

MEDICIÓN POST-EJERCICIO DE VARIABLES FISIOLÓGICAS, HEMATOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS EN EQUINOS DE SALTO HOLSTEINER

Post-Exercise Measurement of Physiological, Hematological and Biochemical Variables in Holsteiner Jumping Horses

Constanza Gómez¹, Patricio Petró¹, Marcela Andaur¹, Rubén Pérez² y Roberto Matamoras¹

¹Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile. E-mail: costy@uct.cl

²Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

RESUMEN

Se realizó un estudio post-ejercicio en 10 equinos de salto a través de variables fisiológicas, hematológicas y bioquímicas. Se obtuvieron muestras sanguíneas en reposo e inmediatamente finalizado el ejercicio, cada 15 días, durante 60 días. Se obtuvo la media, desviación estándar y se realizó un análisis de varianza y la prueba de Tukey para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre: reposo v/s post-ejercicio; reposo de los distintos muestreos (día 15 a día 60) v/s reposo del día 0 y post-ejercicio de los distintos muestreos (día 15 a día 60) v/s post-ejercicio del día 0, como consecuencia del entrenamiento. Los resultados han permitido determinar que la frecuencia cardíaca y respiratoria fueron significativamente menores ($P<0,05$) en el post-ejercicio una vez finalizado el período de entrenamiento v/s el post-ejercicio del día 0. Así mismo, la recuperación fue significativamente más rápida en el día 60 v/s día 0. El volumen globular aglomerado (VGA) y la hemoglobina (HB) fueron significativamente mayores ($P<0,05$) en el post-ejercicio del último muestreo (día 60) v/s el post-ejercicio del primer muestreo (día 0). Las proteínas totales, glucosa sanguínea y aspartatoaminotransferasa no mostraron cambios estadísticamente significativos. La actividad plasmática de creatinfosfoquinasa aumentó después de realizado el ejercicio v/s reposo. Este aumento solo fue significativo ($P<0,05$), al inicio del estudio (día 0). Posteriormente, los valores de esta enzima disminuyeron significativamente ($P<0,05$). De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que el entrenamiento produce una adaptación fisiológica de los individuos que se traduce en un descenso de la frecuencia cardíaca y respiratoria, aumento del VGA y HB y una disminución de la actividad plasmática de las enzimas relacionadas con daño muscular.

Palabras clave: Fisiología del ejercicio, caballos de salto, hematología, valores bioquímicos.

ABSTRACT

A post-exercise study was carried out on 10 Holsteiner horses through measurements of physiological, hematological and biochemical variables. Blood samples were obtained at rest and immediately after exercise, every 15 days, during 2 months (day 0 to day 60). The mean and standard deviation were calculated and the two-way analysis of variance and the Tukey test were carried out to determine if there were statistically significant differences between at rest v/s postexercise; resting at the different samplings (day 15 to day 60) v/s resting at day 0 and postexercise at the different samplings (day 15 to day 60) v/s postexercise at day 0, as consequence of training. The heart rate and breathing frequency were significantly smaller ($P<0.05$) in the postexercise measurement once concluded the period of training v/s the postexercise at the day 0. Likewise, the recovery was significantly faster at day 60 v/s days 0. The packed cell volume (PCV) and the hemoglobin (HB) were significantly greater ($P<0.05$) at the postexercise of the last sampling (day 60) v/s the postexercise of the first sampling (day 0). The total proteins, blood glucose and the aspartateaminotransferase did not show statistically significant changes. The plasma activity of creatinkinase increased after the exercise was performed v/s resting. This increase was only statistically significant ($P<0.05$), at the beginning of the study period (day 0). Later on, the activity of this enzyme diminished significantly ($P<0.05$). It can be concluded that the training produced a physiological adaptation that translated into a decrease of the heart and breathing frequency, an increase of the PCV and HB and finally, a decrease of the plasma activity of the enzymes related to muscular damage.

Key words: Exercise physiology, jumping horses, hematology, biochemical values.

INTRODUCCIÓN

Estudios sobre las adaptaciones hematológicas y bioquímicas en caballos pura sangre de carrera (P.S.C), durante el ejercicio y después de éste, han demostrado que la frecuencia cardiaca, el volumen total de glóbulos rojos y la concentración de hemoglobina pueden ser indicadores confiables para evaluar la aptitud física y el nivel de entrenamiento que presenta un caballo para realizar un determinado ejercicio [8]. También, el nivel de enzimas musculares en respuesta al ejercicio, ha sido propuesto como índice de aptitud, donde aquellos animales físicamente menos acondicionados debieran presentar mayores incrementos en la actividad enzimática que aquellos que presentan una mejor condición física [16]. El objetivo del presente estudio fue evaluar la capacidad de adaptabilidad post-ejercicio través de la medición de variables fisiológicas, hematológicas y bioquímicas relacionadas con la actividad cardiorrespiratoria y el metabolismo muscular, en caballos de salto Holsteiner.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con un grupo de 10 equinos de salto raza Holsteiner, clínicamente sanos de un haras ubicado a 28 Km de Victoria camino a Curacautín. La edad de los caballos varió de 3 a 4 años y su peso promedio fue de 467 Kg. Los caballos se mantuvieron estabulados y fueron alimentados diariamente con 4 Kg de soiling de Ballica y Avena, 2 Kg heno de alfalfa y 6 Kg de concentrado elaborado en el predio, el cual consta de un 97% de avena (13% de proteína), 1% de fosfato dicálcico, 1% minerales equinos (Rhodia Merieux) y 1% de sal común. La alimentación fue suministrada en 3 raciones al día: 4:00 AM, 1 hora después de realizado el ejercicio y 7:00 PM.

