

EFFECTO DEL ESTRÉS GENERADO POR EL EJERCICIO DE ALTO RENDIMIENTO SOBRE LAS CONCENTRACIONES DE CORTISOL Y TESTOSTERONA EN CABALLARES PURA SANGRE INGLÉS

Mónica Reinartz Estrada¹ y Nancy Paola Echeverri Ruiz²

RESUMEN

Se seleccionaron seis (6) caballos adultos de la raza Pura Sangre Inglés (PSI) que compiten en carreras de 1100 m en el hipódromo Los Comuneros, del municipio de Guarne al oriente de Medellín (Antioquia, Colombia). A cada animal se le midieron las concentraciones de testosterona total y cortisol antes y después de la competencia con el fin de evaluar el cambio producido en éstas debido al estrés. Se utilizaron para tal efecto los métodos de espectrofotometría para la testosterona y de quimioluminiscencia para el cortisol. Los resultados muestran que los valores promedio de cortisol y testosterona antes de la competencia fueron 47,9 ng/dl y 8,76 ug/dl respectivamente; después de la competencia los promedios fueron 12,75 ug/dl para el cortisol y 26,55 ng/dl para la testosterona. A los resultados obtenidos se les aplicó la prueba de T de muestras pareadas, por medio de la cual se determinó que hay diferencia significativa en los niveles de cortisol antes y después de la competencia ($P < 0,05$), no así para la testosterona.

Palabras claves: Estrés, testosterona, cortisol, ejercicio de alto rendimiento.

ABSTRACT

EFFECT OF STRESS CAUSED BY HIGH INTENSITY EXERCISE OVER CORTISOL AND TESTOSTERONE CONCENTRATIONS IN ENGLISH PURE BLOOD HORSES

This investigation was conducted in Los Comuneros racetrack, in Guarne (Antioquia, Colombia). Six Pure English racing horses, that run the 1100 m competence, were selected to evaluate in each one the change in the serum concentrations of cortisol and testosterone before and after a high intensity exercise. Spectrophotometry and quimioluminiscence were used to determine the concentration of those substances. The results showed that cortisol and testosterone average concentrations before competence were 8,76 ug/dl and 47,9 ng/dl respectively; after the exercise the results were 12,75 ug/dl for cortisol and 26,55 ng/dl for testosterone. The T test for paired samples was applied to analyze the obtained data. It was determined a significant difference

¹ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <mreinart@unalmed.edu.co>

² Zootecnista, Estudiante Maestría en Ciencias-Bioquímica. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Medicina. A.A. 14490, Bogotá, Colombia. <npecheverri@unal.edu.co>

Recibido: Julio 1 de 2006; aceptado: Octubre 10 de 2007.

Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.60,No.2.p.3985-3999.2007

($P < 0,05$) between cortisol serum concentration before and after competence, but not for testosterone.

Key words: Stress, testosterone, cortisol, high intensity exercise.

Son múltiples los factores que pueden generar estrés en los animales; los más comunes son los cambios medio-ambientales, las alteraciones de salud, las interacciones y jerarquías sociales en los grupos y algunas prácticas de manejo. Dentro de este último grupo cabe mencionar el trato recibido por las personas, el respeto de los hábitos alimenticios, el transporte, las labores de sanidad y el tipo e intensidad del ejercicio al cual estén sometidos, entre otros.

El efecto general de la respuesta adaptativa del animal al estrés es una integración de múltiples hormonas y mecanismos que interactúan y que afectan directamente el estado físico del animal, como también su salud y bienestar general (Eckert *et al.*, 1997).

Estas respuestas de adaptación, generadas por gran variedad de estímulos estresantes, son un intento del individuo por mantener su homeostasis y su óptimo rendimiento, como también de asegurar la supervivencia ante una situación extrema.

Se puede observar por ejemplo, como la preparación para el ejercicio o competencia involucra la combinación del acondicionamiento físico y la instrucción; el primero produce adaptaciones fisiológicas y estructurales que llevan a maximizar el desempeño y mantener la aptitud corporal, mientras la segunda desarrolla la coordinación neuromus-

cular y la disciplina mental del individuo (Evans, 1985).

En ambos casos se puede inducir un efecto estresante en los animales y éste a su vez desarrolla una serie de ajustes orgánicos que involucran a todos los sistemas del cuerpo. La respuesta al estrés se encuentra mediada por el hipotálamo y el sistema nervioso autónomo, lo cual explica el porqué de la influencia sobre los sistemas cardiovascular, respiratorio y hormonal entre otros y sobre el equilibrio global del individuo (Tresguerres, 1993). Dicha respuesta al estrés comienza en el cerebro como una actividad neural la cual es integrada en hipotálamo, el cual produce una serie de hormonas que regulan la función de la pituitaria anterior, como es el caso del axis adrenal que secreta corticoides como adrenocorticotropina (ACTH). Se conocen dos hormonas que están relacionadas con la secreción de ACTH en equinos, la hormona liberadora de corticotropina (CRH) y vasopresina de arginina (AVP) (Evans *et al.*, 1993).

