

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS  
INSTITUTO DE CIENCIAS CLÍNICAS**

**CARACTERIZACIÓN RADIOMORFOMÉTRICA DEL HUESO NAVICULAR  
DEL CABALLO CHILENO, MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE EXAMEN  
RADIOLÓGICO "VÍA CORONARIA ALTA" Y LA  
"VISTA TANGENCIAL FLEXORA".**

Tesis de grado presentada como parte  
de los requisitos para optar al Grado de  
**LICENCIADO EN MEDICINA VETERINARIA.**

**CARLOS FRANCISCO KINAST ALBERDI**

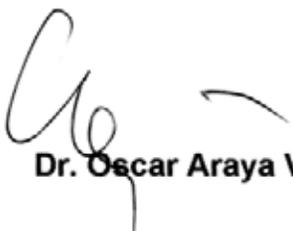
**VALDIVIA – CHILE**

**2001**

**PROFESOR PATROCINANTE:**

  
**Dr. Rodolfo Deppe G.**

**PROFESORES CALIFICADORES:**

  
**Dr. Oscar Araya V.**

  
**Dr. Edmundo Butendieck B.**

**FECHA DE APROBACIÓN:**

**26 de septiembre del 2001.**

**Dedicado con cariño a Yuyu,  
por lo importante que es para  
todos y por su ayuda en  
cumplir este y otros logros.**

## INDICE

	<b>PÁGINA</b>
1. RESUMEN.....	1
2. SUMMARY.....	2
3. ANTECEDENTES.....	3
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
5. RESULTADOS.....	16
6. DISCUSIÓN.....	21
7. BIBLIOGRAFÍA.....	26

## 1. RESUMEN

Se aportan antecedentes sobre el estudio radiológico del hueso navicular en el caballo chileno. Esto se justifica por el escaso conocimiento de las variaciones en la apariencia radiológica del hueso navicular en caballos sanos, de ésta y otras raza, requisito previo para el diagnóstico de enfermedad navicular.

Se caracteriza radiomorfométricamente el hueso navicular en 20 miembros anteriores del caballo chileno, mediante las vistas radiográficas vía coronaria alta (60°) y vista tangencial flexora (55°), y se comparan los resultados con los escasos reportes existentes para caballos sanos. Se utilizaron diferentes criterios de evaluación de carácter morfométrico, tales como: forma del hueso y de los canales sesamoideos, trama trabecular de la esponjosa, interfase entre la corteza flexora y la esponjosa, alto y ancho del hueso.

En la vía coronaria alta, la forma predominante del hueso fue la de lanzadera (45%). Los canales sesamoideos mostraron mayoritariamente forma cónica (45%). La trama trabecular fina de la esponjosa fue la más frecuente, no observándose focos de esclerosis. Las dimensiones del hueso en esta vista promediaron un ancho de 57,4 mm y un alto de 27,4 mm.

En la vista tangencial flexora, la mayoría de los huesos presentó una cresta sagital redondeada y prominente (70%). Las frecuencias para la forma redondeada y rectangular de los extremos del hueso fueron las mismas. Se evidenció un predominio de la trama trabecular fina de la esponjosa (55%) y se presentó esclerosis en 10%. La zona de interfase entre la corteza flexora y la esponjosa es definida en sólo el 55% de los huesos e indefinida en el 45% de ellos. El ancho promedio del hueso navicular fue de 58,0 mm y el alto de 17,4 mm. El ancho promedio de la esponjosa fue de 45,5 mm.

Los cambios que sufre el hueso navicular, tanto en forma como arquitectura, constituirían una respuesta a los apremios mecánicos debida a la alta exigencia. Si bien los cambios en la forma del hueso, forma de los canales sesamoideos y de la arquitectura tanto de la corteza como esponjosa, son considerados como patológicos, en muchos casos están presentes en el caballo sano. Por lo tanto, las variaciones de la arquitectura del hueso navicular no necesariamente se pueden asociar a enfermedad navicular, debido a la alta variación de ésta en el caballo sano.

