

## **Estimación preliminar de los parámetros genéticos de las variables biocinemáticas al paso en caballos de Pura Raza Española en cinta rodante**

M. Valera<sup>1</sup>, M.D. Gómez<sup>2</sup>, J.L. Morales<sup>3</sup>, E. Agüera<sup>3</sup>, J. Vivo<sup>3</sup>, A. Rodero<sup>2</sup>, A. Molina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto Ciencias Agroforestales. Universidad de Sevilla. E-mail: agr158equinos@gmail.com.

<sup>2</sup>Dpto Genética. Universidad de Córdoba.

<sup>3</sup>Dpto Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas. Universidad de Córdoba.

### **RESUMEN**

El Esquema de Selección del caballo de Pura Raza Español (PRE) incluye el rendimiento en doma como principal objetivo de selección. Algunas características de los aires que son requeridas para la doma pueden ser seleccionadas, contribuyendo a la mejora del rendimiento de los animales.

Se ha grabado el movimiento de 130 animales de PRE caminando en una cinta rodante a 1,7m/s, y se han analizado 18 variables biocinemáticas. Los datos recogidos se han utilizado para la estimación de los parámetros genéticos (heredabilidad y correlaciones genéticas) de cada variable. El objetivo principal de este estudio es seleccionar las variables a incluir en el Esquema de Selección de esta raza, en base a sus parámetros genéticos y su relación con el rendimiento en doma.

Las heredabilidades obtenidas fueron de nivel medio-alto. Esto implica una elevada respuesta a la selección que permite una selección temprana. Las correlaciones genéticas fueron entre moderadas y altas, y oscilaron entre 0,28 y 0,99, por ello es posible reducir el número de variables seleccionadas.

Según nuestros resultados, la *duración* y la *amplitud del tranco*, la *duración* y la *amplitud torácica y pelviana*, la *máxima altura del casco pelviano*, el *máximo ángulo de retracción-protracción del miembro torácico*, la *duración de la fase de apoyo del miembro pelviano* y la *duración de la fase de vuelo de los miembros torácico y pelviano* podrían ser incluidos.

**Palabras clave:** heredabilidad, correlación genética, locomoción equina, experimental.

**Preliminary estimation of the genetic parameters of biokinematic variables at walk in Spanish Purebred horses in treadmill**

**ABSTRACT**

The breeding scheme of Spanish Purebred (PRE) horse includes dressage performance as the main selection objective. Some specific characteristics of the gaits required for dressage aptitude can be selected, contributing to improve the performance of the individual. The movements of 130 PRE horses walking at 1.7 m/s on a treadmill were recorded and there were 18 biokinematic variables analysed. The data recorded were used to estimate the genetic parameters (heritability and genetic correlations) for each variable. The main aim of this study is to choose those traits to be included in the breeding scheme of this breed, based on their genetic parameters and their relationship with dressage performance.

The obtained heritabilities were of medium-high level. This implies a high response to selection that allows an early selection. The genetic correlations were from moderate to high and ranged between 0.28 and 0.99, because of this it is possible to reduce the number of selected variables.

According to our results, *stride duration and length, fore and hindlimb duration and length, hindlimb maximum height of hoof, maximal retraction-protraction range of forelimb, hindlimb stance phase duration and fore and hindlimb swing phase duration* could be included in the selection scheme of PRE.

**Keywords:** Heritability, Genetic Correlation, Equine Locomotion, experimental.

## INTRODUCCIÓN

El caballo de Pura Raza Español (PRE) es la raza más importante de la cabaña equina nacional, habiendo jugado un papel muy relevante en la historia como animal de guerra y trabajo, y como formador de otras razas equinas en Europa y América. Hoy en día, supone el 65,96% del censo nacional, con una clara tendencia al incremento en las últimas décadas (Valera et al., 2005).

La importancia económica de la industria asociada a su cría es muy elevada (Rodríguez Alcaide, 1999). Aunque actualmente está siendo utilizado principalmente como caballo de paseo, cada vez es mayor su participación en pruebas de doma clásica, donde ya ha alcanzado proyección internacional.

El Esquema de Selección del caballo PRE fue aprobado en Noviembre de 2003 por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. En él se incluyen el rendimiento a la silla y para la doma clásica como principales criterios de selección, sin olvidar la morfología de los animales (por la que tradicionalmente han sido seleccionados).

