Tercer Congreso virtual de Ciencias Morfológicas.
Tercera Jornada Científica de la Cátedra Santiago Ramón y Cajal.

RESISTENCIA DEL HUESO METACARPIANO III DE EQUINO MESTIZO CRIOLLO: PRUEBA DE IMPACTO EN EL TERCIO PROXIMAL DE LA DIÁFISIS

José Natali Osimani[1]; Rosana Maricel Moine[2]; María Soledad Gigena[3]; Rita Cecilia Fioretti Fessia[4]; Horacio Mouguelar Lépori[5]; Matías Francisco Varela Díaz[6]; Rolando Javier Quinteros[7]; Silvana González sanchez[8]; Ada Mónica Galán Macagno[9]

Área: Biología

1 Profesor Titular, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto Argentina.
2 Profesora Adjunta, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto Argentina.
3 Jefe de Trabajos Prácticos, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Argentina.
4 Ayudante de Primera, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Argentina.
5 Ayudante de Primera, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Argentina.
6 Ayudante de Primera, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Argentina.
7 Ayudante de Primera, Área Matemática, Departamento de Estudios básicos y Agropecuarios, FAV, UNRC, Río Cuarto Argentina.
8 Ayudante de Primera, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto, Argentina.
9 Profesora Adjunta, Anatomía Veterinaria, FAV, UNRC, Río Cuarto Argentina.

jnatali@ayv.unrc.edu.ar

Resumen

El propósito del presente trabajo es brindar información biomecánica del hueso metacarpiano III de equino. Hay poco reportes sobre las características biomecánicas del hueso metacarpiano III sometido a prueba de impacto y en este sentido, desde la clínica veterinaria se plantean interrogantes sobre su comportamiento biomecánico. Los objetivos de este trabajo fueron determinar las características morfológicas del tercio proximal del metacarpiano III de equino y evaluar su resistencia ante una prueba de impacto. Se estudiaron los huesos metacarpianos III de 27 equinos provenientes de frigorífico. Se dividió la muestra en dos grupos etarios (hasta 3 años y mayores de 3 años). Al hueso derecho se le practicó osteotomía transversal en la parte media del tercio proximal de la diáfisis y se midió en la superficie de corte: espesor cortical, área cortical, medular y total. Al hueso izquierdo se lo sometió a prueba de impacto mediante el método de Charpy. El análisis estadístico fue descriptivo e inferencial**.** Se observa que la resistencia del hueso depende linealmente del área cortical (R^2= 0,93 p<0,0001) y del área total (R^2= 0,94 p<0,0001). Hay diferencias significativas (p= 0,08) de resistencia ósea entre grupos etarios. No hay diferencias significativas (p= 0,72) de resistencia ósea entre sexo.

Palabras Clave: Equino; Hueso metacarpiano III; Método de Charpy.

Introducción

El caballo se usa para trabajo, deporte, recreación y también con fines terapéutico-educativos. La especialización de su aparato locomotor hace necesario el estudio exhaustivo de sus componentes. En el miembro torácico, el hueso metacarpiano III está sometido a mayores esfuerzos biomecánicos exponiéndolo de esta manera a fracturas. El metacarpiano III de caballo soporta la mayor carga entre los huesos del cuerpo[1] y posee alta susceptibilidad a sufrir lesiones[2]. Dentro de los estudios biomecánicos de los huesos, se observa que a través de las variaciones de los módulos biomecánicos obtenidos de huesos metacarpianos III expuestos a cargas, se puede optimizar el material a utilizar en los procesos quirúrgicos de osteosíntesis.