Método

Previo al presente estudio, los animales realizaron un trabajo de 12 a 16 meses de remonta, en el cual fueron sometidos a un adiestramiento con ejecución de ejercicios básicos. Posteriormente, los ejemplares participaron en un programa de entrenamiento estándar durante dos meses como parte de su preparación para su primera temporada de competencia. Dicho programa fue previamente establecido por el haras Miraflores y se caracterizó por un aumento de la intensidad del ejercicio desde el día lunes hasta el día jueves y luego una disminución por el resto de la semana hasta llegar al descanso del día domingo. El peso del jinete y de la silla de montar fue de 85 y 6,5 Kg, respectivamente. El entrenamiento se realizó siempre a la misma hora del día para cada ejemplar. El detalle de los ejercicios que realizaron los caballos se presenta en la TABLA I.

Para el control de calidad en la medición de las variables bioquímicas, se utilizó suero comercial en química clínica, del laboratorio Human (suero normal), laboratorio Randox (suero normal) y del laboratorio Roche (suero patológico). Se procedió a realizar un control cada 5 muestras y a eliminar la serie de resultados en los cuales el control estaba fuera del rango esperado.

Obtención de las muestras sanguíneas: Se obtuvieron 15 ml de sangre de cada animal, por punción de la vena yugular, de los cuales 10 ml fueron tomados en un tubo sin anticoagulante, el que coaguló a temperatura ambiente y luego se separó el suero. Los 5 ml restantes se obtuvieron en tubos con fluoruro de sodio más oxalato de potasio, como anticoagulante inhibidor de la glicólisis, de éstos, 3 ml fueron centrifugados para obtención de plasma para la posterior medición de glucosa, y los 2 ml restantes fueron almacenados como san-

TABLA I
PROGRAMA DE EJERCICIO. DURACIÓN EN MINUTOS (MIN), VELOCIDAD EN METROS POR SEGUNDO (M/S)
Y DISTANCIA TOTAL RECORRIDA EN METROS (M)

Día	Ejercicio	Duración	Velocidad	Distancia
Lunes Sábado	Trote suave	5 min	3,0 m/s	9500 m
	Trote rápido	7 min	4,5 m/s	
	Galope suave	10 min	6,0 m/s	
	Galope rápido	8 min	6,5 m/s	
Martes Viernes	Trote suave	5 min	3,0 m/s	9750 m
	Trote rápido	5 min	4,5 m/s	
	Galope suave (1)	10 min	6,0 m/s	
	Galope rápido	10 min	6,5 m/s	
Miércoles Jueves	Trote suave	3 min	3,0 m/s	10260 m
	Galope suave	5 min	6,0 m/s	
	Galope suave (2)	12 min	6,0 m/s	
	Galope suave (3)	10 min	6,0 m/s	
Domingo	Descanso			

(1) Obstáculo simple de 0,5 m. de alto; (2) Obstáculo simple de 0,8 m. de alto; (3) Obstáculo doble de 0,8 m. de alto por 0,8 m. de espesor (entre ambas varas).

gre entera para medir variables hematológicas. El suero y plasma obtenido se almacenó a -20°C y la sangre completa a 4°C . Se trasladaron las muestras al laboratorio de Patología Clínica de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Católica de Temuco, Chile, para su análisis. Previo a la medición, se descongelaron las muestras en baño temperado a 37°C . La sangre entera, fue procesada antes de 24 horas de obtenida la muestra.

Plan de muestreo: Para la realización de este estudio se obtuvieron muestras de sangre de los animales en reposo y dentro de los 20 a 30 segundos después de finalizado el ejercicio. Los muestreos fueron realizados el día 0, 15, 30, 45 60 del entrenamiento. Para efectos de estandarizar las condiciones de muestreo, todas las muestras se obtuvieron el día lunes de cada quincena.

Determinaciones Fisiológicas

Frecuencia cardiaca (FC): Se midió en condiciones de reposo y dentro de los 15 s inmediatamente después de finalizado el ejercicio, posteriormente se midió cada 5 minutos (min) hasta los 15 min de finalizado el ejercicio. La medición se efectuó mediante fonendoscopio clínico por un lapso de 6 s cronometrados y el resultado se multiplicó por 10, por lo tanto, está expresado en latidos por minuto (lat/min). También se determinó el porcentaje de Carga cardiaca (%CC) que es un parámetro utilizado en humanos para evaluar la relación existente entre la FC basal y la FC de trabajo en comparación con una FC máxima teórica (220 lat/min en caballos). Esto nos indica a qué porcentaje de su capacidad cardiaca máxima teórica están trabajando los individuos evaluados.

Frecuencia respiratoria (FR): Se obtuvo en condiciones de reposo y dentro de los 15 s inmediatamente después de finalizado el ejercicio, es decir, en forma simultánea con la frecuencia cardiaca. Posteriormente se midió cada 5 min hasta los 15 min de finalizado el ejercicio. Su medición se efectuó mediante observación visual por un lapso de 6 s cronometrados y el resultado se multiplicó por 10, por lo tanto, se expresó en respiraciones por minuto (resp/min).

Determinaciones hematológicas

Volumen globular aglomerado o hematocrito (VGA): Se determinó mediante el método de microhematocrito. La muestra fue centrifugada a 12.000 revoluciones por minuto (r.p.m.) durante 5 min en una centrífuga clínica Sigma 1-15.

Hemoglobina (HB): Se determinó mediante el método de la cianometahemoglobina con el reactivo de Drabkin preparado en el mismo laboratorio con reactivos comerciales del laboratorio Merck. La lectura se realizó en un espectrofotómetro (Hitachi 4020 de Roche) a una longitud de onda de 540 nanómetros (nm) a temperatura ambiente. Los resultados fueron expresados en gramos por decilitro (g/dl).

