecuencia cardíaca y una redistribución del flujo sanguíneo para sostener la respuesta a la demanda muscular como también la del sistema coronario (Asheim y col., 1970; Engelhardt, 1977). Este aumento está directamente relacionado con la intensidad y la velocidad a la cual se realice el ejercicio, por eso cuando medimos la frecuencia

en la segunda fase, que tiene mayor intensidad que la primera, los valores son superiores que en la primera fase (Gottlieb y col., 1988; Merino y col., 1997; Hinchcliff y col., 2002).

Posteriormente, hubo una disminución de la frecuencia cardíaca entre la fase 2 y la fase 3 siendo esta diferencia más marcada el segundo día, esto se puede deber a un error en la toma de la frecuencia cardíaca ya que la misma se tomó por diferentes personas en un día comparado con el otro y a su vez no se tuvo una continuidad dentro del mismo día, de la persona que auscultó cada caballo evaluado por lo que el factor humano podría explicar estos aparentes descensos de la frecuencia cardíaca (Comunicación personal Dr. Alejandro Benech, 2016).

A pesar de esto, se determinó que a medida que aumenta la duración del ejercicio se vio que aumenta la frecuencia cardíaca. Debería de realizarse otro estudio para darle mayor confiabilidad a lo observado ya que puede que esté dado por un muestreo reducido. Además, cuando se analizan las frecuencias cardíacas en las diferentes fases, se detectaron diferencias significativas, lo que denota una dependencia entre la duración del ejercicio y la frecuencia cardíaca de la misma forma.

Además se registraron FC hasta 136 lat/min, la bibliografía estudiada expone que la FC inferior a 120 lat/min, es influenciada, por factores psicogénicos, como el miedo y la excitabilidad del sistema nervioso autónomo (Evans, 1985).

A su vez, midiendo la frecuencia cardíaca sabemos el tipo de metabolismo energético que realiza el animal, aeróbico o anaeróbico, el cual determina si hay una adecuada producción y utilización de la energía por el músculo, factor esencial en el óptimo desempeño del atleta. Una frecuencia cardíaca de 200 latidos por minuto coincide con el umbral anaeróbico y pulsaciones de 120 a 150 latidos por minuto coincide con el umbral aeróbico (Arias y col., 2006), así que si nos guiamos solamente por las frecuencias cardiacas registradas podemos inferir que los caballos no llegaron a el umbral anaeróbico.

Una de las mejores indicaciones que el caballo tolera el esfuerzo exigido es la rapidez con que el ritmo cardíaco disminuye cuando la demanda se hace más ligera (Loving, 2010). La recuperación de este parámetro es alcanzada entre 2 a 20 min. post-ejercicio y va a depender de la carga de trabajo del animal y factores externos (sudoración, humedad del aire, componentes del viento y factores emocionales), los que pueden afectar marcadamente el período de recuperación (Engelhardt, 1977). Valores de la frecuencia cardíaca de los animales en el período de recuperación, no se obtuvieron en el estudio con lo que no podemos observar

cómo los individuos se comportan a nivel cardiovascular posteriormente a las instancias de evaluación realizadas.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Muñoz y col. (1999), si bien es necesario en la formación de un caballo de Prueba Completa un entrenamiento adecuado para aumentar su resistencia, el entrenamiento de fuerza también es importante. Éste puede proporcionar el reclutamiento de fibras de rápida contracción, que son responsables de la velocidad y la potencia , y mejora la capacidad de tolerar la acumulación lactato tanto en el músculo como en el torrente sanguíneo (Muñoz y col., 1999).