Palabras claves: Radiomorfometría, hueso navicular, caballo chileno.

## 2. SUMMARY

Radiographic appearance of 20 navicular bones from the forelimbs of sound chilean horses were reviewed. The objective of this study was describe the radiographic alteration an variation of the navicular bone in sound chilean horses. For that, the high coronary view (60°) and flexor tangential route (55°) were used. The results were compared whit limited previous review extend. Variations of shape and bone structure were commonly seen in the navicular bone.

In the high coronary view, the results showed that the shuttle shape and the spongiosa with a regular pattern are the most common, without scleroced trabecular pattern. The mean of the bone wide was 57.4 mm and the height was 27.4 mm.

The flexor tangential route, the midsagittal ridge, round and prominent was the most common. The round and rectangular shapes of the bone extremity showed same frequency. The interface zone between the spongiosa and the flexor cortex showed a clearly defined margin. The mean wide in this view was 58.0 mm and the mean height was 17.4 mm and the spongiosa with a mean wide of 45.5 mm.

It could be concluded that changes in shape and structure of the navicular bone may be a response to high performance.

Key words: Radiomorphometric appearance, navicular bone, chilean horses.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y ESTÁNDAR DE LA RAZA CHILENA

Existen hechos perfectamente comprobados que el primer antepasado conocido de los equinos llamado *Eohippus*, vivió en el oeste de los Estados Unidos, en el período del eoceno hace 50 millones de años atrás; si este primer antecesor derivó de otra especie igualmente americana o si procedía de alguna que inmigrara desde otra parte, es un hecho no esclarecido. En la misma época del eoceno vivió en Europa el *Hyracotherium* muy similar al *Eohippus*. Es probable que ambos descendiesen de antepasados comunes que habrían vivido en el norte de Asia o en el extremo noreste de América, hacia el lugar donde hoy existe el estrecho de Bering y por donde entonces estaban unidos los dos continentes, de manera que las migraciones animales entre ambos continentes eran posibles (Cabrera, 1945).

Cuando Colón descubrió América en 1492, los caballos habían desaparecido del continente americano, por qué desaparecieron es un misterio no aclarado (Ensminger, 1973). Los primeros caballos reintroducidos a América desembarcaron con Colón en su segundo viaje en 1493 en las islas Antillas y estos caballos fueron llevados al territorio continental por los mismos conquistadores hispanos (Cabrera, 1945).

Lago señaló en 1953 que los primeros caballos fueron llevados al Perú por Francisco Pizarra, desde Panamá, en 1526. Su introducción a Chile fue en el año 1546, desde el Perú. Posteriormente, hasta el siglo XVIII ingresaron caballos al país desde Argentina. Sin embargo, el origen es el mismo, ya que todos descendían de caballos traídos por los españoles desde el segundo viaje de Colón a América.

Según Letelier (1949), el trabajo duro al que el caballo fue sometido en un territorio difícil y montañoso como el chileno, endureció sus cascos y tendió a recoger su amplitud de silla, estimuló a fortalecer su musculatura en general, y del cuarto posterior especialmente; el variado y desigual régimen de pastos, en las diferentes estaciones del año, lo hizo más sobrio y disminuyó su desarrollo. Debido a esto se desarrolló un tipo de caballo musculoso, modelado en fuerza y ágil en sus movimientos, con características de un caballo acampado, dadas por su temperamento, vitalidad, mirada vivaz, además de poseer aptitudes de silla, condiciones vaqueras y gran inteligencia y docilidad.

En 1937 se fijó el estándar para el caballo de raza chilena por la Asociación Nacional de Criadores de Caballos Criollos. Éste es el organismo rector de todo lo que concierne a la raza criolla chilena. Estas normas se mantuvieron hasta 1977, cuando la asociación estimó conveniente hacer modificaciones. El nuevo estándar

fue ratificado por la Federación Internacional de Criadores de Caballos Criollos (Pinochet, 1980).