La CRH actúa en el cerebro alterando el comportamiento, incrementando la ansiedad y deprimiendo el apetito, cuando la secreción de CRH es elevada, el animal se muestra siempre en alerta. La AVP tiene poco influencia sobre el comportamiento, su efecto se da principalmente en riñón y en el mantenimiento de la osmolaridad en plasma, motivo por el cual se le conoce también como la hormona antidiurética.

Esto indica que el balance hídrico puede ser afectado por condiciones de estrés. Una vez AVP y CRH estimulan la secreción de ACTH al torrente sanguíneo, se estimula la glándula adrenal liberando cortisol, inhibiendo posteriores secreciones de AVP, CRH y ACTH desde hipotálamo e hipófisis, terminando con la respuesta a estrés (Alexander *et al.*, 1991).

Es por ello que para mantener la homeostasis durante el ejercicio o en condiciones estresantes, se modifica la actividad del sistema nervioso autónomo y la secreción hormonal, la cual está regulada por mecanismos de feedback y feedforward (Brandenberger *et al.*, 1982), (Chrousos, 1995; Hoffman-Goetz y Pedersen, 1994). Dichos cambios son los que permiten al organismo conservar el equilibrio de sus funciones y mecanismos, para lo cual indudablemente las respuestas endocrinas constituyen un componente integral de la reacción general al estrés (Evans *et al.*, 1993), como también de los sistemas cardiorespiratorio y renal, entre otros (Eckert *et al.*, 1997).

Igualmente el ejercicio induce cambios en la composición y proporción de los componentes sanguíneos, importantes en el aporte de energía (Pritzlaff *et al.*, 2000) y oxígeno (O₂), tanto al músculo esquelético como al cardíaco, con el fin de sostener el aumento de la tasa metabólica, facilitar la remoción de algunos productos de desecho y contribuir a los equilibrios ácido-base, hídrico y electrolítico (García, 1995). Una de las sustancias más susceptibles de sufrir alteraciones con el ejercicio es la glucosa (Georg *et al.*, 2002) y el glicógeno muscular (Allenberg, 1983).

Obviamente se debe tener en cuenta la influencia del metabolismo y el gasto energéticos, las reservas de glucógeno (relacionado con el ATP, los potenciales de membrana) (Lamb, 1989), así como el acoplamiento de los procesos de contracción, relajación muscular y los reflejos del animal (Matthews, 1989).

Además de un eficiente metabolismo energético, la habilidad para el ejercicio es altamente dependiente de una coordinación neuroendocrina y la función cardiovascular. Para esto las catecolaminas incrementan la distribución de oxígeno, potenciando el rendimiento cardíaco, la secreción esplánica de eritrocitos y la fluidez músculo esquelética, además de la homeostasis cardiovascular que es mantenida por cambios en plasma de renina y las concentraciones del péptido atrial natriurético, vasopresina y aldosterona (García, 1995).

Es por esto que, desde el punto de vista atlético, uno de los principales objetivos del entrenamiento y de la fisiología del ejercicio, es el de aumentar la capacidad de consumo de oxígeno (García *et al.*, 1999) y facilitar la disponibilidad de energía, así como la disminución de la respuesta simpática al estrés (Brooks y Mercier, 1994). Igualmente se pretende evitar la generación del estrés oxidativo que influye sobre los niveles de dióxido y monóxido de carbono y en la concentración de etano a nivel del volumen total de gases en la respiración (Wyse *et al.*, 2005). Dentro de los principales factores que determinan la producción de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno están el nivel de entrenamiento del caballo, la intensidad del ejercicio, la

concentración de oxígeno atmosférico y la suplementación de sustancias precursoras en la alimentación (Kirschvink *et al.*, 2007).

Estas alteraciones cualitativas y cuantitativas en el metabolismo animal, como respuesta al ejercicio especialmente de alta intensidad [como lo son las carreras de 1100 m de los caballos Pura Sangre Inglés(PSI)] y como mecanismo de adaptación fisiológica a eventos estresantes, afectan la disponibilidad y la concentración de diversas hormonas, sustancias y nutrientes, los cuales son susceptibles de ser cuantificados por medio de diferentes pruebas de laboratorio. Con éstas es posible determinar las modificaciones y adaptaciones fisiológicas y bioquímicas que ocurren antes, durante y después del ejercicio (Arias, 2000).

Asumiendo la hipótesis de que la secreción hormonal es una de las respuestas de adaptación a estímulos estresantes y entendiendo al ejercicio como uno de ellos, el objetivo de esta investigación es el de determinar como se ven afectadas por el estrés de la competencia, las concentraciones de algunas sustancias, particularmente el cortisol y la testosterona en caballos de la raza Pura Sangre Inglés (PSI).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el hipódromo Los Comuneros del municipio de Guarne (Antioquia, Colombia) a 45 minutos de la ciudad

de Medellín; ubicado en la latitud norte 1°9'00", longitud este 1°28'45", 2285 msnm y 18°C de temperatura promedio (Senado de la República, 1989) y perteneciente a la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bH-mb) (Holdridge, 1996).

