

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Medicina Veterinaria y
Zootecnia

Tesis para obtener el título de Maestro en
Ciencias de la de la Producción y la Salud
Animal

Evaluación cinemática en caballos
Pura Sangre Inglés

Autor:

María Fernanda Ortiz Heatley

Tutor:

María Masri Daba

Comité Tutorial:

Francisco Trigo Tavera

José Clemente Ibarra Ponce de León



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1 ÍNDICE

1	Índice	2
1.1	Figuras:	3
1.2	Cuadros:.....	3
2	Resumen	4
3	Abstract.....	5
4	Introducción.....	6
4.1	Análisis biomecánico.....	7
4.2	Historia de la fotografía.....	9
4.3	Historia de la descripción del movimiento del caballo	11
4.4	El análisis de movimiento en la actualidad.....	14
4.5	Otros métodos de análisis cinemático.....	18
4.6	Justificación	19
5	Objetivos.....	19
5.1	Hipótesis	20
6	Materiales y Métodos.....	21
6.1	Análisis goniométrico	22
6.2	Análisis de video	23
6.2.1	Cámara canon HFG30.....	23
6.2.2	Pantalla verde de fondo de 10x3 metros	23
6.2.3	Marcadores blancos, amarillos o rojos según el color del caballo.....	23
6.2.4	Localización de claudicaciones	23
6.2.5	Programa para el análisis de movimiento.....	24
7	Resultados	25
7.1	Validación del programa de análisis cinemático.....	25
7.2	Análisis de video	29
7.3	Análisis de los rangos de Movimiento	32
7.3.1	Grados promedio de flexión y extensión.....	33
7.3.2	Rangos de movimiento	34

7.4	Comparación entre lado derecho e izquierdo	35
8	Discusión	37
9	Conclusiones	39
10	Bibliografía:	40

1.1 FIGURAS:

Figura 1:	Posición de los marcadores en el caballo.....	17
Figura 2:	Ecuaciones para la determinación del tamaño de muestra en 95 y 99% de significancia..	22
Figura 3:	Gráfica de Bland-Altman.....	28
Figura 4:	Caballo al trote con marcadores.....	29
Figura 5:	Frecuencia de años	30
Figura 6:	Frecuencia de claudicaciones.....	31
Figura 7:	Coeficiente de claudicación promedio.	31
Figura 8:	Grado de claudicación en relación con la edad según los datos obtenidos por el sistema de sensores de la marca Equinosis®	32

1.2 CUADROS:

Cuadro 1:	Descripción estadística de las mediciones de 10 grados. ..	25
Cuadro 2:	Descripción estadística de las mediciones de 5 grados.	26
Cuadro 3:	Prueba de análisis de varianza factorial	27
Cuadro 4:	Frecuencia de claudicación según miembros.....	30
Cuadro 5:	Grados promedio de flexión y extensión	33
Cuadro 6:	Descripción poblacional de los rangos de movimiento.	34
Cuadro 7:	Comparación entre lado derecho e izquierdo.....	35

2 RESUMEN

Como médicos veterinarios trabajando en caballos, uno de los principales retos es la detección eficiente de claudicaciones en estos. Generalmente un examen de aparato locomotor se realiza de manera cualitativa, por lo que los grados de claudicación que se realicen pueden variar ampliamente entre los diferentes individuos que lo realicen. Por esto mismo, es importante encontrar herramientas que de una manera eficiente y confiable nos auxilien en la detección y cuantificación del grado de claudicación en equinos. En este trabajo se plantea la medición de los grados de flexión y extensión como una herramienta para la detección y cuantificación de claudicaciones; con el objetivo de probar una herramienta sencilla y de bajo costo para el público en general. Se tomó una muestra homogénea de 30 caballos pura sangre inglés de carreras clínicamente sanos y se analizó para determinar parámetros poblacionales, así como cambios en estos dados por claudicaciones. Se utilizó una cámara de video semiprofesional y el programa de computo Kinovea®. Para analizar los grados de flexión y extensión obtenidos se utilizó el programa estadístico SPSS®. Con lo que se encontró que los parámetros descritos en caballos sanos y con claudicación no tenían diferencias estadísticamente significativas, por lo que se puede inferir que los caballos utilizan mecanismos de claudicación que no implican modificaciones a los grados de flexión y de extensión de sus miembros torácicos y pélvicos.

3 ABSTRACT

As veterinarians working in the equine field, we are constantly challenged with lameness affecting them, and the need to efficiently determine the grade of such. Usually this lameness exam is performed in a subjective fashion, where variations amongst different individuals analyzing the same case can be easily found. For this reason, it is important to develop tools to aid us in the detection and quantification of the lameness found. This thesis hypothesizes the use of flexion and extension degrees obtained through video analysis as a tool for describing and quantifying lameness in horses. With the objective of creating a widely available tool for lameness description in the veterinary field. A homogenous sample size of 30 race thoroughbreds was analyzed to determine population parameters, as well as changes in this parameters in the presence of lameness. A semiprofessional video camera was used, as well as the computing system Kinovea® to obtain flexion and extension angles, to be processed with the statistic system SPSS®. The population was found to have statistically similar parameters on individuals that were lame and sound, implying that horses use different methods of lameness compensation other than modifications in the angle flexion and extension throughout the gait.

4 INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una revolución tecnológica con cambios continuos en los diferentes aparatos utilizados en la vida diaria. De esta manera tenemos fácilmente disponible equipo con el que anteriormente no se contaba. Por lo que debemos de mantenernos al día con estos avances. Esto no solo aplica para la vida diaria, también para la medicina veterinaria que practicamos.

Una de los principales retos del Médico Veterinario es el aparato locomotor de los equinos, el cual, es sumamente vulnerable a su medio ambiente. Desde su relación con el caballo como animal de trabajo, el humano se ha interesado en describir su cuerpo, así como su movimiento. Inicialmente se creía conocer el patrón de movimiento de los miembros de los caballos, hasta que se logró describir de manera acertada gracias al estudio fotográfico de Murray denominado "El caballo en movimiento"¹. Gracias a los avances que ha tenido la civilización y la importancia que ha tenido el caballo, el estudio del movimiento del caballo se ha logrado desarrollar con mayor exactitud. Se ha invertido más tiempo y dinero en investigar cómo es que el caballo se mueve de manera natural, como es que este se lesiona y compensa su movimiento después de lesionarse. Hoy en día el caballo no es considerado como una herramienta de trabajo tan importante como lo era antes y ha tomado un papel más importante en la industria del entretenimiento y deporte. Por lo mismo, se le ha invertido una suma considerable de dinero para desarrollar armas que ayuden a describir y resolver problemas de claudicaciones o que ayuden a optimizar su movimiento para poder mejorar su desempeño en el deporte que realicen ².

4.1 ANÁLISIS BIOMECÁNICO

Hasta ahora, se ha considerado el examen ortopédico veterinario como el arma más recurrida para detectar claudicaciones en el equino, a pesar de que cada sujeto describe la claudicación de manera diferente³. Se ha logrado desarrollar sistemas de análisis biomecánicos que describen el movimiento de este con el fin de cuantificar y cualificar estas claudicaciones. Así mismo, se desarrolló un sistema por medio de acelerómetros y giroscopios que determina el grado y localización de claudicación en el equino^{4,5}. Este sistema aunque está disponible para la población en general, no es un sistema económico o que describa por completo como es que se está generando el movimiento compensatorio en todo el cuerpo del caballo en movimiento^{4,6}. De igual manera, los sistemas de análisis biomecánicos se encuentran disponibles únicamente dentro de una población de alto poder adquisitivo, por lo que las escuelas de medicina veterinaria que cuentan con fondos y donaciones limitadas no cuentan con sistemas de análisis avanzados para educar a sus alumnos en formación. Por esto mismo, la población veterinaria en general cuenta con un gran déficit en su educación referente a biomecánica.

Para poder describir las claudicaciones en los equinos es necesario desarrollar más armas que puedan cuantificar su grado de afectación⁷⁻⁹. De esta manera será posible describir cómo es que estas se han desarrollado en el curso de su tratamiento. Esto es sumamente necesario en el campo de la rehabilitación, donde es necesaria la descripción del movimiento y las alteraciones en los patrones normales de este para poder ayudar al organismo a recuperar su patrón normal de movimiento a través de ejercicios específicos que lo favorezcan^{10,11}.

Para poder evaluar, planear y tratar individuos de manera adecuada en el campo del deporte y la rehabilitación, así como en la ortopedia, existen técnicas que en conjunto se les conoce como análisis biomecánico¹. En el campo del deporte de alto rendimiento se les hacen análisis de movimiento a los atletas con el fin de mejorar su desempeño, así como identificar factores que estén alterando su movimiento. En los humanos esto está altamente desarrollado, pero en los caballos, a

quienes utilizamos como atletas, apenas se están instrumentando estudios que nos permitirán aplicar estas herramientas de medición de movimiento que serán de gran ayuda para poder determinar el origen de una lesión, así como los avances en un tratamiento específico^{13,14}.

La biomecánica se puede definir como la aplicación de los principios de la mecánica a sistemas biológicos^{15,1}. La rehabilitación se encarga de restaurar la función a un cuerpo que sufrió una lesión. Debido a que el enfoque principal de la rehabilitación es la forma y la relación de diferentes partes durante el movimiento, es necesario un entendimiento de la biomecánica teórica y su aplicación^{16,17}. Esta provee de bases para un mejor entendimiento de los métodos diagnósticos y de evaluación, modalidades de tratamientos, y los efectos patológicos del sistema musculoesquelético cuando está afectado^{18,19}.

