



## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**MÁSTER EN MEDICINA, SANIDAD Y MEJORA ANIMAL**

### **Influencia del aire y de la inclinación del terreno en la actividad electromiográfica de algunos músculos del cuello del caballo.**

Córdoba, Julio 2013

María Santisteban Tovar

Vº Bº Directores

Dr. Alfonso Martínez Galisteo  
Dpt. Anatomía y Anatomía patológica  
comparadas

Dra. Carolina Plaza Rodríguez  
Dpt. Anatomía y Anatomía patológica  
comparadas

Facultad de veterinaria. Universidad de Córdoba

## ÍNDICE

Resumen.....	Pág. 3
Introducción .....	Pág. 4
Material y métodos.....	Pág. 8
Resultados.....	Pág. 10
Análisis descriptivo.....	Pág. 10
Análisis cuantitativo.....	Pág. 15
Discusión.....	Pág. 20
Análisis descriptivo.....	Pág. 20
Análisis cuantitativo.....	Pág. 21
Conclusiones.....	Pág. 23
Bibliografía.....	Pág. 24
Summary.....	Pág. 27

## RESUMEN

**Razones para realizar el estudio:** el conocimiento de la actividad eléctrica de los músculos del cuello es una herramienta importante a la hora de desarrollar un programa de entrenamiento apropiado, elaborar unas pautas adecuadas de fisioterapia y rehabilitación, etc. Algunos músculos han sido ampliamente estudiados mientras que de otros se desconoce su actividad.

**Objetivos:** Describir y cuantificar la actividad electromiográfica de los músculos esplenio, romboides cervical, trapecio cervical y braquiocefálico en diferentes condiciones locomotoras sobre el tapiz rodante.

**Material y Métodos:** Se registró la actividad eléctrica de los músculos esplenio, romboides cervical, trapecio cervical y braquiocefálico de cinco caballos sanos al paso, trote y galope en el tapiz rodante con inclinaciones de la pendiente del 0%, 3% y 6%, realizando un estudio descriptivo de la actividad a lo largo del tranco, y otro cuantitativo determinando la tasa de incremento de actividad entre las diferentes condiciones.

**Conclusiones:** Al paso, el músculo esplenio y el músculo romboides del cuello presentan actividad bifásica con un pico de actividad en la fase de apoyo y otro en la fase de vuelo del miembro ipsilateral; mientras que los músculos trapecio del cuello y braquiocefálico presentan actividad monofásica. Al trote, los cuatro músculos muestran actividad bifásica con un pico durante la fase de apoyo y otro durante la fase de vuelo del miembro ipsilateral. Al galope, todos los músculos estudiados tienen actividad monofásica. Tanto el músculo esplenio como los músculos romboides cervical y trapecio cervical presentan el pico de actividad durante la fase de vuelo mientras que en el músculo braquiocefálico lo hace durante la fase de apoyo. Por lo general, el incremento de la pendiente, 0%-3%-6%, junto con el cambio de aire, paso, trote y galope, provoca un aumento significativo en la actividad de la mayoría de los músculos estudiados. Dicho aumento varía entre los diferentes músculos siendo el músculo braquiocefálico el que muestra un mayor incremento (x4,81) seguido de los músculos esplenio (x3,33), trapecio del cuello (x2,38) y romboides del cuello (x2,30).

**Palabras clave:** caballo, electromiografía, cuello, aire, inclinación.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se han venido desarrollando diferentes técnicas de análisis de la locomoción, tanto cualitativas como cuantitativas, encaminadas a establecer unos parámetros objetivos propios que sirvan de referencia en las diferentes disciplinas ecuestres, así como en la inclusión de animales en los distintos libros genealógicos de raza, e incluso aplicables en el diagnóstico de diversas patologías neuromusculares, cojeras, etc.(Clayton y Schamhardt, 2001).

Desde que Persson (1967) usó por primera vez un tapiz rodante en caballos para investigación, este instrumento ha facilitado los mayores avances en la aproximación multidisciplinar a la medicina deportiva equina, permitiendo la integración de datos biomecánicos, fisiológicos y bioquímicos tomados bajo condiciones controladas de temperatura, humedad e intensidad de ejercicio (Clayton, 1989); además, permite el uso de sofisticados equipos de medida que analizan la locomoción equina con gran exactitud (Buchner *et al.*, 1994b).

Las técnicas actuales para la evaluación de la locomoción equina se centran principalmente en el análisis cinemático, análisis cinético, modelado por ordenador y electromiografía (Clayton y Schamhardt, 2001). Las técnicas de análisis biocinemático son unas de las más utilizadas en el análisis biomecánico y consisten en la realización de medidas temporales, lineales y angulares que describen los movimientos de los segmentos corporales y los ángulos de las articulaciones. La electromiografía, sin embargo, se centra en los fenómenos que generan el movimiento (cinética) describiendo la actividad muscular (Back y Clayton, 2001)

La electromiografía es una técnica experimental basada en el registro y análisis de la señal eléctrica muscular provocada por las variaciones fisiológicas del estado de las membranas de las fibras musculares. A diferencia de la electromiografía neurológica, en la que se analiza la respuesta muscular a un estímulo externo en condiciones estáticas, la electromiografía kinesiológica se puede considerar una importante herramienta de evaluación aplicable en investigación, entrenamiento deportivo, rehabilitación y fisioterapia (Konrad, 2005).

La excitabilidad de las fibras musculares a través del control neuronal puede explicarse como un modelo de membrana semi-permeable que describe las propiedades eléctricas del sarcolema. El equilibrio iónico entre los espacios intra y extracelular de la célula muscular forma un potencial de reposo en la membrana de la fibra muscular (aproximadamente de - 80 a -90 mV cuando no hay contracción). Esta diferencia de potencial, mantenida por la bomba de iones, resulta en una carga intracelular negativa en comparación con la superficie externa. Con la llegada del impulso nervioso se produce una variación en las características de difusión de la membrana que permite la entrada de iones  $\text{Na}^+$  al espacio intracelular que causa la despolarización de la célula. Cuando se excede el umbral por el influjo de iones  $\text{Na}^+$ , la despolarización de la membrana provoca un potencial de acción que varía rápidamente de -80 a + 30 mV. Esto consiste en una ráfaga eléctrica monopolar que inmediatamente es restaurada por la fase de repolarización la cual es seguida por una fase de hiperpolarización de la membrana. Desde la placa motora terminal, el potencial de acción se difunde a lo largo de la fibra muscular en ambas direcciones y hacia el interior de la misma mediante un sistema tubular. Esta excitación comienza con la liberación de iones de calcio al espacio intracelular, desencadenando una serie de procesos químicos que provocan el acortamiento de los elementos contráctiles de la célula muscular (Konrad, 2005).

La señal electromiográfica se basa en el registro de la combinación de los potenciales de acción en la membrana de la fibra muscular resultantes de los procesos de despolarización y repolarización ya descritos. El ciclo de despolarización-repolarización forma una onda de despolarización o dipolo eléctrico que viaja por la superficie de una fibra muscular a una velocidad de 2-6 m/s. Esta señal se registra mediante un par de electrodos colocados en configuración bipolar. Éstos pueden ser electrodos de superficie, ubicados sobre la piel adecuadamente preparada, o en el interior del vientre muscular mediante electrodos de aguja (Konrad, 2005).

La electromiografía de superficie (sEMG) es una herramienta relativamente nueva que se emplea para investigar la función muscular en los caballos, y ha sido ampliamente empleada en investigaciones en el músculo equino (Zsoldos *et al.* 2010).

El caballo tiene un cuello largo, muy musculoso con una base esquelética y ligamentosa potente, y que se emplea para controlar y equilibrar la cabeza y los cuartos delanteros durante la locomoción. En 1991, Tokuriki y Aoki apuntaron la importancia de analizar la actividad electromiográfica de los músculos del cuello durante la locomoción equina para entender la función del cuello durante la misma.

La actividad EMG de algunos músculos del cuello ha sido investigada por Tokuriki y Aoki (1991); Tokuriki *et al.* (1999), Robert *et al.* (2001a,b; 2002), Hodson-Tole (2006); Zsoldos *et al.* (2010) y Plaza (2011), entre otros.

Mientras que el componente esquelético del cuello, junto con el cordón de la nuca ofrecen un soporte pasivo para el peso de la cabeza y el cuello, se ha demostrado que por sí solos no son capaces de proporcionar el soporte necesario durante la locomoción (Gellman y Bertram, 2002b), por lo que se hace imprescindible una activación muscular, cuyo componente más superficial puede ser analizado por electromiografía de superficie.

Funcionalmente el **músculo esplenio cervical** toma su origen de la fascia espinotransversa, ligamento de la nuca y apófisis espinosas de las vértebras torácicas, para insertarse en las apófisis transversas cervicales 3<sup>a</sup> a 5<sup>a</sup> y participar en la elevación y extensión de la cabeza y el cuello (König y Liebich, 2004). Cuando se contrae de manera unilateral tiene una acción de rotación y flexión lateral del cuello (Denoux y Pailloux, 1996). Al paso, el músculo esplenio es activo desde la fase temprana a la fase tardía del apoyo de cada miembro; al trote la actividad electromiográfica ocurre inmediatamente antes o después del contacto de cada miembro con el suelo y finaliza aproximadamente hacia la mitad de la fase de apoyo, siendo la actividad del músculo durante la fase de apoyo del miembro contralateral de mayor intensidad que durante la del miembro ipsilateral (Tokuriki y Aoki, 1991).