La respuesta del tejido óseo frente a las fuerzas que se aplican sobre su superficie depende del tipo de fuerza, característica del hueso, densidad, arquitectura y composición del tejido. En los primeros 4 años de vida de los equinos, el tejido óseo del hueso metacarpiano III experimenta importantes cambios microscópicos donde se observan osteones secundarios en los tres tercios de la cortical de la parte media de la diáfisis del hueso, lo que pone de manifiesto la intensa remodelación ósea[3]. La resistencia, rigidez y absorción de energía del hueso dependen de sus propiedades materiales (composición, morfología, porosidad), propiedades estructurales (geometría, largo, curvatura) y factores mecánicos (velocidad y orientación de las cargas). La morfología del hueso metacarpiano III del caballo están íntimamente relacionadas con sus propiedades biomecánicas y estructurales[4]. En estudios morfológicos sobre huesos de potrillos, se observa que en el tercio proximal del hueso metacarpiano III la superficie del área total presenta correlación positiva con la superficie del área cortical y área medular, concluyendo que a medida que aumenta el área total aumentan también las áreas cortical y medular del hueso[5]. Tras el estudio sobre biomecánica de los huesos, se infiere que los huesos en los cuales prevalece el tamaño del área de sección total, no necesariamente responde con una mayor resistencia ósea[6]. En trabajos en huesos donde se aplican fuerzas de compresión en huesos metacarpianos III de equino se observa que la mayor resistencia a la compresión es en aquellos cuadrantes que presentan mayor espesor[7]. La capacidad de soportar fuerza del hueso metacarpiano III de equino, está en función de la edad[8]. Los módulos biomecánicos de compresión, flexión, elongación y torsión que experimentan los huesos metacarpiano III de caballos y yeguas, están influenciados por el peso corporal y la edad[9]. En estudios sobre huesos metacarpianos III de yeguas mestiza criolla y potrillos mestizos criollos, se observó que durante el primer año de vida ocurren cambios en las propiedades estructurales, influenciado estos por el sexo, raza, ejercicio y alimentación[3,10]. El espesor del cuadrante medial en la parte media de la diáfisis del metacarpiano III de equino mestizo criollo presenta una superficie mayor que los otros tres cuadrantes siendo el cuadrante palmar el de menor tamaño infiriendo entonces, que el área cortical depende linealmente del peso y longitud del hueso[11] y también observa que en los primeros 5 años de vida hay un crecimiento mayor del área cortical con respecto al crecimiento que se produce simultáneamente en el área medular. En

este sentido, se observa que las características estructurales de los huesos varían según la especie, edad y sexo, por ello entonces, el tejido óseo se remodela de acuerdo a las necesidades funcionales.

Hay poca información sobre estudios en equino mestizo criollo referido a las características biomecánicas del hueso metacarpiano III sometidos a prueba de impacto. En este sentido, desde la clínica veterinaria se plantean interrogantes sobre el comportamiento biomecánico de los huesos y dando respuestas a ello, se utilizan modelos experimentales que permitan cuantificar las características mecánicas de los huesos. El ensayo de choque que se emplea en este trabajo (método de Charpy), determina la fragilidad o capacidad de un material de absorber cargas instantáneas. El comportamiento de los materiales se verifica al ser golpeados por una masa conocida a la que se deja caer desde una altura determinada[12].

El presente trabajo tiene el propósito de brindar información aplicable a la clínica animal y se fundamenta en la importancia clínica que reviste la mano del caballo, en la cual el hueso metacarpiano III y sus propiedades estructurales determinan la resistencia del hueso frente a fuerzas que actúan sobre él.

Objetivos

Determinar las características morfológicas dinámicas en el tercio proximal del metacarpiano III de equino mestizo criollo

Evaluar la resistencia del hueso sometido a prueba de impacto en el tercio proximal de la diáfisis y su relación con el área total, área cortical del hueso metacarpiano III y edad y sexo del animal.

Materiales y métodos:

Se estudiaron los huesos metacarpianos III de 27 equinos mestizo criollo (machos y hembras) provenientes del frigorífico General Pico, Las Higueras, Argentina. La muestra se dividió en dos grupos etarios (G1: hasta 3 años y G2: mayores de 3 años), se determinó edad por cronometría dentaria. Una vez extraídos los huesos metacarpianos

III se liberaron de los tejidos blandos mediante disección convencional. Los huesos metacarpianos III se pesaron con balanza (2600 g de tara), no se extrajeron los huesos metacarpianos II y IV. Se midió la longitud con regla milimétrica (escala 300 mm) desde la cresta dorso-palmar a proximal hasta la cresta sagital distal del hueso.