La cinemática es la medida y descripción del movimiento tomando en cuenta el tiempo y el espacio donde este se realiza². La locomoción es el resultado de la fuerza aplicada (a través de los miembros) a un cuerpo que acelera. La cinemática considera el estudio del movimiento a través de técnicas de video y programas de computación con los cuales se puede medir el movimiento de los sujetos de estudio. Se utiliza para medir de manera cuantitativa el movimiento y los cambios del mismo. El movimiento que existe en el cuerpo debe de ser considerado como tridimensional, los componentes traslacionales son craneocaudal, lateromedial y dorsoventral. El movimiento de una articulación consta de una rotación axial principal y los movimientos aunados o accesorios^{1,2,14}.

El análisis para las terapias de rehabilitación y ortopedia trabaja de manera muy cercana con la biomecánica, la cual estudia los modelos, fenómenos y leyes que son relevantes en el movimiento y el equilibrio en estática y en dinámica de los seres vivos. Se dedica a mejorar las funciones de un deportista que no tenga lesiones, pero que presente dificultades para realizar algún deporte, para lo cual se evalúa y desarrolla un programa específico orientado a mejorar sus condiciones¹². Dentro de las herramientas básicas de la biomecánica están la goniometría y la cinemática, los cuales se utilizan para medir los ángulos de flexión de las articulaciones de manera pasiva y activa. Desde hace mucho tiempo se utiliza la goniometría, y en la actualidad

se sigue utilizando en la medicina, el deporte y en las investigaciones por ser una herramienta muy precisa. El goniómetro alcanza los datos más sólidos y confiables referidos al ángulo del movimiento alcanzado. Mide la flexibilidad en grados y las lecturas son tomadas en flexión y extensión máxima articular ²¹.

Hoy en día no se cuenta con informes de estudios estandarizados y estadísticamente válidos que reporten los valores normales para los rangos de movimiento de las articulaciones, así como los ángulos de flexión en estática, dinámica y flexión pasiva y activa normales para caballos. Existen varios estudios con muestras no homogéneas en donde se reportan medidas goniométricas, pero los sujetos de estudio son de distintas edades razas y funciones zootécnicas²². Por lo que resulta imposible aplicar estas herramientas de una manera homogénea en campos como la medicina del deporte y la rehabilitación^{23, 16}.

4.2 HISTORIA DE LA FOTOGRAFÍA

A principios del siglo XIX, en el año 1824, el francés Nicéphore Niepce obtuvo las primeras imágenes fotográficas, inéditas. La fotografía más antigua que se conserva es una reproducción de la imagen conocida como Vista desde la ventana en Le Gras, obtenida en 1826 en donde se utilizó una cámara oscura y una placa de peltre. Cuando Niepce comenzó sus experimentos necesitaba un poco más de ocho horas de exposición, a plena luz del día para obtener sus imágenes²⁴. En 1827, Niepce contactó a Daguerre, quien se interesa por su invento e insistió en un acuerdo de trabajo. Posteriormente, tras la muerte de Niepce, Daguerre continuó con sus experimentos utilizando las sales de plata en lugar de placas de peltre. A esta técnica por medio de placas de plata pulida se les conoció como daguerrotipo²⁵.

Posteriormente William Fox Talbot desarrolló un método diferente para la obtención de fotografías; el procedimiento obtenía negativos sobre un soporte de papel, y a partir de esos negativos reproducía copias

positivas, también en papel²⁶. El procedimiento negativo-positivo de Talbot se llamó calotipo o talbotipo.

Inicialmente el daguerrotipo era mucho más popular, ya que era muy útil para obtener retratos, y su calidad de imagen era muy superior al calotipo. Estos "retratos al daguerrotipo" empezaron a divulgarse entre la clase burguesa de la Revolución industrial, por ser mucho más baratos que los pintados, lo que dio un gran impulso a esta nueva técnica^{24,26}.

Los procedimientos fotográficos utilizados durante el siglo XIX fueron muy diversos, empezando por el daguerrotipo, y el calotipo. A partir de 1855 surgió con gran éxito el sistema de los negativos de colodión húmedo, que permitían obtener muchas copias positivas en papel a la albúmina, con gran nitidez y amplia gama de tonos²⁵. Estas copias a la albúmina fueron el tipo de papel fotográfico más empleado en la segunda mitad del siglo XIX. Todos estos sistemas se basaban en procesos artesanales, y requerían destrezas manuales significativas por parte de los fotógrafos, así como conocimientos prácticos de química y física.

Después de 1880 se desarrollaron las nuevas placas secas al gelatino-bromuro, que podían ser producidas de modo industrial y comercializadas sin limitaciones²⁵. Los fotógrafos compraban cajas de placas vírgenes, ya sensibilizadas, listas para cargar en chasis y ser expuestas en la cámara. También eran placas de vidrio; pero pronto empezó a usarse el soporte flexible de película de nitrato^{24,25,27}.

A partir de 1888, Kodak sacó al mercado una cámara que utilizaba carretes de película enrollable, en lugar de placas planas²⁸. El sistema inventado por Kodak se complementaba además con el revelado de las tomas luego de expuestas, y la carga de la cámara con nueva película. Con lo cual comenzó a comercializarse de una manera más amplia la fotografía.

Posteriormente se desarrolló la tecnología para poder capturar tomas en movimiento. El ingeniero escocés John Baird fue uno de los pioneros en la captura de imágenes en movimiento, aunque sus experimentos se basaron en otros anteriores²⁷. No obstante, fue en sus instrumentos en

los que se basó la tecnología empleada para construir la cámara de video que tuvo mayor éxito.

La cámara de vídeo como lo conocemos hoy en día es capaz de grabar imágenes y sonido. La primera aparición al público que se hizo sobre este invento fue el 14 de abril de 1956 gracias a Ray Dolby, Ginsberg, Charles, y Charles Anderson, quienes inventaron la primera cámara de vídeo capaz de grabar imagen y sonido²⁷.

Cámaras de vídeo diseñado para su uso personal se pusieron a disposición del público en general en la década de 1980. Estas máquinas eran voluminosas, pesadas y caras, pero resultó ser eficaz.

Basándose en la tecnología que se habían desarrollado durante años, las empresas de electrónica más importantes, como Sony y JVC empezaron a desarrollar nuevas tecnologías. Estas empresas inventaron la cámara de vídeo que hoy llamamos videocámaras. Estos dispositivos son capaces de capturar la imagen, sonido y grabación a un dispositivo de almacenamiento todo en una sola máquina²⁷.

A finales de 1980 y principios de 1990, las mismas compañías que había inventado la cámara de vídeo para uso personal comenzaron a miniaturizar y digitalizar sus máquinas²⁷.

4.3 HISTORIA DE LA DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO DEL CABALLO

Como se ha mencionado previamente, a través de la historia de la relación de los seres humanos y los caballos como instrumento de trabajo y herramienta deportiva, se ha tratado de describir de manera efectiva el movimiento de estos, así como su conformación. El primer estudio que existe sobre la conformación de los caballos fue en 430-354 AC por Xenophonte, donde se describieron las características deseadas y no deseadas en los caballos. Mucho del criterio descrito en su obra, se sigue utilizando hoy en día, tal como el hecho de que los miembros

pélvicos se encargan de la propulsión. Dato que ha sido corroborado por estudios biomecánicos en cuadrúpedos ²⁹⁻³³.

Durante el renacimiento Giovanni Alfonso Borelli aplicó teorías estudiadas en física para determinar valores de la locomoción del caballo. Calculó la fuerza de acción de los músculos y reconoció que estos trabajaban mediante estímulos nerviosos. Escribió un libro llamado *De motu animalium*, lo que quiere decir sobre el movimiento animal, en el cual describe el centro de gravedad, así como una descripción sobre la colocación de las patas en los distintos aires ¹.

En el siglo XVIII Francia empezó a estudiar la locomoción en caballos, esto gracias al nuevo acercamiento de los colegios de ciencias a establecer hipótesis y probarlas después, además de la creación de las primeras escuelas veterinarias, los cuales enfocaban sus estudios principalmente al caballo. En los años que siguieron se detuvieron casi por completo los estudios del movimiento del caballo, hasta que en el siglo XX retomaron estos estudios por la importancia que tomó el caballo como un factor económico²⁹⁻³³.

Gracias a la creación de la cámara fotográfica y la cámara de video se pudieron hacer estudios sobre el movimiento y sus diferentes patrones en los seres vivos. Gracias al valor que ha tenido el caballo a través de la historia, y a los avances tecnológicos que ha tenido la humanidad, es que se ha podido tener más avances en el estudio del movimiento del caballo¹.

No fue hasta mediados del siglo XIX cuando se resolvió la duda de si el caballo al trote tenía un momento donde se encontraba completamente suspendido en el aire, fue gracias a Edward Muybridge y Etienne Jules Marey que se logró contestar a esta pregunta. Edward Mybridge estudió el movimiento del caballo a partir de las imágenes obtenidas por medio de 24 cámaras fotográficas colocadas en una fila, las cuales se disparaban en secuencia. De esta manera logró obtener fotografías de excelente calidad para esos tiempos¹. Con esto desarrollo el “zoöpraxiscopio” lo cual es un disco en el cual se colocaba la serie de estas imágenes que al proyectar este, daba la impresión del movimiento del animal³⁴.

Marey, por otro lado, se dedicó a estudiar el movimiento por medio del estudio del contacto que tenían las patas del caballo con el suelo y al igual que Muybridge, demostró que los miembros pélvicos son los que se encargan de la propulsión, mientras que los torácicos se encargan de dar soporte^{1, 34}.