Según los valores publicados por diferentes autores, la heredabilidad del rendimiento en doma es relativamente baja, al existir efectos no genéticos, como el entrenamiento, de gran importancia en el rendimiento (Langlois 1980; Bruns 1981; Huizinga y van der Meij 1989). Además, este rendimiento solo puede ser medido en animales adultos (Ducro et al., 2005).

Saastamoinen et al. (1998) afirmó que es posible realizar una selección del rendimiento equino en función de sus resultados en pruebas de movimientos, ya que existe una correlación positiva entre ambos tipos de variables. Por ello es esencial el conocimiento de los parámetros genéticos de las variables de locomoción (Ducro et al., 2005), que pueden utilizarse como criterios de selección tempranos (Barrey et al., 2002).

El objetivo de este estudio es estimar los parámetros genéticos (heredabilidades y correlaciones) de 18 variables biocinemáticas para utilizarlos en la preselección de las

variables que se incluirán en el Esquema de Selección de esta raza. De manera que la estimación del valor genético para doma de los animales se complementa con los resultados obtenidos en otras pruebas objetivas indirectamente relacionadas con esta disciplina.

## **MATERIAL Y METODOS**

### ***1. Material animal y obtención de los datos.***

Se han realizado pruebas funcionales a 130 caballos de PRE (inscritos en el Libro Genealógico de la raza) con edades comprendidas entre 4 y 7 años, con una media y desviación estándar de  $4,6 \pm 1,5$ , y procedentes de 24 ganaderías.

Para asegurar la inclusión de animales totalmente sanos en el estudio, estos fueron examinados clínicamente a su llegada al centro. Para garantizar la adaptación de los animales a la cinta rodante y eliminar el estrés que puede producirles, se realizaron un mínimo de 7 entrenamientos previos a recogida de datos (Buchner et al., 1994).

Antes de la grabación, los animales fueron sometidos a un período de calentamiento de 5 minutos. Se les colocaron 15 referencias adhesivas de contraste de 32 mm de diámetro por el lado derecho, en puntos anatómicos previamente definidos y relacionados con referencias óseas fácilmente identificables y representativas (figura 1), siguiendo las indicaciones de Cano et al. (1999).

La velocidad de la cinta fue fijada a 1,7 m/s en este estudio, por estar considerada la velocidad óptima para esta raza al paso (Galisteo et al., 1996). Al ser constante en la cinta rodante, se elimina su influencia sobre las variables lineales, temporales y angulares del aire (Leach y Crawford, 1983; Eaton et al., 1995; Galisteo et al., 1998).

La grabación se realizó utilizando una cámara de video (Hi8 Sony 5000-E<sup>®</sup>, *Sony Electronics Inc, Park Ridge, New Jersey, USA*), situada perpendicularmente al plano de la cinta rodante y en cuyo campo de visión se incluye la totalidad de esta. Como sistema de calibración, se colocaron dos marcas graduadas de 1,2 m de altura, a una distancia de 2 m en

el centro de la cinta.

Las secuencias de video fueron digitalizadas utilizando una tarjeta grabadora a tiempo real (Matrix Marvel G-400-TV) (Matrox Graphics Inc, 1055 St-Regis Blvr, Dorval, Quebec, Canadá, H9P 2T4), incluyendo los 6 trancos consecutivos de cada miembro. Los parámetros fueron obtenidos a partir de los videos digitalizados con un sistema de análisis semiautomático (SMVD 2.0)

Se han estudiado 18 variables del paso sin jinete: 5 lineales, 9 temporales y 4 angulares (tabla 1), siguiendo las indicaciones de Cano et al. (1999). También fue medida la *máxima altura de los cascos* de cada miembro (cm) al rodete coronario, y la *frecuencia del tranco* fue estimada a partir de la *duración del tranco*.

## **2. Análisis genético de la información**

Los parámetros genéticos (heredabilidad y correlaciones genéticas) de las variables fueron estimados mediante el programa VCE (Groeneveld, 1998) versión 4, con un modelo animal mixto bivariado en el que se incluían el año de nacimiento y la ganadería del animal como efectos fijos, y el efecto genético aditivo y el error residual como efectos aleatorios.

El pedigree necesario para el cálculo de la matriz inversa de relación se completó utilizando la información recogida en el Libro Genealógico del PRE, incluyendo 4 generaciones de todos los animales analizados con un total de 1503 animales.