A continuación se describen algunas características del caballo estándar, dados por la Asociación Nacional de Criadores de Caballos Criollos de Chile:

- La talla o alzada ideal es de 1,40 m para las hembras y 1,42 m para los machos, con fluctuaciones máximas y mínimas de 1,38 a 1,48 m.
- La amplitud de su perímetro torácico varía de 1,62 a 1,82 m, siendo en las hembras 2 cm mayor.
- Su piel debe ser gruesa, con abundante y ondulados crines, con poca cerneja en el nudo de sus extremidades.
- Su cabeza, de mediana longitud, frente amplia y plana, de perfil ligeramente convexo o rectilíneo, con ojos vivaces, orejas pequeñas a medianas, móviles y ollares dilatados.
- El cuello debe ser de largo medio, ancho de base, fuertemente insertado y ligeramente convexo en su línea dorsal.
- La cruz debe ser descarnada, discretamente perfilada, con una prolongación suave hasta confundirse con el dorso y estar parcialmente cubierta por la terminación de la crinera.
- La paleta, medianamente larga con ambos encuentros bien separados.
- El dorso debe ser grueso, ancho y firme y de largo proporcionado, con el lomo bien unido, corto, ancho y fuertemente musculado.
- La grupa debe ser más bien larga, de recios músculos, ancha y ligeramente inclinada, firmemente unida al lomo, continuada por la cola que se inserta con suavidad y en forma baja.
- El tronco debe poseer gran desarrollo, con costillas arqueadas, vientre profundo y denso que continúa insensiblemente con el perfil inferior del tórax, con ijares cortos y llenos.
- En los miembros anteriores, el antebrazo debe ir firmemente unido al brazo, ser lo más extenso posible y con fuerte musculatura.
- Los miembros posteriores deben poseer muslos y nalgas bien musculadas, con piernas anchas, compactas, unidas sólidamente y las corvas deben ser firmes y con ángulos apropiados; cañas gruesas, fuertes y lo más cortas posibles,

continuándose con los nudos redondeados y nítidos. Las cuartillas deben ser cortas, con inclinación de 45° respecto a la horizontal del suelo.

- Los cascos anteriores deben ser diferentes de los posteriores, con planta cóncava, ranilla desarrollada y elástica, con talones salientes. Los cascos anteriores deben ser redondeados y los posteriores ovalados.

La crianza del caballo de raza criolla chilena ha venido desarrollándose en las últimas décadas como resultado del auge del rodeo y su afiliación a la ex Dirección General de Deportes (DIGEDER) (Pinochet, 1980), hoy llamada Instituto Nacional del Deporte.

### **3.2 EXAMEN RADIOGRÁFICO Y RAYOS X**

El examen radiográfico es un método exploratorio no invasivo, empleado comúnmente por el veterinario, en especial, en aquellos casos donde la estructura a examinar es de ubicación profunda y los métodos clínicos usuales son insuficientes, proporcionando una gran ayuda para el clínico. Sin embargo, si no se utiliza en la forma debida puede conducir a un diagnóstico errado (Clayton y Webbon, 1979).

La medicina veterinaria ya realizaba importantes contribuciones en el campo de la radiología, tan pronto los rayos X fueron descubiertos por Wilhem Conrad Roentgen en 1895. En 1896, el alemán Eberlein realizó trabajos y publicaciones sobre el uso de los rayos X en medicina veterinaria y por este mérito, se le considera padre de la radiología veterinaria (Gillett y Lebel, 1977).

Los rayos X constan de ondas electromagnéticas de alta energía y baja longitud de onda, además, de producir un tipo de radiación ionizante (Douglas y Williamson, 1972). Se generan dentro de un tubo de rayos catódicos, en el cual los electrones que formaban parte de la corriente eléctrica son disparados desde el cátodo y chocan contra el ánodo, produciéndose una brusca desaceleración. Con esto, los electrones ceden su energía en forma de calor en un 95% y en forma de rayos X en un 5% (Noville, 2000). Sin embargo, el poseer una más baja longitud de onda los hace más energéticos, lo que les permite atravesar muchos materiales, siendo este el principio físico en el cual se basa la radiología (Thrall, 1986). De acuerdo a la capacidad de absorber los rayos X, los diferentes tejidos se clasifican en radiopacos (más densos) y radiolúcidos (menos densos). El hueso es más radiopaco que el músculo o diciéndolo de otra manera, el músculo es más radiolúcido que el hueso (Noville, 2000).