El tiempo pasó y con la llegada de las I y II Guerras mundiales, la industria se detuvo casi por completo y con esto la investigación en locomoción del caballo. Gracias a que la economía renació en 1960s los caballos dejaron de ser un lujo para los pocos afortunados y se convirtió en un deporte un tanto más accesible para el público en general. Al principio de los años 70s los deportes ecuestres florecieron como nunca antes. La investigación en la locomoción creció con el deseo de encontrar caballos más rápidos y mejores para el deporte que realizaban. Anteriormente los caballos únicamente cumplían con su trabajo, para lo cual no necesitaban de un sistema locomotor superior, si no únicamente funcional, a diferencia de los atletas que tenían unas demandas superiores. Con lo cual se creó una necesidad de sistemas de análisis del movimiento para detectar patrones normales y anormales de movimiento mucho más precisos; esto con el fin de determinar de qué manera se puede influir en estos patrones para poder mejorar el desempeño del atleta.

Fue en los años 70s que el investigador Ingvan Fredricson empezó a utilizar cámaras de alta velocidad para reportar análisis cuantitativos del movimiento realizado por el casco de caballos en Suecia. El adaptó un modelo de análisis de la industria de la aviación para procesar sus datos. Este modelo le permitía analizar el movimiento de manera tridimensional. A estos estudios se les considera como el verdadero inicio al estudio de la locomoción en equinos^{1, 2, 6, 35}.

4.4 EL ANÁLISIS DE MOVIMIENTO EN LA ACTUALIDAD

Existen centros donde se estudia el movimiento en equinos en el mundo, los principales se encuentran en Europa y Norte América. Los centros más destacados para el estudio cinemático son Uppsala en Suecia, Viena en Austria, Utrecht en Holanda, Alfort en Francia, Zurich en Suiza, Reino Unido, Bélgica, Saskatoon en Canadá, Michigan y Missouri ambos en Estados Unidos de América. Todos estos han tenido diversas publicaciones por investigadores destacados y cuentan con equipo avanzado para el estudio del movimiento del caballo^{1, 34}.

Todos los días, de manera subjetiva, se realizan pequeños análisis sobre el movimiento de aquello que nos rodea y hacemos un juicio basado en la experiencia previa. Y aunque muchos clínicos con años de experiencia, pueden emitir un juicio bastante acertado, no deja de estar presente la subjetividad dentro de sus evaluaciones. Estos clínicos pueden ser consistentes en sus evaluaciones, pero siempre hay variabilidad entre individuos, como lo describió el Dr. Keegan³⁶.

El estudio cinemático evalúa el movimiento de los cuerpos, así como su geometría, sin tomar en cuenta las fuerzas que lo generan. Mientras que la cinética es el estudio de las fuerzas internas y externas presentes durante el movimiento¹.

La variabilidad es inherente en todos los sistemas biológicos, y el equino no es una excepción. Al planear un análisis se debe de tomar en cuenta la confianza de una variable, así como la variabilidad que esta tiene, por lo que es necesario tomar en cuenta el tamaño de la muestra a examinar³¹. Algunos individuos muestran más variabilidad que otros³, y esta puede estar dada por claudicaciones. Los caballos con claudicaciones severas, tienden a tener coeficientes de variabilidad más altos para valores cinéticos, que aquellos sin signos de claudicación³⁷.

Gracias a los avances que ha tenido la ciencia en cuanto al estudio del movimiento, el estudio del movimiento del caballo también ha avanzado significativamente. Desde los estudios realizados por Muybridge y Marey han habido cambios excepcionales. Existen diferentes disciplinas

que se encargan de describir el movimiento de los cuerpos, a lo que en conjunto se le conoce como análisis biomecánico^{39,4}. Dentro de la biomecánica se encuentra el análisis cinemático, el cual se encarga de describir el movimiento sin tomar en cuenta que lo genera. También está la cinética, ciencia que estudia las fuerzas que originan al movimiento¹.

El análisis cinemático evalúa cuantitativamente las características temporales, lineales y angulares del paso. Esto se puede hacer por medio del análisis de video, el cual al integrar los marcadores obtenidos de diversos videos, se puede reconstruir un modelo animado por medio de programas de computación. Estos análisis se pueden hacer sin marcadores o con marcadores pasivos o activos. Los marcadores activos son generalmente LEDs que brillan y por lo mismo le es más fácil al software reconocerlos; los marcadores pasivos únicamente contrastan con el fondo y generalmente son retroreflejantes de tal manera que reflejan en la misma dirección que son iluminados con una luz^{7,4}. Existen también marcadores que se guían a través de ultrasonido, y análisis por medio de video, aunque para este último es necesario un laboratorio para poder poner múltiples cámaras, las cuales se tienen que sincronizar y calibrar en un espacio determinado; además de contar con el software necesario para generar un modelo tridimensional con precisión ¹.

En varios estudios se ha determinado el tamaño más adecuado para los marcadores para estudios cinemáticos únicamente bidimensionales, y se ha visto que esto depende de la resolución del sistema de video utilizado ²⁰. Cuando se cuenta con un video de alta resolución, se pueden utilizar marcadores de 1 a 3 cm de diámetro, y en los casos de sistemas de baja resolución pueden utilizarse marcadores más grandes para tener mayor precisión.

Para los estudios tridimensionales se colocan varias cámaras y posteriormente se extrapolan las tomas de video colocándose sobre los marcadores para así poder reconstruir la imagen; por lo que se recomienda usar marcadores esféricos para que al enfocarlos desde distintos ángulos, mantengan su composición esférica ¹³. Estos marcadores típicamente son de 1 a 3 cm de diámetro y están cubiertos por pintura retroreflejante^{20,4}.

Cuando los marcadores se sujetan a la piel, se debe tomar en cuenta que el deslizamiento de la piel sobre los huesos representa una variable significativa que se debe considerar. Se ha determinado que en áreas más proximales, como la babilla del caballo, la piel tiene un deslizamiento de hasta 12 cm, lo cual es suficiente para modificar las mediciones de una manera considerable^{4, 38,4}. Estas consideraciones pudieran no ser tan importantes en el caso de estudios clínicos donde las diferentes mediciones se realizarán de la misma manera, a diferencia del caso de los estudios biomecánicos, donde es de significativa importancia obtener el valor absoluto de la medición; es por esto que en el caso de estudios tridimensionales se utilizan coeficientes de corrección para las articulaciones más proximales del caballo⁴³⁻⁴⁵. En el caso de utilizar marcadores fijos, estos se colocan por medio de clavos de Steinmann, los cuales se insertan directamente en el hueso¹⁶.

La colocación de los marcadores se selecciona de acuerdo al objetivo del estudio y de acuerdo a los requerimientos del software, ya que cada software es diferente. En la mayoría de los casos, para medir desplazamiento angular, se utilizan al menos tres marcadores, y generalmente se localizan cerca de los puntos marcados en la figura 1⁴. Uno que se coloca sobre el centro de rotación de la articulación, y dos más sobre los huesos que conforman los catetos sobre la parte más distal. Se ha visto que se obtienen mediciones igual de acertadas al tomar este punto como el centro de rotación de las articulaciones proximal y distal. Así mismo, se buscan prominencias óseas o sitios distintivos donde colocar el marcador, para poder evitar tener mayor variabilidad al colocarlos en los diferentes sujetos^{42,43}.

El proceso de reconstrucción de animaciones tridimensionales involucra pasos como son la calibración de las cámaras, frecuencia del muestreo (similar a una sincronización de las cámaras), digitalización, suavización de la imagen, transformación y normalización, por lo que el proceso es bastante tedioso y requiere de un sistema de software especializado^{16,17}.

En algunos estudios cinemáticos sobre el desplazamiento angular, se reportan los datos del valor absoluto del ángulo, mientras que en otros se reporta la desviación que tiene el ángulo en cuadripedestación hacia

los valores de flexión y extensión. En estos casos la flexión se representa como un valor que se desvía positivamente del valor angular basal, y la extensión se reporta como una desviación negativa^{31,4}.

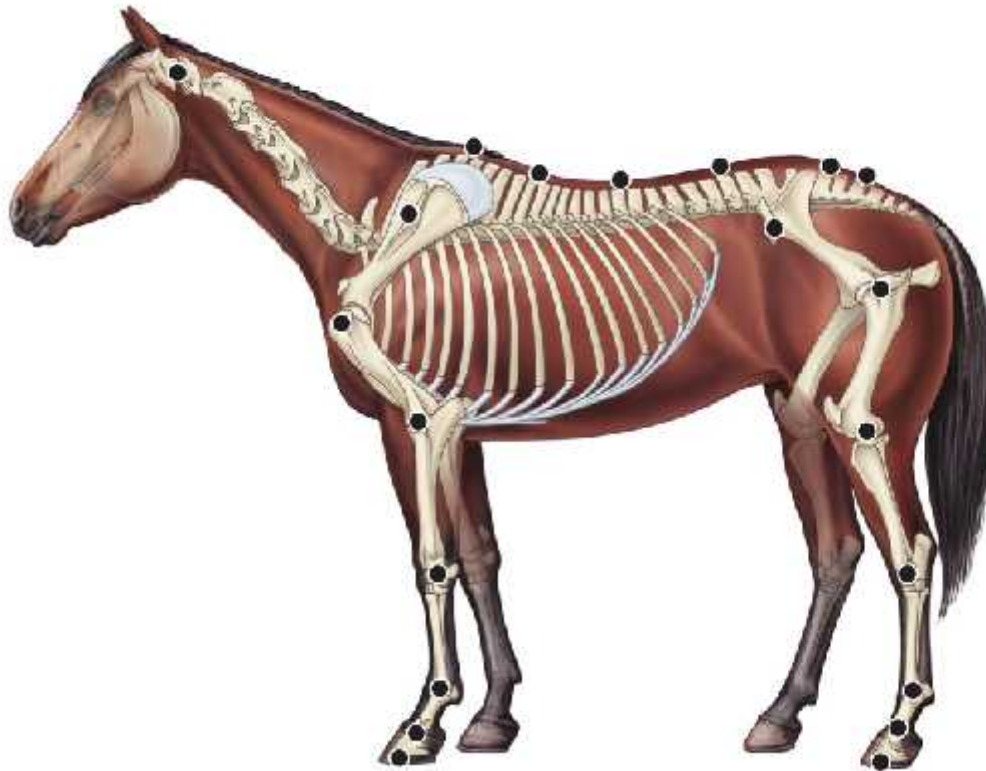


Figura 1: Posición de los marcadores en el caballo.