Se seleccionaron 6 caballos adultos de la raza PSI, con edades entre 5 y 9 años, los cuales presentaban condiciones similares de salud, entrenamiento, alojamiento y alimentación.

A cada individuo se le tomó una muestra de sangre (10 ml) por punción yugular en la mañana antes de la competencia en condiciones de reposo y otra muestra en la tarde después de la competencia de los 1100 m, prueba considerada de alta intensidad y corta duración.

Durante el trabajo de campo las condiciones climáticas fueron estables, se aplicó el mismo procedimiento para la toma de muestras de sangre en todos los individuos, se refrigeraron y fueron transportadas el mismo día al Laboratorio Clínica de la Clínica Las Américas (Medellín), donde fueron procesadas.

A cada muestra de sangre se le extrajo el suero y a éste se le determinó la concentración de testosterona por espectrofotometría (Test Architect i 2000) y de cortisol por quimioluminiscencia (Test MIA, ABBOTT-AxSYM).

Para el análisis de los datos se realizó estadística descriptiva y a los resultados obtenidos se les aplicó la

prueba de T de muestras pareadas, se realizó análisis de varianza y se hallaron sus correlaciones. El nivel de significancia con el cual se trabajó fue de 0,05 y el programa estadístico utilizado SPSS.

RESULTADOS

A continuación se presentan los valores de las concentraciones séricas de cortisol y testosterona en los caballos PSI.

Tabla 1. Concentraciones de cortisol y testosterona en caballos PSI antes y después de la competencia de 1100 m, en el hipódromo Los Comuneros (Guarne, Antioquia-Colombia).

Animal	Género	Edad años	Castración	Cortisol antes de la competencia ug/dl	Cortisol después de la competencia ug/dl	Testosterona antes de la competencia ng/dl	Testosterona después de la competencia ng/dl
1	Macho	5	Si	11,1	14,1	42,5	39,3
2	Hembra	8	-	7,5	10,0	0,0	3,35
3	Macho	5	No	7,3	13,0	7,06	8,31
4	Macho	9	No	9,4	12,4	15,14	39,89
5	Hembra	6	-	9,7	13,4	0,0	0,0
6	Macho	8	No	7,6	12,5	222,8	68,5

Tabla 2. Estadística descriptiva de los resultados obtenidos en la evaluación de las concentraciones de cortisol y testosterona en caballos PSI antes y después de la competencia de 1100 m, en el hipódromo Los Comuneros (Guarne, Antioquia-Colombia).

	Cortisol antes de la competencia ug/dl	Cortisol después de la competencia ug/dl	Testosterona antes de la competencia ng/dl	Testosterona después de la competencia ng/dl	
N	6	6	6	6	
Media	8,7667	12,5667	47,9167	26,5583	
Error estándar de la media	,62805	,57310	35,56642	11,06972	
Mediana	8,5000	12,7500	11,1000	23,8050	
Desviación estándar	1,53840	1,40380	87,11959	27,11516	
Varianza	2,367	1,971	7589,822	735,232	
Asimetría	,576	-1,372	2,280	,616	
Achatamiento	-1,299	2,662	5,293	-1,004	
Mínimo	7,30	10,00	,00	,00	
Máximo	11,10	14,10	222,80	68,50	
Centiles					
	25	7,4500	11,8000	,0000	2,5125
	50	8,5000	12,7500	11,1000	23,8050
	75	10,0500	13,5750	87,5750	47,0425

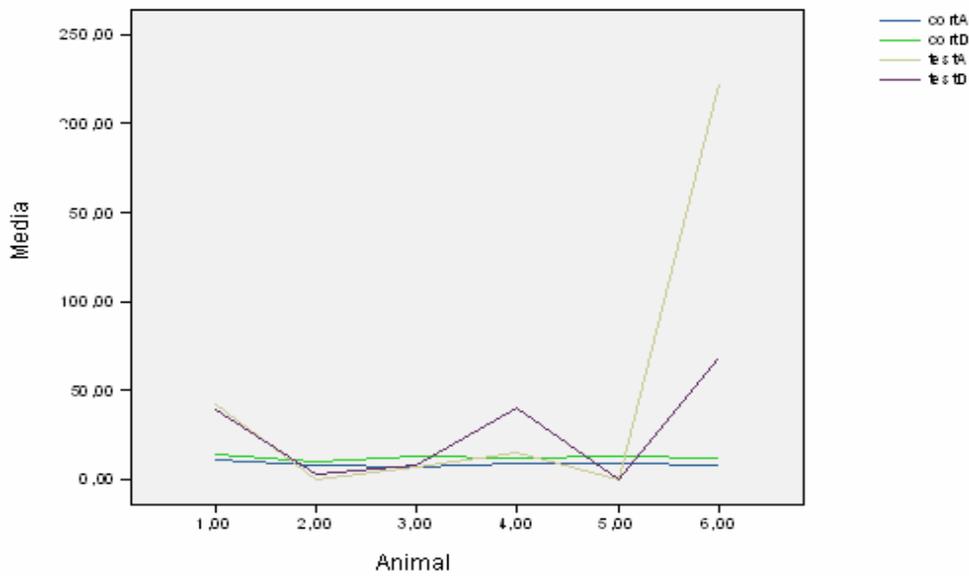


Figura 1. Concentración media de cortisol y testosterona en caballos PSI, antes y después de la competencia.