CONCLUSIONES

- 1) El acondicionamiento físico determina niveles basales de lactato plasmático más bajos en aquellos animales que están más acondicionados que otros.
- 2) A medida que se aumenta la velocidad de ejercicio y/o se prolonga la duración de ejercicio, aumenta también el lactato medido en plasma.
- 3) Disminuciones en la medición de lactato durante el ejercicio se atribuyen a la capacidad de los animales de metabolizarlo por las fibras oxidativas del músculo esquelético como sustrato energético durante la contracción muscular.
- 4) Los caballos estudiados superaron los 4 mmol/litro establecidos para el umbral anaeróbico, realizando por lo tanto un metabolismo anaeróbico durante la instancia evaluada.
- 5) En la segunda instancia de evaluación se obtuvieron valores de lactato plasmático menores que en la primera instancia, lo cual es atribuido a que estaban mejor entrenados, ya que caballos bien entrenados para un determinado tipo e intensidad de ejercicio producen menos lactato que aquellos menos entrenados.
- 6) Los valores de CK más altos en la primera instancia se deben a que el entrenamiento físico fue mejor en la segunda instancia que en la primera.
- 7) A medida que se aumentó la duración de ejercicio realizada, aumentaron también los niveles de CK pero siempre dentro del rango fisiológico, por lo que se atribuye a un aumento en la permeabilidad de la membrana y no a un daño muscular.
- 8) Los valores de la CK disminuyeron en el correr de las horas transcurridas llegando a niveles muy próximos a aquellos medidos a nivel basal, confirmando que los niveles de CK se deben a un aumento de permeabilidad únicamente.
- 9) El acondicionamiento físico mayor en el segundo día de evaluación también determinó que la frecuencia cardíaca de los animales sea menor que en el primer día de evaluación.
- 10) El aumento de la frecuencia cardíaca está directamente relacionado con la intensidad y velocidad a la cual se realice el ejercicio, por eso cuando medimos la frecuencia en la segunda fase, que tiene mayor intensidad, los valores son superiores que en la primera fase.
- 11) Se determinó que a medida que aumenta la duración de ejercicio se vio que aumenta la frecuencia cardíaca. Pero debería de realizarse otro estudio para darle mayor confiabilidad a lo observado ya que puede ser que esté dado por un muestreo muy pequeño.

- 12) Si nos guiamos solamente por las frecuencias cardíacas registradas podemos inferir que los caballos no llegaron a el umbral anaeróbico, que es 200 latidos por minuto, pero si coincide con el umbral aeróbico, pulsaciones de 120 a 150 latidos por minuto, ya que se registraron FC hasta 136 lat/min.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Acuña, M (2015) Entrenamiento del caballo de Endurance. infohipico.com. Disponible en: <http://www.infohipico.com/hipico/content/view/full/1871> Fecha de consulta: 12/12/2015.
- 2) Aguera EI, Rubio D, Vivo R, Santisteban R, Aguera S, Muñoz A, Castejón FM (1995) Heart rate and plasma lactate responses to training in andalusian horses. *J. Equine Vet Sci*, 15:532-536.
- 3) Amory H, Art T, Linden A, Desmech D, Buche M, Lekeux P (1993) Physiological Response To The Cross-Country Phase In Eventing Horses. *J Equine Vet Sci*, 13:646-650.
- 4) Anderson , MG(1975)The effect of exercise on blood metabolite levels in the horse. *Equine Vet J*, 7: 27-33.
- 5) Andrews FM, Ralston SL, Sommardahl PM, Green EM, White SL,Williamson LH, Holmes CA, Geiser DR (1994) Weight, water, and cation losses in horses competing in a three-day event. *J. Am. Vet. Med. Ass.* 205: 721-724.
- 6) Arias MP, Echevarría Sánchez, H, Coral Duque, E, Acosta Maya, L, Zuluaga Becerra J (2006) Estimación de la intensidad de trabajo en un grupo de caballos criollos colombianos de diferentes andares. *Ces. Med. Vet. Zoot.* 1 (2): 18-31.
- 7) Art. T, Desmecht D, Amory H, Delogne O, Buchet M, Lercy P, Lekeux P (1990) A field study of post-exercise values of blood biochemical constituents in jumping horses: relationship with score, individual and event. *J Vet. Med. A.*, 37: 231-239.
- 8) Asheim A, Knudsen O, Lindholm A, Rülcker C, Saltin B(1970) Heart rates and blood lactate concentrations of standardbred horses during training and racing. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 157(3): 304-312.
- 9) Boffi FM (2007) *Fisiología del Ejercicio en Equinos*. Buenos Aires, Intermédica, 302 p.
- 10)Boffi FM (2008) Entrenamiento y Adaptación Muscular. Sustratos y Vías Metabólicas para la Producción de Energía. *Rev. Bras. Zoot.*, 37:197-201.
- 11)Caviglia J, Perrone G, Barbero E, Bel C, Chiappe A, González G (1998) Modificaciones en los parámetros fisiológicos post ejercicio en el equino de salto. En: Frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura rectal y lactato. *Rev. Med. Vet.*, 79(6): 400-403.