Determinaciones bioquímicas

Proteínas totales (PT): Se determinaron mediante el método de Biuret (test colorimétrico), utilizando reactivos comerciales del laboratorio Human N° 10570. Se leyó a 540 nm, contra blanco de reactivo a temperatura ambiente. La concentración de PT se expresó en gramos por decilitro (g/dl).

Aspartatoaminotransferasa (AST): Se determinó su actividad sérica utilizando el método cinético a 340 nm y a 37°C en un espectrofotómetro (Hitachi 4020 de Roche), empleando reactivos comerciales (Roche N° 1442707), según el método indirecto de la International Federation of Clinical Chemistry (IFCC).

Creatinfosfoquinasa (CK): Se determinó su actividad sérica utilizando el método cinético a 340 nm y a 37°C en un espectrofotómetro (Hitachi 4020 de Roche), empleando reactivos comerciales (Roche N° 1442376) según el "Método Standard Optimado" de la Deutsche Gesellschaft für Klinische Chemie.

Glucosa: Su determinación se realizó mediante el método enzimático colorimétrico sin desproteinización, a 37°C de temperatura y una longitud de onda de 540 nm, con reactivo comercial (Laboratorio Human).

Análisis estadístico

Los datos se presentan como promedio y desviación estándar calculados para cada una de las variables analizadas. Para comprobar si existe diferencia estadísticamente significativa ($P<0,05$) en las variables a medir, antes y después del ejercicio para cada período de muestreo (día 0 a día 60), así como, en los valores obtenidos al final del estudio versus el inicio de éste, se utilizó análisis de varianza de dos vías. En los casos donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas se procedió a realizar análisis de comparación múltiple utilizando la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de $P<0,05$ [28].

RESULTADOS

1. Variables fisiológicas

1.1. Frecuencia cardiaca

En la TABLA IIa, se presentan los valores obtenidos para frecuencia cardiaca (lat/min) en reposo, y después del ejercicio. Se encontraron aumentos estadísticamente significativos ($P<0,05$) entre los valores de reposo y los valores de post-ejercicio durante todo el período de estudio. Se observa además, que los valores obtenidos para la frecuencia cardiaca post-ejercicio disminuyeron ($P<0,05$) a partir de los días 30 de entrenamiento.

El porcentaje de carga cardíaca (%CC) alcanzada por los caballos del presente estudio disminuye de un 21,6% (día 0) hasta un 17,9% en el último muestreo (día 60).

TABLA IIa
MEDIA DESVIACIÓN ESTÁNDAR (DE) DE LA FRECUENCIA CARDIACA (LATIDOS/MINUTO) EN REPOSO Y POST-EJERCICIO Y, CARGA CARDIOVASCULAR (CC) (%) EN 10 EQUINOS DE SALTO HOLSTEINER

Días entrenamiento	Reposo (promedio ± DE)	Post-ejercicio (promedio ± DE)	CC(%)
0	43,8 ± 4,5	81,9 ± 8,7 ^a	21,6
15	42,0 ± 3,8	76,6 ± 7,3 [*]	19,4
30	41,0 ± 2,9	75,2 ± 8,9 ^{ab}	19,1
45	42,0 ± 0,9	74,6 ± 4,3 ^{ab}	18,3
60	40,8 ± 1,9	74,6 ± 4,1 ^{ab}	17,9

* Indica diferencia significativa post-ejercicio versus reposo ($P < 0,05$). a, b: Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre periodos.

TABLA IIb
MEDIA ± DESVIACIÓN ESTÁNDAR (DE) DE LA FRECUENCIA CARDIACA (LATIDOS/MINUTO) A LOS 5, 10 Y 15 MINUTOS (5', 10', 15') DESPUÉS DE FINALIZAR EL EJERCICIO EN 10 EQUINOS DE SALTO HOLSTEINER

Días entrenamiento	5'	10'	15'
0	67,4 ± 6,1 ^a	57,4 ± 7,1 ^a	53,8 ± 6,4 ^a
15	64,6 ± 3,9	55,6 ± 7,0	51,6 ± 5,6 ^a
30	57,2 ± 6,2 ^b	50,6 ± 3,8	45,2 ± 4,1 ^a
45	59,8 ± 8,0 ^b	49,4 ± 4,1 ^b	44,6 ± 2,7 ^b
60	57,4 ± 3,6 ^b	47,4 ± 3,1 ^b	40,0 ± 2,8 ^b

a, b: Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre periodos.

En la TABLA IIb se presenta la recuperación de la frecuencia cardiaca, medida cada 5 minutos hasta completar los 15 minutos post-ejercicio. La recuperación de la FC fue significativamente más rápida ($P < 0,05$) en los 3 últimos muestreos del estudio (días 30, 45 y 60), para los 3 tiempos evaluados (5', 10' y 15').

1.2. Frecuencia respiratoria

En la TABLA IIIa, se presentan los valores obtenidos para frecuencia respiratoria. Se observa un aumento significativo ($P < 0,05$) en los valores post-ejercicio con respecto a los valores en reposo durante todo el periodo de estudio.

En el mismo cuadro, se observa además una disminución de los valores post-ejercicio de la frecuencia respiratoria con respecto al primer día de muestreo (día 0), esta disminución es estadísticamente significativa ($P < 0,05$) a partir del día 15 y se mantiene durante todo el periodo de entrenamiento. No se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) en los valores de la frecuencia respiratoria basal durante todo el periodo de entrenamiento.

En la TABLA IIIb, se observan los valores de la recuperación de la frecuencia respiratoria. La recuperación de la frecuencia respiratoria mostró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) en los muestreos a los 45 y 60 días del entrenamiento sólo en los valores observados a los 5 minutos de finalizado el ejercicio.