Al igual que Tokuriki y Aoki (1991) con electromiografía de aguja, Robert *et al.* (1998) mediante electromiografía de superficie determinaron para el músculo esplenio la presencia de dos picos de actividad electromiográfica durante el tranco en los aires simétricos; y un pico para el galope.

Tokuriki y Aoki (1999) analizaron la actividad del músculo esplenio en diferentes condiciones locomotoras, mostrando que durante la natación, la actividad electromiográfica tiende a ser continua dentro del pico de actividad de un ciclo mientras que durante al paso en suelo o al paso y trote en el treadmill acuático tiende a ser intermitente. Por su parte Zsoldos *et al.* (2011) describieron cambios asociados a la edad en la actividad muscular del esplenio. Analizaron la actividad electromiográfica de dicho músculo durante la realización de ejercicios cervicales en caballos adultos y de

edad avanzada; y, basándose en los resultados del estudio anterior, la relacionaron con el patrón muscular ecográfico del mismo. También se han realizado estudios de la actividad electromiográfica del músculo esplenio durante ejercicios de salto (Giovagnoli *et al.*, 1998; Denoix y Audigié, 2001) que lo muestran como un músculo con una importante actividad antigravitacional, principalmente con efecto sobre la cabeza.

Robert *et al.* (2001) fueron los primeros en estudiar los efectos del aumento de la pendiente y la velocidad en la actividad muscular del esplenio. El aumento en la velocidad fue asociado a un adelanto e incremento de la actividad muscular; la actividad del músculo esplenio aumenta con los aires más rápidos. Es posible que cierta rigidez cervical sea necesaria que oponga resistencia al descenso de la cabeza en las primeras fases del tranco con el aumento de la velocidad. Al aumentar la inclinación de la pendiente también hay un incremento de la actividad electromiográfica. Este hecho fue también apuntado por Plaza (2011) que detectó un incremento de 3,7 veces su actividad entre el paso en llano y el galope al 6% de inclinación.

Zsoldos *et al.* (2010) analizaron la actividad del músculo esplenio con variaciones en el ángulo cervico-cefálico y oscilaciones laterales de la cabeza. Al igual que Robert *et al.* (2002) encontraron grandes diferencias en la posición del cuello y la cabeza durante el paso y el trote lo que se refleja en una diferencia en los valores electromiográficos de los mismos.

El **músculo romboides cervical** se origina en las apófisis espinosas de las vértebras cervicales, ventralmente al funículo de la nuca, a la altura de la segunda vértebra cervical y se une con el músculo trapecio un poco antes de su inserción, en la cara medial del cartílago de la escápula. Está relacionado funcionalmente con la fijación y anteversión del hombro así como con la elevación del miembro y el cuello (König y Liebich, 2004). No hemos encontrado datos en la literatura sobre la actividad electromiográfica de este músculo.

Anatómicamente el **músculo trapecio cervical** se origina en el ligamento nucal y se inserta en el borde libre de la espina de la escápula. Se trata de un músculo delgado y plano. Su función consiste en la fijación del hombro y en la anteversión, elevación y abducción del miembro (König y Liebich, 2004).

La actividad del músculo trapecio cervical fue estudiada por Robert *et al.* (1998) mediante electromiografía de superficie en condiciones rutinarias determinando una actividad antagónica entre el músculo del lado izquierdo y el derecho. Al paso y trote presenta dos picos de actividad describiéndose solo uno al galope.

Desde un punto de vista anatómico, el **músculo braquiocefálico** está dividido en dos porciones por la intersección clavicular. Una porción distal (músculo cleidobraquial) alcanza al húmero, y una porción proximal, se extiende hasta la apófisis mastoidea del temporal. Se le asignan, por contracción bilateral flexión ventral del cuello y la cabeza, con fijación del miembro torácico, y por contracción unilateral desplazamiento lateral de la cabeza, cuello y fascia braquial (König y Liebich, 2004). Este músculo tiene una clara y bien definida función protractora (avance craneal con el miembro correspondiente en elevación).

Aunque el músculo braquiocefálico ha sido estudiado mediante electromiografía de superficie por Denoix y Audigié (2001) y Robert *et al.* (1998), también lo ha sido mediante electromiografía de aguja por Tokuriki y Aoki (1991) y Tokuriki *et al.* (1999), ambas bajo diferentes condiciones locomotoras. Al paso tiene dos periodos cortos de actividad antes y después de que el miembro ipsilateral toque el suelo. Al trote es activo

durante la fase tardía del apoyo del miembro ipsilateral y durante la fase de vuelo para protraer el miembro ipsilateral, siendo inactivo durante la mayor parte de la fase de apoyo del miembro torácico ipsilateral para evitar la limitación de su propulsión. Al galope es especialmente activo durante la fase de vuelo del “leading forelimb” (miembro torácico adelantado)(Denoix y Audigié, 2001).

Los **objetivos** de este estudio son:

Determinar la actividad muscular de cuatro músculos del cuello, realizando en primer lugar un análisis descriptivo de la misma en los tres aires básicos y en segundo un análisis cuantitativo del cambio inducido por los cambios de aire y por los incrementos de la pendiente.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### - Sujetos

Se utilizaron 5 caballos sanos, adultos de entre 8 y 14 años de edad, 3 machos, uno PRE, y 2 hembras, una PRÁ, siendo el resto cruzados, con un peso de  $420 \pm 70$  kg. Todos ellos del Centro de Medicina Deportiva Equina de la Universidad de Córdoba.

Los caballos fueron sometidos a un periodo de habituación al tapiz rodante (Mustang 2200, Kagra Inc. Suiza) durante los dos meses previos al registro en los cuales fueron entrenados para ir a paso, trote y galope a diferentes velocidades e inclinaciones. Uno de los individuos presentó una leve cojera al comienzo de este periodo, pero remitió a los pocos días.

### - Registro electromiográfico

Se procedió a eliminar el pelo de ambas tablas del cuello mediante una peladora eléctrica y a continuación se rasuró la zona de colocación de los electrodos con una cuchilla. Se limpiaron bien las zonas rasuradas con agua jabonosa y alcohol y se dejó secar bien.

Se emplearon electrodos de superficie autoadhesivos de Ag/AgCl pregelificados de 5 cm de diámetro, con una superficie de registro de 1 cm de diámetro (Lessa<sup>®</sup> papeles registrales S.A.), en posición bipolar, separados 3 cm y siguiendo la dirección de las fibras musculares. Así la situación concreta de los mismos para los diferentes músculos fue:

- Músculo Esplenio: 10 cm bajo el borde dorsal del cuello y 12 cm caudalmente al borde caudal del ala del atlas.
- Músculo Romboides cervical: zona caudal del tercio medio del cuello, 5 cm bajo el borde dorsal.
- Músculo Trapecio cervical: zona caudal del cuello, 10 cm bajo el borde dorsal.
- Músculo Braquiocefálico: dorsal al surco yugular en la zona media del vientre muscular (porción cleidomastoidea).

También se utilizó un electrodo de referencia sobre el ala del atlas del lado izquierdo.

Se realizaron registros simultáneos de los lados izquierdo y derecho, asociándose en el análisis a las fases de apoyo y vuelo de los miembros correspondientes.

Al tratarse de un ejercicio con velocidades relativamente elevadas y con el fin de disminuir en lo posible el movimiento de los cables situados desde los electrodos al transmisor (alojado en el cinchuelo) y así evitar interferencias en la señal, éstos fueron fijados a la piel mediante tela adhesiva.

Para el registro electromiográfico y procesado de datos se utilizó un sistema de electromiografía de superficie por telemetría TELEMIO 2400T<sup>®</sup> (Noraxon U.S.A. Inc. 13430 N. Scottsdale Rd. Suite 104. Scottsdale, AZ 85254). Dicho sistema consta de un transmisor (ubicado en el cinchuelo) en conexión "wireless" con el receptor situado en un ordenador portátil. En el transmisor van alojados también los cables que conectan con los electrodos, uno por cada par, y que incluyen un preamplificador (x500) y un filtro por hardware tanto de paso-alta a 10Hz como de paso-baja Butterford/Bessels a



500Hz. Una cámara de video (SONY Handycam DCR-HC23) es acoplada al sistema para realiza una grabación sincronizada con el registro electromiográfico.

Los caballos se movieron en el tapiz rodante al paso, al trote y al galope a una velocidad cómoda para cada uno de ellos en cada aire. Los registros se realizaron a estos aires en pendientes del 0%, 3% y 6% en una sesión única por caballo. Las señales electromiográficas fueron procesadas con un software específico (Noraxon Myoresearch® XP). Los datos en bruto fueron procesados aplicando un rectificado, filtrado (Band pass 80-250 Hz) y suavizado (Método de las raíces mínimas cuadradas con ventana de 100 ms).

Con estos datos se realizaron dos análisis diferenciados, uno descriptivo y otro cuantitativo.

Para en análisis descriptivo, se tomaron 10 trancos consecutivos de cada aire y pendiente, tanto para el miembro izquierdo como el derecho, para determinar la actividad a lo largo del tranco. Para determinar el inicio y fin de cada tranco se emplearon las secuencias de video, determinando visualmente una fase de apoyo y otra de vuelo del miembro torácico del lado correspondiente. Consideramos la fase de apoyo desde que el miembro toca la cinta, hasta que inicia la elevación, instante en que se inicia la de vuelo, que finaliza en el fotograma anterior al siguiente apoyo. Estas fases fueron normalizadas al 100 de la duración del tranco en cada caso. Se determinó la actividad electromiográfica media ( $\mu\text{V}$ ), el área bajo la curva ( $\mu\text{V}\cdot\%$ ), la posición del pico máximo (% de la fase del tranco), y los valores máximo ( $\mu\text{V}$ ) y mínimo ( $\mu\text{V}$ ) en cada una de las dos fases. Ya que el galope es un aire asimétrico, para su análisis se tomaron únicamente los músculos del lado correspondiente a la mano a la que galopa el caballo, obteniéndose además los diagramas actividad-tiempo (normalizado a la duración el tranco) para cada músculo y condición locomotora.