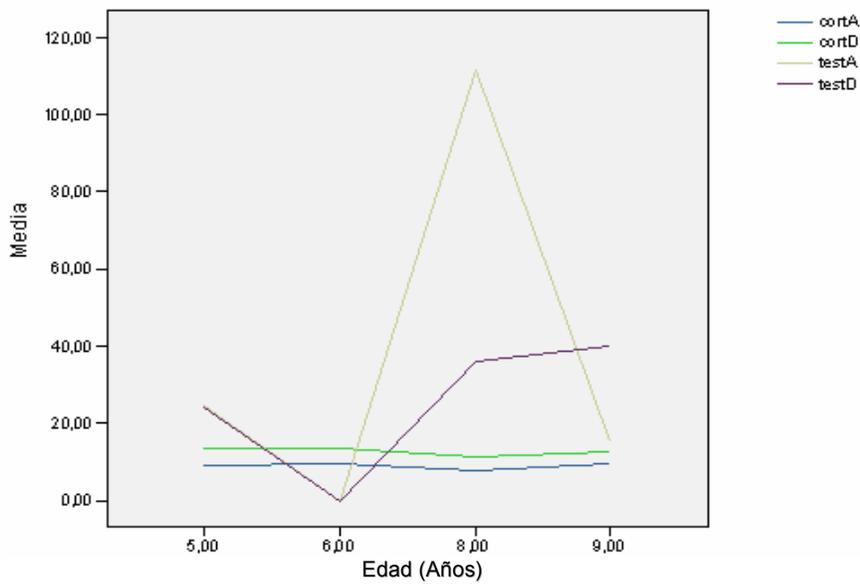


Figura 2. Concentración media de cortisol y testosterona en caballos PSI, antes y después de la competencia, según la edad.

Tabla 3. Prueba t para muestras pareadas en la evaluación de las concentraciones de cortisol y testosterona de caballos PSI, antes y después de la competencia de 1100 m.

	N	Correlación	Significancia	t	Significancia
Testosterona antes y testosterona después	6	0,843	0,035	0,794	0,463
Cortisol antes y cortisol después	6	0,643	0,168	-7,452	0,001
Género y cortisol antes	6	-0,084	0,874	-12,419	0,000
Género y cortisol después	6	-0,478	0,337	-17,504	0,000
Género y testosterona antes	6	-0,426	0,400	-1,334	0,240
Género y testosterona después	6	-0,711	0,113	-2,337	0,067
Castración y cortisol antes	4	0,851	0,149	-12,612	0,001
Castración y cortisol después	4	0,942	0,058	-72,611	0,000
Castración y testosterona antes	4	-0,192	0,808	-1,406	0,254
Castración y testosterona después	4	0,008	0,992	-3,152	0,051
Edad y cortisol antes	6	-0,289	0,578	-1,807	0,131
Edad y cortisol después	6	-0,640	0,171	-4,956	0,004
Edad y testosterona antes	6	0,269	0,606	-1,161	0,298
Edad y testosterona después	6	0,355	0,489	-1,820	0,128

Tabla 4. Correlaciones entre las concentraciones de cortisol y testosterona de caballos PSI, antes y después de la competencia de 1100 m.

		Cortisol antes	Cortisol después	Testosterona antes	Testosterona después
Cortisol antes	Correlación de Pearson	1	0,643	-0,241	0,099
	Significancia		0,084	0,323	0,426
Cortisol después	Correlación de Pearson	0,643	1	0,083	0,231
	Significancia	0,084		0,438	0,330
Testosterona antes	Correlación de Pearson	-0,241	0,083	1	0,843(*)
	Significancia	0,645	0,876		0,035
Testosterona después	Correlación de Pearson	0,099	0,231	0,843(*)	1
	Significancia	0,852	0,659	0,035	
N		6	6	6	6

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 5. Análisis de varianza de los niveles de cortisol y testosterona en relación con el género de los caballos PSI, antes y después de la competencia de 1100 m.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	F	Significancia
Cortisol antes de la competencia	5	0,083	0,028	0,874
Cortisol después de la competencia	5	2,253	1,186	0,337
Testosterona antes de la competencia	5	6888,021	0,887	0,400
Testosterona después de la competencia	5	1857,541	4,086	0,113

Tabla 6. Análisis de varianza de las concentraciones de cortisol y testosterona en relación a la edad de los caballos PSI, antes y después de la competencia de 1100 m.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	F	Significancia
Cortisol antes de la competencia	3	1,536	0,425	0,757
Cortisol después de la competencia	3	2,041	1,094	0,510
Testosterona antes de la competencia	3	4167,065	0,327	0,811
Testosterona después de la competencia	3	357,903	0,275	0,842

Tabla 7. Análisis de varianza de las concentraciones de cortisol y testosterona en relación al género de los caballos PSI, antes y después de la competencia de 1100 m.