2. Variables hematológicas

2.1. Volumen Globular Aglomerado

En la TABLA IV, se presentan los valores obtenidos para el VGA. Se observa un aumento significativo ($P < 0,05$) en los valores para VGA en el post-ejercicio con respecto a los valores en reposo a lo largo de todo el estudio. Se observa además, un aumento estadísticamente significativo ($P < 0,05$) del VGA post-ejercicio de los días 45 y 60 respecto al valor post-ejercicio del día 0 de entrenamiento y, un aumento significativo ($P < 0,05$) en el VGA de reposo del día 60, con respecto al valor de reposo del día 0.

2.2. Concentración de Hemoglobina

En la TABLA IV, se presentan los valores obtenidos para la concentración de hemoglobina (g/dl). Se observa un aumento significativo ($P < 0,05$) en los valores para HB en el post-ejercicio con respecto a los valores en reposo durante todo el periodo de estudio. Por otra parte, se observa un aumento estadísticamente significativo ($P < 0,05$) de la HB post-ejercicio de los días 45 y 60 respecto al valor post-ejercicio del día 0 de entrenamiento.

No hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los promedios de concentración de HB reposo durante todo el periodo de entrenamiento.

TABLA IIIa
MEDIA ± DESVIACIÓN ESTÁNDAR (DE) DE LA FRECUENCIA RESPIRATORIA (RESPIRACIONES/MINUTO) EN REPOSO Y POST-EJERCICIO, EN 10 EQUINOS DE SALTO HOLSTEINER

Días entrenamiento	Reposo (promedio ± DE)	Post-ejercicio (promedio ± DE)
0	13,4 ± 1,3	96,8 ± 6,9 ^a
15	12,6 ± 2,1	84,2 ± 13,1 ^{*b}
30	12,3 ± 1,5	78,8 ± 10,0 ^{*b}
45	12,4 ± 0,8	69,8 ± 9,1 ^{*b}
60	10,8 ± 1,4	65,2 ± 5,1 ^{*b}

Indica diferencia significativa post-ejercicio v/s reposo (P<0,05). a, b: Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas (P<0,05) entre periodos.

TABLA IIIb
MEDIA ± DESVIACIÓN ESTÁNDAR (DE) DE LA FRECUENCIA RESPIRATORIA (RESPIRACIONES/MINUTO) A LOS 5, 10 Y 15 MINUTOS (5', 10', 15') DESPUÉS DE FINALIZAR EL EJERCICIO EN 10 EQUINOS DE SALTO HOLSTEINER

Días entrenamiento	5'	10'	15'
0	33,4 ± 10,2 ^a	23,2 ± 4,0	15,8 ± 3,1
15	31,4 ± 7,1	22,6 ± 3,8	15,2 ± 2,2
30	30,8 ± 8,0	16,6 ± 3,0	14,4 ± 2,1
45	23,2 ± 6,0 ^b	16,6 ± 2,8	13,6 ± 2,1
60	22,4 ± 2,1 ^b	16,8 ± 3,2	10,0 ± 2,1

a, b: Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas (P<0,05) entre periodos.

TABLA IV
MEDIA ± DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE VGA (%) Y DE HEMOGLOBINA (HB) (G/DL) POST-EJERCICIO V/S REPOSO, EN 10 EQUINOS DE SALTO HOLSTEINER

Días entrenamiento	VGA		Hemoglobina	
	Reposo	Post-ejercicio	Reposo	Post-ejercicio
0	37,5 ± 1,97 ^a	43,0 ± 5,08 ^{*a}	11,9 ± 1,2	14,3 ± 2,4 ^{*a}
15	37,7 ± 1,96	43,6 ± 1,17 [*]	11,2 ± 0,4	13,6 ± 0,9 [*]
30	38,9 ± 1,45	44,5 ± 1,68 [*]	12,3 ± 1,3	14,6 ± 2,5 [*]
45	40,2 ± 2,45	47,7 ± 3,30 ^{*b}	12,1 ± 0,8	16,5 ± 1,4 ^{*b}
60	41,8 ± 2,20 ^b	49,7 ± 2,47 ^{*b}	12,1 ± 0,9	17,2 ± 1,4 ^{*b}

* Indica diferencia significativa post-ejercicio versus reposo (P < 0,05). a, b: Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas (P<0,05) entre periodos.

2.3. Proteínas totales

En la TABLA V, se presentan los valores promedio de la concentración de PT (g/dl). No se observa diferencias significativas (P>0,05) entre los valores post-ejercicio y los valores de reposo, en ninguno de los tiempos de muestreo. Del mismo modo, no hubo diferencias estadísticamente significativas (P>0,05) en la concentración de PT en reposo durante todo el período de entrenamiento.

3. Variables bioquímicas

3.1 Aspartatoaminotransferasa

La TABLA VI, presenta los valores promedio de la actividad plasmática de AST (UI/L). Los valores obtenidos no presentaron variaciones estadísticamente significativas (P>0,05) en ninguno de los tiempos considerados en el estudio.

TABLA V
MEDIA ± DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS TOTALES SANGUÍNEA (PT) (G/DL)
Y LA CONCENTRACIÓN SÉRICA DE GLUCOSA (MG/DL) POST-EJERCICIO V/S REPOSO,
EN 10 EQUINOS DE SALTO HOLSTEINER

Días entrenamiento	Proteínas Totales		Glucosa	
	Reposo	Post-ejercicio	Reposo	Post-ejercicio
0	6,62 ± 0,54	6,95 ± 0,34	95,4 ± 7,2	84,6 ± 9
15	6,66 ± 0,27	6,89 ± 0,30	95,4 ± 7,2	88,2 ± 5,4
30	6,37 ± 0,21	6,55 ± 0,27	90 ± 7,2	79,2 ± 9
45	6,36 ± 0,47	6,69 ± 0,39	95,4 ± 7,2	91,8 ± 10,8
60	6,20 ± 0,25	6,83 ± 0,26	82,8 ± 9	77,4 ± 7,2