Las unidades eléctricas usadas en radiología son el miliamperio (mA), que es una medida de intensidad eléctrica y el kilovoltio (KV), que corresponde a una medida de tensión eléctrica; el primero determina el flujo de un determinado número de electrones por unidad de tiempo y el segundo determina la aceleración de dichos electrones (Ficus, 1980).

El diagnóstico radiológico posee dos importantes fases: la localización exacta de la lesión y la clasificación de ésta (Gillette y Lebel, 1977; Stashak, 1985). Los signos radiográficos básicos de una lesión se clasifican de acuerdo a los cambios en: tamaño, arquitectura, contorno, densidad, posición y función del órgano considerado (Gillette y Lebel, 1977).

Para el estudio radiológico es de vital importancia el conocimiento de la anatomía normal de las diferentes especies, pues la radiografía constituye la reproducción visual y bidimensional de una estructura que posee tres dimensiones; en consecuencia, las características anatómicas posibles de observar, se limitan al contorno del órgano o estructura en estudio, a la estructura interna del órgano en cuestión y a las variaciones en la radio densidad de la región examinada, la cual es atribuible al tipo de tejido que la constituya (Douglas y Williamson, 1972).

### **3.3 ASPECTOS ANATÓMICOS Y BIOMECÁNICOS DEL HUESO NAVICULAR**

Para la interpretación de los signos óseos asociados al síndrome navicular, es un prerequisite indispensable el conocer la anatomía del hueso navicular del caballo sano (Gabriel y col, 1994).

El hueso navicular (hueso sesamoideo distal) está localizado entre la inserción del tendón del músculo flexor digital profundo y la articulación interfalángica distal (Sisson, 1975). Morfológicamente, posee forma de canoa con 2 superficies, 2 bordes y 2 extremos (Pleasant y Crisman, 1997). La superficie articular proximal y dorsal del hueso navicular está revestida de cartílago hialino, al igual que su porción distal, articulando la primera con la superficie distal y palmar de la segunda falange y la segunda con la tercera falange; en cambio, la superficie palmar esta cubierta por fibrocartílago y posee una pequeña elevación que provee una superficie de apoyo lisa para el tendón del músculo flexor digital profundo (Pleasant y Crisman, 1997).

Entre la superficie palmar del hueso navicular y el tendón del músculo flexor digital profundo, se localiza la bolsa navicular (Sisson, 1975). Ésta se extiende desde alrededor de 1,5 cm proximal al hueso navicular y distalmente hasta la inserción del flexor digital profundo en la tercera falange (Hoffer, 1982), no estando comunicada directamente con la articulación interfalángica distal (Calislar y St. Clair, 1969; Gibson, 1990). La bolsa navicular tiene numerosas vellosidades largas en sus divertículos proximal y distal (Pleasant y Crisman, 1997), y es histológicamente similar a otras membranas sinoviales del equino (Calislar y St. Clair, 1969; Gibson, 1990).

Tres son los ligamentos que soportan el hueso navicular, dos ligamentos sesamoides colaterales ubicados proximalmente y a ambos extremos del hueso navicular, los cuales se insertan en la primera falange y el ligamento sesamoideo

distal, el cual es impar y se ubica en la superficie distal del hueso navicular insertándose en la superficie palmoproximal de la tercera falange (Sisson, 1975). Este último es relativamente inelástico (Pleasant y Crisman, 1997).