La varianza y covarianza genética aditiva de los datos fueron estimadas mediante un procedimiento de Restricted Maximum Likelihood (REML) utilizando un algoritmo de Quasi-Newton. Se estimó un error estándar (SE) de los parámetros genéticos a partir de la matriz inversa de aproximación de Hessian cuando se consiguió la convergencia (Groeneveld, 1996).

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos para los parámetros genéticos de las variables biocinemáticas al paso (heredabilidad y correlaciones genéticas) se muestran en la tabla 2. En general, los valores de heredabilidad obtenidos son elevados, siendo para la mayoría de las variables (51,1%) superiores o iguales a 0,5. El *rango de retracción-protracción del miembro pelviano* ha presentado la mayor heredabilidad (0,83) y el *porcentaje de apoyo medio del miembro torácico* la menor (0,22).

Las correlaciones genéticas (tabla 2) oscilaron entre 0,28 (DVP-RRPP) y 0,99 (DAA-ACP), siendo el 54% de signo negativo. La *máxima altura al casco torácico* y el *máximo ángulo de retracción-protracción torácico* han presentado el mayor número de correlaciones con el resto de variables (8 y 9, respectivamente). Las correlaciones genéticas de la *máxima altura al casco torácico* con el resto de variables siempre han sido de signo negativo. El *porcentaje de apoyo medio del miembro torácico* y el *mínimo ángulo de retracción-protracción del miembro pelviano* no se encontraron genéticamente correlacionados con ninguna variable estudiada.

## DISCUSIÓN

Los aires son las unidades básicas de estudio en locomoción equina. Cada uno (paso, trote y galope) muestra una secuencia de movimientos diferente (Clayton, 1989), siendo el paso un aire muy equilibrado que requiere menor esfuerzo.

En este estudio se presentan por primera vez, los parámetros genéticos de 18 variables cinemáticas al paso que caracterizan el movimiento de caballos de PRE en cinta rodante. No existiendo antecedentes de estudios de este tipo en otras razas. El escaso número de animales analizados queda justificado por la complejidad y laboriosidad de las pruebas y la obtención de las variables.

El principal interés de esta estimación radica en la obtención de criterios de selección indirectos que permitan una selección temprana que mejore la aptitud deportiva en esta raza. Las características del paso son buenos indicadores de las habilidades de los équidos en condiciones estandarizadas (Miró et al., 1996), a pesar de estar influenciadas por el nivel de doma básico y los factores ambientales. Además, el análisis del movimiento al paso puede ser interesante en la clínica equina, por contribuir a la detección de problemas musculares y articulares en los animales (Audigié et al., 2001; Chateau et al., 2002; Weishaupt et al., 2004).

Este trabajo se ha desarrollado en una cinta rodante donde la mayoría de las condiciones ambientales pueden ser estandarizadas y fijadas previamente, ya que se sabe que las características de la pista (Fredicson et al., 1983; Barrey et al., 1991) influyen las variables cinemáticas. La edad (Leach y Crawford 1983; Cano et al., 1999), el sexo (Holmström et al., 1990) y el nivel de entrenamiento previo de los animales (Cano et al., 2000; Leleu et al., 2004) también puede condicionar las características del movimiento. Por ello únicamente se han utilizado machos, y la edad y la ganadería se han incluido en el modelo.

Es difícil encontrar otros estudios con los que comparar nuestros resultados, incluso en otras razas, ya que normalmente la estimación de parámetros genéticos para este tipo de variables se ha realizado con datos de campo (pruebas de rendimiento, concursos o actividades deportivas) más influenciados por los factores ambientales. Además, normalmente las puntuaciones recogidas en esas pruebas son subjetivas (Holmström y Philipsson, 1993; Koenen et al., 1995; Molina et al., 1999; Gerber-Olsson et al., 2000).

Al ser un movimiento complejo y más influenciado por el medio (Barrey et al., 1993), las características del paso poseen menor heredabilidad que las del trote y el galope (Bowling y Ruvinsky, 2000). Por ello, los valores de heredabilidad citados en la bibliografía son normalmente bajos.

La heredabilidad del tranco reseñada en la bibliografía consultada es muy variada, encontrando valores que oscilan entre 0,12 y 0,37 en caballos de silla de sangre caliente holandeses (Koenen et al., 1995; Debby de Groot et al., 2002), 0,42 en pruebas de rendimiento de caballos alemanes (Jaitner y Reinhardt, 2003), 0,46 en caballos de sangre caliente suecos (Gerber-Olsson et al., 2000) y 0,61 en caballos de deporte (Barrey et al., 1993). Por esta razón, se recomienda la evaluación de las características locomotoras en la cinta rodante, ya que permite la estandarización de la prueba y la medida objetiva de las variables locomotoras, haciendo que esta metodología sea ideal para el estudio de los parámetros genéticos de las variables obtenidas.