TABLA VI
MEDIA ± DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA ACTIVIDAD PLASMÁTICA DE CREATINOSFOQUINASA (CK) (UI/L) Y
ASPARTATOAMINOTRANSFERASA (AST) (UI/L) POST-EJERCICIO V/S REPOSO, EN 10 EQUINOS DE SALTO HOLSTEINER

Días entrenamiento	Creatinfosfoquinasa		Aspartatoaminotransferasa	
	Reposo	Post-ejercicio	Reposo	Post-ejercicio
0	122 ± 34	210 ± 61* a	304 ± 43	333 ± 39
15	111 ± 22	188 ± 92*	286 ± 53	309 ± 44
30	120 ± 18	158 ± 31	301 ± 43	320 ± 48
45	117 ± 23	145 ± 30 b	297 ± 43	315 ± 47
60	110 ± 11	138 ± 19 b	299 ± 32	300 ± 40

* Indica diferencia significativa versus reposo ($P < 0,05$). a, b: Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre períodos.

3.2. Creatinfosfoquinasa

En la TABLA VI, se presentan los valores promedio de la actividad plasmática de CK (UI/L). Se observa un aumento estadísticamente significativo ($P < 0,05$) en los valores post-ejercicio con respecto a los valores de reposo los días 0 y 15 del estudio. Al comparar los valores post-ejercicio de CK, se observa una disminución significativa ($P < 0,05$) los días 45 y 60 del estudio. No hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) en la actividad plasmática de reposo de CK durante todo el período de entrenamiento.

3.3. Glucosa

La TABLA V, presenta los valores promedio desvío estándar de la concentración de glucosa en miligramos por decilitro (mg/dl). Los valores obtenidos no presentaron variaciones estadísticamente significativas ($P > 0,05$) en ninguno de los tiempos considerados en el estudio.

DISCUSIÓN

Los factores que limitan el rendimiento de caballos sometidos a trabajo muscular prolongado, se relacionan principalmente con el transporte de oxígeno y su utilización por el

músculo, los cuales están directamente relacionados con la funcionalidad cardiovascular y respiratoria, que en conjunto determinan la potencia aeróbica máxima del caballo [3, 23].

Todo tipo de ejercicio produce un aumento de la frecuencia cardíaca como mecanismo adaptativo para facilitar el aporte de sangre a los tejidos y así satisfacer el mayor requerimiento de oxígeno del músculo esquelético. La frecuencia cardíaca de los caballos de este estudio aumentó significativamente después de realizado el ejercicio, es así como, al inicio del estudio (día 0) la FC aumentó respecto del valor basal, esta variación fue disminuyendo a lo largo del entrenamiento para llegar a aumentar en una menor proporción en el último muestreo (día 60). La FC observada mostró cambios adaptativos y sus valores alcanzados post-ejercicio los días 30, 45 y 60 del entrenamiento son significativamente menores respecto a los valores obtenidos en el post-ejercicio del día 0 y 15 del entrenamiento. Resultados que concuerdan con estudios que señalan que el sistema cardiovascular manifiesta cambios más rápidos que el sistema muscular en respuesta a un programa de entrenamiento [4].

El porcentaje de carga cardíaca fue disminuyendo paulatinamente a través del estudio. Además, los caballos trabajan a un %CC inferior al requerido en humanos (60-70%) para obtener cambios progresivos al ejercicio, es por ello que se

adaptan rápidamente al nivel de exigencia impuesto por el programa de entrenamiento.

Es conocido que el individuo bien entrenado trabaja a una FC más baja que el no entrenado o con insuficiencia circulatoria. Frente a un trabajo estándar el corazón de un caballo entrenado es capaz de bombear un mayor volumen de sangre a una FC más baja que el de uno no entrenado [6]. Por lo tanto, la FC constituye un evaluador confiable para determinar la aptitud física, entre su aumento y el nivel de esfuerzo que realiza el caballo durante el ejercicio [6].

Se observa además, que al inicio del estudio los valores obtenidos para FC tenían desvíos estándar más amplios que al finalizar el estudio. Esto muestra una estandarización del nivel deportivo de todos los caballos a un mismo programa de entrenamiento.

La recuperación de la FC a los 5, 10 y 15 minutos de finalizado el ejercicio fue significativamente más rápida en los 3 últimos muestreos del estudio (días 30, 45 y 60). Los valores obtenidos durante la recuperación son un buen indicador de la aptitud física de los animales y que éstos estarían influenciados por los siguientes factores: 1) la capacidad física de los animales condicionada por el entrenamiento previo; 2) Intensidad y duración del entrenamiento y 3) condiciones ambientales a las que se expone el caballo. Es por ello que la evaluación de la recuperación de la FC post-ejercicio, es la mejor herramienta para diagnosticar los progresos a través del entrenamiento [6, 20].

De forma similar a la FC, la frecuencia respiratoria (FR) mostró aumentos significativos en respuesta al ejercicio. Es así como se obtuvieron aumentos de un 622% respecto del valor basal al inicio del estudio (día 0), los que fueron disminuyendo hasta llegar a aumentos de 503% al finalizar el período evaluado (día 60).

La disminución de la FR a lo largo del entrenamiento representa una adaptación al ejercicio que puede ser explicada desde dos puntos de vista. El primero dice relación con la capacidad física pulmonar. Un entrenamiento no puede desarrollar el volumen respiratorio, pero puede incrementar la elasticidad o "Compliance" pulmonar, con esto el tejido elástico pulmonar se optimiza, se acelera la velocidad de recambio de aire alveolar pudiéndose aumentar productivamente la amplitud respiratoria. La segunda condición relacionada con la disminución de la FR durante la adaptación al ejercicio es la mayor cantidad de glóbulos rojos y de hemoglobina que va en directa relación con un mayor transporte de oxígeno hacia los tejidos y una mayor eliminación de CO₂ desde la sangre, ambos flujos gaseosos permiten mantener en equilibrio a los quimiorreceptores ubicados en grandes arterias como la aorta sensibles a los cambios de la presión parcial de oxígeno (ppO₂) y los quimiorreceptores ubicados en la arteria carótida que son más sensibles a los cambios de la presión parcial de CO₂ (ppCO₂), de tal forma, de mantener frecuencias respiratorias suficiente para permitir el intercambio gaseoso y suplir los re-

querimientos metabólicos de oxígeno, durante el entrenamiento [19].