Al hueso metacarpiano III derecho se le practicó osteotomía transversal en la parte media del tercio proximal de la diáfisis. La superficie de sección se dividió en 4 cuadrantes, dorsal, palmar, lateral y medial, se medió el espesor de la cortical de cada uno de ellos y se evaluó área total, área cortical y área de la cavidad medular (Fig. 1). Se usó para las mediciones un calibrador milimétrico (escala 0,02 mm) y para la determinación de áreas un analizador de imágenes. Al hueso metacarpiano III izquierdo se lo sometió a prueba de impacto mediante el uso del método de Charpy. El impacto se realizó en la superficie dorsal de la parte media del tercio proximal de la diáfisis del hueso (Fig. 1). La máquina específica para la prueba de impacto se encuentra en el laboratorio de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNRC. La elección de lateralidad del hueso metacarpiano III a realizarle la prueba de impacto, responde solo a un fin metodológico de trabajo, para ello se hizo uso de la presunción de simetría bilateral.

Los datos fueron analizados estadísticamente mediante el uso de regresión lineal simple y análisis de varianza usando el paquete estadístico InfoStat (2009) con un nivel de significación de 0,05. Para las variables cuantitativas de espesor y áreas se usó una tabla con los valores muestrales de tendencia central y de dispersión. Para las variables resistencia del hueso versus sexo y versus grupos etarios se construyeron Diagramas de caja y para las variables resistencia versus área cortical, área total y área medular se aplicó un estadístico inferencial de análisis de regresión lineal simple.

Resultados y Discusión

La Tabla I muestra las medidas de tendencia central de cada variable tomadas en la parte media del tercio proximal de la diáfisis del hueso metacarpiano III de equino mestizo criollo y resistencia del hueso sometido a prueba de impacto. En ella se observa que el espesor de la cortical del cuadrante medial en el tercio proximal de la

diáfisis, es mayor que el espesor de los otros tres cuadrantes, la media encontrada para el cuadrante medial fue de 1 cm.

La resistencia del hueso metacarpiano III versus el área cortical mostró un coeficiente de determinación (R^2) de 0,93 con un $p<0,0001$. La recta de regresión muestra que la resistencia del hueso depende linealmente del área cortical (Fig. 2).

La resistencia del hueso metacarpiano III versus el área total mostró un coeficiente de determinación (R^2) de 0,94 con un $p<0,0001$. La recta de regresión muestra que la resistencia del hueso depende linealmente del área total (Fig. 3).

En figura 4 se muestra la resistencia del hueso versus edad y sexo del animal. Se observa que hay diferencias significativas ($p= 0,08$) entre los dos grupos etarios (Fig. 4-a) donde los animales del grupo G2 (mayores a 3 años de edad) presentaron una resistencia ósea promedio de 99,30 J, mientras que los animales del grupo G1 (hasta 3 años de edad) presentaron una resistencia ósea promedio de 80,62 J. En la figura 4-b, se observa que no hay diferencias significativas ($p= 0,72$) entre sexo (hembras = 88,76 J; machos = 84,63 J).

El test mecánico de impacto fue realizado, previo descongelado de los huesos, en condiciones de temperatura ambiente constante (23° a 25° C). Se usó para la totalidad de los ensayos la misma máquina para prueba de impacto la cual está ubicada en un laboratorio que mantiene temperatura similar permanente a pesar de la variabilidad de las condiciones climáticas.

A partir de nuestros resultados, los intervalos de confianza muestran que existen diferencias significativas en el tamaño de espesor entre los distintos cuadrantes evaluados en la parte proximal de la diáfisis del metacarpiano III de equino mestizo criollo. Considerando el espesor de la cortical en la parte media del tercio proximal de la diáfisis del hueso, el espesor promedio del cuadrante medial es mayor que el cuadrante lateral con un 95% de confianza, mientras que, la cortical del cuadrante palmar es la que presenta menor espesor. El espesor promedio de la cortical del cuadrante dorsal y cuadrante lateral presentan valores similares. Se observa que el cuadrante medial tiene un espesor mayor (1,00 cm ± 0,21) que los otros tres cuadrantes. Valores similares a los encontrados en este trabajo, se reportaron en estudios morfométricos realizados sobre diáfisis de huesos metacarpianos III de yeguas mestizas criollas y potrillos mestizos criollos[3,10]. Los valores promedios del espesor de