		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medias	F	Significancia
Cortisol antes	Inter-grupos	0,083	1	0,083	0,028	0,874
	Intra-grupos	11,750	4	2,938		
	Total	11,833	5			
Cortisol después	Inter-grupos	2,253	1	2,253	1,186	0,337
	Intra-grupos	7,600	4	1,900		
	Total	9,853	5			
Testosterona antes	Inter-grupos	6888,021	1	6888,021	0,887	0,400
	Intra-grupos	31061,091	4	7765,273		
	Total	37949,112	5			
Testosterona después	Inter-grupos	1857,541	1	1857,541	4,086	0,113
	Intra-grupos	1818,619	4	454,655		
	Total	3676,160	5			

De acuerdo a los resultados, se puede decir que las concentraciones de testosterona se mostraron altamente variables entre los individuos, no así el cortisol (Tabla 1). Es especialmente notorio el caso de la testosterona, la cual muestra desviaciones estándar de 87,12 y 27,11 antes y después de la carrera, respectivamente, mientras que para el cortisol los valores fueron de 1,53 y 1,40 (Tabla 2). Esto se observa también en las Figuras 1 y 2.

Para el cortisol el valor de T fue de -7,45 y para la testosterona fue de 0,794, con una significancia menor a 0,05 ($P < 0,05$) en la primera y mayor en la segunda, lo cual indica que hay diferencia significativa entre los niveles de cortisol antes y después de la competencia y no en el caso de la testosterona, en las condiciones en que se llevó a cabo esta investigación.

En lo que se refiere al género de los animales, solo hubo diferencia estadística

camente significativa para los niveles de cortisol antes y después de la carrera de los 1100 m.

La edad de los animales, solo afectó significativamente las concentraciones de cortisol después de la competencia. No se observan correlaciones de importancia estadística para los valores del cortisol, pero sucede lo contrario con la concentración de la hormona testosterona antes y después de la competencia, la cual muestra un nivel de significancia menor a 0,05.

DISCUSIÓN

Cortisol. Los resultados obtenidos para las concentraciones de cortisol, pueden deberse a que su promedio de vida es de 4 horas y el ejercicio intenso refuerza su concentración en plasma y su excreción en orina (Lamb, 1989) y su nivel basal de cortisol es restaurado dentro de las 24 horas después de los incrementos inducidos por el ejercicio (Nagata *et al.*, 1999). Por esto puede aparecer en sangre inmediatamente después de una carrera de 1100 m, la cual es considerada una competencia de alta intensidad.

Igualmente, la acción permisiva de esta sustancia capacita al animal para reaccionar favorablemente ante situaciones de estrés y agotamiento, debido a la retención de sodio, al aumento de la gluconeogénesis, de la lipólisis y de la síntesis de proteína en el hígado (Devlin, 1986).

Esta hormona, junto con la adrenalina y la noradrenalina incrementan la cantidad de

glucosa en sangre por la activación de la ruptura del glicógeno y la gluconeogénesis, reportándose efectos catabólicos en el músculo; en este mismo sentido, se le confiere una especial actividad en los mecanismos de defensa y alerta (Boyle y Cryer, 1991). También disminuye los procesos inflamatorios ya que suprime el sistema inmunológico, controla procesos alérgicos e incrementa la glucosa en sangre (Alexander *et al.*, 1991).

Otro factor que podría haber generado los resultados obtenidos, es que en caballos se registran niveles bajos de la CBP (Cortisol Binding Protein) (Douglas, 1999), por lo cual permanece poco tiempo unido a proteínas plasmáticas y se puede determinar fácilmente en las muestras de sangre, lo cual hace del cortisol un buen indicador del estrés sufrido por los animales.

Desde otro ángulo, varios autores coinciden en que los ritmos circadianos parecen tener influencia en las fluctuaciones de las concentraciones hormonales, influenciadas principalmente por la intensidad y el número de horas luz por día (Van Cauter *et al.*, 1996); hecho que se evidencia en las concentraciones de cortisol en caballos sanos, los cuales, algunas veces, pueden presentar concentraciones 30% mayores en las mañanas, con respecto a las horas de la tarde (Douglas, 1999).

Obviamente el nivel de entrenamiento y la frecuencia de las competencias parecen influir en el comportamiento de los caballos. Lamb (1989), indica que en animales entrenados por períodos de varias semanas se encuentran niveles normales de cortisol antes y después del

ejercicio, mientras que en el caso contrario aumentan.

El tipo de ejercicio también influye, pues se observó que en las distintas modalidades de carreras aumentan las concentraciones séricas de dicho glucocorticoide. En caballos de competencia, se encuentra que el entrenamiento activa el axis adrenal por un incremento en las concentraciones de cortisol. También se observa un incremento el ACTH y AVP luego de 4-5 minutos en donde se encuentra su máxima secreción. Por el contrario la CRH no muestra cambio durante el ejercicio, lo cual sugiere que AVP es la que media la respuesta inicial de secreción de ACTH en respuesta al ejercicio intenso de corta duración (Alexander *et al.*, 1991). Esto se evidenció en estos caballos PSI en los 1100 m.