Para el análisis cuantitativo se determinó la actividad muscular media ( $\mu\text{V}$ ) durante un periodo de actividad de 30 segundos en cada una de las nueve condiciones locomotoras y se calculó la tasa de incremento de actividad de cada condición con el resto y se compararon.

#### **- Análisis estadístico**

Para obtener los estadísticos básicos y los diagramas de barras se empleó el software SPSS® para Windows® (v. 15), y para comparar la actividad entre las distintas condiciones medidas se utilizaron pruebas t de Student de muestras pareadas, realizadas en la hoja de cálculo Excel (Microsoft Office® para Windows®).

## RESULTADOS

Los caballos se adaptaron bien al movimiento sobre el tapiz rodante. Las velocidades medias al paso, trote y galope fueron de  $1.6\pm 0.1$  m/s  $3.8\pm 0.3$  m/s y  $6.4\pm 0.4$  m/s.

### Análisis descriptivo

La duración del tranco ha sido normalizada y dividida en fase de apoyo y fase de vuelo. Así y con una inclinación del tapiz rodante del 0%, para el paso el 58% es fase de apoyo y el 42% fase de vuelo; para el trote el 34% es fase de apoyo y el 66% fase de vuelo; y para el galope el 28% es fase de apoyo y el 72% fase de vuelo.

La tabla 1 y figura 1 muestran la actividad eléctrica del músculo esplenio en las fases de apoyo y vuelo en un promedio de 10 trancos para cada aire. El músculo esplenio al paso y al trote presenta una actividad bifásica observándose un pico en la primera parte de la fase de apoyo del miembro torácico de cada lado y otro durante la primera mitad de la fase de vuelo del miembro torácico correspondiente. Al galope la actividad es monofásica presentando el pico de actividad en la segunda mitad de la fase de vuelo.

La tabla 2 y figura 2 muestran la actividad eléctrica del músculo romboides cervical en las fases de apoyo y vuelo en un promedio de 10 trancos para cada aire. Este músculo muestra al paso dos picos muy suaves de actividad coincidiendo uno con el final de la fase de apoyo y el otro con el comienzo de la fase de vuelo. Al trote presenta actividad bifásica con un pico de actividad al principio de la fase de apoyo coincidiendo con el contacto del miembro con el suelo y otro durante la fase de vuelo. Al galope presenta un solo pico significativo de actividad durante la fase de vuelo manteniendo el tono de actividad durante la fase de apoyo.

La tabla 3 y figura 3 muestran la actividad eléctrica del músculo trapecio cervical en las fases de apoyo y vuelo en un promedio de 10 trancos para cada aire. El músculo trapecio cervical muestra actividad monofásica al paso; el pico de actividad comienza al final de la fase de apoyo y prosigue durante la primera parte de la fase de vuelo. Esta actividad se corresponde con el comienzo del levantamiento del miembro antes de la fase de vuelo. Al trote presenta actividad bifásica. Al galope se observa un solo pico de actividad hacia la mitad de la fase de vuelo y que se prolonga hasta el final de la misma. En general el músculo trapecio presenta mayor actividad durante la fase de vuelo que durante la fase de apoyo. Es posible que gran parte de la actividad del trapecio cervical sea debida a la del romboides ya que el trapecio cervical es un músculo muy delgado que se encuentra en gran parte sobre el músculo romboides (König y Liebich, 2004).

La tabla y figura 4 muestran la actividad eléctrica del músculo braquiocefálico en las fases de apoyo y vuelo en un promedio de 10 trancos para cada aire. Al paso el músculo braquiocefálico presenta una escasa actividad aunque se puede observar un pico al final de la fase de apoyo que se corresponde con el comienzo del levantamiento del miembro del suelo. Al trote tiene actividad bifásica coincidiendo el primer pico de actividad con el comienzo de la protracción del miembro y encontrándose el segundo hacia la mitad de la fase de vuelo. Al galope presenta un aumento de actividad durante la fase de apoyo que tiene su inicio al final de la fase de vuelo del tranco anterior.

Tabla 1: Actividad eléctrica del músculo ESPLenio (sd) de un grupo de 5 caballos en movimiento sobre el tapiz rodante al paso, al trote y galope (10 trancos promediados en cada aire), descompuestos en las fases de apoyo y vuelo respectivas.

ESPLENIO	PASO		TROTE		GALOPE	
	apoyo	vuelo	apoyo	vuelo	apoyo	vuelo
Media ( $\mu\text{V}$ )	<b>41,6</b> (15,4)	<b>39,5</b> (12,8)	<b>97,3</b> (41,9)	<b>92,4</b> (37,0)	<b>121,2</b> (61,9)	<b>119,9</b> (43,3)
Máximo ( $\mu\text{V}$ )	<b>66,2</b> (22,0)	<b>63,7</b> (20,9)	<b>171,9</b> (75,1)	<b>170,9</b> (71,5)	<b>224,6</b> (119,6)	<b>256,7</b> (114,6)
Mínimo ( $\mu\text{V}$ )	<b>20,2</b> (9,2)	<b>16,2</b> (8,3)	<b>34,6</b> (25,4)	<b>36,0</b> (20,8)	<b>51,0</b> (25,4)	<b>41,3</b> (14,2)
Tiempo pico (%)	<b>17,8</b> (3,9)	<b>7,7</b> (4,9)	<b>4,7</b> (3,4)	<b>36,8</b> (26,2)	<b>3,6</b> (8,0)	<b>65,6</b> (7,7)
Área ( $\mu\text{V}\cdot\%$ )	<b>2376</b> (860)	<b>1688</b> (576)	<b>3599</b> (1665)	<b>5793</b> (2274)	<b>3677</b> (2396)	<b>8668</b> (3194)

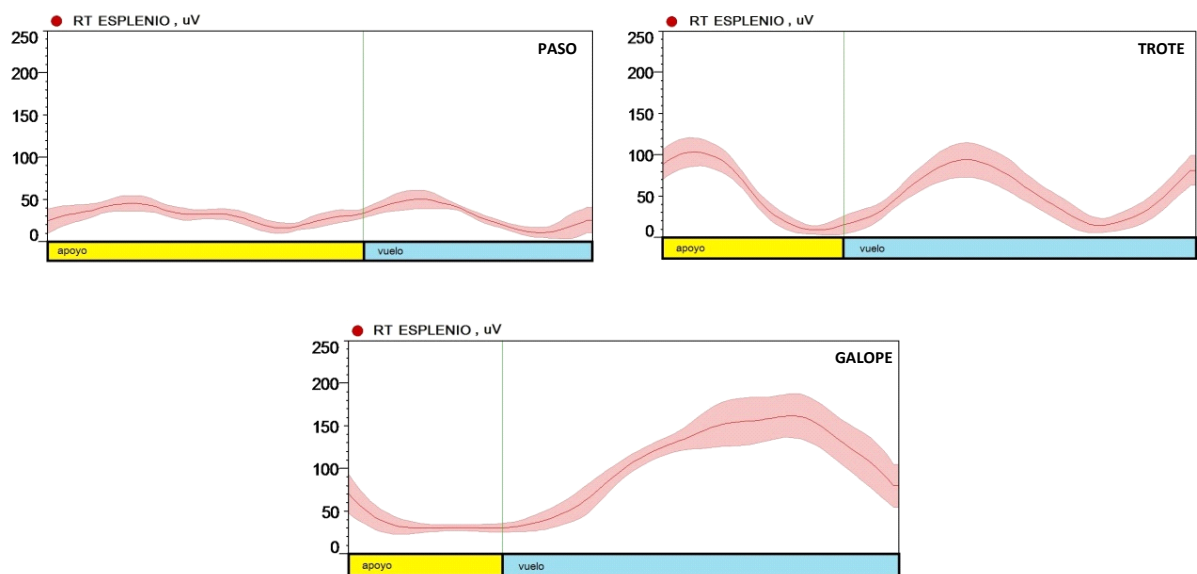


Figura 1: Diagramas ángulo-tiempo de la actividad electromiográfica (Media  $\pm$ sd) del músculo esplenio de un caballo tomado al azar. La duración del tranco está normalizada; en amarillo aparece la fase de apoyo, en azul la fase de vuelo.

Tabla 2: Actividad eléctrica del músculo ROMBOIDES CERVICAL (sd) de un grupo de 5 caballos en movimiento sobre el tapiz rodante al paso, al trote y galope (10 trancos promediados en cada aire), descompuestos en las fases de apoyo y vuelo respectivas.