En el 2007 el Dr. Keegan publicó estudios sobre la utilización de acelerómetros y giroscopios para la determinación de claudicaciones en caballos. A lo largo de su carrera, el Dr Keegan se ha encargado de estudiar las claudicaciones en los caballos, así como los mecanismos mediante los cuales estas se presentan. Después de varios estudios cinéticos y cinemáticos, determinó que la manera más confiable de determinar claudicaciones era a través del análisis de vectores obtenidos por medio de estos equipos³. Posteriormente, comparó la eficacia de este equipo contra la experiencia de médicos familiarizados en la detección de claudicaciones⁴. Con lo que pudo concluir que su

método es altamente eficiente al detectar claudicaciones. Este equipo de sensores de inercia está convirtiéndose en el modelo de referencia en estudios donde se determinen claudicaciones en el caballo.

4.5 OTROS MÉTODOS DE ANÁLISIS CINEMÁTICO

El electrogoniómetro es un instrumento que consta de un potenciómetro unido a dos brazos y sirve para medir los cambios en los grados de flexión o extensión de las articulaciones. El centro del elgon o electrogoniómetro, se coloca sobre el centro de rotación de la articulación que se desea medir, y los brazos sobre el eje de los huesos que la conforman. El movimiento del potenciómetro genera cambios en la resistencia que son registrados por medio de un osciloscopio y posteriormente transformado en los datos de cambios en el ángulo. En caballos el uso de electrogoniómetros ha sido desplazado por la disponibilidad en sistemas de análisis de movimiento basado en imágenes, por lo que no se le ha dado tanta importancia a la electrogoniometría^{1,4}.

Uno de los sistemas más utilizados de análisis cinemático es el análisis del movimiento a través de video. Por medio de cámaras de alta resolución es más fácil determinar la posición de las diferentes articulaciones del caballo y de esta manera determinar si el movimiento presenta un patrón normal o no. Este análisis se puede hacer tanto bidimensional como tridimensional dependiendo de las cámaras y el programa de computadora con el que se cuente. Existen diversos programas de análisis de movimiento a través de video⁴.

El análisis de movimiento es una propiedad física tiempo dependiente, este parámetro puede ser una coordenada, una fuerza, aceleración, un ángulo, etc. Para describir el movimiento de manera adecuada se deben de tomar un número de tomas que permitan describir la trayectoria completa del objeto cuyo movimiento se planea describir. A esto se le llama muestreo. Esto puede ser ejemplificado al describir como se ve el movimiento de una rueda girando en dirección opuesta a lo que en realidad está sucediendo. A este efecto se le conoce como el “efecto

alias". Para evitar que esto suceda existe el teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, el cual dice que para obtener un tamaño de muestra tal que se evite el efecto alias, se debe contar con un tamaño de muestra dos veces mayor que la señal de frecuencia⁴.

Estos métodos descritos requieren de una persona altamente entrenada en el uso de estos operándolos, o no son fácilmente disponibles para la mayoría de la población veterinaria. Por lo que se propone analizar un mecanismo que de ser exitoso, podría facilitar los exámenes de claudicaciones haciéndolos más objetivos.

4.6 JUSTIFICACIÓN

Actualmente no se encuentran publicados estudios que reporten los parámetros normales para los rangos de movimiento de las articulaciones. Si la medición de ángulos de las articulaciones del caballo al trote funcionara como una herramienta para determinación de claudicaciones, resultaría ser de gran utilidad para la población veterinaria.

Es necesario tener una herramienta para evaluar la evolución del paciente objetivamente, ya que actualmente los equipos que existen para análisis de movimiento para su uso en caballos son costosos y por lo mismo limitan su uso.

5 OBJETIVOS

Objetivo general:

Realizar un estudio con validez estadística para determinar los rangos normales de movimiento en una población homogénea de caballos pura sangre inglés de carreras del Hipódromo de las Américas (2 a 4 años de edad, en un rango de 250 a 350 kg de peso), para poder utilizar la cinemática como herramienta diagnóstica.

Objetivos específicos:

Hacer un estudio estadísticamente válido para determinar los parámetros normales para los rangos de movimiento normales de las articulaciones de los miembros de los caballos por medio de goniometría y medición del desplazamiento angular.

Determinar si existen diferencias en los rangos de movimiento normales dentro de la población, y entre distintas subpoblaciones.

Validar un sistema de bajo costo para realizar estudios cinemáticos en caballos.

5.1 HIPÓTESIS

Una población homogénea de caballos PSI (Pura Sangre Inglés) de carreras tienen un rango de movimiento medible y semejante en sus articulaciones observadas y pueden ser medidas por un sistema de análisis de movimiento de bajo costo.

6 MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron caballos de la raza pura sangre inglés (PSI) que durante el estudio se hallaran activos atléticamente, tanto en entrenamiento como corriendo, que pertenecieran a un rango de 2 a 5 años de edad. Por lo que se descartaron aquellos elementos que tuvieran lesiones que generaran claudicaciones demasiado obvias (3/5) y que limitaran su desempeño. Los caballos se seleccionaron de manera aleatoria entre aquellos que no tenían carreras al día siguiente.

Para el estudio por medio de video, se utilizó un equipo de sensores de inercia para poder determinar el grado de claudicación del individuo y poder evaluar de una manera certera el grado de claudicación y el miembro afectado.

Para el reporte del valor de los ángulos se decidió considerar el valor absoluto del ángulo y no la desviación de este a partir de la posición de reposo.

Para el análisis goniométrico se seleccionaron 30 caballos PSI del hipódromo de las Américas entre 2 y 5 años de edad que actualmente tuvieran desempeño atlético. Se midieron las articulaciones mencionadas previamente.

Tamaño de muestra

Se hizo la base de datos de caballos pura sangre inglés de carreras con las medidas goniométricas de las articulaciones de miembros torácicos y pélvicos, todos los caballos de entre 2 y 5 años de edad a los cuales se midieron sus ángulos articulares en estática y con flexión activa (asistida). A partir de la base de datos se obtuvieron medidas preliminares para determinar desviaciones estándar para determinar el tamaño de muestra más adecuado para tener una significancia del 95% al detectar cambios de 0.5° . El tamaño de muestra por el método de Wheeler fue de 24; por lo que se decidió analizar una muestra de 28 caballos.

$$95\% = \frac{(1.96)^2(7.929)^2}{(10.063)^2} = 24$$

$$99\% = \frac{(2.58)^2(7.929)^2}{(3.17226)^2} = 41$$

Figura 2: Ecuaciones para la determinación del tamaño de muestra en 95 y 99% de significancia..

Posteriormente se reevaluó el tamaño de muestra con una desviación estándar obtenida por medio de unos resultados preliminares de la articulación metacarpo-falángica del miembro torácico derecho (14.9) y se observó que el tamaño de muestra para una significancia de 95% era de 27.9 (Figura 2).

Se decidió tomar la desviación estándar del menudillo, ya que es la articulación que cuenta con una desviación mayor, por lo tanto el tamaño de muestra que se obtiene al utilizar este valor va a ser mayor, así mismo va a contener los tamaños de muestra que se obtendrían al utilizar desviaciones de menor tamaño.

6.1 ANÁLISIS GONIOMÉTRICO

- Muestra de 30 caballos
- Goniómetro

6.2 ANÁLISIS DE VIDEO

6.2.1 Cámara canon HFG30

Se seleccionó una cámara de video semi profesional que pudiera tomar imágenes a una velocidad de 60 cuadros por segundo en alta definición (1080) y que tuviera un lente de buena calidad. Considerando que uno de los objetivos del estudio es validar un sistema de bajo costo que pudiera ser útil y asequible para la población en general, se buscó que esta cámara no tuviera un costo elevado, pero que tuviera una buena calidad de imagen.

6.2.2 Pantalla verde de fondo de 10x3 metros

Al realizar estudios previos, se notó que el programa Kinovea® (www.kinovea.org) trabajaba de mejor manera al eliminar el fondo, aislando así al sujeto en estudio. Con esto se logró optimizar el tiempo de análisis de los videos y la eficiencia del programa y el operador.

6.2.3 Marcadores blancos, amarillos o rojos según el color del caballo

Se seleccionaron marcadores de hule espuma delgado de un color contrastante con el sujeto. Se recortaron cuadros de 2.5 cm por lado, los cuales se adhirieron al sujeto con cinta para montar de doble cara. Se seleccionó el tamaño de los marcadores de acuerdo a la resolución de la cámara y a la exactitud del programa para detectarlos.

La colocación de los marcadores se decidió en base a los centros rotacionales de las articulaciones como se demuestra en la figura 1.