la cortical de los otros tres cuadrantes: dorsal, lateral y palmar, fueron de 0,88 cm ± 0, 21; 0,84 cm ± 0,13 y 0,54cm ± 0,10 respectivamente y se observa en dichos valores que el cuadrante palmar presenta el menor espesor cortical. En la superficie de sección del tercio proximal de la diáfisis del hueso se observaron valores de: 9,02 cm² ± 1,96; 7,45 cm² ± 1,65 y 1,74 cm² ± 0,61 para área total, área cortical y área de cavidad medular respectivamente, siendo estos valores mayores que los reportados por[3,5], en estudios focalizados en el tercio medio de la diáfisis del hueso metacarpiano III de yeguas mestizas criollas y potrillos mestizos criollos.

La resistencia promedio del hueso metacarpiano III ante la prueba de impacto, sin discriminar entre grupo etario ni sexo, fue de 87,54 J ± 27,49. Cuando la resistencia del hueso se discrimina por grupo etario se observa que hay diferencias significativas (p= 0,08) entre ellos donde G2 resiste más al impacto (99,30 J), en este mismo sentido[8,9], dicen que la capacidad del metacarpiano III de equinos de soportar fuerzas está en función de la edad. Cuando la resistencia del hueso se discrimina por sexo se observa que no hay diferencias significativas (p= 0,72) entre equinos hembras y equinos machos. La resistencia del hueso metacarpiano III de equino ante una prueba de compresión está influenciada por el espesor del área cortical, observándose una mayor resistencia en aquellos cuadrantes que presentan mayor espeso[7]. Desde nuestros resultados se infiere que la resistencia al impacto en el tercio proximal del hueso, no solo depende del espesor del área cortical y área total en el punto de impacto, sino también del tejido esponjoso que se distribuye ocupando la cavidad medular.

Conclusiones

Se concluye que: a una mayor área total se corresponde con una mayor área cortical y el espesor cortical del cuadrante medial es mayor que los otros tres cuadrantes; la resistencia ante un impacto en la cara dorsal del hueso depende linealmente del tamaño de su área cortical y de su área total; los huesos provenientes de animales mayores de tres años de edad presentan una mayor resistencia ante la prueba de impacto; ante la prueba de impacto, no hay diferencia significativa de resistencia ósea entre ambos sexos.

Agradecimientos: Frigorífico General Pico, Las Higueras, Argentina, por proveer las muestras.

Bibliografía:

1. Bartel D L, Schryver H F, Lowe J E, Parker R A. Locomotion in the horse: a procedure for computing the internal forces in the digit. Am. J. Vet. 1978; 39(11):1721-7.
2. Aguiar A C S, Machado V M V, Santos R V, Puoli Filho J N P, Mota M D S, Vulcano L C. Estudo da correlação da densitometria óssea e do perímetro diafisário medial do terceiro metacarpiano em equinos. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. 2012; 64(4):1065-9.
3. Moine R M, Rivera M C, Vivas A B, Ferraris G R, Galán A M, Natali J. Morfometría y determinación de calcio y fósforo en la parte media de la diáfisis del metacarpiano III en yeguas mestiza con criollo. Arch. Med. Vet. 2001; 33(1):63-8.
4. Currey J D. The mechanical properties of materials and the estructure of bone. In: Currey J D. (Ed.). The mechanical Adaptation of Bone. 1984; pp.3-37.
5. Moine R M, Rivera M C, Galán A M, Gigena M S, Natali J, Ferraris G R. Morfometría en la corteza del hueso metacarpiano III en las partes proximal y distal de la diáfisis en potrillos mestiza con criollo. Int. J. Morphol. 2004; 22(1):19-23.
6. Natali J, Wheeler J T, Kohl R, Varela P. "Comparación de las Características Mecánicas Estáticas del Fémur Aislado de Perro, con y sin la Colocación de una Placa de Ortopedia Fabricada en polipropileno". Int. J. Morphol. 2008; 26(4): 791-797.
7. Bigley Robert F, Lanny V Griffin, Lisa Christensen, Ryan Vandenbosch. Osteon interfacial strength and histomorphometry of equine cortical bone. Journal of Biomechanics. 2006; 39:1629-1640.
8. Lawrence L A, Ott E A, Miller G J, Poulos P W, Piotrowski G, Asquith R L. The mechanical properties of equine third metacarpals as affected by age. J. Anim. Sci. 1994; 72(10):2617-23.