ROMBOIDES	PASO		TROTE		GALOPE	
	apoyo	vuelo	apoyo	vuelo	apoyo	vuelo
Media ( $\mu\text{V}$ )	<b>29,0</b> (11,0)	<b>31,9</b> (10,9)	<b>47,9</b> (22,3)	<b>53,8</b> (26,8)	<b>63,9</b> (32,2)	<b>55,1</b> (13,6)
Máximo ( $\mu\text{V}$ )	<b>52,0</b> (20,7)	<b>46,9</b> (15,0)	<b>86,8</b> (36,6)	<b>93,6</b> (42,8)	<b>108,4</b> (76,7)	<b>126,3</b> (62,3)
Mínimo ( $\mu\text{V}$ )	<b>8,6</b> (4,2)	<b>15,0</b> (6,6)	<b>14,9</b> (12,5)	<b>16,2</b> (12,8)	<b>18,8</b> (11,0)	<b>11,0</b> (5,3)
Tiempo pico (%)	<b>21,0</b> (14,0)	<b>10,2</b> (5,0)	<b>3,6</b> (2,8)	<b>23,2</b> (17,5)	<b>3,8</b> (7,5)	<b>61,8</b> (12,8)
Área ( $\mu\text{V}\cdot\%$ )	<b>1645,0</b> (583,4)	<b>1383,5</b> (542,5)	<b>1774,2</b> (921,5)	<b>3398,3</b> (1692,5)	<b>1924,6</b> (1122,4)	<b>3996,1</b> (1075,8)

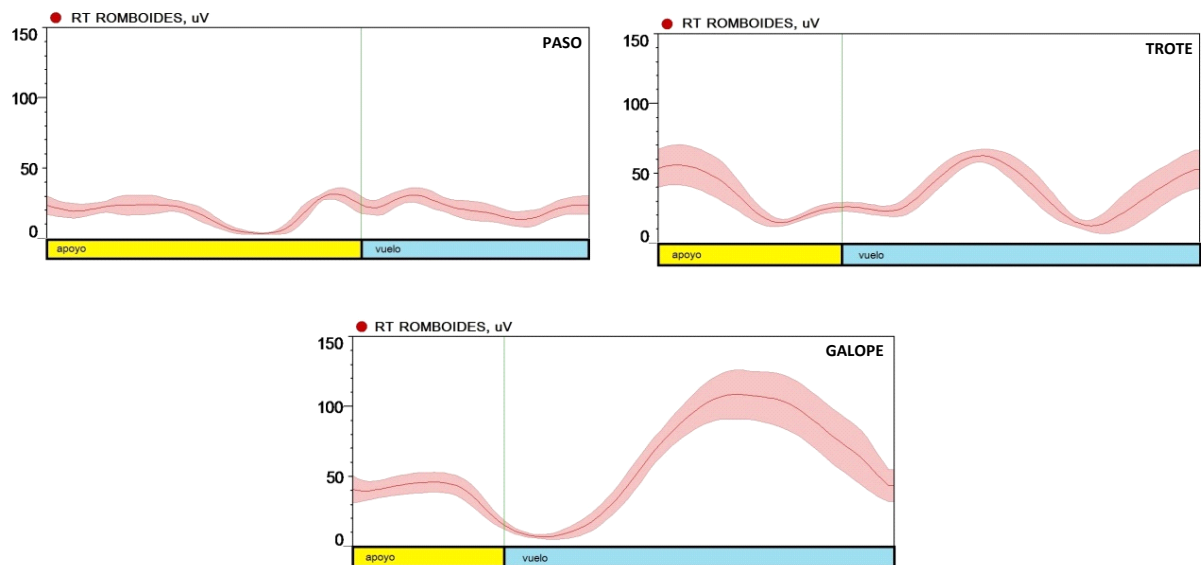


Figura 2: Diagramas ángulo-tiempo de la actividad electromiográfica (Media  $\pm$ sd) del músculo romboides cervical de un caballo tomado al azar. La duración del tranco está normalizada; en amarillo aparece la fase de apoyo, en azul la fase de vuelo.

Tabla 3: Actividad eléctrica del músculo TRAPECIO CERVICAL (sd) de un grupo de 5 caballos en movimiento sobre el tapiz rodante al paso, al trote y galope (10 trancos promediados en cada aire), descompuestos en las fases de apoyo y vuelo respectivas.

TRAPECIO	PASO		TROTE		GALOPE	
	apoyo	vuelo	apoyo	vuelo	apoyo	vuelo
Media ( $\mu\text{V}$ )	<b>32,6</b> (12,9)	<b>30,5</b> (10,6)	<b>51,7</b> (10,4)	<b>53,7</b> (18,7)	<b>62,3</b> (18,8)	<b>77,0</b> (21,6)
Máximo ( $\mu\text{V}$ )	<b>65,1</b> (26,9)	<b>44,2</b> (10,4)	<b>80,2</b> (15,9)	<b>91,9</b> (34,8)	<b>91,6</b> (31,1)	<b>137,0</b> (41,7)
Mínimo ( $\mu\text{V}$ )	<b>10,1</b> (4,5)	<b>19,2</b> (8,7)	<b>28,0</b> (11,8)	<b>20,6</b> (10,6)	<b>41,9</b> (19,7)	<b>19,6</b> (8,9)
Tiempo pico (%)	<b>51,5</b> (3,0)	<b>7,1</b> (14,2)	<b>7,6</b> (13,7)	<b>34,4</b> (22,1)	<b>6,3</b> (12,5)	<b>54,3</b> (11,4)
Área ( $\mu\text{V}\cdot\%$ )	<b>1878,4</b> (725,7)	<b>1289,2</b> (472,6)	<b>1915,0</b> (262,6)	<b>3409,9</b> (1425,4)	<b>1652,6</b> (434,9)	<b>5631,4</b> (1530,6)

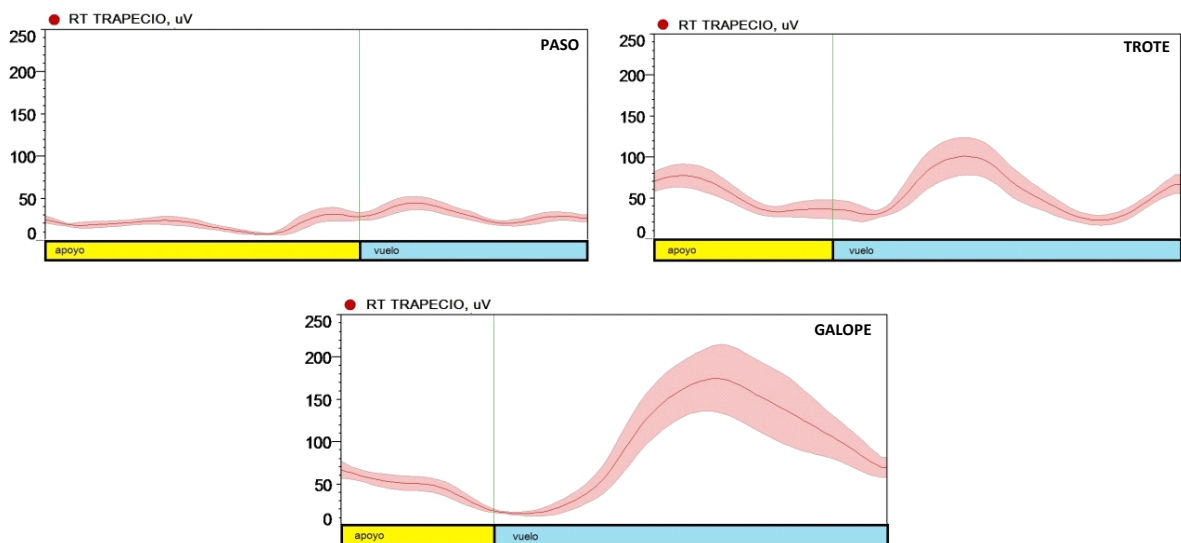


Figura 3: Diagramas ángulo-tiempo de la actividad electromiográfica (Media  $\pm$ sd) del músculo trapecio cervical de un caballo tomado al azar. La duración del tranco está normalizada; en amarillo aparece la fase de apoyo, en azul la fase de vuelo.

Tabla 4: Actividad eléctrica del músculo BRAQUIOCEFÁLICO (sd) de un grupo de 5 caballos en movimiento sobre el tapiz rodante al paso, al trote y galope (10 trancos promediados en cada aire), descompuestos en las fases de apoyo y vuelo respectivas.

BRAQUIOCEFÁLICO	PASO		TROTE		GALOPE	
	apoyo	vuelo	apoyo	vuelo	apoyo	vuelo
Media ( $\mu\text{V}$ )	<b>10,3</b> (3,3)	<b>9,5</b> (4,5)	<b>29,9</b> (12,0)	<b>26,1</b> (9,0)	<b>74,6</b> (37,0)	<b>34,3</b> (14,8)
Máximo ( $\mu\text{V}$ )	<b>18,2</b> (7,1)	<b>13,7</b> (6,3)	<b>53,0</b> (20,0)	<b>49,7</b> (17,3)	<b>104,8</b> (52,7)	<b>92,4</b> (49,6)
Mínimo ( $\mu\text{V}$ )	<b>6,6</b> (2,3)	<b>6,8</b> (2,2)	<b>14,4</b> (4,9)	<b>12,6</b> (4,3)	<b>27,5</b> (10,1)	<b>17,3</b> (6,2)
Tiempo pico (%)	<b>51,2</b> (3,5)	<b>7,9</b> (16,7)	<b>31,8</b> (4,4)	<b>12,6</b> (16,5)	<b>23,0</b> (10,0)	<b>15,6</b> (31,1)
Área ( $\mu\text{V}\cdot\%$ )	<b>586</b> (187)	<b>409</b> (200)	<b>1079</b> (314)	<b>1660</b> (680)	<b>2085</b> (982)	<b>2485</b> (1073)