El aporte sanguíneo al hueso navicular se origina en dos grandes anastomosis entre las arterias digitales medial y lateral (Colles y Hickman, 1977; Rijkenhuizen y col, 1989). Ramas provenientes desde la unión de las arterias palmares de la segunda falange conforman una red de anastomosis que entregan innumerables y diminutas ramas a los forámenes, a lo largo del borde proximal del hueso navicular. Distalmente, un arco arterioso entre las arterias digitales da origen a otro grupo de pequeñas arterias, que migran a través del ligamento sesamoideo distal penetrando al hueso navicular por los forámenes del borde distal de este (Pleasant y Crisman, 1997). Existen investigaciones que señalan que los canales vasculares en el borde distal del hueso navicular no contendrían vasos sanguíneos (Poulos y Smith, 1988) y éstos serían un paso de comunicación con la articulación interfalángica distal, para la cual estarían tapizados de tejido sinovial, por lo que su nombre correcto es el de fosas sinoviales. El aporte sanguíneo al hueso ocurriría distal y palmar a los canales a lo largo del hueso navicular (Gibson y Stashak, 1990).

Los nervios digitales suplen la región del hueso navicular. Estas fibras viajan a través de los ligamentos sesamoideos colaterales y el ligamento sesamoideo distal y entran al hueso navicular junto a las arterias a través de los forámenes proximales y distales. También, se han encontrado fibras nerviosas sensoriales dentro del revestimiento sinovial de los ligamentos y bolsa navicular (Rijkenhuizen y col, 1989; Bowker, 1994).

Es debido a su disposición y conformación anatómica, que el hueso navicular puede cumplir con sus funciones. La primera es aquella en la cual el hueso, junto a la bolsa podotroclear, procuran una superficie lisa de deslizamiento para el tendón del flexor digital profundo, además de permitir al hueso reorientar la fuerza ejercida por este mismo tendón, siguiendo el eje de la cuartilla y manteniendo su ángulo de inserción en la tercera falange (Rooney, 1969). La segunda función se debe a la gran superficie articular del hueso navicular y su privilegiada posición que lo hacen movable y deformable. De esta manera, ambas funciones cumplen un rol anti-concusión al curso de la marcha, debido a que las arremetidas en ejercicio, sobre la tercera falange están disminuidas, por la redistribución de las fuerzas hacia la segunda falange y el navicular (Adams, 1990).

A lo menos tres serían las fuerzas que actúan sobre el hueso navicular: fuerzas de compresión desde el tendón del flexor digital profundo, fuerzas de compresión desde la segunda falange y fuerzas de tensión desde los ligamentos sesamoideos. La magnitud y efecto de estas fuerzas estarían directamente relacionadas con el peso, conformación y uso del caballo. Es así, que en caballos demasiado pesados, de gran conformación y de cascos pequeños y/o desbalanceados, al estar sobre exigidos, se incrementan notablemente estas fuerzas

(Pleasant y y Crisman, 1997). Las fuerzas se ven modificadas por un desbalance del la mano producido por la modificación del eje podal y falangico podal, que juntos forman el eje podo falángico, el primero corre contiguo y axialmente al eje falangico a través de la tercera falange y paralelo a la dorsal de este hueso, el segundo corresponde a la línea imaginaria que pasa por el centro de la cuartilla y la corona. La conformación ideal de este eje podo falángico es una línea recta no quebrada, esta línea puede ser quebrada de adelante o quebrada de atrás lo que cambia las fuerzas de compresión y tensión sobre el hueso navicular, sometiéndolo a estrés (Wright y Douglas, 1993).

### **3.4 ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y DESCRIPCIÓN DEL SÍNDROME NAVICULAR**

El primer reporte sobre la enfermedad navicular apareció en la "Grand Maréchal, Expert et Francaise" publicado en Toulouse-Francia en 1701 por un autor desconocido, quien describía la lesión como una erosión del cartílago del hueso navicular (Hickman, 1989). Actualmente se define como una patología claudicógena limitante de los miembros anteriores, de carácter crónico y progresivo, que afecta al hueso navicular y sus estructuras adyacentes (Keegan y col. 1997). Según Colles y Hickmann (1977) y Stashak (1985), generalmente, se encuentran comprometidas ambas manos, pero la extremidad más afectada enmascara la afección de la otra, lo que se revela sólo una vez realizado el examen clínico del casco. No obstante, puede afectar los miembros posteriores, pero es de baja incidencia debido a que éstos, a diferencia de los anteriores, soportan menos peso corporal (Deppe, 1979; Pleasant y Crisman, 1997).