6.2.4 Localización de claudicaciones

Se colocó un sistema de acelerómetros y giroscopios de inercia para la localización de claudicaciones (Equinosis®) en los sujetos, estos se colocaron sobre la nuca, articulación sacro iliaca y en miembro torácico derecho. Posteriormente se trotaron al menos 25 trancos^a para tener una lectura adecuada. El aparato fue operado por un MVZ, quien fue

^{aa} Se utilizan trancos ya que debido a las diferencias entre razas de caballos, y el funcionamiento del equipo no se puede determinar en metros.

previamente capacitada en la utilización del sistema. Los resultados fueron analizados en conjunto con esta persona.

6.2.5 Programa para el análisis de movimiento

Previo a la realización del estudio, se hizo una validación del programa. En la cual se midió a través de las herramientas de ángulo del programa Kinovea el cambio en la medida de 10 y 5 grados en el ángulo de un goniómetro. Se midieron los cambios a una distancia de 1, 2, 3, 4 y 5 metros de distancia del objetivo.

Se decidió seleccionar el programa www.kinovea.org debido a que se puede obtener de forma gratuita de internet.

7 RESULTADOS

Previo a la realización del proyecto de cinemática, se realizó un estudio para corroborar la eficacia del programa de análisis de movimiento. Con los resultados del mismo se decidió establecer la distancia de la cámara al objetivo (caballo al trote), así como el tipo de cámara y marcadores a utilizar.

7.1 VALIDACIÓN DEL PROGRAMA DE ANÁLISIS CINEMÁTICO

Para realizar el estudio del programa, se tomaron 10 medidas de ángulos a 2, 3, 4 y 5 metros de distancia y se analizaron las medidas registradas por el programa. Se colocó un goniómetro sobre una tela verde con un marcador en cada uno de los ejes del goniómetro, así como en el centro de este. El goniómetro se abrió 5 o 10 grados y el video del movimiento se analizó en el programa. Se grabaron para analizar 5 tomas diferentes a cada distancia y medida. (Cuadro 1)

Descriptivo								
GRADOS								
Distancia (metros)	N	Media (grados)	Desviación Standard	Error Std.	Intervalo de confianza para la media en 95%		Mínimo	Máximo
					Límite superior	Límite inferior		
2	10	10.20	.789	.249	9.64	10.76	9	12
3	10	9.90	.568	.180	9.49	10.31	9	11
4	10	5.30	5.417	1.713	1.42	9.18	0	20
5	11	27.55	39.149	11.804	1.24	53.85	4	120
Total	41	13.59	21.610	3.375	6.76	20.41	0	120

Cuadro 1: Descripción estadística de las mediciones de 10 grados.

Posteriormente se midió un cambio de 5 grados a 2, 3, 4 y 5 metros de distancia y se analizaron las medidas registradas por el programa. (Cuadro 2)

Descriptivo								
GRADOS								
Distancia (metros)	N	Media (grados)	Desviación St.	Error Std.	Intervalo de Confianza para la media en 95%		Mínimo	Máximo
					Límite Superior	Límite Inferior		
2	10	5.30	.823	.260	4.71	5.89	4	7
3	10	3.80	1.135	.359	2.99	4.61	2	5
4	10	2.80	1.229	.389	1.92	3.68	1	5
5	10	33.00	54.827	17.338	-6.22	72.22	2	180
Total	40	11.23	29.282	4.630	1.86	20.59	1	180

Cuadro 2: Descripción estadística de las mediciones de 5 grados.

Las variables cuentan con una distribución normal, por lo que se realizaron pruebas comparativas.

Para el análisis de varianzas se observó que la variabilidad que existe dentro de los grupos es poca, existe una diferencia significativa entre las medidas detectadas entre los grupos ($p=0.08$), siendo la media del grupo medido a los 5 metros el único que presenta diferencia estadísticamente significativa.

En el análisis factorial para determinar si había interacción entre la distancia y el cambio en grados medido se detectó que no había interacción ($p=0.869$) entre los factores, pero el factor distancia si era significativo ($p=0.003$).

Prueba de análisis de varianza factorial					
Variable Dependiente: SOFTWARE					
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F	Sig.
METROS	9135.712	3	3045.237	5.208	.003
ANGULO	81.842	1	81.842	.140	.709
METROS * ANGULO	418.314	3	139.438	.238	.869
Error	42684.627	73	584.721		
Total	64726.000	81			
Total Corregido	52231.728	80			

Cuadro 3: Prueba de análisis de varianza factorial

Para establecer las diferencias en los métodos y determinar la validez del software, se utilizó una gráfica de Bland-Altman (Figura 2).

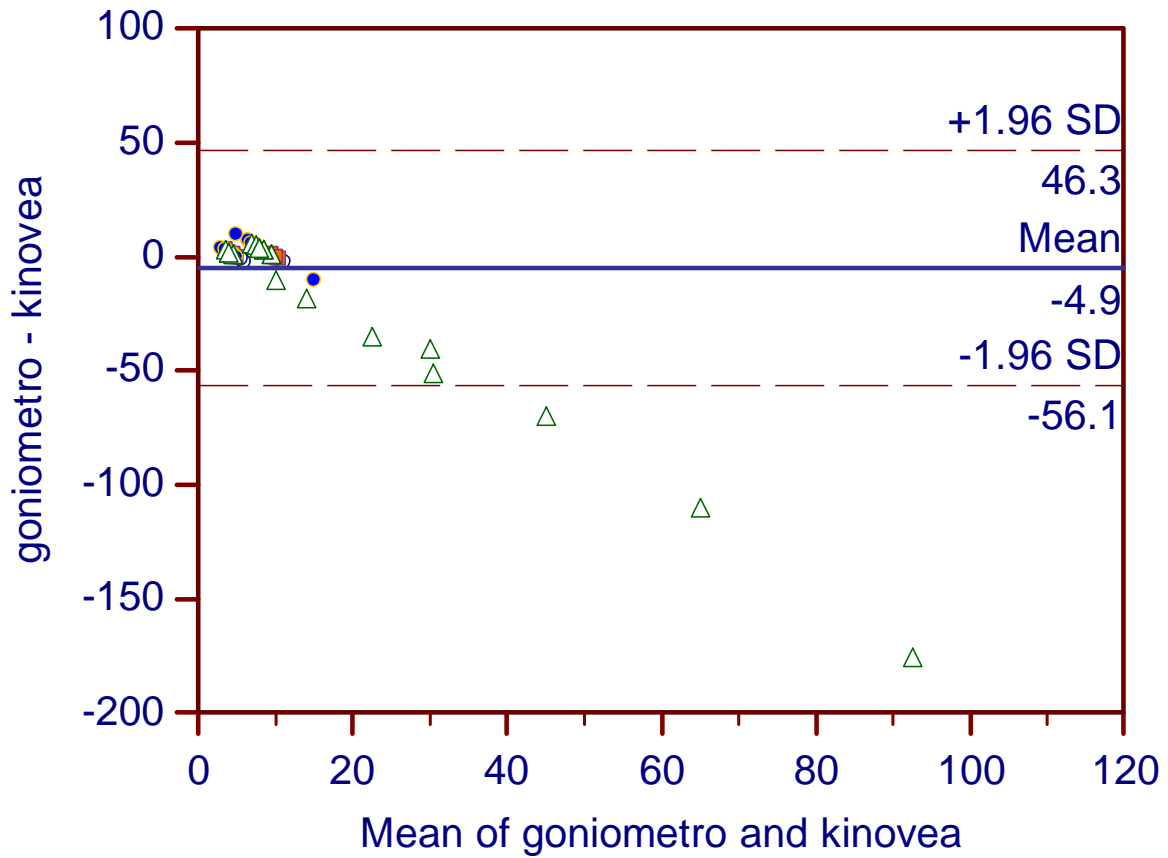


Figura 3: Gráfica de Bland-Altman

Con esta gráfica, se pudo observar cómo es que al medir los grados por medio del programa, existe mayor diferencia en las mediciones, siendo 4 metros una distancia aceptable. Al medir una diferencia de pocos grados a una distancia mayor de 4 metros, el método por computadora se vuelve menos preciso.

7.2 ANÁLISIS DE VIDEO

Se tomaron los videos de 28 caballos al trote entre 2 y 5 años de edad.

Antes de tomar el video de los caballos, se trotaron con el sistema de sensores de inercia para determinar claudicaciones, y se determinó el miembro del cual claudicaban.

Se utilizaron marcadores de hule espuma delgado de color amarillo, blanco o rojo según el color del caballo en los centros de rotación de cada articulación (figura 2). El video se grabó con una cámara canon HFG30 semiprofesional. Posteriormente se analizó el video con el programa Kinovea[®] se tomaron los puntos máximos y mínimos para la flexión y extensión.



Figura 4: Caballo al trote con marcadores.

Se analizaron los datos obtenidos. A continuación se presentan los datos de edad de los sujetos:

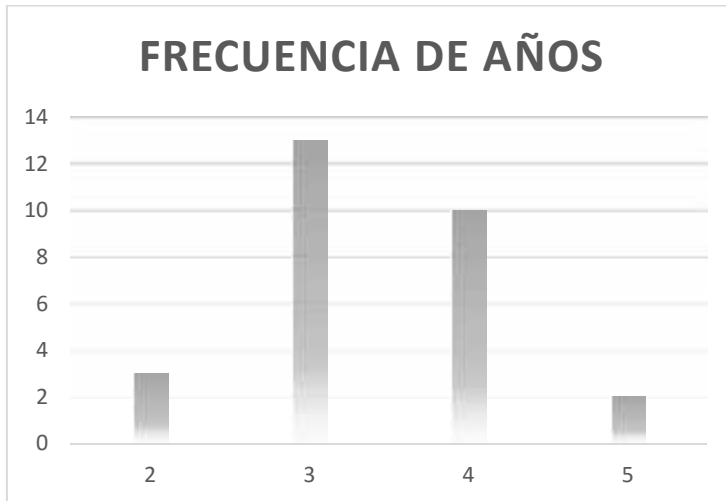


Figura 5: Frecuencia de años

	Frecuencia	Porcentaje
MPI	12	38.7
MPD	3	9.7
MAI	7	22.6
MAD	6	19.4
	3	9.7
Total	31	100.0

Cuadro 4: Frecuencia de claudicación según miembros.

