




## Parámetros hematológicos, bioquímicos y endocrinos en la respuesta aguda al ejercicio de intensidad creciente en caballos de Paso colombianos



Angélica María Zuluaga Cabrera <sup>a\*</sup>

Maria José Casas Soto <sup>b</sup>

José Ramón Martínez Aranzales <sup>a</sup>

Viviana Elena Castillo Vanegas <sup>c</sup>

Nathalia María del Pilar Correa Valencia <sup>a</sup>

María Patricia Arias Gutierrez <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Investigación CENTAURO, Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

<sup>b</sup> Normandía Centro Equino, Rionegro, Colombia.

<sup>c</sup> Laboratorio Clínico Veterinario Vitalab. Rionegro, Colombia.

<sup>d</sup> Universidad CES, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Medellín, Colombia.

\* Autor de correspondencia: [angelica.zuluaga@udea.edu.co](mailto:angelica.zuluaga@udea.edu.co)

### Resumen:

El presente estudio tuvo como objetivo describir los parámetros hematológicos, bioquímicos y endocrinos en la respuesta aguda al ejercicio de intensidad creciente en caballos de Paso colombianos (CPC). Se realizó una prueba estandarizada de ejercicio de campo en 11 CPC adultos no entrenados de ambos sexos. Las variables de interés se midieron antes y después de la prueba (esto es, hematocrito, proteínas plasmáticas totales, creatina quinasa, creatinina, nitrógeno ureico en sangre —NUS, aspartato aminotransferasa, gamma glutamil transpeptidasa, triglicéridos, colesterol, fosfatasa alcalina, cortisol, insulina, niveles de

azúcar en sangre). Se encontró evidencia de activación de la respuesta simpática-adrenérgica, descrita para otras razas y disciplinas deportivas ecuestres (esto es, hemoconcentración, cambio negativo en el volumen plasmático, ligero aumento de la creatinina y NUS). Además, se encontró evidencia de movilización y uso de fuentes de energía como glucosa y triglicéridos. En conclusión, el ejercicio de intensidad creciente realizado durante una prueba de campo estandarizada produjo un cambio negativo en el volumen plasmático y la activación de la clásica respuesta simpática-adrenérgica en los CPC.

**Palabras clave:** Patología clínica, Equino, Contracción esplénica, Entrenamiento.

Recibido: 25/11/2020

Aceptado: 08/06/2021

## Introducción

Las pruebas estandarizadas de ejercicio en cinta de correr o de campo han permitido identificar las respuestas y adaptaciones fisiológicas al ejercicio del caballo. Su caracterización e interpretación se convertirían más tarde en índices de entrenamiento<sup>(1,2)</sup>.

Los parámetros hematológicos y bioquímicos se incluyen dentro del grupo de variables de interés a evaluar a partir de dichas pruebas de ejercicio. Sin embargo, lo reportado al respecto en caballos puede diferir según la intensidad y duración del ejercicio<sup>(3,4)</sup>. Además, algunos hallazgos no son considerados como respuestas o adaptaciones fisiológicas, sino como trastornos inducidos por el ejercicio, incluyendo hemólisis y linfopenia<sup>(5)</sup>. En caballos de Paso colombianos (CPC), no hay suficientes reportes para confirmar los cambios esperados durante el ejercicio en animales de esta raza.

Debido a la creciente demanda de acompañamiento profesional en el entrenamiento de CPC, se volvió importante describir los parámetros hematológicos, bioquímicos y endocrinos en la respuesta aguda al ejercicio de intensidad creciente para la raza.

## Material y métodos

### Consideraciones éticas

Los procedimientos realizados en los animales de estudio fueron aprobados por el Comité de Ética para la Experimentación con Animales (CEEA) de la Universidad de Antioquia (Ley #122, 5 de febrero de 2018).

## Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en instalaciones ubicadas en una zona de vida de bosque montano bajo muy húmedo<sup>(6)</sup> (2,130 msnm), con una temperatura ambiental entre 12 y 18 °C, y una humedad relativa del 96 %.

## Animales

Se eligieron a conveniencia once (11) CPC adultos no entrenados. Se incluyeron nueve hembras no preñadas y dos machos no castrados, con una media de  $6.6 \pm 4.8$  (2.5 a 16) años de edad,  $371 \pm 30$  kg de peso y  $7/9^{(7)}$  de condición corporal. Los animales estaban clínicamente sanos en el examen físico, con un plan de salud completo y actualizado (vacunas y desparasitación) al momento de las mediciones. En cuanto a las condiciones de manejo, los animales estuvieron bajo alojamiento completo y se alimentaron con heno de pasto pangola (*Digitaria eriantha*; 2.5 kg/d en promedio), forraje verde (*Pennisetum purpureum*; 30 kg/d en promedio), alimento comercial balanceado (2 kg/d en promedio), sal mineral formulada para caballos (100 g/d) y agua *ad libitum*.