9. Quiroz-Rothe E. Determinación de los módulos de compresión, flexión, torsión y elongación en los terceros metacarpianos de caballos. Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, U.N.A.M. 1990.

10. Galán A M, Rivera M C, Moine R, Ferraris G, Gigena M S, Natali J. Propiedades morfométricas del metacarpiano III de potrillos mestizos. Rev. Chil. Anat. 2002; 20(3):285-90.

11. Moine R, Galán A, Vivas A, Fioretti C, Varela M, Bonino F, Quinteros R, Natali, J. Propiedades Morfológicas en la Parte Media de la Díafisis del Hueso Metacarpiano III de Equino Mestizo Criollo. Int. J. Morphol. 2015; 33(3):955-961.

12. González Arias A, Palazon A. Ensayos industriales de materiales, combustibles y lubricantes. Capítulo 8: Choque. Ed. Ediciones Litenia. Bs As. 1969; Pág. 211-226.

ANEXOS

TABLAS, FIGURAS Y REFERENCIAS

Tabla I. Medidas resumen y resistencia del tercio proximal del hueso metacarpiano III (n=27).

Variable	Media	DE	Mín.	Máx.
Cuadrante dorsal (cm)	0,88	0,21	0,69	1,81
Cuadrante palmar (cm)	0,54	0,10	0,40	0,76
Cuadrante lateral (cm)	0,84	0,13	0,60	1,06
Cuadrante medial (cm)	1,00	0,21	0,69	1,55
Área total (cm^2)	9,02	1,96	5,47	12,43
Área medular (cm^2)	1,74	0,61	0,88	3,26
Área cortical (cm^2)	7,45	1,65	4,15	10,81
Resistencia (j)	87,54	27,49	34,50	142,00

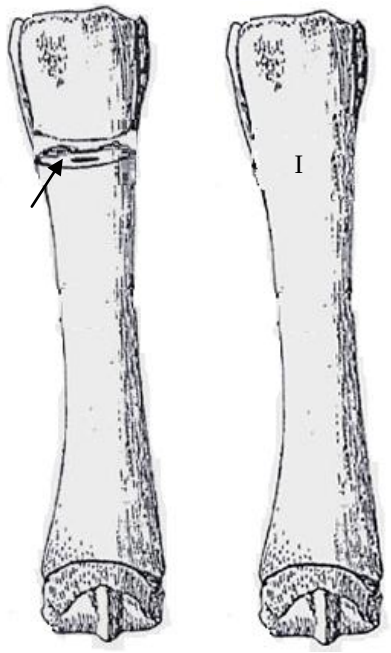

Fig. 1.→= sitio de toma de medidas, metacarpiano III derecho. I= punto de impacto, metacarpiano III izquierdo.

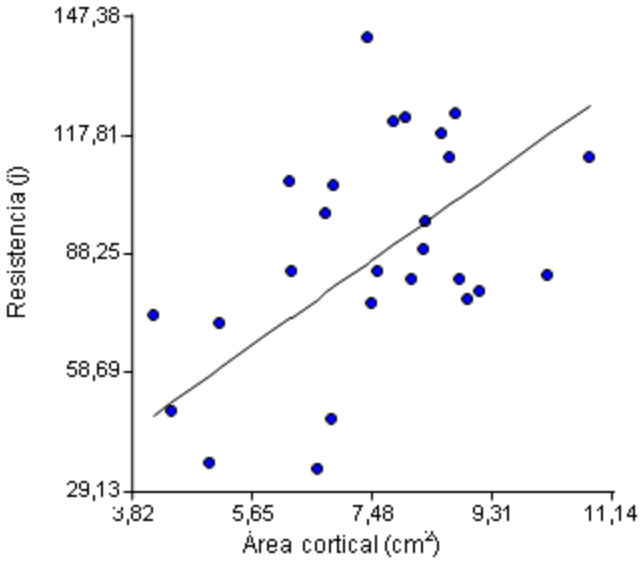

Fig. 2. Regresión lineal simple para las variables resistencia vs. área cortical (n=27).