De los 28 sujetos analizados, el 100% de ellos mostraba un grado de claudicación. A continuación se presenta el análisis de las frecuencias del grado de claudicación, así como los miembros afectados.

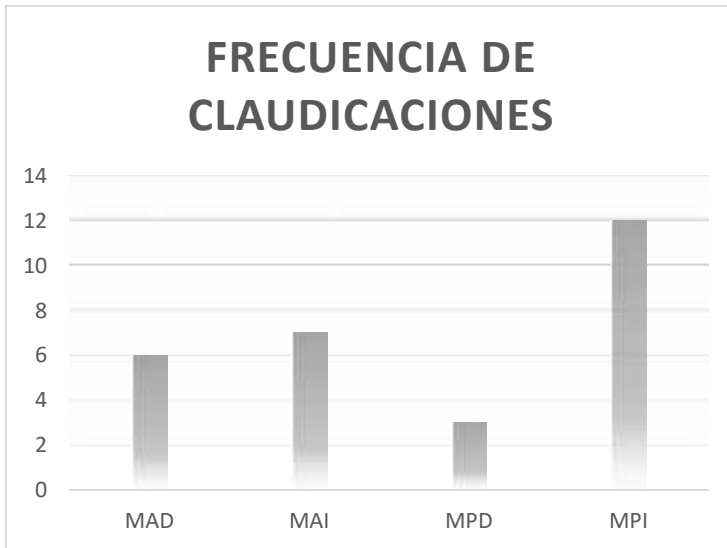


Figura 6: Frecuencia de claudicaciones

Como se puede observar en la figura 5, la mayor parte de las claudicaciones ocurren principalmente en el miembro pélvico izquierdo.

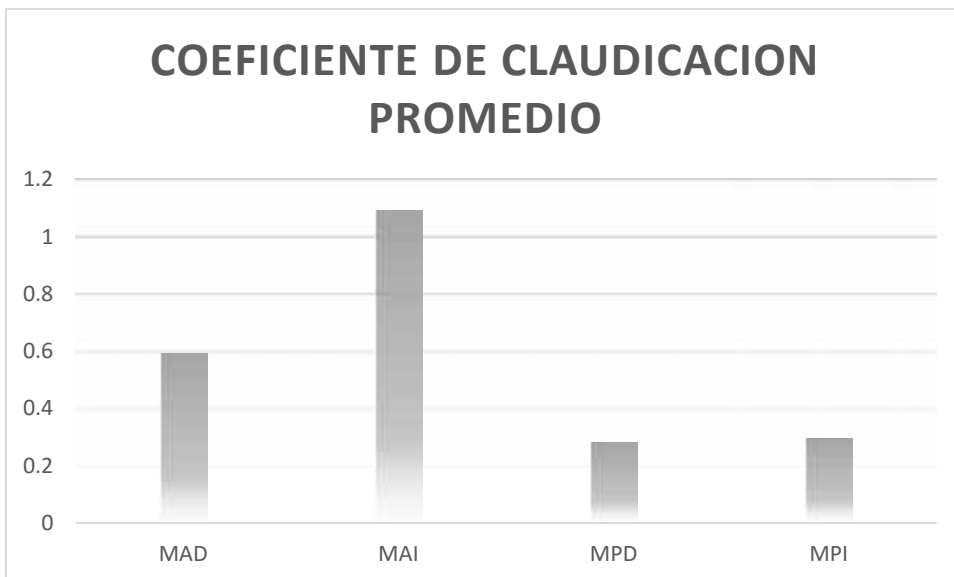


Figura 7: Coeficiente de claudicación promedio.

Las claudicaciones más fuertes ocurrieron en el miembro torácico izquierdo (figura6).

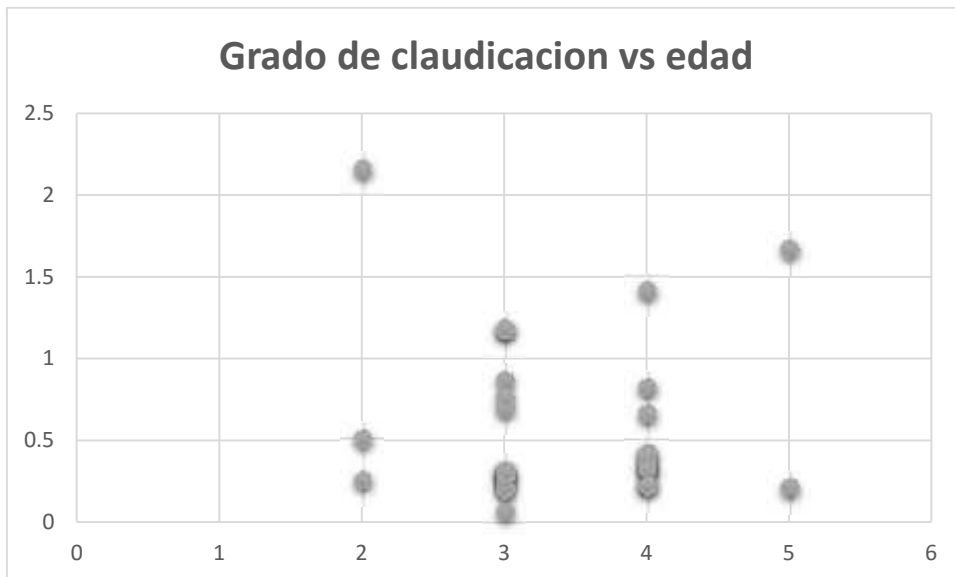


Figura 8: Grado de claudicación en relación con la edad según los datos obtenidos por el sistema de sensores de la marca Equinosis®

7.3 ANÁLISIS DE LOS RANGOS DE MOVIMIENTO

El objetivo principal del estudio fue obtener una base de datos de los rangos de movimiento de las diferentes articulaciones del caballo, por lo que a continuación se presenta un cuadro con los datos obtenidos a través del estudio. Se obtuvo el promedio de los puntos de máxima flexión y extensión en 5 pasos de cada sujeto tanto del lado derecho como del lado izquierdo, y posteriormente se analizaron estos promedios por individuo.

7.3.1 Grados promedio de flexión y extensión

Izquierdo			
Flexión		Extensión	
Escápulo-humeral	101.78°	Escápulo-humeral	112.32°
Húmero-radio-ulnar	93.86°	Húmero-radio-ulnar	143.96°
Radio-carpiana y carpo-metacarpiana	113.5°	Radio-carpiana y carpo-metacarpiana	181.36°
Metacarpo-falángica	155.61°	Metacarpo-falángica	230.36°
Coxo-femoral	69°	Coxo-femoral	84.18°
Fémoro-tibio-patelar	83.89°	Fémoro-tibio-patelar	120.39°
Tibio-tarsiana y tarso-metatarsiana	96.93°	Tibio-tarsiana y tarso-metatarsiana	149.03°
Metatarso-falángica	141.89°	Metatarso-falángica	233.78°
Derecho			
Flexión		Extensión	
Escápulo-humeral	101.43°	Escápulo-humeral	112.68°
Húmero-radio-ulnar	91.39°	Húmero-radio-ulnar	143.21°
Radio-carpiana y carpo-metacarpiana	114.89°	Radio-carpiana y carpo-metacarpiana	181.64°
Metacarpo-falángica	152.75°	Metacarpo-falángica	229.57°
Coxo-femoral	68.18°	Coxo-femoral	82.39°
Fémoro-tibio-patelar	91.25°	Fémoro-tibio-patelar	126.39°
Tibio-tarsiana y tarso-metatarsiana	99.86°	Tibio-tarsiana y tarso-metatarsiana	151.61°
Metatarso-falángica	138.11°	Metatarso-falángica	232.68°

Cuadro 5: Grados promedio de flexión y extensión

7.3.2 Rangos de movimiento

Se obtuvieron mediante la resta de los grados de extensión menos los grados de flexión.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Std.
grado claudicación	28	0.0649°	2.1556°	.589012°	.5079381°
ROMmaih	28	4°	19°	11.25°	3.8260801°
ROMmadh	28	4°	19°	10.535714°	3.8918923°
ROMmaic	28	27°	71°	51.821429°	9.4792310°
ROMmadc	28	28°	66°	50.107143°	11.0799762°
ROMmair	28	49°	79°	66.75°	7.9378372°
ROMmadr	28	56°	90°	67.857143°	7.0169862°
ROMmaim	28	46°	106°	76.821429°	14.9072529°
ROMmadm	28	52°	101°	74.75°	14.6049839°
ROMmpica	28	7°	21°	14.214286°	4.3831085°
ROMmpdca	28	6°	25°	15.178571°	6.0433837°
ROMmpib	28	7°	47°	35.142857°	8.1772688°
ROMmpdb	28	12°	55°	36.5°	10.9932639°
ROMmpico	28	34°	67°	51.75°	7.6333819°
ROMmpdco	28	28°	72°	52.107143°	9.4607935°
ROMmpim	28	66°	118°	94.571429°	12.9997965°
ROMmpdm	28	69°	111°	91.785714°	12.1025162°
Valid N (listwise)	28				

Cuadro 6: Descripción poblacional de los rangos de movimiento.