- 12) Caviglia J, Perrone G, Chiappe A, Giménez R, Tassara M, Alvarez E, González G (2000) Hematología y Bioquímica sanguínea post carrera en el caballo American Trotter. I Congreso de Medicina Equina de la Asociación Argentina de Veterinaria Equina. Buenos Aires. 163 p.
- 13) Chiara AA, Oliveira B, Souza G, Baldani CD, Azevedo JF, Ramos MT, Silva VP, Miranda ACT, Costa APD, Almeida F Q (2014) Hematological and Blood Gas Parameters' Response to Treadmill Exercise Test in Eventing Horses Fed Different Protein Levels-J Equine Vet. Sci. 34: 1279–1285.
- 14) Campillay LC (2004) Principales Usos Del Caballo en Chile: Una Visión A Través Del Arte Pictórico Nacional. Tesis. Universidad Austral de Chile. Valdivia , 98p.
- 15) Couroucé A (1998). Endurance and sprint training. pp 190-202. Conference on equine sports medicine and science. April 24th-26th. CESMAS. Córdoba, Spain, p 190-202.
- 16) Couroucé A, Chatard JC, Auvinet B(1997) Estimation of Performance Potential of Standardbred Trotters from Blood Lactate Concentrations Measured in Field Conditions. Equine Vet. J., 29:365-369.
- 17) De Luca LJ (2000) Fisiología del Ejercicio (Laboratorio Burnet). Disponible en: www.engormix.com/s_articles_view.asp?AREA=CAB&art=365. Fecha de consulta: 25/05/2016.
- 18) Donovan CM, Brooks, GA, (1997) Endurance training affects lactate clearance not lactate production. Am. J. Physiol, 244(1): 83-92.
- 19) Eckert R, Randal B (1997) Fisiología animal mecanismos de adaptación. 4ª ed. Madrid, McGraw–Hill, 793 p.
- 20) Engelhardt WV (1977). Cardiovascular effects of exercise and training in horses. En: Brandly CA, Cornelius CE, Simpson CF Advances in veterinary science and comparative medicine: cardiovascular pathophysiology. New York, Academic. 519 p.
- 21) Ensminger ME (1975) Producción Equina. Buenos Aires, Librería El Ateneo, 471 p.
- 22) Evans DL, Rose RJ (1985) The Veterinary Clinics of North America Equine Practice, 1(3): 391-656.
- 23) Federation Equestre Internationale (2016) Veterinary Regulation. 13ª ed. Lausanne, FEI, 101 p.