Los valores del volumen globular aglomerado (VGA) obtenidos durante el período de estudio presentaron aumentos post-ejercicio en relación con el VGA de reposo, los que fueron estadísticamente significativos durante toda la evaluación. En el caballo, aproximadamente el 33% de los eritrocitos están almacenados en el bazo durante el reposo, es así como, en el presente estudio se observaron aumentos del hematocrito para el primer muestreo (día 0), porcentaje que aumentó a lo largo del estudio [26]. El aumento en el VGA generalmente es considerado una consecuencia de la movilización esplénica de eritrocitos hacia la circulación [26], producido por el aumento de las catecolaminas circulantes debido a la activación del sistema nervioso simpático desencadenada por el ejercicio [7], y en algún grado a la hemoconcentración resultante de un paso de fluidos fuera del compartimento intravascular [15].

Al comparar solamente los valores del VGA post-ejercicio se observó un aumento del hematocrito a medida que avanzaba el programa de entrenamiento, aún cuando estas diferencias son estadísticamente significativas sólo los días 45 y 60 del estudio. Diversos autores [5, 23], sostienen que el entrenamiento constituiría un estímulo eritropoyético, como respuesta adaptativa para aumentar la capacidad de transporte de oxígeno optimizando el metabolismo energético aeróbico del equino de deporte, que se refleja en el aumento del VGA.

Algunos estudios realizados en caballos P.S.C. (Pura Sangre de Carrera) sobreentrenados muestran una clara tendencia a presentar hematocritos (VGA) excesivamente altos, cercanos a 70% al terminar su carrera. Por otro lado, resultados obtenidos en equinos mestizos sometidos a 185 Km de cabalgata no mostraron modificaciones estadísticamente significativas del hematocrito, dado el bajo nivel de esfuerzo al que fueron sometidos los animales. Todo lo anterior permite posicionar la actividad de los caballos de salto de este estudio entre ambos extremos, es decir, en un nivel de ejercicio moderado, acompañado de aumentos leves en el VGA post-ejercicio.

Existe un aumento significativo en la concentración de hemoglobina (HB) en respuesta al ejercicio, es así como, esta concentración es mayor después de realizado el ejercicio al que fueron sometidos los animales utilizados en este estudio, dicha diferencia se mantuvo a lo largo de todo el período evaluado. Este aumento de los valores de HB responde básicamente a los mismo factores que el VGA donde la estimulación simpática del ejercicio mediante un mecanismo -adrenérgico produce una contracción de la musculatura lisa esplénica, vaciando a la circulación general mayor número de glóbulos rojos y por ende de HB.

Se encontró aumentos significativos en los valores de HB post-ejercicio, los días 45 y 60 del entrenamiento, respecto de la concentración de HB post-ejercicio del primer muestreo (día 0), es decir, cerca de 30 gramos por litro de sangre. Cada gramo de HB es capaz de transportar 1,36 ml de oxígeno, por

lo tanto, hubo un aumento en la capacidad de transporte de oxígeno de 40,8 ml de oxígeno por litro de sangre. Esta es la razón por la cual se lograría una disminución de la FC y FR a lo largo del entrenamiento, como se mencionó anteriormente.

En relación con las proteínas totales (PT), se obtuvo una concentración de PT similar a las descritas para otras razas como el Pura Sangre Chileno (P.S.Ch.). En este estudio se presentaron aumentos post-ejercicio a lo largo de todo el experimento, aún cuando las diferencias no son estadísticamente significativas, lo que indica una baja hemoconcentración como resultado del pasaje de líquidos al espacio extravascular y pérdida de agua por el organismo a través del sudor, este comportamiento es característico de ejercicios moderados. El ejercicio intenso produce un aumento en la concentración de PT tanto en el equino como en el hombre [1].

La respuesta de los caballos de salto Holsteiner al entrenamiento se caracterizó por una disminución de la concentración de la glucosa sanguínea post-ejercicio respecto de los valores de reposo, sin embargo, esta disminución no fue estadísticamente significativa. Tampoco hubo cambios significativos en los valores post-ejercicio a lo largo de todo el período en estudio respecto del post-ejercicio del día 0. La disminución no significativa de la glucosa sanguínea post-ejercicio no coincide con trabajos realizados en equinos de tiro sometidos a ejercicio de tracción prolongada [10] y en caballos P.S.Ch. en competencias de rodeo. Dados los resultados, se podría inferir que los caballos de salto se comportan de forma diferente a otras razas sometidas a ejercicio submáximo. Pero habría similitudes con caballos sometidos a ejercicio de máxima velocidad, donde la demanda de glucosa puede ser tal que provoque al final de la carrera una hipoglicemia temporal, que luego de algunos minutos se convierta en una hiperglicemia que también es transitoria [1,14]. En estos caballos la concentración de glucosa sanguínea varía principalmente de acuerdo a la velocidad y duración del ejercicio [1,21]. La disminución de la concentración de glucosa después del ejercicio se explicaría como resultado del balance entre el aumento del consumo condicionado por el aumento del trabajo muscular, asociados a una glucogenólisis y gluconeogénesis insuficiente para suplir la demanda del músculo [11]. Es así como, la hipoglicemia parece ser la respuesta más característica de los ejercicios de resistencia de larga duración [22], ya que se han observado disminuciones significativas de la concentración de glucosa sanguínea en caballos sometidos a cabalgatas de resistencia sobre distancias de 80 a 160 Km [20]. Otra posible explicación para las diferencias encontradas con equinos de otras razas, puede estar dada por la hora de alimentación de los caballos de los estudios mencionados, dado que en estos no se especifica el horario de alimentación.