Según nuestros resultados, los valores de la heredabilidad para las variables del paso en caballos de PRE (tabla 2) han presentado niveles medio-altos (oscilando entre 0,22-0,83. Por ello, la utilización de los resultados obtenidos en condiciones estandarizadas en cinta rodante puede ser muy efectiva para la selección temprana de los animales, permitiendo la obtención de una mayor respuesta que la que se obtiene mediante la selección clásica a partir de las puntuaciones recogidas en las pruebas de doma. Además, las elevadas correlaciones detectadas entre las variables analizadas permiten reducir drásticamente el número de características a considerar en el proceso de selección genética.

Los errores estándar obtenidos son relativamente elevados. Esto puede deberse a la propia magnitud de los parámetros y al limitado número de animales estudiados, causado por la complejidad y laboriosidad de las pruebas necesarias para la obtención de los parámetros.

A pesar de la menor heredabilidad de la *altura máxima del casco pelviano* (0,23) en relación al resto de variables estudiadas, es importante su consideración en el proceso selectivo, ya que un aumento de su valor puede determinar un incremento de la protracción al producir una mayor flexión del miembro pelviano durante la fase de vuelo, característica típica de los caballos atletas.



La *máxima altura del casco torácico* y el *ángulo de retracción-protracción del miembro torácico* han presentado el mayor número de correlaciones genéticas con el resto de variables estudiadas (tabla 2), siendo siempre de signo negativo para la primera. Según esto, los factores genéticos que actúan sobre esta variable, lo hacen disminuyendo las variables relacionadas con la *duración* y la *amplitud* de ambos miembros. Mientras que el *máximo ángulo de retracción-protracción del miembro torácico* se encuentra positivamente correlacionado con la *duración* y la *amplitud del tranco* y la *duración de la fase de apoyo de los miembros*. Por esto, el *ángulo máximo de retracción-protracción del miembro torácico* es importante para la selección de los animales por su aptitud para la doma, ya que su mejora afecta indirectamente a otras características. Pero su control es complejo, y en vistas a la selección genética es mejor considerar otras variables con las que se encuentra muy altamente correlacionada, como son la *duración y amplitud del tranco*, y *duración y amplitud torácica y pelviana*.

Finalmente, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este estudio y la relación existente entre las variables y la calidad de los movimientos, de gran importancia en la doma clásica, consideramos que la inclusión en el Esquema de Selección del caballo de PRE de las variables *duración de la fase de vuelo del miembro torácico y pelviano* y *duración de la fase de apoyo del miembro pelviano* es indispensable (según Back et al., 1995, las dos primeras son muy importantes en la predicción del valor en animales adultos).

## **CONCLUSIONES**

El análisis de las características biocinemáticas del paso en caballos de Pura Raza Española es obligatorio, ya que condicionan el rendimiento para la silla y la doma clásica de los animales (principales objetivos de selección de esta raza). Los resultados obtenidos en este estudio evidencian la adecuada respuesta a la selección de este tipo de variables, gracias a los elevados valores de heredabilidad.

Por su importancia en el rendimiento en doma, la inclusión de la *máxima altura del casco pelviano* y el *máximo rango de retracción-protracción del miembro torácico* en el Esquema de Selección de esta raza es importante. Sin embargo, debido a las dificultades de medida y las correlaciones genéticas entre variables, se recomienda la inclusión de las variables: *duración y amplitud del tranco*, *duración y amplitud del miembro torácico y pelviano*, y *máxima altura al casco pelviano*. Del mismo modo, según los resultados obtenidos, se incluyen la *duración de la fase de apoyo del miembro pelviano* la *duración de la fase de vuelo del miembro torácico y pelviano* dentro del Esquema de Selección de esta raza por su importancia en la calidad de los aires.