## Prueba de ejercicio de campo

Se realizó una prueba estandarizada de ejercicio de campo y estuvo compuesta por cuatro etapas con intensidad creciente, considerando también momentos de reposo y recuperación. La frecuencia cardíaca (FC) se midió utilizando un monitor de referencia Ambit 3 vertical (Suunto®, Finlandia). El protocolo utilizado<sup>(8)</sup> controló la intensidad del ejercicio en cada etapa (calentamiento, de 58 a 65 % de la FC máxima + intensidad moderada, de 65 a 75 % de la FC máxima + intensidad alta, de 75 a 85 % de la FC máxima + intensidad máxima,  $\geq 85$  % de la FC máxima).

## Definición de los parámetros hematológicos, bioquímicos y endocrinos

Se recolectó una muestra de sangre venosa en un tubo con EDTA para la medición de hematocrito (HTC) y proteínas plasmáticas totales (PPT) durante los momentos de reposo y al final de cada etapa de la prueba de ejercicio. El porcentaje de cambio en el volumen plasmático se determinó por la concentración de albúmina en el momento de reposo y al final de la prueba de ejercicio<sup>(9)</sup>.

Además, se tomaron muestras tanto en un tubo con EDTA como en uno seco, en los momentos de reposo y de máxima intensidad para el comportamiento del conteo sanguíneo completo [CSC; esto es, concentración total de eritrocitos, leucocitos, neutrófilos, linfocitos, basófilos, monocitos, eosinófilos, bandas, plaquetas, hemoglobina, concentración de

hemoglobina corpuscular media (CHCM), fibrinógeno], y química sanguínea (esto es, creatina quinasa (CQ), creatinina, nitrógeno ureico en sangre (NUS), aspartato aminotransferasa (AST), gamma glutamil transpeptidasa (GGT), triglicéridos, colesterol, fosfatasa alcalina (FA)], hormonas (esto es, cortisol, insulina) y niveles de glucosa en sangre.

### **Análisis estadísticos**

Los resultados descriptivos de los datos no paramétricos se reportaron como mediana (ME), rango intercuartílico (RIC), desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) para cada variable. Se utilizó la prueba de rango con signo de Wilcoxon o la prueba u para muestras pareadas (alternativa no paramétrica a la prueba t) con un nivel de confianza del 95 % para comparar el rango medio de dos muestras relacionadas o pareadas para cada caballo en el estudio y para cada variable de interés. Para todos los análisis se utilizó el software estadístico Stata 16.0 (StataCorp, 2020, College Station, Texas, EE. UU.).

## **Resultados**

### **Hematocrito, proteínas plasmáticas totales y volumen plasmático**

El comportamiento del HTC durante la prueba de ejercicio fue consistente y homogéneo entre los animales de estudio, como lo demuestran los valores bajos de la DE para todas las variables (Cuadro 1). Por otro lado, las PPT mostraron ligeros cambios durante cada etapa de la prueba de ejercicio. La albúmina se analizó por separado y, dados los valores de las PPT, sus valores fueron relativamente homogéneos. El cambio medio del volumen plasmático fue de  $-4.65 \pm 8.16$  L, aunque tres de los animales registraron un cambio positivo.

**Cuadro 1:** Resultados descriptivos de los valores de hematocrito, proteínas plasmáticas totales y albúmina en cada etapa de la prueba de ejercicio de campo realizada en los caballos Paso colombianos de estudio

Momento/ Etapa	Hematocrito (%)			Proteínas plasmáticas totales (g/dl)			Albúmina (g/dl)		
	ME (RIC)	DE	CV	ME (RIC)	DE	CV	ME (RIC)	DE	CV
Reposo	37.9 (36.4 - 43.8)	4.52	0.11	6.52 (6.0 - 6.6)	0.42	0.07	3.42 (3.30 - 3.47)	0.18	0.05
Calentamiento	42.0 (37.0 - 42.5)	4.62	0.11	6.62 (6.34 - 7.05)	0.41	0.06	3.51 (3.44 - 3.94)	0.28	0.08
Intensidad moderada	48.0 (46.0 - 52.6)	5.09	0.11	6.96 (6.25 - 7.06)	0.46	0.07	3.63 (3.57 - 4.15)	0.36	0.10
Intensidad alta	49.7 (47.0 - 53.9)	4.60	0.09	7.14 (6.32 - 7.25)	0.49	0.07	3.69 (3.60 - 3.99)	0.23	0.06
Intensidad máxima	51.4 (50.3 - 54.8)	3.67	0.07	7.03 (6.49 - 7.13)	0.48	0.07	3.65 (3.63 - 4.00)	0.18	0.05
Recuperación	41.5 (41.0 - 44.9)	2.81	0.07	6.77 (6.07 - 7.13)	0.49	0.07	3.60 (3.49 - 3.94)	0.24	0.07