La adaptación al ejercicio se puede medir de acuerdo al daño muscular que sufren los caballos después de realizar un ejercicio determinado. De tal forma, que los valores enzimáticos alcanzados por aspartatoaminotransferasa (AST) en estos

caballos se encontró dentro de los rangos de referencia establecidos para la especie (< 320 U/L) [27]. No hubo diferencias estadísticamente significativas en los valores de esta enzima entre los tiempos de muestreo de este estudio. Esto permite pensar que el esfuerzo realizado por los animales fue bien tolerado sin producir daño en las células musculares. Por lo tanto, los pequeños cambios observados se pueden atribuir a la hemoconcentración causada por disminución del volumen plasmático [18], o bien puede ser atribuido a la liberación de esta enzima desde otros tejidos, debido a su carencia de especificidad de órgano [3, 5].

Se han reportado aumentos no significativos de AST sérica en caballos postcarrera de 100 millas [22]. En caballos repetidamente expuestos a diferentes ritmos de ejercicio, se ha observado que la AST aumentó pasadas las 16 horas postcarrera, sin embargo, no se observaron signos de lesión muscular en los caballos [5].

El aumento de AST, por tratarse de una enzima mitocondrial y citosólica, es más tardío que el aumento de creatínfosfoquinasa (CK), ya que su salida hacia la circulación generalmente requiere de la presencia de daño celular [12].

La CK es una enzima específica del tejido muscular y cerebral, de vida media corta y de bajo peso molecular [24]. Los valores usuales de CK varían entre 50 y 200 UI/L, hay variaciones en estos valores normales atribuidos a la edad, sexo y actividad física [3]. Las tasas plasmáticas 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 esta enzima, con una disminución rápida una vez finalizada la alteración muscular (antes de 72 horas) [13]. Esta gran alza se atribuyó a su mayor especificidad que otras enzimas tales como LDH (lipoproteínas de alta densidad) y AST [5].

Los incrementos en la actividad sérica de CK se deberían a cambios en la permeabilidad celular y no a un daño en la misma [10]. Siendo consecuencia de la hipoxia celular generada por el trabajo muscular anaeróbico [16].

Ya que la actividad sérica de CK, además de indicar la severidad del ejercicio [2], señala también el grado de adaptación de los equinos al trabajo [9, 17], se infiere que los animales de este estudio son tolerantes al ejercicio implementado y que se adaptan fácilmente a él.

Se ha demostrado que la adaptación que ocurre con el entrenamiento produce una menor liberación de enzimas producto de la reducción de la permeabilidad de la membrana de la célula muscular [25]. Es así como, en caballos de carreras se ha observado una disminución de CK alrededor del cuarto mes de entrenamiento, ello puede ser debido a las mayores exigencias físicas que involucra el entrenamiento para competencias de velocidad, el cual es más intenso que el de los caballos de salto [9]. En consecuencia, la determinación de CK

puede ser valiosa como indicador para determinar el estado de aptitud física en caballos, como también para evaluar programas de entrenamiento [5].

Las determinaciones simultáneas de AST y CK son potencialmente valiosas como ayuda diagnóstica y pronóstica debido a su diferente vida media en la circulación. Cuando los niveles de CK se encuentran elevados, indican que el daño muscular está activo o ha ocurrido recientemente. Los resultados obtenidos en el presente estudio, demuestran una posible adaptación al ejercicio, donde queda de manifiesto que el daño muscular disminuye conforme avanza el entrenamiento, ya que cuando el aumento en la actividad sérica de ambas enzimas está asociado a daño tisular o necrosis celular, se puede alcanzar niveles séricos hasta 100 veces mayores que lo normal [13].

CONCLUSIONES

El ejercicio produce una serie de cambios fisiológicos que se traducen, en primera instancia, en un aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria postejercicio como mecanismo adaptativo inmediato. Posteriormente, dichos valores junto con el porcentaje de carga cardíaca van descendiendo paulatinamente en respuesta a la optimización del metabolismo energético aeróbico dado por el aumento del VGA y HB postejercicio a lo largo del entrenamiento, permitiendo al individuo adaptarse al nivel de exigencia impuesto por el programa de entrenamiento.

El salto puede considerarse como una disciplina de ejercicios moderada, en la cual no ocurren cambios significativos en la concentración de proteínas plasmáticas y de glucosa postejercicio. Del mismo modo, la actividad plasmática de las enzimas relacionadas con daño muscular no presenta mayores cambios, lo cual refleja que el ejercicio es bien tolerado sin causar daño muscular.