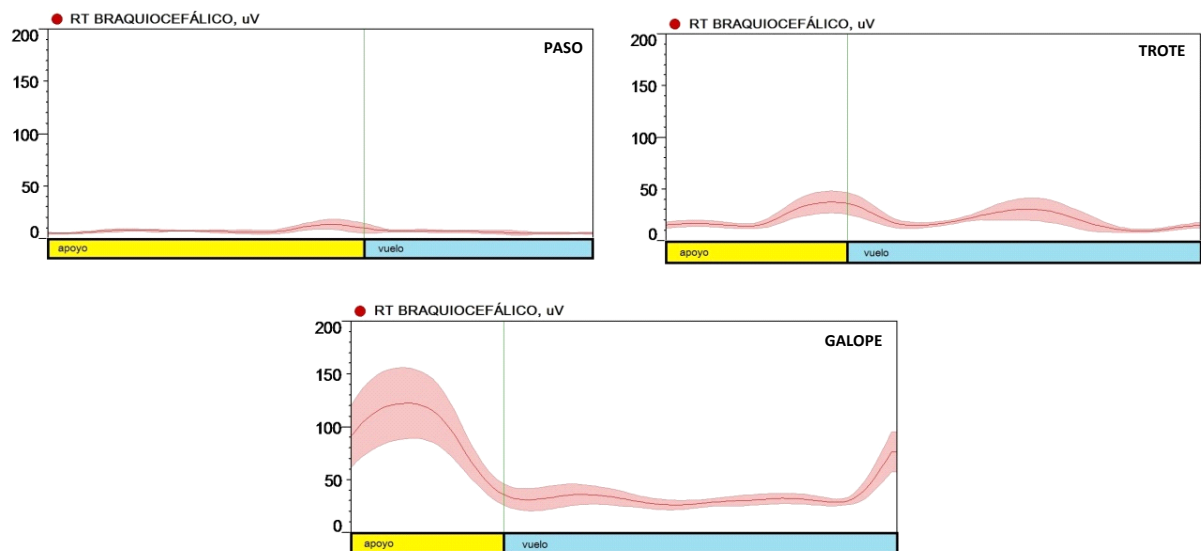


Figura 4: Diagramas ángulo-tiempo de la actividad electromiográfica (Media  $\pm$ sd) del músculo braquiocefálico de un caballo elegido al azar. La duración del tranco está normalizada; en amarillo aparece la fase de apoyo, en azul la fase de vuelo.

### **Análisis cuantitativo**

Los valores relativos a las diferencias en la actividad EMG en las diferentes condiciones para el músculo esplenio se presentan en la figura 5 y la tabla 5; los del músculo romboides cervical se presentan en la figura 6 y la tabla 6; los relativos al músculo trapecio cervical se presentan en la figura 7 y la tabla 7 y por último los del músculo braquiocefálico se presentan en la figura 8 y la tabla 8.

La mayor tasa de incremento se obtiene entre el paso al 0% y galope al 6% en el músculo braquiocefálico, seguido del esplenio, y trapecio y romboides, estos últimos con valores muy similares.

Destaca la ausencia de diferencias significativas entre las tres pendientes al trote y galope en el músculo esplenio, romboides cervical y braquiocefálico, siendo más matizadas en el trapecio cervical.

Tabla 5: Actividad electromiográfica del músculo ESPLenio (media y desviación típica) en las distintas circunstancias medidas en un grupo de 5 caballos sobre un tapiz rodante (p=paso; t=trote; g=galope; a 0, 3 y 6% de pendiente en cada caso), durante 30' de actividad. En la parte inferior, se presentan las tasas de incremento de dicha actividad en cada caso, destacando con color amarillo aquellos incrementos que no resultaron significativos ( $p>0.05$ ) en un test de Student de muestras pareadas.

Aire/pendiente	p0	p3	p6	t0	t3	t6	g0	g3	g6
Media	41,6	51,6	53,5	86,7	85,2	87,7	115,3	119,1	138,5
sd	15,9	22,9	21,5	31,0	31,8	31,7	30,6	35,4	44,9
	p0	p3	p6	t0	t3	t6	g0	g3	g6
p0	1,00								
p3	1,24	1,00							
p6	1,29	1,04	1,00						
t0	2,09	1,68	1,62	1,00					
t3	2,05	1,65	1,59	0,98	1,00				
t6	2,11	1,70	1,64	1,01	1,03	1,00			
g0	2,77	2,24	2,16	1,33	1,35	1,31	1,00		
g3	2,87	2,31	2,23	1,37	1,40	1,36	1,03	1,00	
g6	3,33	2,68	2,59	1,60	1,63	1,58	1,20	1,16	1,00

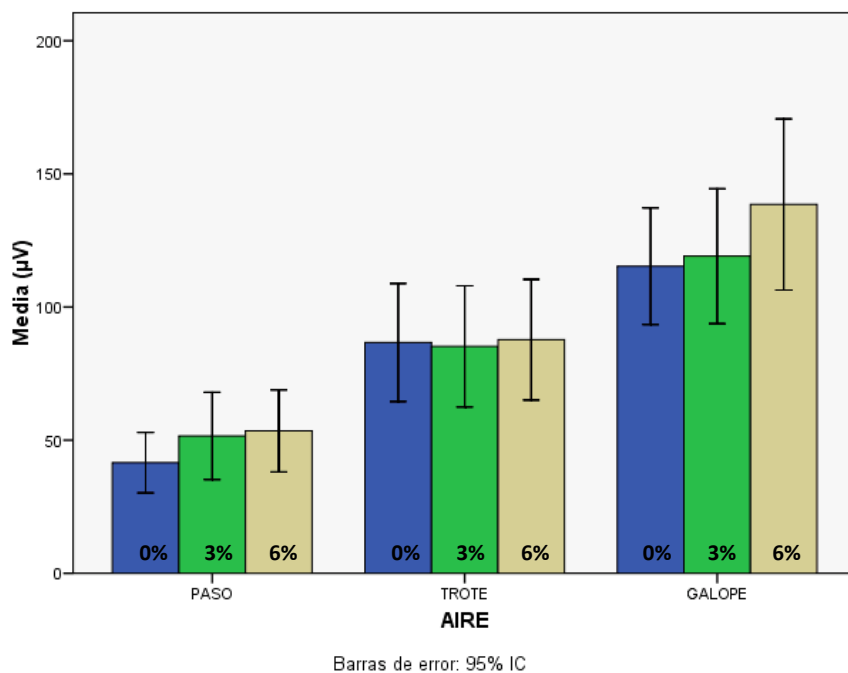


Figura 5. Diagrama de barras de la actividad electromiográfica del músculo ESPLenio en las distintas circunstancias medidas en un grupo de 5 caballos sobre un tapiz rodante durante 30' de actividad. Las pendientes se marcan en azul (0%), verde (3%) y beige (6%). Las barras de error indican un intervalo de confianza del 95%.



Tabla 6: Actividad electromiográfica del músculo ROMBOIDES CERVICAL (media y desviación típica) en las distintas circunstancias medidas en un grupo de 5 caballos sobre un tapiz rodante (p=paso; t=trote; g=galope; a 0, 3 y 6% de pendiente en cada caso), durante 30' de actividad. En la parte inferior, se presentan las tasas de incremento de dicha actividad en cada caso, destacando con color amarillo aquellos incrementos que no resultaron significativos ( $p > 0.05$ ) en un test de Student de muestras pareadas.

Aire/pendiente	p0	p3	p6	t0	t3	t6	g0	g3	g6
Media	30,6	34,5	34,7	50,9	51,7	53,0	68,6	65,4	70,2
sd	10,5	12,8	11,3	21,8	22,7	21,1	24,7	23,5	28,0
	p0	p3	p6	t0	t3	t6	g0	g3	g6
p0	1,00								
p3	1,13	1,00							
p6	1,14	1,01	1,00						
t0	1,66	1,48	1,47	1,00					
t3	1,69	1,50	1,49	1,02	1,00				
t6	1,73	1,54	1,52	1,04	1,02	1,00			
g0	2,24	1,99	1,97	1,35	1,33	1,29	1,00		
g3	2,14	1,90	1,88	1,28	1,26	1,23	0,95	1,00	
g6	2,30	2,04	2,02	1,38	1,36	1,33	1,02	1,07	1,00

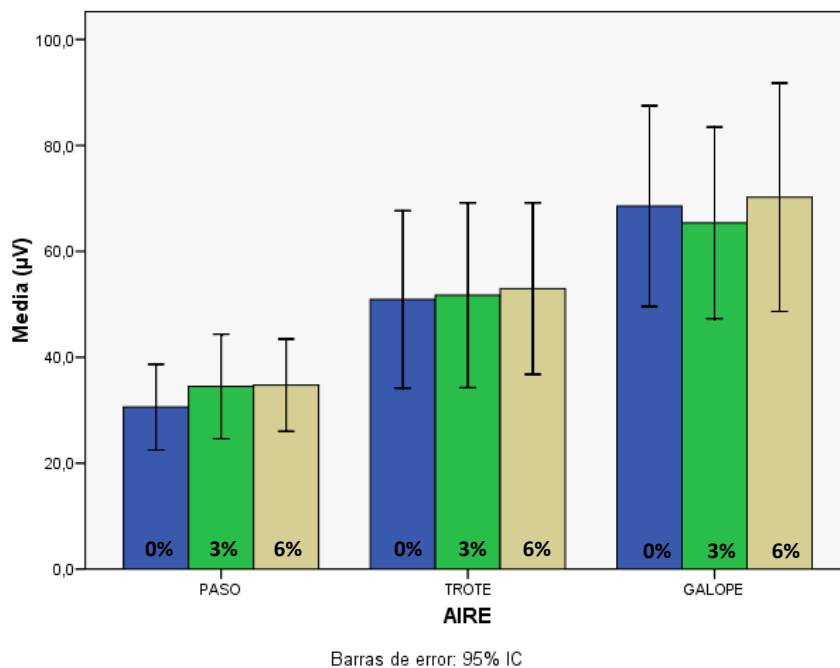


Figura 6. Diagrama de barras de la actividad electromiográfica del músculo ROMBOIDES CERVICAL en las distintas circunstancias medidas en un grupo de 5 caballos sobre un tapiz rodante durante 30' de actividad. Las pendientes se marcan en azul (0%), verde (3%) y beige (6%). Las barras de error indican un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 7: Actividad electromiográfica del músculo TRAPECIO CERVICAL (media y desviación típica) en las distintas circunstancias medidas en un grupo de 5 caballos sobre un tapiz rodante (p=paso; t=trote; g=galope; a 0, 3 y 6% de pendiente en cada caso), durante 30' de actividad. En la parte inferior, se presentan las tasas de incremento de dicha actividad en cada caso, destacando con color amarillo aquellos incrementos que no resultaron significativos ( $p > 0.05$ ) en un test de Student de muestras pareadas.