ME= media; RIC= rango intercuartilico; DE= desviación estándar; CV= coeficiente de variación. Valor de referencia para hematocrito<sup>(10)</sup>= 32 - 47%; valor de referencia para proteínas plasmáticas totales<sup>(11)</sup>= 5.2 - 7.9 g/dl; valor de referencia para albúmina<sup>(11)</sup>= 2.6 - 3.7 g/dl.

### Parámetros hematológicos

En los parámetros hematológicos antes y después de la prueba de ejercicio, hubo cambios en el fibrinógeno ( $P= 0.004$ ), la concentración total de leucocitos ( $P= 0.0475$ ) y las bandas ( $P= 0.0002$ ) (Cuadro 2).

**Cuadro 2:** Parámetros hematológicos con resultados estadísticos significativos, medidos antes y después de la prueba de ejercicio de campo realizada en los caballos de Paso colombianos de estudio

Parámetro hematológico	Momento	ME (RIC)	DE	CV	Valor de ref. (10)
Fibrinógeno, mg/dl	Antes	200 (200 – 600)	214.9	0.58	100 - 500
	Después	200 (200 – 500)	206.7	0.58	
Concentración total de leucocitos, 10 <sup>3</sup> /mm <sup>3</sup>	Antes	8.2 (7.1 – 10.5)	1.91	0.21	5.2 - 12.1
	Después	9.3 (8 – 12.2)	2.26	0.23	
Concentración total de bandas, 10 <sup>3</sup> /mm <sup>3</sup>	Antes	0.0 (0.0 – 0.08)	0.09	1.95	0 - 14
	Después	0.0 (0.0 – 0.08)	0.06	2.5	

ME= media; RIC= rango intercuartilico; DE= desviación estándar; CV= coeficiente de variación.

## Parámetros bioquímicos

Los parámetros bioquímicos no fueron diferentes ( $P>0.05$ ) para las etapas mencionadas, con excepción de la FA. Sin embargo, algunas enzimas mostraron una mayor actividad en relación con la concentración fisiológica (esto es, CQ, AST), como se presenta en el Cuadro 3.

**Cuadro 3:** Parámetros bioquímicos medidos antes y después de la prueba de ejercicio de campo realizada en los caballos de Paso colombianos de estudio

Parámetro bioquímico	Momento	ME (RIC)	DE	CV	Valor de ref.
Creatina quinasa, U/L	Antes	250 (196 - 293)	56.01	0.224	90 - 270 <sup>(12)</sup>
	Después	279 (247 - 337)	79.11	0.263	
Creatinina, mg/dl	Antes	1.54 (1.44 - 1.62)	0.150	0.098	1.2 - 1.9 <sup>(11)</sup>
	Después	1.71 (1.62 - 1.99)	0.316	0.175	
Nitrógeno ureico en sangre, mg/dl	Antes	22.48 (20.37 - 24.45)	2.35	0.105	8 - 27 <sup>(12)</sup>
	Después	23.7 (22.54 - 26.7)	2.487	0.103	
Aspartato aminotransferas, U/L	Antes	294 (263 - 341)	56.01	0.186	226 - 366 <sup>(11)</sup>
	Después	320 (270 - 356)	61.73	0.189	
Gamma glutamil transpeptidasa, U/L	Antes	15 (11.31 - 23.92)	5.49	0.338	4.3 - 13.4 <sup>(11)</sup>
	Después	18 (16 - 24.51)	6.55	0.322	
Triglicéridos, mg/dl	Antes	26.12 (15.5 - 35.8)	23.35	0.707	11 - 52 <sup>(12)</sup>
	Después	54.3 (35.1 - 63.9)	14.26	0.280	
Colesterol, mg/dl	Antes	114.1 (90.05 - 123.6)	23.10	0.213	51 - 109 <sup>(12)</sup>
	Después	102.25 (58.3 - 131.15)	40.60	0.393	
Fosfatasa alcalina, U/L	Antes	343.21 (320.7 - 541) <sup>a</sup>	139.06	0.365	109 - 315 <sup>(12)</sup>
	Después	335.05 (321.9 - 488.18) <sup>b</sup>	131.90	0.335	

ME= media; RIC= rango intercuartílico; DE= desviación estándar; CV= coeficiente de variación.