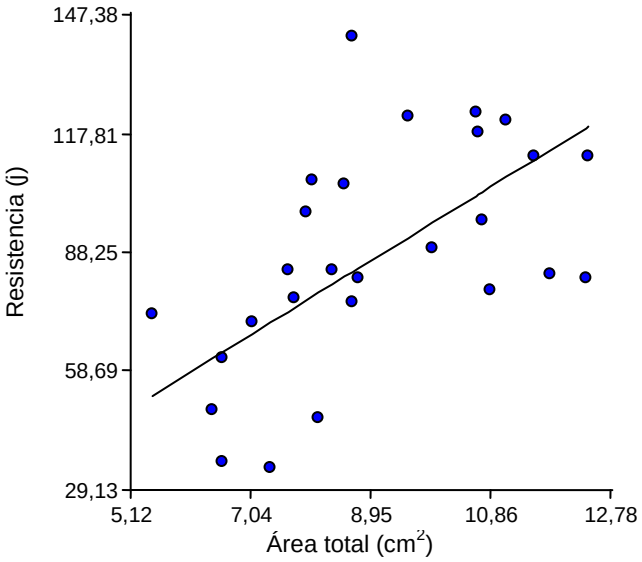

Fig. 3. Regresión lineal simple para las variables resistencia vs. área total (n=27).

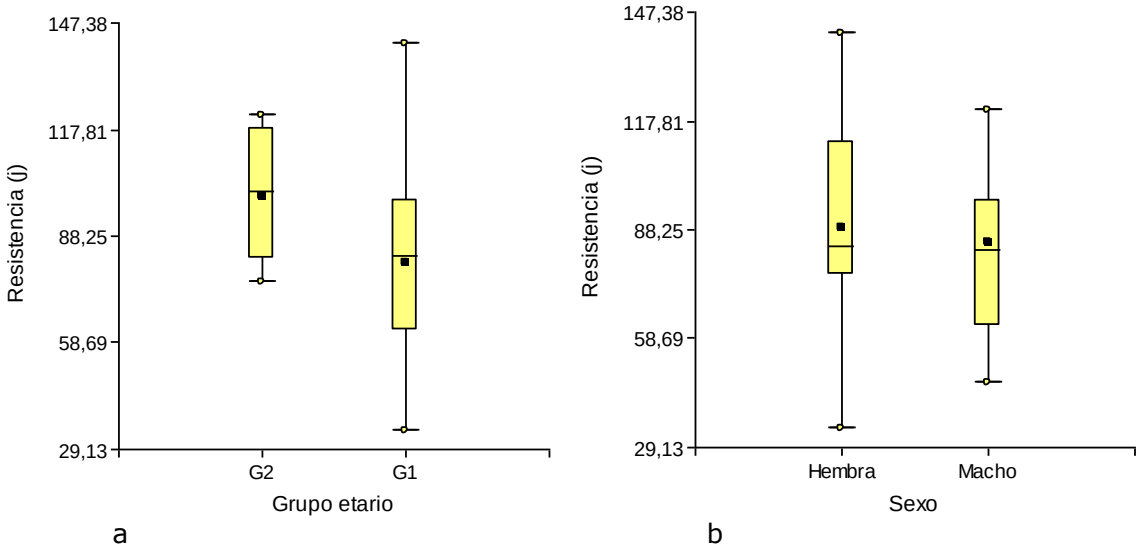

Fig. 4: a- Diagrama de caja para resistencia vs. grupo etario; b- Diagrama de caja para resistencia vs. sexo. (n=27).