Aire/pendiente	p0	p3	p6	t0	t3	t6	g0	g3	g6
Media	28,1	36,2	36,4	44,2	47,2	48,4	55,5	56,5	63,6
Sd	14,0	15,9	19,7	25,4	27,0	25,8	26,8	28,0	31,5
	p0	p3	p6	t0	t3	t6	g0	g3	g6
p0	1,00								
p3	1,16	1,00							
p6	1,31	1,13	1,00						
t0	1,65	1,43	1,26	1,00					
t3	1,76	1,52	1,35	1,06	1,00				
t6	1,80	1,55	1,37	1,09	1,02	1,00			
g0	2,06	1,78	1,57	1,24	1,17	1,14	1,00		
g3	2,10	1,82	1,61	1,27	1,20	1,17	1,02	1,00	
g6	2,38	2,05	1,82	1,44	1,35	1,32	1,15	1,13	1,00

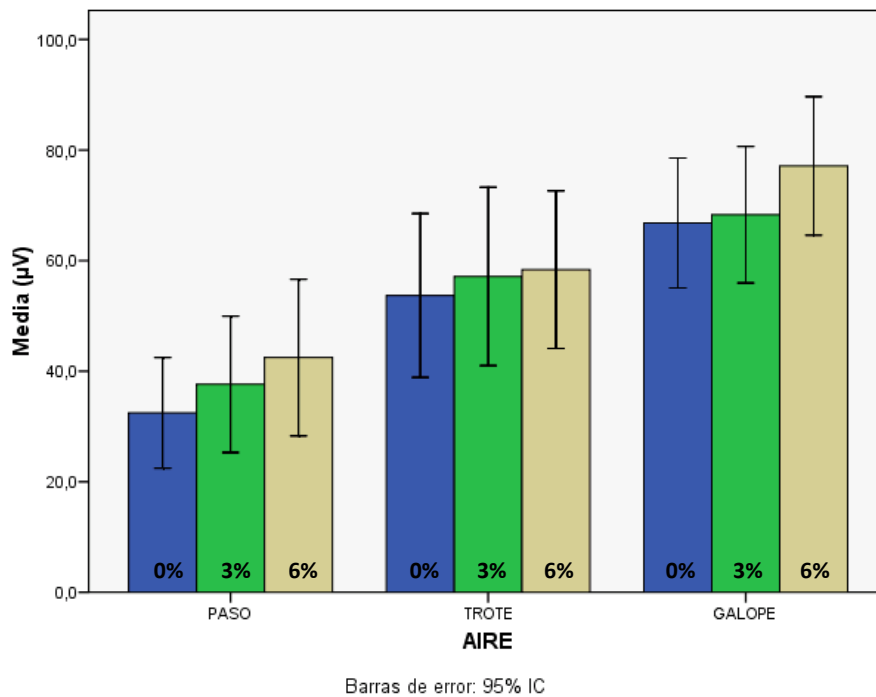


Figura 7. Diagrama de barras de la actividad electromiográfica del músculo TRAPECIO CERVICAL en las distintas circunstancias medidas en un grupo de 5 caballos sobre un tapiz rodante durante 30' de actividad. Las pendientes se marcan en azul (0%), verde (3%) y beige (6%). Las barras de error indican un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 8: Actividad electromiográfica del músculo BRAQUIOCEFÁLICO (media y desviación típica) en las distintas circunstancias medidas en un grupo de 5 caballos sobre un tapiz rodante (p=paso; t=trote; g=galope; a 0, 3 y 6% de pendiente en cada caso), durante 30' de actividad. En la parte inferior, se presentan las tasas de incremento de dicha actividad en cada caso, destacando con color amarillo aquellos incrementos que no resultaron significativos ( $p>0.05$ ) en un test de Student de muestras pareadas.

Aire/pendiente	p0	p3	p6	t0	t3	t6	g0	g3	g6
Media	9,8	11,9	13,9	28,3	29,3	30,1	41,9	43,7	47,2
sd	3,5	3,3	3,9	9,8	10,1	8,9	16,1	14,3	12,6
	p0	p3	p6	t0	t3	t6	g0	g3	g6
p0	1,00								
p3	1,21	1,00							
p6	1,42	1,17	1,00						
t0	2,89	2,39	2,04	1,00					
t3	2,98	2,47	2,10	1,03	1,00				
t6	3,07	2,54	2,16	1,06	1,03	1,00			
g0	4,27	3,53	3,01	1,48	1,43	1,39	1,00		
g3	4,45	3,68	3,14	1,54	1,49	1,45	1,04	1,00	
g6	4,81	3,98	3,39	1,66	1,61	1,57	1,13	1,08	1,00

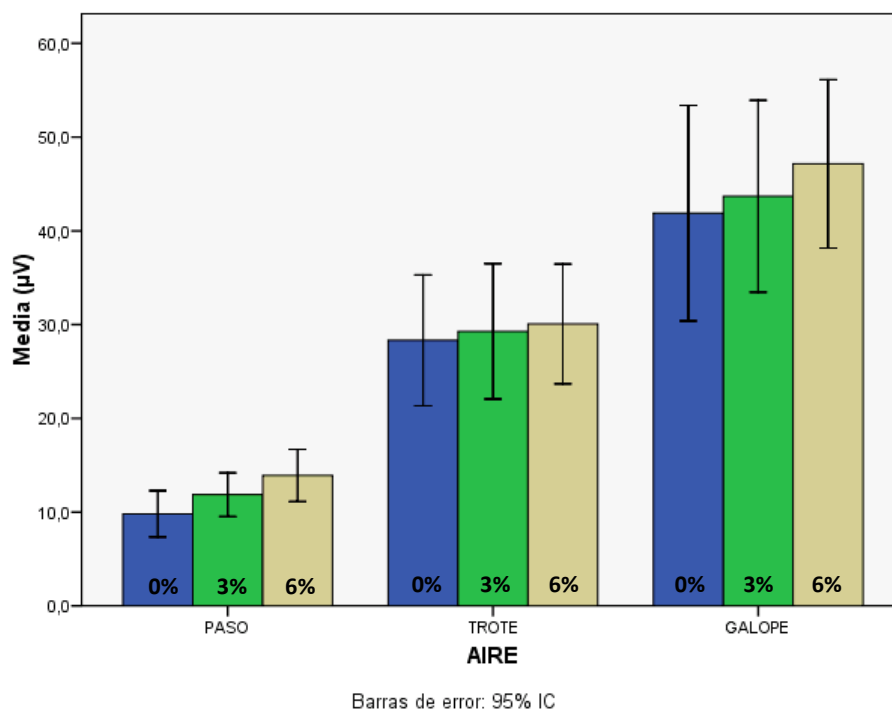


Figura 8. Diagrama de barras de la actividad electromiográfica del músculo BRAQUIOCEFÁLICO en las distintas circunstancias medidas en un grupo de 5 caballos sobre un tapiz rodante durante 30' de actividad. Las pendientes se marcan en azul (0%), verde (3%) y beige (6%). Las barras de error indican un intervalo de confianza del 95%.

## DISCUSIÓN

Este estudio muestra la actividad electromiográfica de cuatro músculos del cuello del caballo y los cambios en la misma que se manifiestan con el cambio de aire y de la inclinación del tapiz rodante.

Los músculos analizados en el presente estudio fueron seleccionados por su posición superficial y su tamaño, ya que son lo suficientemente grandes como para garantizar que la señal recogida se corresponde en gran parte con la del músculo correspondiente, si bien es inevitable la recepción de señal procedente de músculos de estratos anatómicos más profundos, lo que ha sido denominado como “señales cruzadas” (Kamen y Gabriel, 2010). Se ha señalado que estas señales pueden llegar al 25% de las señales registradas en humanos (Winter et al., 1994), si bien no llega a alcanzar el 10-15% o simplemente no aparecen (Konrad 2005). En nuestro caso, si bien es difícil de determinar, creemos que este tipo de señal es prácticamente inapreciable, dado el tamaño de los músculos del caballo, que parece ser el hecho determinante (Mogk y Keir, 2003).