<sup>ab</sup> Diferencia significativa cuando se comparó cada parámetro antes y después de la prueba de ejercicio, según el análisis de rango con signo de Wilcoxon ( $P<0.05$ ).

## Parámetros endocrinos (hormonas y glucemia)

El Cuadro 4 muestra los perfiles hormonales y los niveles de glucosa en sangre obtenidos durante el estudio, que fueron similares ( $P>0.05$ ) para las etapas mencionadas.

**Cuadro 4:** Comportamiento de cortisol, insulina y glucosa antes y después de la prueba de ejercicio de campo realizada en los caballos de Paso colombianos de estudio

Parámetro endocrino	Momento	ME (RIC)	DE	CV	Valor de referencia
Cortisol, µg/dl	Antes	7.91 (2.21 - 14.39)	6.781	0.780	3.0 - 13 <sup>(13)</sup>
	Después	7.04 (5.19 - 9.61)	7.318	0.773	
Insulina, UI/ml	Antes	40.98 (19.16 - 55.96)	50.84	1.067	4.52 -33.53 <sup>(14)</sup>
	Después	26.47 (22.92 - 54.56)	18.60	0.535	
Glucosa, mg/dl	Antes	101 (85 - 153) <sup>a</sup>	35.69	0.313	71 - 130 <sup>(14)</sup>
	Después	134 (101 - 162) <sup>b</sup>	37.89	0.286	

ME= media, RIC= rango intercuartílico; DE= desviación estándar; CV= coeficiente de variación.

<sup>ab</sup> Diferencia significativa cuando se comparó cada parámetro antes y después de la prueba de ejercicio, según el análisis de rango con signo de Wilcoxon ( $P>0.05$ ).

## Discusión

Las respuestas agudas al ejercicio, tanto hematológicas, bioquímicas y endocrinas, han sido escasamente reportadas en CPC. Por lo tanto, los cambios fisiológicos agudos que ocurren durante el ejercicio en esta raza no se reconocen actualmente. Esta situación representa una desventaja para los profesionales que participan en los procesos de acondicionamiento deportivo, ya que los obliga a trabajar con base en referencias que no corresponden al contexto de los CPC. Por otro lado, la ausencia de dicha información permite la interpretación errónea de los hallazgos en los análisis de sangre, aunque algunas de las variaciones hematológicas y bioquímicas proporcionan una perspectiva significativa de las condiciones patológicas que ocurren por el ejercicio intenso<sup>(15)</sup>. Además, es importante considerar que las respuestas hematológicas, bioquímicas y endocrinas por sí mismas no describen la capacidad atlética del caballo; de hecho, no se ha encontrado que parámetros como el HTC estén correlacionados con indicadores metabólicos, por ejemplo, el umbral anaeróbico<sup>(16)</sup>.

Es pertinente aclarar que los valores de referencia considerados para el presente estudio se contrastaron con estudios previos realizados en animales de la misma raza. Lo anterior corresponde a los valores de hemoleucograma<sup>(10)</sup>, cortisol y concentración de insulina<sup>(12-14)</sup>. Las otras variables se contrastaron con la literatura<sup>(11,12)</sup>. El HTC se midió y no se calculó, a pesar de utilizar equipos automatizados.

El ejercicio es un evento de estrés fisiológico, por esta razón se espera que el HTC aumente, principalmente en intensidad moderada, alta y máxima, como ocurrió en los animales del presente estudio, superando los valores de referencia para el reposo durante las etapas

mencionadas. El comportamiento observado para el HTC se explica por la contracción esplénica y la pérdida de agua durante el ejercicio, lo que refleja la hemoconcentración. Se necesitan de 30 a 60 segundos para que se produzca la liberación esplénica de eritrocitos en presencia de un aumento de la epinefrina circulante. Durante la recuperación, el secuestro de eritrocitos y leucocitos por el bazo dura aproximadamente 5 min, aunque su reserva completa puede tardar hasta 30 min<sup>(15)</sup>. Así, el retorno del HTC a su valor en reposo o durante el calentamiento se explica por este fenómeno, además de la recuperación del volumen sanguíneo.