Originalmente, la patología se denominó como enfermedad navicular, podotroclitis crónica aséptica o bursitis podotroclear (Deppe, 1979). Hoy en día, se prefiere llamarla síndrome navicular (Turner, 1989; Colahan, 1994), puesto que el dolor en el área navicular puede ser causado por un variado número de condiciones, lo cual indica que no es una entidad fisiopatológica simple (Wright, 1993; Colahan, 1994). Sin embargo, en el mundo equino, se continúa usando actual y comúnmente, el término de enfermedad navicular (Bell y col. 1996).

Rooney (1969) y Thompson y col. (1991) indicaron como etiología de la enfermedad navicular, la vibración que ocurre durante la marcha, entre el tendón del músculo flexor digital profundo y el hueso navicular, la cual causa artrosis de la superficie flexora y degeneración de la superficie de apoyo del tendón. Adams (1974), apoya esto postulando que la enfermedad navicular se debe a causas biomecánicas, las cuales incrementan las presiones sobre el hueso navicular. Esto cobra importancia en el caballo chileno, el cual está sometido a grandes exigencias físicas debido a su corpulencia, activa dinámica de movimientos bruscos y transporte a peso muerto. Junto a esto, el poseer un casco pequeño aumenta considerablemente la carga por unidad de superficie en las articulaciones de ambos miembros, lo que lo hace especialmente susceptible de desarrollar enfermedad

navicular (Deppe y col, 1994). Probablemente, la conformación del casco afecta las fuerzas que actúan sobre el hueso navicular en mayor proporción que cualquier otro factor (Pleasant y Crisman, 1997), como ocurre en animales con talones estrechos, secos, altos y muy rebajados, al igual que los con herraduras cortas (Deppe, 1982), esto produce equinos con aplomos de cuartilla fuera de posición, en que las tres fuerzas que actúan sobre el hueso navicular están aumentadas (Pleasant y Crisman, 1997). Por el cambio de la normal disposición del eje podo falangico (Wright y Douglas, 1993). En los cascos con pinza inclinada y cuartillas rectas; el aumento de la tensión en el tendón del flexor digital profundo, aumenta directamente las fuerzas compresivas sobre el hueso navicular (Lochner, 1980). Al elevarse el ángulo de la cuartilla aumentan las fuerzas compresivas sobre el hueso navicular desde la segunda falange y esto aumenta la tensión sobre los ligamentos naviculares y al inclinarse la pinza el tendón del flexor digital profundo comprime con mayor fuerza al hueso navicular (Leach, 1993). Otros estudios se han referido a lo mismo, demostrando que el tendón del flexor digital profundo comprime al hueso navicular cranealmente contra la segunda y tercera falanges (Bartel y col, 1978; Schryver y col, 1978; Pool y col, 1989). Por lo tanto, los factores que modifican la presión del flexor digital profundo sobre el hueso navicular y aumentan la carga sobre la cara palmar del miembro, podrían ser los responsables de los cambios estructurales observados a nivel óseo, provocándose de esta manera una desproporción entre la conformación anatómica y la carga mecánica. Al apoyar el casco, la cuartilla desciende hacia el piso y probablemente con ello, se aumenta aun más la tensión sobre el tendón del flexor digital profundo y los ligamentos naviculares (Deppe, 1979). Además, esta conformación cambia palmarmente el centro de gravedad, aumentando la concusión de las estructuras de la porción palmar del pie (Barrey, 1990).