- 24)García M, Guzman R, Cabezas M, Merino B, Palma C, Perez R (1999) Evaluación del entrenamiento tradicional del caballo criollo chileno de rodeo mediante el análisis de variables fisiológicas y bioquímicas sanguíneas. Arch. Med. Vet, 31(2):167-176.
- 25)García Sacristan A, Castejón Montijano F, De La Cruz Palomino L F, Gonzáles Gallego J, Murillo López M, Salido Ruiz G (1995) Fisiología Veterinaria. Madrid, Interamericana -Mc Graw Hill, 1074 p.
- 26)Gómez C, Petróñ P, Andaur M, Pérez R, Matamoros R(2004) Medición post-ejercicio de variables fisiológicas, hematológicas y bioquímicas en equinos de salto holsteiner. Rev Cient FCV-LUZ 14(3):244-253. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95914309> Fecha de consulta: 15/06/16.
- 27)Gonçalves de Souza B, Chaves Pessoa da Veiga C, Ferreira de Oliveira G, Reis Ferreira AM, Queiroz de Almeida F(2013) Avaliação de um programa de treinamento para cavalos de Concurso Completo de Equitação: Efeitos sobre a frequência cardíaca e a curva de lactato. Rev Bras Med Vet, 35(4):385-39.
- 28)Gottlieb M, Essén-Gustavsson B, Linholm A and Persson SGB (1988). Circulatory and muscle metabolic responses to draught work compared to increasing trotting velocities. Equine Vet. J. 20 (6): 430-434.
- 29)Grosskopf JFW, Van Rensburg JJ, Bertschinger HJ Haematology and blood chemistry of horses during a 210 km endurance ride (1983) En:Snow DH, Persson SGB, Rose RJ, Equine Exercise Physiology, Cambridge, Granta Editions, 416-424 pp.
- 30)Guerrero Nieto PA, Portocarrero Aya L, Mutis Barreto CA, Ramírez Troncoso J (2009) Determinación de frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, lactato deshidrogenasa, creatinquinasa y ácido láctico en caballos durante competencia de salto en la Sabana de Bogotá. Rev Med Vet. 17: 37-52.
- 31)Guhl A, Lindner A, Von Wittke P (1996). Use of relationship between blood lactate and running speed to determine the exercise intensity of horses. Vet Rec, 139(5):108-110.
- 32)Gunn HM (1985) Muscle, bone and fat proportions and muscle distribution of throughbreds and quarter horses. En: Gillespie JR., Robinson NE. Eds. Equine exercise physiology 2. Davis, ICEEP Publications; p 253-264.
- 33)Harris PA, Marlin DJ, Gray J (1998). Plasma aspartate aminotransferase and creatine kinase activities in thoroughbred racehorses in relation to age, sex, exercise and training. Vet J, 155, (3): 295-304.

- 34) Hinchcliff KW, Kaneps AJ, Goer RJ (2007) *Medicina y Cirugía en los Equinos de Deporte*. Buenos Aires, Inter-Médica, 1584 p.
- 35) Hinchcliff K, Lauderdale M, Duston J, Geor R, Lacombe B, Taylor L (2002). High intensity exercise conditioning increase accumulated oxygen deficit of horses. *Equine Vet. J.* 34(1): 9 -16.
- 36) Islas A, Pérez R, Rojas R, Jara C, Mora G, Recabarren S, Hetz E (1992) Actividad sérica de creatina de fosfoquinasa, aspartato aminotransferasa, deshidrogenasa láctica y fosfatasa alcalina en equinos mestizos de tiro sometidos a esfuerzo prolongado de tracción. *Arch. Med. Vet.* 1: 53-59.
- 37) Judson GD, Frauenfelder HC, Mooney GJ (1983) Biochemical changes in thoroughbred horses following submaximal and maximal exercise. En: Snow DH, Persson SGB, Rose RJ. *Equine Exercise Physiology*. Cambridge, Granta, p 408-415.
- 38) Laens Roig F, Wünsch Notejane MC (2014) Efecto del Índice de Confort, Velocidad, Etapa, Raza y Sexo sobre el Tiempo de Recuperación Cardíaca, en Caballos de Enduro. Tesis. Facultad de Veterinaria. Universidad de la República, 75 p.
- 39) Linder A, Wittke von P, Schmalde M, Kusserov J, Sommer H (1992). Maximal lactate concentrations in horses after exercise of different duration and intensity. *J. Equine Vet. Sci.* 12: 30-33.
- 40) Loving, NS (2010) *Todos Los Sistemas del Caballo-Tratado completo de la salud y cuidados veterinarios equinos* Barcelona, Hispano Europea, 620p.
- 41) Marlin DJ, Harris PA, Schroter RC, Harris RC, Roberts CA, Scott CM, Orme CE, Dunnett M, Dyson SJ, Barrelet F, Williams B, Marr CM, Casa I (1995) Physiological, metabolic and biochemical responses of horses competing in the speed and endurance phase of a CCI**** 3-day event. *Equine Vet. J.*, 27 (Suppl. 20): 37-46.
- 42) McArdle WD, William D (1991) *Exercise Physiology. Energy, Nutrition and Human Performance*. 3ª ed. Philadelphia, Lea and Febiger, 800 p.
- 43) Mejía Sandoval G, Arias MP (2008) Evaluación del estado físico de caballos de salto mediante algunas variables fisiológicas. *Ces. Med. Vet. Zoot.*, 3 (2): 31-41.