En un estudio se encontró que en los animales en el partidor (listos para salir a competir) se incrementaron las concentraciones de ACTH, AVP y cortisol, ya que aquellos anticipaban su competencia (Alexander and Irvine, 1998).

Esta investigación confirma que hay una elevación en los niveles de cortisol en caballos PSI entrenados permanentemente, con el fin de participar en competencias de 1100 m, carrera considerada de alta intensidad y corta duración. Este hecho supone una adaptación física del animal a las exigencias del ejercicio intenso y al estrés producido por éste.

Sin embargo, estos resultados no están de acuerdo con reportes que sugieren que en animales adaptados, los niveles de cortisol no se incrementan ante el estrés por

actividad física intensa (Marc *et al.*, 2000 y Cayado *et al.*, 2006). Igualmente Kalman *et al.* (2007) aseguran que el nivel de estrés que ejerce una competencia es alto y que el organismo termina por adaptarse.

Es difícil determinar si el aumento de esta hormona en este estudio se debió al grado de adaptación; solo se puede afirmar que todos los animales fueron entrenados diariamente y llevaban más de un año compitiendo.

En lo que se refiere a las otras variables, como género y edad, esta investigación coincide con lo reportado por Douglas (1999), quien concluye que las concentraciones de cortisol no varían con el sexo ni la edad. Según el mismo autor, la gestación y la raza tampoco influyen, pero si lo hacen la hipoglicemia, algunas enfermedades (como el síndrome de Cushing), la cirugía, el ejercicio o las carreras.

También se mencionan diferencias individuales, en lo que se refiere a la inducción de liberación de estas hormonas debido al estrés (Martins *et al.*, 2007); este fenómeno también se observó en el presente estudio, en el cual se definieron algunas diferencias individuales.

Testosterona. Se pueden observar comportamientos diferentes en lo que se refiere a las concentraciones de testosterona sérica. Algunos machos mostraron aumento y otros disminución de la hormona, independientemente de ser o no castrados (caballos 1, 3, 4 y 6). Así mismo, no se apreció un patrón igual del comportamiento endocrino entre las hembras (caballos 2 y 5). Esto concuerda con lo anotado por Evans *et al.* (1993),

quienes sostienen que el entrenamiento no tiene mejor efecto en las concentraciones hormonales en yeguas y machos castrados.

Tampoco parece influir la edad, ya que a pesar de que todos animales eran adultos se hizo impredecible la variación de la concentración de la hormona en cuestión. De igual manera acontece con el nivel de entrenamiento; todos los animales evaluados en este trabajo han sido entrenados durante años para este tipo de competencia y como bien se puede observar esto no tuvo un efecto diferencial entre los individuos.

En esta oportunidad y bajo las condiciones en las cuales se llevó a cabo esta investigación, las pruebas estadísticas indican que la concentración sérica de testosterona no se vio afectada por el ejercicio intenso. Esto contradice lo anotado por Lamb (1989), quien afirma que los niveles de dicha hormona se elevan desde 14 a 73% en hombres y mujeres de calidad olímpica altamente entrenados.

Por su parte Georg *et al.* (2002) coinciden en esta información e indican que el ejercicio induce cambios en la testosterona, de acuerdo a la intensidad del ejercicio. En caballos castrados se encontró que se incrementa la concentración de testosterona en plasma en respuesta a un máximo ejercicio y se notó que el ejercicio altera los niveles basales de testosterona por 26-32 horas post-ejercicio.

Otros autores indican que no se ha confirmado la asociación entre niveles de testosterona y ejercicio, lo cual

coincide con los resultados obtenidos en esta investigación (Stromme *et al.*, 1974).

Solo se ha constatado que la concentración de la lutropina (hormona estimulante de las células intersticiales) no aumenta, por lo cual los posibles aumentos de testosterona se deben a la menor degradación de la misma en hígado y no a un aumento de su síntesis en testículos o glándulas adrenales.

Es de importancia destacar que tanto la testosterona como el cortisol, la aldosterona y la estrona se sintetizan a partir del colesterol, molécula que bajo la acción de la hormona Adrenocorticotrópica (ACTH) se transforma en pregnenolona; ésta a su vez, después de varios pasos en los cuales se incluyen algunas hidroxilaciones, origina dichas hormonas esteroideas (Devlin, 1986).

La testosterona se produce en testículos y células de la granulosa, como también en glándulas suprarrenales de machos y hembras Su vida es de 3 a 4 horas en sangre y cualquier aumento en su concentración puede durar hasta 30 minutos (Lemazurier *et al.*, 2002).

Esta hormona influye en el comportamiento más agresivo de los machos no castrados, en la producción de glóbulos rojos, el grosor de los huesos, el almacenamiento de glucógeno en el músculo y la síntesis de proteínas en el mismo, además de su efecto condroprotector y su relación con la fuerza muscular (Lamb, 1989). También aumenta la deposición de proteína en los tejidos, incrementando las proteínas contráctiles del músculo (Evans *et al.*,

1993) y actúa como reguladora de la actividad genética (García, 1995).