En vista del hecho de que el HTC es muy afectado por la respuesta adrenérgica durante el ejercicio (para establecer policitemia por deshidratación), se recomienda incluir la concentración total de eritrocitos en el análisis y compararla con el HTC y la concentración de PPT. En este grupo de caballos se encontraron ambos eventos (hemoconcentración por liberación esplénica y disminución del volumen plasmático), como consecuencia de la deshidratación.

Las PPT y la albúmina mostraron un comportamiento creciente durante el ejercicio y se encontró que estaban incrementados (dentro del rango de referencia) debido a la pérdida de agua antes mencionada. La concentración de proteínas plasmáticas en reposo y durante el ejercicio es el resultado de la interacción de numerosos factores, como el grado de filtración entre los espacios intra y extravascular, las demandas metabólicas, el control neuroendocrino, el estado nutricional y el balance hídrico<sup>(17)</sup>.

El cambio de volumen plasmático encontrado en el presente estudio puede estar relacionado con el movimiento de fluidos entre los diferentes compartimentos, dado el aumento de la presión hidrostática generado por el aumento de la presión arterial y venosa durante el ejercicio. Además, podría estar relacionado con la secreción de péptido natriurético, a medida que aumenta la intensidad del ejercicio<sup>(15)</sup>.

En humanos, se ha informado que el volumen plasmático puede disminuir debido a la hemoconcentración o incluso aumentar debido a la hemodilución, dependiendo del tipo de ejercicio realizado. La disminución del volumen plasmático es mayor durante el ejercicio de alta intensidad<sup>(18,19)</sup>, y la magnitud de la sudoración e hidratación durante el ejercicio también puede determinar su disminución<sup>(20)</sup>. En el presente estudio, se observó una reducción en el volumen plasmático al final de la prueba de ejercicio, cuando los caballos mostraron sudoración profusa. Esto corrobora que, al igual que en los humanos, el ejercicio de alta intensidad y la sudoración reducen este parámetro.

Un estudio previo reportó un aumento de 5.12 % en el volumen plasmático en caballos de resistencia que compitieron en una carrera de 80 km, hidratados con 30 L de una solución con cloruro de sodio y cloruro de potasio, mientras que, en caballos hidratados (con 10 L de



la misma solución), se observó una disminución en el volumen plasmático de -2.34 %<sup>(21)</sup>. En este estudio, el cambio en el volumen plasmático fue del -4.65 %, lo que se esperaba, ya que los caballos no se hidrataron hasta el final de la prueba de ejercicio y se completó el muestreo. Las fuerzas de Starling explican estos hallazgos basándose en los cambios en las presiones hidrostática y oncótica en los compartimentos vascular e intersticial. Durante la actividad física, se produce una redistribución del gasto cardíaco. El flujo sanguíneo al sistema musculoesquelético activo y al tejido de la piel aumenta, y el aumento de la presión hidrostática capilar favorece el paso de agua e incluso proteínas al compartimento intersticial. Estos eventos explican cómo el movimiento de fluidos afecta el volumen plasmático durante el ejercicio<sup>(19)</sup>.

El leucograma obtenido de los animales en el presente estudio fue significativamente diferente cuando se compararon los valores obtenidos en las etapas de reposo y recuperación. Los leucocitos muestran alteraciones transitorias en respuesta al aumento del tono simpático. Cuando se almacena con glóbulos rojos en el bazo, la contracción esplénica puede conducir a un aumento en el recuento de aproximadamente un 30 %<sup>(15)</sup>. Sin embargo, su aumento no es un indicador de condición física, sino que es la relación neutrófilos:linfocitos (10:1) con un desplazamiento hacia la izquierda, es un signo de agotamiento, estrés o sobreentrenamiento. En los caballos del presente estudio, se encontraron bandas en tres de los animales, sin cambios en la relación neutrófilos:linfocitos. No se consideró un hallazgo patológico, ya que los valores estaban dentro del rango de referencia, y no se acompañó de otros cambios en el leucograma o en el examen clínico. Además, valores en torno al 50 % del total de neutrófilos se secuestran en los lechos capilares del bazo y se conocen como pool marginal o reserva esplénica. Los neutrófilos marginados pueden ser movilizados bajo ciertas condiciones, incluyendo ejercicio, estrés, transporte y administración de corticosteroides exógenos o catecolaminas, causando variaciones en el leucograma<sup>(22)</sup>.