- 44)Merino MV, Valenzuela AS, Cabezas AI, Garcia IM, Avila CG, Pérez FR (1997). Respuesta fisiológica y bioquímica del caballo de tiro a faena de aradura en suelos arroceros. Arch. Med. Vet. 29(2): 235-241.
- 45)Milne DW (1982) Biochemical parameters for assessment of conditioning in the horse. Proc. Am. Assoc. Equine Pract. 28: 49-53.
- 46)Moleres RF(1978) El Caballo: Tratado General. Buenos Aires, Albatros, 319 p.
- 47)Muñoz A (1997). Evaluación de la capacidad de rendimiento físico en caballos de diversas razas mediante índices de funcionalidad. Respuesta a un entrenamiento programado. Tesis. Universidad de Córdoba, 289 p.
- 48)Muñoz A, Riber C, Santisteban R, Rubio MD, Agüera EI, Castejón FM (1999) Cardiovascular and metabolic adaptations in horses competing in cross-country events. J. Vet. Med. Sci. 61(1): 13-20.
- 49)Murakami M,Takagi S(1974) Effects of continuous long distance running exercise on plasma enzyme levels in horses. Exp. Rep. Equine Hlth. Lab., 11: 106-118.
- 50)Mutis Barreto CA, Pérez Jimenez TE (2005). Determinación y análisis de valores de nitrógeno ureico en sangre (bun), glucosa, creatin quinasa (ck) y ácido láctico pre y post ejercicio en una población de atletas equinos de salto en Bogotá, D.C. REDVET, 6 (2): 1-28.
- 51)Nogueira da Gama, JA,Sales de Souza M, Pereira Neto E, Cuña de Souza VR, Simões Coelho C (2012) Concentrações séricas de aspartato aminotransferase e creatinoquinase e concentrações plasmáticas de lactato em equino da raça Mangalarga Marchador após exercício físico. Braz J Vet Res Anim Sci, 49 (6): 480-486.
- 52)Perrone G, Caviglia J, Chiappe A, Taffarel C, González G(1999). Modificaciones de los parámetros fisiológicos post ejercicio en el equino de Pato. Frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura rectal y lactato. Rev. Med. Vet., 80(5): 424-426.
- 53)Perrone GM, Caviglia JF, Pérez A, Fidanza M, Marquez A, Catelli JL,González G (2006) Cambios en las variables fisiológicas en equinos compitiendo en una prueba combinada. An. Vet. (Murcia) 22: 35-42.
- 54)Persson SGB(1983). Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse.En: Snow DH, Persson SGB, Rose RJ Equine exercise physiology. Cambridge, Granta, p. 441-457.