La testosterona, así como el cortisol, juega un papel muy importante en el metabolismo de proteínas y carbohidratos; ambos son competidores antagonistas del receptor de glucocorticoides a nivel muscular (Mayer y Rosen, 1975 y Urhausen *et al.*, 1995), ejerciendo la testosterona efectos anabólicos mientras que el cortisol tiene efectos catabólicos.

En lo que concierne a la relación entre las dos hormonas, se debe destacar que altos niveles de cortisol después del ejercicio, pueden atenuar la respuesta a las hormonas testosterona e insulina e inhibir la hormona de crecimiento (GH) y el crecimiento lineal (Jill *et al.*, 2001), hecho que puede explicar el comportamiento de la concentración de testosterona ante la diferencia significativa que tuvo el cortisol en los dos momentos de la competencia. Igualmente (Brooks y Mercier, 1994), manifiestan que los altos niveles de cortisol podrían atenuar la expresión de la testosterona y Fry *et al.* (1993) indican que las concentraciones de testosterona total en reposo pueden disminuir durante un entrenamiento de resistencia de alta intensidad, lo cual concuerda con estos resultados.

Se podría considerar de interés el caballo número 6, el cual mostró una elevada concentración antes de la competencia (222,8 ng/dl), bajando drásticamente después de la misma a niveles por debajo de 1 ng/dl; al respecto no se tienen elementos suficientes para dar una explicación satisfactoria a este fenómeno.

CONCLUSIONES

Los machos y hembras PSI sometidos a altos niveles de estrés por las competencias de alta intensidad y velocidad manifiestan cambios significativos, antes y después de la competencia en las concentraciones séricas de cortisol, indicando la existencia de la relación entre el comportamiento animal, el sistema nervioso y el endocrino, en lo que se refiere a la adaptación a condiciones extremas.

El estrés puede ser identificado por la alteración de las concentraciones de cortisol, producido por el organismo de los animales.

No se observan diferencias significativas en la respuesta ante el estrés entre hembras y machos (castrados y no castrados) PSI.

En las condiciones en las cuales se llevó a cabo esta investigación, no se identificó una diferencia estadísticamente significativa entre los niveles de testosterona en caballos PSI antes y después de la competencia de 1100 m.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la valiosa colaboración y el apoyo de los propietarios y encargados de los caballos utilizados en esta investigación, al Médico Veterinario Diego Berrío, a los empleados y a las directivas del Hipódromo Los Comuneros, al Doctor Esteban Echavarría y la bacterióloga Ana María Rendón del Laboratorio Clínico Las Américas. Igualmente a la División de Investigación de la Sede Medellín (DIME) de la Universidad Nacional de Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, S., Irvine, C., M. Ellis, and R. Donald, 1991. The effect of acute exercise on the secretion of corticotrophin-release factor, arginine vasopressin and adrenocorticotropin as measured in pituitary venous blood from the horse. *Endocrinology*. 128(1): 65-72.
- Alexander, S. and C.H.G. Irvine. 1998. Stress in the racing horse: coping vs not coping. *J. Equine Vet. Sci.* 9(3):77-81.
- Allenberg, K., N. Holmquist, S.G Johnson *et al.* 1983. Effect of exercise and testosterone on the active form of glycogen synthase in human skeletal muscle. p. 3-28. In: Poortmans J., ed. *Biochemistry of exercise*. Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois.
- Arias, P. 2000. Aspectos metabólicos del caballo atleta. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 13(2):161-169.
- Boyle, P.J. y P.E. Cryer. 1991. Growth hormone, cortisol, or both are involved in defense against but are not critical to recovery from hypoglycemia. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 260(3):395-402.
- Brandenberger, G., M. Follenius and B. Hietter. 1982. Feedback from meal-related peaks determines diurnal changes in cortisol response to exercise. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 54:592-596.
- Brooks, G.A. and J. Mercier 1994. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *J. Appl. Physiol.* 76(6):2253-2261.
- Brooks, G. and J. Mercier. 1974. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *J. Appl. Physiol.* 76:2253-2261.
- Cayado, P., B. Muñoz-Escassi, C. Domínguez, W. Manley, B. Olabarri, M. Sánchez De La Muela, F. Castejon, G. Marañón and E. Vara. 2006. Hormone response to training and competition in athletic horses. *Equine Vet. J. Suppl.* (36): 274-278.
- Chrousos, G.P. 1995. The hypo-thalamic-pituitary-adrenal axis and immune-mediated inflammation. *N. Engl. J. Med.* 332(20):1351-1362.
- Devlin, T. 1986. *Biochemistry with clinical correlations*. 2nd ed. Wiley Medical, New York. p. 574-582.
- Douglas, R. 1999. Circadian cortisol rhythmicity and equine Cushing's-like disease. *J. Equine Vet. Sci.* 19(11):684, 750-751, 753.
- Eckert, R., D.J. Randall, W. Burggren, and K. French. 1997. *Animal physiology*. 4th ed. W.H. Freeman, New York. 329 p.
- Evans, D.L. 1985. Cardiovascular adaptations to exercise and training. *Vet. Clin. North Am., Equine Practice* 1:513-527.
- Evans, D.L., R.C. Harris and D.H. Snow. 1990. Correlation of racing performance with blood lactate and heart rate after exercise in thoroughbred horses. *Equine Vet. J.* 25: 441-445.
- Evans, J., A. Marshall, N. Kitson, K. Summers and R. Donald. 1993. Factor affecting ACTH release from perfused