Dentro de los valores bioquímicos aquí analizados, se encontró que el fibrinógeno en algunos animales era notable. Debe tenerse en cuenta que el fibrinógeno es una proteína de fase aguda, considerada como un indicador no específico de inflamación<sup>(23)</sup>. Se presume que algunos de los animales en el presente estudio experimentaron algún proceso relacionado con la inflamación en curso que no se reflejó en el examen clínico, ni pudo estar relacionado con los valores de leucocitos. Se entiende que el aumento de fibrinógeno está relacionado con procesos inflamatorios de origen infeccioso o no infeccioso, por lo que la relación albúmina:globulina puede aclarar el origen de dicho aumento. Además, el fibrinógeno sintetizado en el hígado en respuesta a un proceso inflamatorio puede permanecer aumentado, incluso cuando las lesiones se resolvieron hace varios días, registrando un pico entre 5 y 7 d después de la lesión. Por lo tanto, el fibrinógeno es un indicador de inflamación con hemoconcentración ausente.

Los análisis de bioquímica sanguínea de los animales en el presente estudio demostraron que el esfuerzo impreso en la prueba es suficiente para aumentar la actividad bioquímica muscular. Es recomendable añadir una medición posrecuperación para comprobar si el restablecimiento del volumen sanguíneo altera la concentración de analitos relacionados o si estos permanecen elevados como indicadores de lesión muscular. El tiempo elegible posterior a la prueba para detectar daños subyacentes debe anticiparse con base en el analito. En caballos de carrera, se sabe que 3 d después de una competencia, algunos valores hemáticos y bioquímicos aún no han regresado a su rango de referencia<sup>(24)</sup>.

La creatinina tiende a aumentar durante el ejercicio, debido a un mayor uso de fosfocreatina y gluconeogénesis, y una disminución de la tasa de filtración glomerular<sup>(15)</sup>, siendo un indicador confiable del metabolismo muscular y la función renal. El mayor uso de fosfocreatina evidencia el trabajo de alta y máxima intensidad que los caballos de estudio experimentaron.

El NUS no mostró una tendencia específica. Esto se esperaba de este parámetro ya que el NUS es el resultado del ciclo de la urea y el metabolismo de los productos nitrogenados obtenidos de la dieta. Además, se puede reabsorber en el túbulo contorneado proximal en aproximadamente un 30 %, por lo tanto, no es un buen indicador de funcionalidad ni es un buen índice de metabolismo a observar después del ejercicio.

La CQ es la enzima encargada de hidrolizar la reacción que produce ADP y fosfocreatina a partir de ATP. Su aumento se asocia principalmente con un aumento de la permeabilidad celular debido a la acidosis o un aumento en el uso de ATP por parte del sistema musculoesquelético. El pico de su producción ocurre de 4 a 12 h después del evento que lo desencadena. Los animales en el presente estudio registraron un aumento en la concentración sanguínea de esta enzima; sin embargo, ningún animal registró un aumento relacionado con lesiones. No obstante, no se tomaron muestras durante el pico de liberación descrito, lo que limita la inferencia de esta enzima.

A pesar de estar presente en varios órganos, el AST se utiliza como un marcador de lesión celular en el hígado o el sistema musculoesquelético. Su aumento debe ser de 5 a 100 veces mayor que el valor de referencia para ser útil desde el punto de vista clínico<sup>(15)</sup>. Esto refuerza la premisa de que la prueba de ejercicio de campo aplicada a los animales del presente estudio no constituye una actividad nociva para el sistema musculoesquelético en caballos sanos sin entrenamiento previo.

El análisis bioquímico también permitió el reconocimiento de las fuentes de energía que los caballos utilizaron para este tipo de esfuerzo. Se observó una mayor movilización de glucosa y triglicéridos. Durante el ejercicio, la glucólisis y la lipólisis se activan para obtener energía

para la contracción muscular<sup>(15,25)</sup>, especialmente en condiciones aeróbicas, como ocurrió en el calentamiento y otras etapas de la prueba de ejercicio aquí utilizada.

Es recomendable incluir la cuantificación de bilirrubina para verificar la presencia de ruptura de eritrocitos debido a la fragilidad de la membrana que puede ocurrir debido a cambios en el pH sanguíneo derivados del ejercicio. De ahí la importancia de acompañar este análisis con la medición de la CHCM. En el presente estudio, no se midió la bilirrubina, sin embargo, la CHCM se mantuvo dentro del rango de referencia.