7.4 COMPARACIÓN ENTRE LADO DERECHO E IZQUIERDO

Para poder comparar ambos lados, se plantearon las siguientes hipótesis:

H0: Los rangos de movimiento entre lado derecho e izquierdo son iguales

Ha: Los rangos de movimiento entre lado derecho e izquierdo son diferentes

La significancia se fijó en 0.05, ya que fue la misma que se utilizó para el estudio en general.

	Diferencias por pares					t	gl	Sig. (2-tailed)
	Media	Desviación estándar	Media del error estándar	Intervalo de confianza al 95%				
				Menor	Mayor			
Par Escapulo- 1 humeral	.7142857	5.2058169	.9838069	-1.3043193	2.7328908	.726	27	.474
Par Húmero- 2 radioulnar	1.7142857	12.0856730	2.2839775	-2.9720490	6.4006205	.751	27	.459
Par Carpo 3	1.1071429	7.6028225	1.4367984	-4.0552097	1.8409239	.771	27	.448
Par Metacarpo- 4 falángica	2.0714286	13.3470168	2.5223491	-3.1040043	7.2468614	.821	27	.419
Par Coxo-femoral 5	-.9642857	6.7849624	1.2822374	-3.5952195	1.6666480	.752	27	.459
Par Femorotibio- 6 patelar	1.3571429	13.8061025	2.6091081	-6.7105905	3.9963048	.520	27	.607
Par Tarso 7	-.3571429	8.1614010	1.5423598	-3.5218038	2.8075181	.232	27	.819
Par Metatarso- 8 falángica	2.7857143	15.1885852	2.8703728	-3.1038042	8.6752328	.971	27	.340

Cuadro 7: Comparación entre lado derecho e izquierdo.

Como podemos observar en el cuadro 7, la significancia es mayor a $p > 0.05$. Esto nos indica que no se puede rechazar la hipótesis nula, por lo que se puede inferir que no existe evidencia estadística significativa para decir que existe diferencia entre los rangos de movimiento entre el lado derecho e izquierdo de las articulaciones.

Estadísticamente no se encontró una diferencia significativa entre ambos lados, aun tomando en cuenta los caballos que presentaban claudicaciones. En nuestra hipótesis inicial consideramos que al haber una claudicación, los grados de flexión o extensión se verían afectados.

8 DISCUSIÓN

Se pudo obtener una base de datos compuesta por una población homogénea con relevancia estadística. Esta población no mostró diferencias significativas en el promedio de sus rangos de movimiento en referencia a los máximos y mínimos. Sin embargo, gracias a la utilización de Localizador de Claudicaciones, pudimos ver que el total de la población muestra al menos un miembro con problemas de claudicación. Este grado de claudicación fue suficientemente ligero, de tal manera que todos estos caballos utilizados en el estudio pasaron la evaluación del médico veterinario para correr en el mes en el que se realizó el estudio.

En las mediciones obtenidas de flexión y extensión máximas en caballos al trote, no se observan diferencias estadísticamente significativas, aun en caballos que muestran claudicaciones. Por lo que podemos inferir que el mecanismo de claudicación en cuadrúpedos no es a través de modificaciones en sus grados de flexión o extensión.

Podemos inferir que durante los estudios realizados por el Dr. Keegan para desarrollar un sistema de determinación de claudicaciones eficiente debió de haber utilizado y estudiado métodos biomecánicos más sencillos como el estudio por medio de video y la goniometría. Lamentablemente estos artículos no fueron publicados y no se contaba con la información antes de la realización de este estudio.

En sus estudios para demostrar la eficiencia de un equipo de medición de vectores de movimientos conformado por acelerómetros y giroscopios el Dr Keegan demuestra cómo es que los caballos generan movimientos compensatorios a las claudicaciones a través de su columna vertebral. Razón por la cual para medir grados de claudicación es más eficiente y confiable utilizar un método que mida o describa el movimiento de la columna vertebral de los caballos, específicamente el movimiento de cabeza y articulación sacroiliaca.

Por esta razón, no se pudo desarrollar un sistema de detección de claudicaciones a través del análisis de los ángulos de flexión de las articulaciones.

De igual manera, la Dra Hilary Clayton en su libro Locomoción Equina, no menciona que sea o no de ayuda medir los ángulos de flexión y extensión para determinar el grado de claudicación en equinos¹. Lo que se menciona en esta publicación es el componente de la simetría del paso que genera una claudicación. Ella menciona que los equinos compensan durante las claudicaciones alterando la simetría del paso, pero sin mencionar alteraciones en los grados de flexión o extensión de las articulaciones^{12,33,5}. Se menciona un cambio en la velocidad de movimiento del caballo y una alta relación con la velocidad del mismo.¹

Por otro lado, el Dr Millis en estudios de cinemática de perros menciona que el grado de extensión de la articulación fémorotibiopatelar se relaciona directamente con la carga y propulsión que tienen estos al caminar; por lo que si un perro presenta una disminución en sus grados de extensión en dicha articulación, se verá un grado de claudicación en él.¹²⁻¹ Considerando que los equinos son cuadrúpedos y por lo mismo deberían de tener un mecanismo de movimiento, propulsión y claudicación similar, podríamos extrapolar esto a los equinos y pensar que en algún tipo de claudicación generada se deberán de modificar los ángulos de flexión o extensión de sus articulaciones en movimiento.

En referencia al programa de análisis de movimiento, podemos concluir que este se puede utilizar de manera confiable para medir los cambios en los ángulos en movimiento. Únicamente es necesario asegurar que los marcadores sean suficientemente contrastantes con el fondo para que el análisis por medio del programa sea más eficiente.

De los datos obtenidos a través de este estudio, podemos observar que alrededor de un 40% de los caballos utilizados en el Hipódromo de las Américas tienen 3 años de edad y claudican del miembro pélvico izquierdo. Anecdóticamente sabemos que la mayoría de las claudicaciones evaluadas por médicos veterinarios en el hipódromo son de miembros torácicos y no de miembros pélvicos. Y como pudimos ver en los resultados obtenidos del Localizador de Claudicaciones, la mayoría de las claudicaciones en miembros torácicos son de mayor intensidad que aquellas presentadas en miembros pélvicos. Esto aparentemente tiene también una asociación con la edad, en caballos más jóvenes o mayores, las claudicaciones fueron de mayor intensidad.

9 CONCLUSIONES

Estos datos obtenidos son sumamente interesantes, ya que parece que se presta poca atención a los miembros pélvicos en los caballos de carreras.

Seguramente existen tantos mecanismos de claudicación como los orígenes de estas hay. Por lo que sería un trabajo sumamente laborioso describir con exactitud cada uno de estos y ligarlos con su mecanismo compensatorio.

En cuanto a los ángulos de flexión y de extensión obtenidos, no existe diferencia estadísticamente significativa dentro de la población, aun tomando en cuenta las medidas de los individuos que presentan claudicaciones en el miembro medido. Debemos de tomar en cuenta que este estudio se realizó sin estandarizar la velocidad a la que se trotaron los caballos, y esto mismo puede ser un factor importante si pensamos en lo mencionado por la Dra. Hilary Clayton en cuanto a la compensación por medio de la velocidad.

También es de considerar que únicamente se utilizó una cámara colocada lateralmente y no se midió la altura de los cascos con respecto al suelo en cada paso, ni la distancia recorrida por miembro. Ambos factores que pueden estar involucrados con la presencia de claudicaciones.

Considerando las investigaciones y las aseveraciones por el Dr. Keegan, si es que los caballos compensan modificando el movimiento de la cadera y la cabeza únicamente, medir los ángulos de flexión para determinar claudicaciones en caballos resultará inútil. Este estudio comprueba cómo es que los caballos en la presencia de claudicaciones de grados menores a 3/5 tienen mecanismos compensatorios que no involucran la modificación de los rangos de movimiento de las articulaciones de sus miembros.

10 BIBLIOGRAFÍA:

1. Back W, Clayton HM. *Equine Locomotion*. Second Edi. Saunders; 2013.
2. Leach DH, Ow SN, Dagg AI. A review of research on equine locomotion and biomechanics. 1983;15:93-102.
3. Keegan KG, Dent E V, Wilson D a, et al. Repeatability of subjective evaluation of lameness in horses. *Equine Vet J*. 2010;42(2):92-97. doi:10.2746/042516409X479568.
4. Keegan KG, Wilson DA, Kramer J, Reed SK, Pai F, Marco AF. Comparison of a body-mounted inertial sensor system – based method with subjective evaluation for detection of lameness in horses. *Am J Vet Res*. 2013;74(1):17-24.
5. McCracken MJ, Kramer J, Keegan KG, et al. Comparison of an inertial sensor system of lameness quantification with subjective lameness evaluation. *Equine Vet J*. 2012;44(6):652-656. doi:10.1111/j.2042-3306.2012.00571.x.
6. Leach DH, Ormrod K, Clayton HM. Standardised terminology for the description and analysis of equine locomotion. *Equine Vet J*. 1984;16(6):522-528. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6519042>.
7. Van WEEREN PR, McGOWAN C, Haussler KK. Science overview: Development of a structural and functional understanding of the equine back. *Equine Vet J*. 2010;42(Suppl. 38):393-400. doi:10.1111/j.2042-3306.2010.00207.x.
8. Keegan KG, Wilson D a., Smith BK, Wilson DJ. Changes in kinematic variables observed during pressure-induced forelimb lameness in adult horses trotting on a treadmill. *Am J Vet Res*. 2000;61(6):612-619. doi:10.2460/ajvr.2000.61.612.
9. Kelmer G, Keegan KG, Kramer J, Wilson DA, Pai FP, Singh P. Computer-assisted kinematic evaluation on a treadmill. *Am J Vet Res*. 2005;66(4):646-655.