- 55) Ponce J, Pascual F, Álvarez A, Martín J, Rodríguez LP (1997) Relación entre la frecuencia cardíaca y lactato sanguíneo durante el periodo de recuperación del ejercicio aerobio - anaeróbico de corta duración. *Eur. J. Hum. Mov.* 3: 33-43.
- 56) Ponce de León L, Zorrilla de San Martín, A. (2005) Criollos de América :origen y evolución de una raza legendaria : las mejores cabañas de caballos criollos de América. Montevideo, Ponce de León y Zorrilla, 239 p.
- 57) Pösö AR (2002) Monocarboxylate Transporters and Lactate Metabolism in Equine Athletes. A Review. *Acta Vet Scand.* 43(2): 63-74.
- 58) Pösö AR, Lampinen KJ, and Rasanen LA (1995) Distribution of lactate between red blood cells and plasma after exercise. *Equine Vet. J.*, 27 (Suppl. 18):231-234.
- 59) Quiroz-Rothe E, Rivero JLL (2001). Co-ordinated expression of contractile and non-contractile features of control equine muscle fibre types characterised by immunostaining of miosin heavy chains. *Histochem. Cell Biol.*, 116: 299-312.
- 60) SAEG – Sistema de análises estatísticas e genéticas. Versão 8.0. Viçosa, MG. P. 141.
- 61) Richard EA, Fortier GD, Pitel PH, Dupuis MC, Valette JP, Art T, Denoix JM, Lekeux PM, Erck EV (2009) Sub-clinical diseases affecting performance in Standardbred trotters. Diagnostic methods and predictive parameters. *Vet. J.*, 4:456-468.
- 62) Rivero JLL, Ruz MC, Serrano A, Diz AM (1995). Effects of a 3 months endurance training programme on skeletal muscle histochemistry in Andalusian, Arabian and Anglo-Arabian horses. *Equine Vet J.*, 27:51-59.
- 63) Rivero JLL, Serrano AL, Barrey E, Valette JP, Jouglin M (1999) Analysis of myosin heavy chains at the protein level in horse skeletal muscle. *J. Muscle Res. Cell Motil.*, 20: 211-221.
- 64) Robinson E, Sprayberry KA (2012) Terapéutica actual en medicina equina. 6a.Ed. Buenos Aires, Editorial Intermédica, 1182 p.
- 65) Ronéus N, Essén-Gustavon B, Lindholm A, Eriksson Y (1994). Plasma lactate response to submaximal and maximal exercise test with training, and its

relationship to performance and muscle characteristics in Standardbred trotters. *Equine Vet. J.* 26 (2): 117-121.

- 66) Rose RF, Hodgson DR (1994) *The Athletic Horse. Principles and Practice of Equine Sports Medicine.* Philadelphia. Saunders, 509 p.
- 67) Rose RJ, Allen JR, Hodgson DR (1983) Responses to submaximal treadmill exercise and training in the horse: changes in haematology, arterial blood gas and acid base measurements, plasma biochemical values and heart rate. *Vet Rec*, 113(26-27): 612-618.
- 68) Rose RJ, Hodgson DR, Kelso TB, McCutcheon LJ, Reid T, Bayly WM, Gollnick PD (1988) Maximum O₂ uptake, O₂ debt and deficit, and muscle metabolites in Thoroughbred horses. *J. Appl. Physiol.* 64: 781–788.
- 69) Rose RJ, Ilkiw JE, Sampson D, Backhouse JW (1980) Changes in blood gas, acid-base and metabolic parameters in horses during three-day event competition. *Res. Vet. Sci.* 28, 393-395.
- 70) Rose RJ, Purdue RA, Hensley W (1977) Plasma biochemistry alterations in horses during an endurance ride. *Equine Vet J*; 9:122-126.
- 71) Schott HC, Bohart GV, Eberhart SW (2002) Potassium and lactate uptake by noncontracting tissue during strenuous exercise. *Equine Vet. J., Suppl.* 34, p. 532-538
- 72) Schuback K, Essén-Gustavsson B (1998). Muscle anaerobic response to a maximal treadmill exercise test in Standardbred trotters. *Equine Vet J*, 30 (6): 504-510.
- 73) Serrano MG, Evans DL, Hodgson JL (2002) Heart rate and blood lactate responses during exercise in preparation for eventing competition. *Equine Vet. J.*, 34(Suppl. 34):135-139.
- 74) Signorini R, Lindner A, Brero L, Arn E, Mancini R, Enrique A (2006) Blood lactate concentration in Thoroughbreds after 2 intervals of less than 10 seconds duration at high intensity, *Equine Vet J Suppl.* (36):88-92.
- 75) Sinha AK, Ray SP, Rose RJ (1991) Effect of training intensity and detraining on adaptations in different skeletal muscles. En: Persson, SGB, Lindholm A, Jeffcott LB *Equine Exercise Physiology.* 3^a ed. Davis, ICEEP, p. 223–230.
- 76) Snow DH, Kerr MG, Nimmo MA, Abbott EM (1982) Alterations in blood, sweat, urine and muscle composition during prolonged exercise in the horse. *Vet. Rec.* 110: 377-384.