Dada la cierta heterogeneidad de las características morfológicas de los caballos empleados en este estudio las velocidades no fueron prefijadas en cada aire, sino que fueron aquellas a las que los sujetos mostraban cierta comodidad y no se movían de un modo forzado. Las velocidades son muy parecidas a las empleadas en estudios previos de locomoción sobre el tapiz rodante por otros autores. Robert *et al.* (1998), Tokuriki *et al.* (1999) y Plaza (2011) utilizaron velocidades entre 1.3m/s y 1.6m/s para el paso y entre 2.6 m/s y 5 m/s para el trote; Plaza (2011) analizó la actividad electromiográfica al galope a 6m/s. Robert *et al.* (2001, 2002) estudió el efecto del aumento de la velocidad al trote por lo que las velocidades en el mismo fueron desde los 3.5 m/s a los 6 m/s.

Evidentemente, la actividad de los músculos que analizamos debe estar en relación directa con el movimiento de la cabeza y el cuello en los diferentes aires y que ha sido ampliamente descrita al paso (Buchner *et al.* 1996; Galloux *et al.* 1994), al trote (Buchner *et al.* 1996; Vorstenbosch *et al.* 1997; Denoix y Audigié, 2001) y al galope (Denoix y Audigié, 2001).

Los únicos estudios previos sobre la actividad electromiográfica de músculos del cuello en tapiz rodante, fueron realizados por Robert et al. (1998), quienes estudiaron la actividad de los músculos esplenio, braquiocefálico y trapecio cervical al paso y al trote en llano; en relación al aumento de la inclinación del tapiz y la velocidad al trote (Robert *et al.* 2001, 2002; Zsoldos, et al., 2010), y entre diferentes aires y pendientes en el esplenio (Plaza 2011).

### Análisis descriptivo

Al igual que Robert *et al.* (1998) y Plaza (2011) hemos observado que el patrón de actividad electromiográfica del músculo esplenio varía considerablemente con el aire (Figura 5 y tabla 5). Así el músculo esplenio al paso en llano muestra una actividad bifásica (Figura 1). A diferencia de Tokuriki *et al.* (1991) que describían el inicio de la primera curva de actividad al paso antes de la fase de apoyo, nosotros hemos observado que el inicio de dicha actividad se produce durante la fase de apoyo y no antes. Esto puede deberse a que el estudio de Tokuriki *et al.* (1991) fue realizado con electromiografía de aguja. La actividad muscular es mayor durante la fase de vuelo de la

extremidad ipsilateral (Figura 1). Al igual que al paso, al trote también hemos observado como otros autores (Robert *et al.*, 1998; Zsoldos *et al.*, 2010b, Plaza, 2011) una actividad bifásica. En este aire el músculo esplenio del cuello alcanza la actividad máxima al inicio de la fase de apoyo del miembro torácico ipsilateral, presentando un segundo pico máximo coincidiendo probablemente con el apoyo del miembro torácico contralateral. Tal y como observaron Robert *et al.* (1998) y Plaza (2011) nuestras mediciones han demostrado que el músculo esplenio del caballo al galope presenta un solo periodo de intensa actividad por cada ciclo, concretamente durante la fase de apoyo de la diagonal del tranco. En este momento los músculos de ambos lados limitarían el descenso del cuello y causarían la extensión del mismo durante la fase de apoyo y de suspensión de la extremidad delantera principal (Denoix y Audigié, 2001).

Al paso, el músculo romboides cervical presenta dos picos suaves de actividad, uno durante la fase de apoyo y otro en la fase de vuelo del miembro ipsilateral (Figura 2). El que presente una actividad moderada en todas las fases del tranco puede deberse a la existencia de interferencias en la señal por la proximidad de dicho músculo a otros como el músculo trapecio cervical o los músculos intertransversos. Tal y como se ha descubierto para otros músculos del cuello por otros autores (Robert *et al.*, 1998; Zsoldos *et al.*, 2010b, Plaza, 2011), el músculo romboides cervical presenta también una actividad bifásica al trote con un pico de actividad al principio de la fase de apoyo y otro durante la fase de vuelo del miembro ipsilateral. En el trabajo al galope se puede describir un pico de actividad marcada durante la fase de vuelo del "leading forelimb" como ocurre en el músculo esplenio (Figura 2).

A diferencia de lo descrito por Robert *et al.* (1998), el músculo trapecio cervical muestra una ligera actividad monofásica al paso, encontrándose el pico de actividad al final de la fase de apoyo y principios de la fase de vuelo del miembro ipsilateral. Al igual que Robert *et al.* (1998) hemos observado una actividad bifásica al trote. En este aire el músculo trapecio cervical alcanza la actividad máxima al inicio de la fase de apoyo del miembro torácico ipsilateral, presentando un segundo pico máximo y de mayor magnitud coincidiendo con el apoyo del miembro torácico contralateral (Figura 3). Tal y como describió Robert *et al.* (1998) el músculo trapecio cervical al galope presenta un solo periodo de intensa actividad por cada ciclo, concretamente durante la fase de de vuelo del "leading forelimb".

A diferencia de lo establecido por Tokuriki y Aoki (1991), Denoix y Audigié (2001) y Robert *et al.* (1998), al paso, el músculo braquiocefálico muestra un solo periodo de actividad al final de la fase de apoyo antes de la elevación del suelo del miembro ipsilateral (Figura 4) lo que demuestra su acción protractora. Al trote presenta actividad bifásica; es activo durante la fase tardía del apoyo del miembro torácico correspondiente y durante la fase de vuelo para protraer el miembro ipsilateral, siendo inactivo durante la primera parte de la fase de apoyo del miembro torácico ipsilateral para evitar la limitación de su propulsión. En contraposición a lo descrito por Tokuriki y Aoki (1991) y Denoix y Audigié (2001), al galope es especialmente activo durante la fase de apoyo del "leading forelimb" (miembro torácico adelantado).

### **Análisis cuantitativo**

La actividad eléctrica del músculo esplenio varía entre aires, siendo los incrementos de actividad mayores entre el paso y el trote que los que existen entre el trote y el galope (Tabla 5) a diferencia de los resultados obtenidos por Plaza (2011) en los que existe mayor incremento del trote al galope. Así existe un aumento de 3,33

veces la actividad entre el paso en llano y el galope al 6%. A diferencia de lo observado por otros autores en caballos al trote (Robert *et al.*, 2001a) o al paso, trote y galope (Plaza, 2011) el aumento de la pendiente provoca un incremento en la actividad de este músculo en cada aire, siendo su tasa de incremento más marcada durante el trabajo al paso. Durante el ejercicio al trote no existen diferencias significativas en la actividad muscular con la variación de la pendiente del 0% al 6%; así como tampoco sucede en el trabajo al galope con las mismas variaciones en la inclinación del tapiz (Tabla 5). La ausencia de diferencias significativas en estas circunstancias de pendiente para el trote y el galope, determina la posibilidad de trabajar en cualquiera de ellas obteniendo prácticamente la misma actividad por parte de este músculo concreto (Plaza, 2011).

Como se ha citado anteriormente, no hay constancia de la existencia de estudios sobre la actividad eléctrica del músculo romboides cervical. Podemos observar para éste un incremento de la actividad entre el paso al 0% y el galope al 6% de más del doble de la misma. El mayor aumento se produce en la transición de paso a trote, siendo de menor magnitud de trote a galope. Dentro de cada aire y con la variación en la inclinación del tapiz del 0%, 3% y 6% se producen diferentes incrementos en la actividad considerándose éstos no significativos al trote y al galope (Tabla 6).

El incremento de la actividad eléctrica del músculo trapecio cervical en relación a variaciones en la inclinación del tapiz rodante no ha sido estudiada previamente por otros autores. Hay variación entre aires, siendo el incremento de actividad mayor entre el paso y el trote que el que existe entre el trote y el galope (Tabla 7). La actividad entre el paso en llano y el galope al 6% sufre un incremento de más del doble. El aumento de la pendiente provoca un incremento en la actividad de este músculo en cada aire, siendo su tasa de incremento más marcada durante el trabajo al paso. Durante el ejercicio al paso no existen diferencias entre el paso al 3% y al 6%; al trote no existen diferencias significativas en la actividad muscular con la variación de la pendiente del 0% al 6%; así como tampoco sucede en el trabajo al galope con las mismas variaciones en la inclinación del tapiz. La actividad entre el trote al 6% y el galope al 0% no muestra diferencias significativas (Tabla 7).

Existe gran similitud entre la actividad de los músculos trapecio cervical y romboides, tanto en la forma de sus curvas de actividad en los tres aires (Figuras 2 y 3 respectivamente) como en la tasa de incremento de su actividad. Esto podría deberse a dos cuestiones: una disposición anatómica (trapecio superficialmente al romboides y muy delgado) y otra debido a una posible similitud funcional. Este hecho podría ser objeto de posteriores estudios basados en electromiografía de aguja.

Al igual que para el músculo trapecio cervical, no existen estudios que relacionen los incrementos de la actividad eléctrica del músculo braquiocefálico con variaciones en la inclinación del tapiz. El músculo braquiocefálico es el que más incrementa su actividad entre el paso al 0% y el galope al 6%, siendo este incremento de 4,81 veces. El aumento de actividad mayor se produce del paso al trote. El aumento de la pendiente provoca un incremento en la actividad de este músculo en cada aire, siendo su tasa de incremento más marcada durante el trabajo al paso. Al trote no existen diferencias significativas en la actividad muscular con la variación de la pendiente del 0% al 6%; al igual que sucede en el ejercicio al galope con las mismas variaciones en la inclinación del tapiz (Tabla 8).