10. Van Middelkoop M, Rubinstein SM, Kuijpers T, et al. A systematic review on the effectiveness of physical and rehabilitation interventions for chronic non-specific low back pain. *Eur Spine J.* 2011;20(1):19-39. doi:10.1007/s00586-010-1518-3.
11. Jakeman LB, Hoschouer EL, Basso DM. Injured mice at the gym: review, results and considerations for combining chondroitinase and locomotor exercise to enhance recovery after spinal cord injury. *Brain Res Bull.* 2011;84(4-5):317-326. doi:10.1016/j.brainresbull.2010.06.002.
12. Clayton H, Schamhardt H. Measurement techniques for gait analysis. *Equine Locomot.* 2001. <http://www.elsevierhealth.co.uk/media/us/samplechapters/9780702024832/9780702024832.pdf>. Accessed February 13, 2013.
13. Miró F, Santos R, Garrido-Castro JL, Galisteo a M, Medina-Carnicer R. 2D versus 3D in the kinematic analysis of the horse at the trot. *Vet Res Commun.* 2009;33(6):507-513. doi:10.1007/s11259-008-9196-x.
14. Leach DH, Crawford WH. Guidelines for the future of equine locomotion research. *Equine Vet J.* 1983;15(2):103-110.
15. Brown N a T, Pandy MG, Kawcak CE, McIlwraith CW. Force- and moment-generating capacities of muscles in the distal forelimb of the horse. *J Anat.* 2003;203(1):101-113. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1571149&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
16. Van Weeren R. Equine biomechanics: from an adjunct of art to a science in its own right. *Equine Vet J.* 2012;44(5):506-508. doi:10.1111/j.2042-3306.2012.00619.x.
17. McCullen SD, Haslauer CM, Loba EG. Musculoskeletal mechanobiology: interpretation by external force and engineered substratum. *J Biomech.* 2010;43(1):119-127. doi:10.1016/j.jbiomech.2009.09.017.

18. Rose NS, Northrop AJ, Brigden C V, Martin JH. Effects of a stretching regime on stride length and range of motion in equine trot. *Vet J.* 2009;181(1):53-55. doi:10.1016/j.tvjl.2009.03.010.
19. Barneveld a, van Weeren PR. Conclusions regarding the influence of exercise on the development of the equine musculoskeletal system with special reference to osteochondrosis. *Equine Vet J Suppl.* 1999;31(31):112-119. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10999670>.
20. Degueurce C, Dietrich G, Pourcelot P, Denoix JM, Geiger D. Three-dimensional kinematic technique for evaluation of horse locomotion in outdoor conditions. *Med Biol Eng Comput.* 1996;34(3):249-252. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8762834>.
21. Holmström M, Fredricson I, Drevemo S. Biokinematic analysis of the Swedish Warmblood riding horse at trot. *Equine Vet J.* 1994;26(3):235-240. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8542845>.
22. Liljebrink Y, Bergh a. Goniometry: is it a reliable tool to monitor passive joint range of motion in horses? *Equine Vet J Suppl.* 2010;42(38):676-682. doi:10.1111/j.2042-3306.2010.00254.x.
23. Paulekas R, Haussler KK. Principles and Practice of Therapeutic Exercise for Horses. *J Equine Vet Sci.* 2009;29(12):870-893. doi:10.1016/j.jevs.2009.10.019.
24. Newhall, Beaumont. *The History of Photography From 1839 to the Present Day.* 4th editio. (Art M of M, ed.). New York; 1964.
25. Gernheim H, Gernheim A. *The History of Photography from the Camera Obscure to the Beginning of the Modern Era.* New York: McGraw-Hill; 1955.
26. Nadeau L. *Encyclopedia of Printing, Photographic, and Photomechanical Processes: A Comprehensive Reference to Reproduction Technologies, Containing Invaluable Information on over 1500 Processes.* Fredericton: Atelier Luis Nadeau; 1989.

27. Gustavson T, Eastman House G. *Camera: A History of Photography from Daguerreotype to Digital*. Sterling Signature; Reprint edition; 2012.
28. Newhall B. *The History of Photography: From 1839 to the Present*. 5th editio. The Museum of Modern Art; 1982.
29. Hoelzler MG, Millis DL, Francis D a, Weigel JP. Results of arthroscopic versus open arthrotomy for surgical management of cranial cruciate ligament deficiency in dogs. *Vet Surg*. 2004;33(2):146-153. doi:10.1111/j.1532-950X.2004.04022.x.
30. Schils SJ, Greer NL, Kobluk CN, Stoner LJ. Kinematic analysis of the equestrian Walk , posting trot and sitting trot. 1993;12:693-712.
31. Ishihara A, Bertone AL, Rajala-schultz PJ. Association between subjective lameness grade and kinetic gait parameters in horses with experimentally induced forelimb lameness. *Am J Vet Res*. 2005;66(10):1805-1815.
32. Barrey E, Hermelin M, Poirel D. Utilisation of an accelerometric device in equine gait analysis. 1994;17:7-12.
33. Hodson E, Clayton HM, Lanovaz JL. The hindlimb in walking horses: 1. Kinematics and ground reaction forces. *Equine Vet J*. 2010;33(1):38-43. doi:10.2746/042516401776767485.
34. Allen H, Proceedings S, Sciences N, Jan N. Academy of Natural Sciences A Prodrome of a Memoir on Animal Locomotion. 2014;39(1):60-67.
35. Leach DH. Recommended Terminology for Researchers in Locomotion and Biomechanics of Quadrupedal Animals. *Acta Anat (Basel)*. 1993;(146):130-136. doi:10.1159/000147434.
36. Keegan KG. Evidence-Based Lameness Detection and Quantification. *Vet Clin North Am - Equine Pract*. 2007;23:403-423. doi:10.1016/j.cveq.2007.04.008.

37. Ishihara A, Reed SM, Rajala-Schultz PJ, Robertson JT, Bertone AL. Use of kinetic gait analysis for detection, quantification, and differentiation of hind limb lameness and spinal ataxia in horses. *J Am Vet Med Assoc.* 2009;234(5):644-651. doi:10.2460/javma.234.5.644.
38. Brown S, Stubbs NC, Kaiser LJ, Lavagnino M, Clayton HM. Swing phase kinematics of horses trotting over poles. *Equine Vet J.* 2014;107-112. doi:10.1111/evj.12253.
39. Falala S, Camus M, Martino J. Comparative kinematic analysis of the leading and trailing forelimbs of horses cantering on a turf and a synthetic surface. *Equine Vet J.* 2013;45:54-61. doi:10.1111/evj.12160.
40. Moorman VJ, Raoul F, Li R, et al. Effect of forelimb lameness on hoof kinematics of horses at a trot. *Am J Vet Res.* 2013;74(9):1183-1191.
41. Zsoldos RR, Groesel M, Kotschwar a, Kotschwar a B, Licka T, Peham C. A preliminary modelling study on the equine cervical spine with inverse kinematics at walk. *Equine Vet J Suppl.* 2010;42(38):516-522. doi:10.1111/j.2042-3306.2010.00265.x.
42. Leach DH, Dyson S. Instant centres of rotation of equine limb joints and their relationship to standard skin marker locations. *Equine Vet J Suppl.* 1988;(6):113-119. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9079072>.
43. Faber M, Johnston C, Schamhardt HC, van Weeren PR, Roepstorff L, Barneveld a. Three-dimensional kinematics of the equine spine during canter. *Equine Vet J Suppl.* 2001;33(33):145-149. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11721556>.
44. Audigié F, Pourcelot P, Degueurce C, Denoix JM, Geiger D. Kinematics of the equine back: flexion-extension movements in sound trotting horses. *Equine Vet J Suppl.* 1999;30(30):210-213. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10659253>.

45. Gomez Alvarez CB, Rhodin M, Bobbert MF, et al. The effect of head and neck position on the thoracolumbar kinematics in the unriden horse. *Equine Vet J Suppl.* (36):445-451.
46. Weigel JP, Arnold G, Hicks D a, Millis DL. Biomechanics of rehabilitation. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 2005;35(6):1255-1285, vii. doi:10.1016/j.cvsm.2005.08.003.
47. Leleu C, Gloria E, Renault G, Barrey E. Analysis of trotter gait on the track by accelerometry and image analysis. 2002;34:344-348.
48. Symons JE, Garcia TC, Stover SM. Distal hindlimb kinematics of galloping Thoroughbred racehorses on dirt and synthetic racetrack surfaces. *Equine Vet J.* 2013:1-6. doi:10.1111/evj.12113.
49. Wakin MB. An Introduction To Compressive Sampling. *IEEE Signal Process Mag.* 2008;(March 2008):21-30.
50. Clayton HM, Singleton W, Lanovaz JL, Prades M. Pastern Joint Motion in Trotting Horses. 2000;46:217-219.
51. Monk ML, Preston C a, McGowan CM. Effects of early intensive postoperative physiotherapy on limb function after tibial plateau leveling osteotomy in dogs with deficiency of the cranial cruciate ligament. *Am J Vet Res.* 2006;67(3):529-536. doi:10.2460/ajvr.67.3.529.
52. Bubenik LJ, Johnson S a., Smith MM, Howard RD, Broadstone R V. Evaluation of lameness associated with arthroscopy and arthrotomy of the normal canine cubital joint. *Vet Surg.* 2002;31(1):23-31. doi:10.1053/jvet.2002.29460.