La actividad hormonal durante el ejercicio está relacionada con los requerimientos energéticos del cuerpo. La activación de respuestas endocrinas específicas es altamente dependiente de la intensidad y duración del ejercicio, que intentan preservar la vida del animal a través del uso de múltiples mecanismos metabólicos para proporcionar energía adicional para la contracción muscular<sup>(26)</sup>.

La glucogenólisis y la gluconeogénesis se activan durante el ejercicio, en parte, por la liberación de cortisol, hormona de crecimiento y catecolaminas<sup>(27)</sup>, mientras que la secreción de insulina disminuye por la liberación de catecolaminas durante el ejercicio<sup>(15)</sup>. En contraste, otros autores encontraron que el ejercicio no influye en la secreción de insulina<sup>(28)</sup>. De acuerdo con los resultados del presente estudio, se encontró que esta hormona estuvo elevada antes y después de la prueba de ejercicio de campo. Por lo tanto, no se deben descartar trastornos metabólicos en los animales de estudio, que tenían “sobrepeso” en el momento de la prueba, de acuerdo con la evaluación de la condición corporal (7/9 en promedio).

Los estímulos físicos y psicógenos asociados con el ejercicio inducen la síntesis y secreción de hormona adrenocorticotrópica (HACT),  $\beta$ -endorfinas y cortisol. Además, la vasopresina, liberada durante la actividad física, mejora la secreción de HACT. La medición del cortisol debe basarse en el ritmo circadiano y la raza, como se informó para los CPC<sup>(13)</sup>. En caballos sin atletismo adecuado, los niveles séricos elevados de cortisol afectan la función de los leucocitos<sup>(15)</sup>. Sin embargo, esta condición permanecerá mientras el ejercicio sea extenuante. Contrariamente a lo esperado, en el caso de los CPC de estudio, la concentración sérica de cortisol se mantuvo dentro de los intervalos de referencia, incluso después de la prueba de ejercicio, aunque con una concentración plasmática suficiente para explicar los efectos hiperglucémicos e hiperlipémicos observados.

Los futuros estudios sobre la medicina deportiva de los CPC deben proponer la identificación de los cambios fisiológicos desencadenados por el esfuerzo físico, y así determinar el punto de partida para la detección de patologías o como punto de comparación tras la aplicación de un entrenamiento prescrito.

## Conclusiones e implicaciones

El ejercicio de intensidad creciente realizado por los CPC en el presente estudio produjo pérdida de agua, como lo demuestra el cambio en el volumen plasmático, con la consiguiente hemoconcentración, y el ligero aumento tanto de creatinina como de NUS. Las diferencias significativas observadas en el leucograma y el fibrinógeno aparentemente se produjeron por factores individuales de algunos animales. Por lo tanto, no se puede concluir si la prueba de ejercicio produce realmente respuestas fisiológicas en este sentido. Además, se encontró evidencia de respuesta anticipada al estrés a partir del valor de cortisol, en ausencia de lesión muscular. Los CPC considerados en el estudio fueron sospechosos de síndrome metabólico equino, aunque no fueron diagnosticados por ello. Estos factores deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar las respuestas agudas y las adaptaciones derivadas del entrenamiento físico en caballos de esta raza.

### Agradecimientos

A Normandía Centro Equino y Mervequs por permitir la experimentación con sus animales y a la estrategia de sostenibilidad del Grupo de Investigación CENTAURO (Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia) y la Universidad CES (Medellín, Colombia) por el apoyo financiero.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

### Literatura citada:

1. Fraipont A, Van Erck E, Ramery E, Fortier G, Lekeux P, Art T. Assessing fitness in endurance horses. *Can Vet J* 2012;53(3):311-314.
2. De Mare L, Boshuizen B, Plancke L, De Meeus C, De Bruijn M, Delesall C. Standardized exercise tests in horses: current situation and future perspectives. *Vlaams Diergeneesk Tijdschr* 2017;86(2):63-72.
3. Lekeux P, Art T, Linden A, Desmecht D, Amory H. Heart rate, hematological and serum biochemical responses to show jumping. In: Persson SGB *et al.* ICEEP Publications: Equine exercise physiology 3. 1991:385-390.
4. Zobba R, Ardu M, Niccolini S, Cubeddu F, Dimauro C, Bonelli P, *et al.* Physical, hematological, and biochemical responses to acute intense exercise in polo horses. *J Equine Vet Sci* 2011;31(9):542-548.