### **AGRADECIMIENTOS**

Este estudio se ha realizado dentro del Proyecto cofinanciado con fondos FEDER titulado: “Valoración Morfo-funcional en el Plan de Mejora del Pura Raza Español-Caballo Andaluz” (1FD97-0891), concedido a la Universidad de Córdoba.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Audigié F, Pourcelot P, Degueurce C, Geiger D, Denoix JM, 2001. Kinematic analysis of the symmetry of limb movement in lame trotting horses. *Equine Vet. J. Supp.* 33:128-134.
- Back W, Schamhardt HC, Hartman W, Bruin G, Barneveld A, 1995. Predictive value of foal kinematics for the locomotor performance of adult horses. *Res. Vet. Sci.* 59:64-69.
- Barrey E, Landjerit B, Wolter R, 1991. Shock and vibration during the hoof impact on different track surfaces. *Equine Exer. Physiol.* 3: 97-106.
- Barrey G, Galloux P, Valette JP, Auvinet B, Wolter R, 1993. Stride characteristics of overground versus treadmill locomotion in the saddle horse. *Acta Anat.* 146: 90-94.
- Barrey E, Desliñes F, Blouin C, Langlois B, 2002. Heritabilities of gait characteristics: application for breeding in dressage. Conference on Equine Sports. Medicine and Science, The elite Dressage and Three-Days-Event horse. Lindner, A. (Ed): 91-95.
- Bowling AT, Ruvinsky A, 2000. *The genetics of the Horse*. CAB International, Oxon, UK.
- Bruns E, 1981. Estimation of the breeding value of stallions from the tournament performance of their offspring. *Livest. Prod. Sci.* 8 (5): 465-473.
- Buchner HH, Savelberg HH, Schamhardt HC, Merckens HW, Barneveld A, 1994. Kinematics of treadmill versus over ground locomotion in horses *Vet. Q.* 16 (2): S87-90.
- Cano MR, Miró F, Vivo J, Galisteo AM, 1999. Comparative Biokinematic Study of Young and Adult Andalusian Horses at the Trot. *J. Vet. Med. A. Physiol. Pathol. Clin. Med.* 46 (2): 91-101.
- Cano MR, Miró F, Agüera E, Galisteo AM, 2000. Influence of Training on the Biokinematics in trotting Andalusian horses. *Vet. Res. Commun.* 24(7): 477-489.
- Chateau H, Degueurce C, Jerbi H, Crevier-Denoix N, Pourcelot P, Audigié F, Pasqui-Boutard V, Denoix JM, 2002. Three-dimensional kinematics of the equine interphalangeal joints: Articular impact of asymmetric bearing. *Vet. Res. Sci.* 33(4): 371-382.

Clayton HM, 1989. Locomotion. In: Equine Sport Medicine, W.E. Jones (Ed.) Lea and Febiger. Philadelphia.

Debby de Groot B, Ducro E, Koenen E, van Tartwijk H, 2002. Evaluation of the genetic correlation between general and descriptive traits of mares. Scored at the Warmblood Studbook of the Dutch, and performance in showjumping and dressage in competition. Colloquium Animal Breeding and Genetics. September. Netherlands.

Ducro BJ, Koenen EP, van Tartwijk JM, 2005. Genetic correlations between movement and free-jumping traits and performance in show-jumping and dressage competition of Dutch Warmblood Horses. 56 th EAAP Meeting. Uppsala.Sweden.

Eaton MD, Evans DL, Hodgson DP, Reuben JR, 1995. Effect of treadmill incline and speed on metabolic rate during exercise in Thoroughbred horse. J. Appl. Physiol. 79: 951-957.

Fredricson I, Drevemo S, Dalin G, Hjerten G, Bkörne K, Rynde R, 1983. Treadmill for equine locomotion analysis. Equine Vet. J. 15: 111-115.

Galisteo AM, Cano MR, Miró F, Vivo J, Morales JL, Agüera E, 1996. Angular joints parameters in the Andalusian horses at the walk obtained by normal videography. J. Equine Vet. Sci. 16: 73-77.

Galisteo AM, Cano MR, Morales JL, Vivo J, Miró F, 1998. The influence of speed and height at the withers in the kinematics of sound horses at the hand-led trot. Vet. Res. Commun. 22: 415-423.

Gerber-Olsson EG, Arnason T, Nasholm A, Philipsson J, 2000. Genetic parameters for traits at performance test of stallions, and correlation with traits at progeny tests in Swedish warmblood horses. Livest. Prod. Sci. 65: 81-89.

Groeneveld E, 1996. REML VCE a Multivariate Multi Model Restricted Maximum Likelihood (Co) Variance Component Estimation Package, version 3.2, User's guide. Editor

E. Groeneveld, Institute of Animal Husbandry and Animal Ethology. Federal Research Center of Agriculture, Neustadt, Germany.