Finalmente, la concentración de creatinfosfoquinasa, la frecuencia cardíaca y particularmente la recuperación de la FC postejercicio, son herramientas evaluadoras confiables para determinar la aptitud física de un equino de deportes y evaluar el progreso de su entrenamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDREWS, F.M.; GEISER, D.R.; WHITE, S.L.; WILLIAMSON, L.H.; MAYKUTH, P.L.; GREEN, E.M. Haematological and biochemical changes in horses competing in a 3 Star horse trial and 3-day-event. **Equine Vet. J. Suppl.** Nov 20: 57-63. 1995.
- [2] BARTON, M.H.; WILLIAMSON, L.; JACKS, S.; NORTON, N. Body weight, hematologic findings, and serum and plasma biochemical findings of horses competing in a 48-, 83-, or 159-km endurance ride under similar terrain and weather conditions. **Am. J. Vet. Res.** 64(6): 746-53. 2003.
- [3] CARDINET, G. H. Skeletal Muscle Function. In: Kaneko, J. **Clinical Biochemistry of domestic animals.** 4th Ed. Academic. Press. Inc., San Diego. 932 pp. 1989.
- [4] CLAYTON, H. **Conditioning sport horses.** Sport Horses Publication. Saskatoon, Saskatchewan. 54 pp. 1991.
- [5] DELDAR, A.; FREGING, F.; BLOOM, J.; DAVANIPOUR, Z. Changes in selected biochemical constituents of blood collected from horses participating in a 50-mile endurance ride. **Am. J. Vet. Res.** 43(12): 2239-2243. 1982.
- [6] ENGELHARDT, W. V. Cardiovascular Effects of Exercise and Training in Horses. **Adv. Vet. Sci. & Comp Med.** 21: 173-205. 1977.
- [7] EVANS, D. L.; ROSE, R. J. Determination and repeatability of maximum oxygen uptake and other cardiorespiratory measurements in the exercise horse. **Equine Vet. J.** 20: 94-98. 1988.
- [8] EVANS, D. L.; HARRIS, R. C.; SNOW, D. H. Correlation of racing performance with blood lactate and heart rate after exercise in Thoroughbred horses. **Equine Vet. J.** 25: 441-445. 1993.
- [9] HARRIS, P.A.; MARLIN, D.J.; GRAY, J. Plasma aspartate aminotransferase and creatine kinase activities in thoroughbred racehorses in relation to age, sex, exercise and training. **Vet J.** 155(3): 295-304. 1998.
- [10] ISLAS, A.; PEREZ, R.; ROJAS, R.; JARA, C.; MORA, G.; REBARREN, S.; HETZ, E. 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. 1992.
- [11] JABLONSKA, E. M.; ZIOLKOWSKA, S. M.; GILL, J.; SZYKULA, R.; FAFF, J. Changes in some hematological and metabolic indices in young horses during the first year of jump training. **Equine Vet. J.** 23 (24): 309-311. 1991.
- [12] KANEKO, J. J. **Clinical biochemistry of domestic animals.** 5th ed. Harvey & Bruss (Edit.) 932 pp. 1997.
- [13] MICHAUX, J. M.; RIUS, C.; ROCHE-FONDEUR, S. Particularités de la biochimie equine (foie, rein, muscle), **Rec. Med. Vet.** 163: 1083-1089. 1987.
- [14] MILLER, P. A.; LAWRENCE, L. M. Changes in equine metabolic characteristics due to exercise fatigue. **Am. J. Vet. Res.** 47: 2184-2186. 1986.
- [15] MILNE, D. W.; SKARDA, R. T.; GABEL, A. A.; SMITH, L. G.; AULT, K. Effects of training on Biochemical Values in Standardbred Horses. **Am. J. Vet. Res.** 37: 285-290. 1976.
- [16] MILNE, O. W. Biochemical parameters for assessment of conditioning in the horse. **Proc. Am. Assoc. Eq. Pract.** 49-53 pp. 1982.

- [17] MUNOZ, A.; RIBER, C.; SANTISTEBAN, R.; LUCAS, R.G.; CASTEJON, F.M. Effect of training duration and exercise on blood-borne substrates, plasma lactate and enzyme concentrations in Andalusian, Anglo-Arabian and Arabian breeds. **Equine Vet. J. Suppl.** Sep 34: 245-51. 2002.
- [18] REJ, R.; RUDOLFSKY, U.; MAGRO, A.; PRENDERGAST, I. Effects of exercise on serum aminotransferase activity and pyroxydal phosphate saturation in thoroughbred racehorses. **Equine Vet. J.** 22: 205-208. 1990.
- [19] ROBINSON, E. Función respiratoria. En: Cunningham, J. **Fisiología Veterinaria**. Editorial McGraw - Hill. México. 716 pp. 1994.
- [20] ROSE, R. J.; ALLEN, J. R.; HODGSON, D. R.; STEWART, J. H.; CHAN, W. Responses to submaximal treadmill exercise and training in horses: changes in hematology, arterial blood gas and acid-base measurements, plasma biochemical values and heart rate. **Vet. Rec.** 113: 612-618. 1983a.
- [21] ROSE, R. J.; HODGSON, D. R.; SAMPSON, D.; CHAN, W. Changes in plasma biochemistry in horses competing in a 160 Km. endurance ride. **Austr. Vet. J.** 60: 101-105. 1983b.
- [22] ROSE, R. J. Endurance exercise in the horse- a review. Part I-II. **Brit. Vet. J.** 142: 532-552. 1986.
- [23] ROSE, R. J.; HODGSON, D. R. **Manual of equine Practice**. W. B. Saunders Co., Philadelphia, Pennsylvania, 486 pp. 1993.
- [24] RUDOLPH, W. Perfiles bioquímicos en animales domésticos. **Monograf. Med. Vet.** 7(2): 5-16. 1985.
- [25] SNOW, D. H.; HARRIS, P. Enzymes markers for the evaluation of physical fitness and training of racing horses. In: Goldberg D. M.; D. W. Moss; E. Schmidt and F. W. Schmidt. **Enzymes tools and target. Advances in Clinical Enzymology**. Basel, Karger. 6: 251-258. 1988.
- [26] SNOW, D. H. Hematological, biochemical and physiological changes in horses and ponies during the cross country stage of driving trial competitions. **Vet. Rec.** 126: 233-239. 1990.
- [27] WITTEWER, F.; BÖHMWALD, H. **Manual de Patología Clínica Veterinaria**. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 21-30 pp. 1986.
- [28] ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. 3th ed., Prentice Hall. New Jersey. 235-276 pp. 1996.