- equine anterior pituitary cells. *J. Endocrinol.* 137(3): 391-401.
- Fry, A.C., W.J. Kraemer, M.H Stone, B.J. Warren, J.T. Kearney, C.M. Maresh, C.A. Weseman and S.J. Fleck. 1993. Endocrine and performance responses to high volume training and amino acid supplementation in elite junior weightlifters. *Int. J. Sport. Nutr.* 3(3):306-322.
- García, A. *Fisiología veterinaria*. 1995. Ed. Interamericana McGraw Hill, Madrid. 770 p.
- García, A., F. Castejón y G. Salido. 1999. *Fisiología veterinaria*. Ed. Interamericana McGraw Hill, New York. 1074 p.
- Geor, R.J., L.J. McCutcheon, K. Hinchcliff and R.A. Sams. 2002. Training-induced alterations in glucose metabolism during moderate-intensity exercise. *Equine Vet. J. Suppl.* (34):22-28.
- Hoffman-Goetz, L. and B. Pedersen. 1994. Exercise and the immune system: a model of the stress response? *Immunol. Today* 15(8):382-387.
- Holdridge, L. 1996. *Ecología basada en zonas de vida*. IICA, Costa Rica. pp. 14.
- Jill, A.K., J.Y. Weltman, K.S. Pieper, and M.L. Hartman. 2001. Cortisol and growth hormone responses to exercise at different times of day. *J. Clin. Endocrinol. Metabol.* 86(6):2881-2889.
- Kalman, D., S. Feldman, M. Martinez, D. Krieger and M. Tallon. 2007. Effect of protein source and resistance training on body composition and sex hormones. *J. Intl. Soc. Sports Nutr.* On line. 4:4.
- Kirschvink, N., B. de Moffarts, and Lekeux, P. 2007. The oxidan/antioxidant equilibrium in horses. *Vet. J.* Article in press. Sept.
- Lamb, D. 1989. *Fisiología del ejercicio, respuesta y adaptaciones*. Macmillan, New York. pp. 290- 297.
- Lemazurier, E., M.P. Toquet, G. Fortier, and G.E. Seralini. 2002. Sex steroids in serum of prepubertal male and female horses and correlation with bone characteristics. *Steroids* 67(5):361-369.
- Marc, M., N. Parvizi, F. Ellendorff, E. Kallweit and F. Elsaesser. 2000. Plasma cortisol and ACTH concentrations in the warmblood horse in response to a standardized treadmill exercise test as physiological markers for evaluation of training status. *J. Anim. Sci.* 78(7):1936-1946.
- Martins, T.L.F., M.L. Roberts, I. Giblin, R. Huxham and M.R. Evans. 2007. Speed of exploration and risk taking behaviour are linked to corticosterone titres in zebra finches. *Hormones and Behavior* 52(4):445-453.
- Matthews, G. 1989. *Fisiología celular del nervio y el músculo*. Interamericana MacGraw Hill, Madrid. 227 p.
- Mayer, M. and F. Rosen. 1975. Interaction of anabolic steroids with glucocorticoid receptor sites in rat muscle cytosol. *Am. J. Physiol.* 229(5):1381-1386.
- Nagata, S., F. Takeda, M. Kurosawa, K. Mima, A. Hiraga, M. Kai and K. Taya. 1999. Plasma adrenocorticotropin, cortisol and catecholamines response

to various exercises. *Equine Vet. J. Suppl.* (30):570-574.

Pritzlaff, C.J., L. Wideman, J. Blumer, M. Jensen, R.D. Abbott, G.A. Gaesser, J.D. Veldhuis, and A. Weltman. 2000. Catecholamine release, growth hormone secretion, and energy expenditure during exercise vs. recovery in men. *J. Appl. Physiol.* 89(3):937-946.

Senado de la República, Colombia. 1989. Municipios colombianos - índice monográfico de los municipios del país. Senado de la República. Santafé de Bogotá.

Stromme, S.B., H.D Meen and A. Aakvaag. 1974. Effects of an androgenic-anabolic levels in normal males. *Med. Sci. Sports.* 6: 203:208.

Tresguerres, J. 1993. *Fisiología humana.* McGraw-Hill, Madrid. pp. 1147-1148.

Urhausen, A., H. Gabriel and W. Kindermann. 1995. Blood hormones as markers of training stress and over-training. *Sports Med.* 20(4):251-76.

Van Cauter, E., R. Leproult and D. Kupfer. 1996. Effects of gender and age on the levels and circadian rhythmicity of plasma cortisol. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 81:2468-2476.

Wyse, C., A. Cathcart, R.Sutherland, S. Ward, L. McMillan, G. Gibson, M. Padgett and K. Skeldon. 2005. Effect of maximal dynamic exercise on exhaled ethane and carbon monoxide levels in human, equine and canine athletes. *Comparative Biochem. Physiol.* 141(2):239-246.