Groeneveld E, 1998. VCE version 4.0. A Multivariate Variance Component Estimation Package. Proc. 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Armidale. Australia.

Holmström M, Magunsson LE, Philipsson J, 1990. Variation in conformation of Swedish Warmblood horses on conformational characteristics of elite sport horses. *Equine Vet. J.* 22: 186-193.

Holmström M, Philipsson J, 1993. Relationships between conformation, performance and health in 4-year-old Swedish Warmblood Riding Horses. *Livest. Prod. Sci.* 33: 293-312.

Huizinga HA, van der Meij GJW, 1989. Estimated parameters of performance in jumping and dressage competition of the Dutch Warmblood horse. *Livest. Prod. Sci.* 21 (4): 333-345.

Jaitner J, Reinhardt F, 2003. National Genetic Evaluation for horses in Germany. 55th Annual Meeting of the E.A.A.P., Roma, Italy, August 31st-September 3<sup>rd</sup>.

Koenen EP, Van Veldhuizen AE, Brascamp EW, 1995. Genetic parameters of linear scored conformation traits and their relation to dressage and show jumping performance in the Dutch Warmblood Riding Horse population. *Livest. Prod. Sci.* 43: 85-94.

Langlois B, 1980. Heritability of racing ability in thoroughbreds - a review. *Livest. Prod. Sci.* 7 (6): 591-605.

Leach DH, Crawford WH, 1983. Guidelines for the future equine locomotion research. *Equine Vet. J.* 15: 103-110.

Leleu C, Cotrel C, Barrey E, 2004. Effect of age on locomotion of Standardbred trotters in training. *Equine and comparative Exercise Physiology* 1 (2): 107-117.

Miró F, Morales JL, García Palma G, Galisteo AM, 1996. Collection in the passage and piaffe of Spanish Purebred horses. A preliminary report. *Pferdeheilkunde* 12: 693-697.

Molina A, Valera M, Dos Santos R, Rodero A, 1999. Genetic parameters of morphofunctional traits in Andalusian horse. *Livest. Prod. Sci.* 60: 295-303.

Rodríguez Alcaide JJ, 1999. Aspectos socioeconómicos del mundo del caballo: la industria del caballo y nuevas perspectivas. In Congreso Internacional del Caballo de Pura Raza Española: 67-92. Ed. Fundecyt. Badajoz. Spain.

Saastamoinen M, Suontama M, Ojala M, 1998. Correlation between, and the effects of some environmental factors on the conformation traits in the Finnhorse trotter. EAAP 49th Annual Meeting, Warsaw, Poland.

Valera M., Molina A, Gutiérrez JP, Gómez J, Goyache F, 2005. Pedigree analysis in the Andalusian horse: population structure, genetic variability and influence of the Carthusian strain. *Livest. Prod. Sci.* 95: 57-66.

Weishaupt MA, Wiestner T, Hogg HP, Jordan P, Auer JA, 2004. Vertical ground reaction force-time histories of sound Warmblood horses trotting on a treadmill. *Vet. J.* 168: 304-311.

TABLAS.

Tabla 1. Variables biocinématicas medidas al paso en cinta rodante a caballos de Pura Raza Español.