## CONCLUSIONES

En el paso, el músculo esplenio y el músculo romboides del cuello presentan actividad bifásica con un pico de actividad en la fase de apoyo y otro en la fase de vuelo; mientras que los músculos trapecio del cuello y braquiocefálico presentan actividad monofásica. En el trote, los cuatro músculos muestran actividad bifásica con un pico durante la fase de apoyo y otro durante la fase de vuelo. En el galope, todos los músculos estudiados tienen actividad monofásica. Tanto el músculo esplenio como los músculos romboides cervical y trapecio cervical presentan el pico de actividad durante la fase de vuelo mientras que en el músculo braquiocefálico lo hace durante la fase de apoyo.

El incremento de la pendiente, 0%-3%-6%, junto con el cambio de aire, paso, trote y galope, provoca un aumento significativo en la actividad de la mayoría de los músculos estudiados. Dicho aumento varía entre los diferentes músculos siendo el músculo braquiocefálico (x4,81) el que muestra un mayor incremento seguido de los músculos esplenio (x3,33), trapecio del cuello (x2,38) y romboides del cuello (x2,30).

## BIBLIOGRAFÍA

- Back, W; Clayton, H. (2001). Equine Locomotion, Eds., Saunders, U.K., pp. 55-76.
- Buchner, H.H.F.; Savelberg, H.C.M.; Schamhardt, H.C.; Merkens, H.W.; Barneveld, A. (1994b). Kinematics of treadmill versus overground locomotion in horses. *Vet. Quart.* 16, Suppl 2: 87-90.
- Buchner, H.H.F.; Savelberg, H.C.M.; Schamhardt, H.C.; Barneveld, A. (1996). Head and trunk movement adaptation y horses with experimentally induce fora- and hindlimb lameness. *Equine Vet. J.*, 28 pp 71-76.
- Clayton, H.M. (1989). "Locomotion", in: *Equine Sports Medicine*, Ed. W.E. Jones. Lea and Febiger, Philadelphia, U.S.A., pp. 149-187.
- Clayton, H.M. (1991). Conditioning sport horses. Sport horse publications. Saskatoon, Saskatchewan, Canada. pp. 19-30.
- Clayton, H.M.; Schamhardt, H.C. (2001). "Measurement Techniques for Gait Analysis", in: *Equine Locomotion*, Willem Back and Hillary Clayton, Eds., Saunders, U.K., pp. 55-76.
- Denoix, J.M.; Pailloux, J.P. (1997). *Approche de la Kinésithérapie du Cheval*. 2nd edition. Maloine, Paris. pp. 107-112.
- Denoix, J.M.; Audigié, F. (2001). "The neck and back", in: *Equine Locomotion*, Willem Back and Hillary Clayton, Eds., Saunders, U.K., pp. 167-191.
- Denoix, JM.; Pailloux JP. (1996). *Physical therapy and massage for the horse*. Ed. Manson Publishing. Ltd London.
- Galloux, P; Richard, N; Dronka, T; Leard, M; Perrot, A; Jouffroy, JL.; Cholet, A. (1994). Analysis of the equine gait using three-dimensional accelerometers fixed on the saddle. *Equine Vet. J. suppl* 17 pp 44-47.
- Gellman, K.S; Bertram, J.E.A. (2002b). The equine nuchal ligament 2: passive dynamic energy exchange in locomotion. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 1, pp: 7-14.
- Giovagnoli, C.; Pieramati, G.; Cabtellano, G.; Reitano, M.; Silvestrelli, M. (1998). "Analysis of neck muscle (splenius) activity during jumping by surface video-electromyography technique", in: *Proceedings of the First Conference of the Equine Sports Medicine and Science*. pp. 57-60.
- Hodson-Tole, E. (2006). Effects of treadmill inclination and speed on forelimb muscle activity and kinematics in the horse. *Equine and Comparative Exercise Physiology* 3(2): 61-72.
- Kamen, G.; Gabriel, D.A. (2010). *Essentials of Electromyography*. Human Kinetics. United States.
- König, HE; Liebich, HG. (2004). *Anatomía de los animales domésticos*. 2º edición. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Konrad, P. (2005). *The ABC of EMG*. Versión 1.0 . Noraxon INC. USA.
- Marcella, K.L.; Leimbach, J. (1998). Why resist? Traditional methods for equine strength training are slowly being replaced as human resistance training is adpted for equine athletes. *Equine Athlete*, 11: 17-21.



- Mogk, J.P.M.; Keir, P.J. (2003). Crosstalk in surface electromyography of the proximal forearm during gripping tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13: 63-71.
- Persson, S. (1967). On blood volume and working capacity in horses. *Acta vet. Scand.*, Suppl. 19: 1-189.
- Plaza, C. (2011). "Actividad electromiográfica de algunos músculos del caballo durante la locomoción al paso, al trote y al galope a distinta inclinación en el tapiz rodante", en: *Actividad electromiográfica de algunos músculos del caballo en diferentes condiciones locomotoras*. Tesis doctoral, Universidad de Córdoba, pp 97-143.
- Robert, C.; Valette, J.P.; Denoix, J.M. (1998). "Surface electromyographic analysis of normal horse locomotion: a preliminary report", in: *Proceedings of the First Conference of the Equine Sports Medicine and Science*. pp 80-85.
- Robert, C.; Valette, J.P.; Denoix, J.M. (2001a). The effects of treadmill inclination and speed on the activity of three trunk muscles in the trotting horse. *Equine Vet. J.*, 33 (5): 466-472.
- Robert, C.; Audigié, F.; Valette, J.P.; Pourcelot, P.; Denoix, J.M. (2001b). Effects of treadmill speed on the mechanics of the back in the trotting saddlehorse. *Equine vet. J. Suppl.*, 33: 154-159.
- Robert, C.; Valette, J.P.; Pourcelot, P.; Audigié, F.; Denoix, J.M. (2002). Effects of trotting speed on muscle activity and kinematics in saddlehorses. *Equine vet. J. Suppl.*, 34: 295-301.
- Tokuriki, M.; Aoki, O. (1991). "Neck muscles activity in horses during locomotion with and without a rider", in: *Equine Exercise Physiology 3*. Persson, S.G.; Lindholm, A.; Jeffcott, L.B. (Eds). ICEEP Publications, Davis, California. pp: 146-150.
- Tokuriki, M.; ohtuki, R.; Kai, M.; Hiraga, A.; Oki, H.; Miyahara, Y.; Aoki, O. (1999). EMG activity of the muscles of the neck and forelimbs during different forms of locomotion. *Equine vet. J. Suppl.* 30: 231-234.
- Vorstenboch, M.A.T.; Buchner, H.H.F.; Savelberg, H.H.C.M. *et al.* (1997). Modeling study of compensatory head movements in lame horses. *AM. J. Vet. Res.* 58: 713-718.
- Winter, D.A.; Fuglevand, A.J.; Archer, S.E. (1994). Crosstalk in surface electromyography: theoretical and practical estimates. *Journal of Electromyography*, 4: 15-26.
- Zsoldos, R.R.; Kotschwar, A.; Kotschwar, A.B.; Rodriguez, C.P.; Peham, C.; Licka, T. (2010a). Activity of the equine rectus abdominis and oblique external abdominal muscles measured by surface EMG during walk and trot on the treadmill. *Equine Vet J.*, 42 Suppl. 38:523-9.
- Zsoldos, R.R.; Kotschwar, A.B.; Kotschwar, A.; Groesel, M.; Licka, T.; Peham, C. (2010b). Electromyography activity of the equine splenius muscle and neck kinematics during walk and trot on the treadmill. *Equine Vet J.*, 42 Suppl. 38:455-61.
- Zsoldos, R.R.; Valentin, S.; Holler, P.J.; Peham, C.; Licka, T.F. (2011). Age related changes in equine splenius activity. *Neuromuscular Disord.*, 21 pp: 639- 751.

Zsoldos, R.R.; Valentin, S.; Holler, P.J.; Peham, C.; Licka, T.F. (2011). Surface electromyography of the equine splenius muscle during neck exercises in relation to ultrasonographic muscle appearance. *Neurovascular Disord.*, 21 pp: 639- 751.

## SUMMARY

**Reasons for performing study:** knowledge of the electrical activity of the muscles of the neck is an important tool for helping to design suitable training programs, and to offer appropriate guidelines for physiotherapy and rehabilitation, etc. Although some muscles have been extensively studied while, muscle activity of others is already unknown.

**Objective:** describe and quantify the electromyographic activity of the splenius, cervical rhomboid, cervical trapezius and brachiocephalic muscles of the horse in different locomotive conditions on the treadmill.

**Material y Methods:** the electrical activity of the splenius, cervical rhomboid, cervical trapezius and brachiocephalic muscles was recorded in five healthy horses moving on the treadmill at walk, trot and canter with at 0%, 3% and 6% of slope. A descriptive study of the activity throughout the stride and a quantitative study determining the rate of increase between the different conditions were made.

**Conclusions:** at walk, splenius and the cervical rhomboid muscles showed biphasic activity with a peak of activity in the stance phase and another one in the flight phase. The cervical trapezius and brachiocephalic muscles exhibited monophasic activities. When trotting, the four muscles show biphasic activity with a peak during the stance phase and once during the flight phase. At gallop, all muscles studied had monophasic activity. The splenius muscle, the rhomboid and the cervical trapezius muscles showed peaks of activity during the flight period and the brachiocephalic muscle during the stance phase. The increase of the slope, (0% -3% -6%), and the change of gait (walk, trot and canter) caused significant increases in the activity of most of the muscles studied showing the brachiocephalic muscle (x4, 81) the greatest increase, following the splenius (x3, 33), cervical trapezius (x2, 38) and finally the cervical rhomboid muscle (x2, 30).

**Keywords:** horse, electromyography, neck, gait, slope.