- 77) Somnardahl CS, Andrews FM, Saxton AM, Geiser DR, Maykuth PL (1994) Alterations in blood viscosity in horses competing in cross-country jumping. *Am. J. Vet. Res.* 55: 389-394.
- 78) Thomas DP, Fregin GF, Gerber NH, Ailes NB (1980) Cardiorespiratory adjustments to tethered-swimming in the horse. *Pflugers Arch*, 385(1):65-70.
- 79) Thomassian A (2000) Medicina Esportiva Eqüina. Da inspeção ao computador. Parte 1. Botucatu, FMVZ, Disponible en: <http://www.spmv.org.br/conpavet2004/.../Armen%20Tomassian-II.doc> . Fecha de Consulta: 15/10/2015
- 80) Väihkönen LK, Pösö AR (1998). Interindividual variation in total and carrier mediated lactate influx into red blood cells. *Am. J. Physiol.*, 274(4):1025-1030.
- 81) Warren Evans J, Borton A, Hintz HF, Dale Van Vleck L (1979) *El Caballo*. Zaragoza, Acribia, 741 p.
- 82) White SL (1998) Fluid, Electrolyte, and Acid-Base Balances in Three-Day, Combined-Training Horse. *Vet Clin North Am Equine Pract* 14 (1): 137-145.
- 83) White SL, Williamson LH, Maykuth PL, Cole S, Andrews F (1995a) Heart rate and lactate concentration during two different cross-country events. *Equine Vet. J.*, 27 (Suppl. 18): 463-467.
- 84) White SL, Williamson LH, Maykuth PL, Cole S, Andrews F (1995b) Heart rate response and plasma lactate concentrations of horses competing in the cross-country phase of combined training events. *Equine Vet. J.*, 27 (Suppl. 20): 47-51.
- 85) Yarza Chinchón SN (2007) Evaluación de parámetros fisiológicos (fc, fr y t^o), enzimas (ck, ast y ldh) y ácido láctico en equinos mestizos, sometidos a entrenamiento para competencia de resistencia. Tesis. Facultad De Ciencias Veterinarias. Universidad de Concepción. Disponible en: <http://www.worldcat.org/title/evaluacion-de-parametros-fisiologicos-fc-fr-y-t-o-enzimas-ck-ast-y-ldh-y-acido-lactico-en-equinos-mestizos-sometidos-a-entrenamiento-para-competencia-de-resistencia/oclc/503423255> Fecha de consulta: 23/11/2015

ANEXOS

LACT.BASAL	LACT.F.1	LACT.F.2	LACT.F.3
------------	----------	----------	----------

	1	2	1	2	1	2	1	2
NOIR	1.19	0.62	3.38	1.46	6.95	3.55	6.57	2.52
ÁRBITRO	1.06	0.64	1.50	1.55	3.13	2.36	4.17	3.18
CAPOEIRA	1.35	0.70	1.00	2.00	3.40	4.32	2.47	2.67
GUARANÍ	0.95	0.71	1.26	1.06	1.79	1.99	2.97	2.25
OPORTUNO	1.21	0.96	2.27	2.28	5.08	5.58	4.28	5.10

	CK BASAL		CK P.EJ.		CK 2 HR.		CK. 8 HR.		CK 20 HR.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
NOIR	93	132	701	109	270	115	227	181	172	213
ÁRBITRO	248	176	220	208	421	420	407	306	257	232
CAPOEIRA	490	643	654	696	708	715	702	712	558	485
GUARANÍ	244	243	299	235	429	254	406	209	302	219
OPORTUNO	367	302	495	390	456	373	440	445	389	324

	FC.F.1		FC.F.2		FC.F.3	
	1	2	1	2	1	2
NOIR	116	96	128	120	108	80
ÁRBITRO	84	80	96	108	96	68
CAPOEIRA	80	96	116	108	116	100
GUARANÍ	96	80	120	100	136	84
OPORTUNO	92	104	104	108	104	120