Tipo	Var.	Nombre
Temporales	DT	<i>Duración de tranco</i> (Duración media de tranco. Duración total de ciclo de movimiento de los miembros)
	DA	<i>Duración del torácico</i> (Tiempo desde que miembro torácico contacta con suelo hasta que pelviano toca suelo de nuevo en el siguiente tranco)
	DAA	<i>Duración de la fase de apoyo del miembro torácico</i> (Tiempo en que miembro torácico está en contacto con el suelo)
	DVA	<i>Duración de la fase de vuelo del miembro torácico</i> (Tiempo en que el miembro no está en contacto con el suelo)
	PAMA	<i>Porcentaje de apoyo medio del miembro torácico</i> (Duración de período entre el apoyo del miembro y el momento de apoyo medio en porcentaje de tranco)
	DP	<i>Duración del pelviano</i> (Igual significado que DA para el miembro pelviano)
	DAP	<i>Duración de la fase de apoyo del miembro pelviano</i> (Igual significado que DAA para el pelviano)
	DVP	<i>Duración de la fase de vuelo del miembro pelviano</i> (Igual significado que DVA para el torácico)
	PAMP	<i>Porcentaje de apoyo medio del miembro pelviano</i> (Igual significado que PAMA para el pelviano. Momento en que el casco pelviano se dispone verticalmente a la articulación de la cadera)
Lineales	AT	<i>Amplitud del tranco</i> (Amplitud media del tranco. Distancia entre dos trancos consecutivos)
	AA	<i>Amplitud del torácico</i> (Se calcula multiplicando la duración del torácico por la velocidad)
	ACA	<i>Máxima altura del casco torácico</i> (Altura máxima registrada para el marcador del casco torácico)
	AP	<i>Amplitud del pelviano</i> (Igual significado que AA para el miembro pelviano)
	ACP	<i>Máxima altura del casco pelviano</i> (Igual significado que ACA para el pelviano)
Angulares	MRPA	<i>Máximo ángulo de retracción-protracción del miembro torácico</i> (Máximo valor del ángulo craneal entre la línea imaginaria que pasa por 1 y 8, y la horizontal que pasa por 1 durante el tranco)
	RRPA	<i>Rango de retracción-protracción del miembro torácico</i> (Diferencia entre MRPA y mínimo valor de este ángulo. Refleja la amplitud del movimiento pendular del miembro torácico)
	mRPP	<i>Mínimo ángulo de retracción-protracción del miembro pelviano</i> (Mínimo valor del ángulo craneal entre línea imaginaria que pasa por marcadores 10 y 15 y línea horizontal que pasa por 10 durante el tranco. Refleja máxima protracción del pelviano)
	RRPP	<i>Rango de retracción-protracción del miembro pelviano</i> (Diferencia entre mRPP y el máximo valor para este ángulo. Refleja la amplitud del movimiento pendular del miembro pelviano)

Todas las longitudes se miden en centímetros (cm), las duraciones en segundos (s) y los ángulos en grados (°).

Table 1. Biokinematic variables measured at walk on treadmill in Spanish Purebred horses.

All the length were in centimetres (cm), the durations in seconds (s) and the angles in degrees (°)

Tabla 2. Parámetros genéticos (heredabilidad  $h^2$ - y correlaciones genéticas significativas) de las 18 variables biocinémicas estudiadas en cinta rodante para caballos de Pura Raza Española.

$h^2 \pm e.s.$	Correlaciones Genéticas*	$h^2 \pm e.s.$	Correlaciones Genéticas*
<b>DT</b>		<b>DP</b>	
0.61±0.266	ACA: -0.78±0.396 MRPA: 0.92±0.350	0.65±0.272	MRPA: 0.95±0.416
<b>AT</b>		<b>DAP</b>	
0.62±0.266	ACA: -0.78±0.371 MRPA: 0.92±0.478	0.82±0.231	PAMP: 0.87±0.251 MRPA: 0.45±0.167 RRPA: 0.94±0.330
<b>AA</b>		<b>DVP</b>	
0.56±0.266	ACA: -0.78±0.394 MRPA: 0.91±0.719	0.43±0.291	RRPA: -0.91±0.246 RRPP: -0.28±0.186
<b>DA</b>		<b>PAMP</b>	
0.55±0.268	ACA: -0.79±0.408 MRPA: 0.92±0.834	0.44±0.296	
<b>DAA</b>		<b>ACP</b>	
0.29±0.212	DVP: 0.98±0.263 ACP: -0.99±0.243 MRPA: -0.32±0.128	0.23±0.217	
<b>DVA</b>		<b>MRPA</b>	
0.29±0.192	PAMP: -0.32±0.139	0.59±0.271	RRPP: 0.50±0.314
<b>PAMA</b>		<b>RRPA</b>	
0.22±0.154		0.61±0.263	
<b>ACA</b>		<b>mRPP</b>	
0.76±0.251	AP: -0.78±0.309 DP: -0.78±0.336 DAP: -0.45±0.249 RRPP: -0.79±0.408	0.30±0.223	
<b>AP</b>		<b>RRPP</b>	
0.64±0.266	MRPA: 0.95±0.413	0.83±0.276	

\*solo se muestran las correlaciones genéticas significativas ( $p < 0.005$ )

Donde: DT es Duración del tranco, DA es Duración del torácico, DAA es Duración de la fase de apoyo del miembro torácico, DVA es Duración de la fase de vuelo del miembro torácico, PAMA es Porcentaje de apoyo medio del miembro torácico, DP es Duración del pelviano, DAP es Duración de la fase de apoyo del miembro pelviano, DVP es Duración de la fase de vuelo del miembro pelviano, PAMP es Porcentaje de apoyo medio del miembro pelviano, AT es Amplitud del tranco, AA es Amplitud del torácico, ACA es Máxima altura del casco torácico, AP es Amplitud del pelviano, ACP es Máxima altura del casco pelviano, MRPA es Máximo ángulo de retracción-protracción del miembro torácico, RRPA es Rango de retracción-protracción del miembro torácico, mRPP es Mínimo ángulo de retracción-protracción del miembro pelviano y RRPP es Rango de retracción-protracción del miembro pelviano.