5. Masini A, Tedeschi D, Baragli P, Sighieri PC, Lubas G. Exercise-induced intravascular haemolysis in standardbred horses. *Comp Clin Path* 2003;12:45-48.
6. Holdridge LR, Grenke WC, Hatheway WH, Liang T, Tosi JA. *Forest environments in tropical life zones: a pilot study*, Pergamon Press; 1971.
7. Henneke DR, Potter GD, Kreider JL, Yeates BF. Relationship between condition score, physical measurements and body fat percentage in mares. *Equine Vet J* 1983;15(4):371-372.
8. Arias MP, Maya JS, Arango L. Efectos de dos protocolos de entrenamiento sobre el lactato sanguíneo en caballos de paso fino. *Rev Med Vet Zoot* 2019;66(3):219-230.
9. Van Beaumont W, Strand JC, Petrofsky JS, Hipskind SG, Greenleaf JE. Changes in total plasma content of electrolytes and proteins with maximal exercise. *J Appl Physiol* 1973;34(1):102-106.
10. Castillo CA, Tobón M, Cano CA, Mira J, Suárez AP, Vásquez EM. Valores hematológicos en caballos criollos colombianos del valle de Aburrá. In: *Corporación Universitaria Lasallista editores. Perspectivas y avances de investigación de la serie Lasallista investigación y ciencia*. 1<sup>st</sup> ed. Caldas, Antioquia, CO: Delasalle; 2010:245-262.
11. Kaneko J, Harvey J, Bruss M. *Clinical biochemistry of domestic animals*. 6<sup>th</sup> ed. David, USA: Academic Press; 2008.
12. Southwood L. *Practical Guide to Equine Colic*. 1<sup>st</sup> ed. Iowa; USA: Wiley-Blackwell; 2013.
13. Zuluaga AM, Martínez JR. Serum cortisol concentration in the Colombian creole horse. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2017;30(3):231-238.
14. Rosas M. Diagnóstico de síndrome metabólico equino y su asociación con signos clínicos de laminitis en el caballo criollo colombiano en la sabana de bogotá [master thesis]. Bogotá, DC: Universidad de la Salle; 2017.
15. Boffi F. *Fisiología del ejercicio en equinos*, 1<sup>st</sup> ed. Buenos Aires, Argentina: Intermédica; 2007.
16. Valette JP, Barrey E, Wolter R. Multivariate analysis of exercise parameters measured during an incremental treadmill test. In: *Persson SGB et al. ICEEP Publications: Equine exercise physiology 3*. 1991:337-342.

17. Mesa-Rojas MC. Análisis del comportamiento de los parámetros hematológicos en caballos que compiten en carreras de enduro a 2640 M.S.N.M. [undergraduate thesis]. Bogotá, DC: Universidad de La Salle; 2016.
18. Sawka MN, Convertino VA, Eichner ER, Schnieder SM, Young AJ. Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(2):332-348.
19. Sanchis-Gomar F, Lippi G. Physical activity - an important preanalytical variable. *Biochem Med* 2014;24(1):68-79.
20. Mora-Rodríguez R, Fernández VE, Hamouti N, Ortega JF. Skeletal muscle water and electrolytes following prolonged dehydrating exercise: Fluid losses in exercising skeletal muscle. *Scand J Med Sci Sports* 2014;25(3):274-282.
21. Sampieri F, Schott HC, Hinchcliff KW, Gero RJ, Cunilleras JE. Effects of oral electrolyte supplementation on endurance horses competing in 80 km rides. *Equine Vet J* 2006;38(36):19-26.
22. McKenzie EV. Hematology and serum biochemistry of the equine athlete. In: Kenneth H, Andris K, Raymond G editors. *Equine sports medicine and surgery*. 2nd ed. USA: Elsevier Health Science; 2014:921-929.
23. Polla BS, Cossarizza A. Stress proteins in inflammation. *EXS* 1996;77:375-391.
24. Bos A, Compagnie E, Lindner A. Effect of racing on blood variables in Standardbred horses. *Vet Clin Pathol* 2018;47(34):625-628.
25. Bayly WM, Allen JR, Gollnick PD. Equine exercise physiology I: energy production and substrate utilization. *Equine Vet Sci* 1984;4(3):114-118.
26. Hinchcliff KW, Geor RJ, Kaneps AJ. *Equine exercise physiology: the science of exercise in the athletic horse*, Elsevier Saunders; 2008.
27. López-Chicharro JL, Fernández-Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*, Ed. Panamericana, 3ª ed. Buenos Aires, Paris. 2006.
28. Noble GK, Sillence MN. Diurnal rhythm and effects of feeding, exercise and recombinant equine growth hormone on serum insulin concentrations in the horse. *Equine Vet J* 2013;45(6):745-750.