Table 2. Genetic parameters (heritability  $h^2$ - and significant genetic correlations) for the 18 biokinematic variables analysed on treadmill in Spanish Purebred horses.

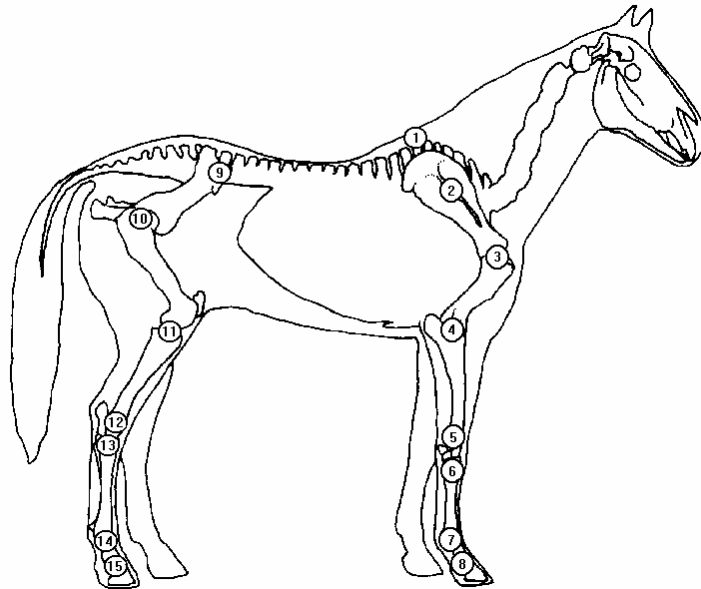
\*Only significant genetic correlations were shown ( $p < 0.005$ ).

Where: DT is stride duration, DA is forelimb duration, DAA is Forelimb stance phase duration, DVA is Forelimb swing phase duration, PAMA is Forelimb halfway stance percentage, DP is Hindlimb duration, DAP is Hindlimb stance phase duration, DVP is Hindlimb swing phase duration, PAMP is Hindlimb halfway stance percentage, AT is Stride length, AA is Forelimb length, ACA is Forelimb maximum height of hoof, AP is Hindlimb length, ACP is Hindlimb maximum height of hoof, MRPA is Maximal retraction-protraction angle of forelimb, RRPA is Retraction-protraction range of the forelimb, mRPP is Minimal retraction-protraction angle of hindlimbs and RRPP is Retraction-protraction range of the hindlimb.



## FIGURAS.

**Figura 1.** Posición de los marcadores en el caballo para el estudio biocinémático de las variables al paso en cinta rodante. 1. Cruz, 2. Tuber spina scapulae, 3. Tuberculum major humerus (pars caudalis) 4. Ligament collaterale cubiti laterale, 5. Procesus styloideus lateralis radii, 6. basis os IV metacarpale, 7. Ligament collaterale metacarpophalangi laterale, 8. margo coronalis (miembro torácico), 9. Tuber coxae, 10. Trochanter major femoris (pars caudalis), 11. Ligament collaterale geni laterale, 12. Malleolus lateralis tibialis, 13. Basis os IV metatarsale, 14. Ligament collaterale metatarsophalangi laterale, 15. Margo coronalis (miembro pelviano).



**Figure 1.** Position of the markers placed on the horse for the study of biokinematic variables at walk on treadmill. 1. Withers, 2. Tuber spina scapulae, 3. Tuberculum major humerus (pars caudalis) 4. Ligament collaterale cubiti laterale, 5. Procesus styloideus lateralis radii, 6. basis os IV metacarpale, 7. Ligament collaterale metacarpophalangi laterale, 8. margo coronalis (forelimb), 9. Tuber coxae, 10. Trochanter major femoris (pars caudalis), 11. Ligament collaterale geni laterale, 12. Malleolus lateralis tibialis, 13. Basis os IV metatarsale, 14. Ligament collaterale metatarsophalangi laterale, 15. Margo coronalis (hind limb).