Por otra parte Cotés (1979) propuso una etiología vascular para esta enfermedad en la cual existiría una trombosis de las arteriolas que suplen la porción distal medial del hueso navicular causando una necrosis isquémica del hueso y produciendo dolor. Lamentablemente, no se han encontrado áreas de tejido óseo infartado en el hueso navicular de caballos con enfermedad navicular (Ostblom y col, 1982). Las modificaciones patológicas en el curso del síndrome navicular podrían igualmente explicarse por las alteraciones biomecánicas del aparato suspensor de los naviculares, producidas por una pérdida del eje podo falangico normal, lo que ocurre en animales quebrados de adelante o de atrás (Wright y Douglas, 1993), produciéndose un aumento de tensión sobre los ligamentos sesamoideos colaterales y el ligamento sesamoideo distal, lo que resultaría en una compresión de los vasos en su trayecto junto a los ligamentos sesamoideos (Ratzlaff y White, 1989).

A partir de los 4 años de edad se puede presentar enfermedad navicular, aunque ella se diagnostica mayoritariamente en caballos de 6 a 12 años, con un máximo de incidencia a los 9 años (Gabriel y col, 1994). Cerca del 45% de los caballos chilenos diagnosticados con enfermedad navicular en el Hospital Veterinario de la Universidad Austral de Chile, tenían entre 8 y 9 años de edad, no presentándose ningún caso bajo los 5 y sobre los 13 años (Deppe y col, 1994).

Ackerman en 1977 reportó que los machos tienen mayor riesgo de padecer enfermedad navicular; lo que estaría relacionado con el trabajo al cual ellos están sometidos (Pleasant y Crisman, 1997). Sin embargo, en un estudio realizado en el Hospital Veterinario de la Universidad Austral de Chile se encontró que la enfermedad afectó por igual a machos y hembras (Deppe y col, 1994).

El diagnóstico de la enfermedad navicular es clínico, y se basa en un historial de cojeras de los miembros anteriores de presentación insidiosa y de carácter crónico (Bell y col, 1996). Debido a lo insidioso de su curso, los signos claudicógenos son poco evidentes en su comienzo. Se manifiestan al salir el animal de la pesebrera y trotar sobre terreno duro, para desaparecer con el ejercicio y reaparecer en el reposo (Deppe, 1979). Al observar al paciente en la pesebrera, se aprecia que saca la mano continuamente hacia fuera y adelante, poniéndola a discreción. Esto se conoce como "punteo" y es una señal de incomodidad y dolor (Olsson, 1954). La forma del casco sólo se altera una vez avanzada la enfermedad, haciéndose el dedo más agudo y estrechándose los talones, lo que se debería a una atrofia funcional y por lo tanto, debe considerarse como un signo secundario (Wittmann, 1940). La atrofia de la ranilla según Maldonado (1981) y la encastilladura según Deppe y col (1994), también deben ser consideradas como un signo secundario. Pese a esto, desde que se considera la teoría biomecánica como posible etiología del síndrome navicular, varios autores han considerado indefectiblemente que la importancia de la conformación de la mano y pie, son de suma importancia, ya que las malas conformaciones de la base de los miembros, a veces hereditarias, juegan un rol importante en el desencadenamiento de esta patología (Leach, 1983 y 1993; Wright, 1993).

Varias técnicas son usadas como ayuda diagnóstica de esta enfermedad, como ser la aplicación de la pinza de casco, a la que los animales afectados responden positivamente al aplicar presión sobre el tercio medio de la ranilla (Pleasant y Crisman, 1997). Se utiliza también, el bloqueo del nervio digital palmar, el test de flexión, la radiografía y otras modalidades de imagen como son hoy en día el ultrasonido, termografía y la scintigrafía (Turner, 1989; Trout y col, 1991).

Los signos radiográficos asociados a la enfermedad se describen como, la formación de calcificaciones marginales, quistes radiolúcidos dentro del hueso y ensanchamiento y deformación de los canales sesamoideos (Wintzer, 1970; Morgan, 1972; Gabriel y col, 1994). Según Turner y Fessler (1982). Las calcificaciones marginales y quistes radiolúcidos serían una clara evidencia de enfermedad navicular cuando se acompañan de cojera. Otros cambios radiográficos de enfermedad navicular son: la alteración de la superficie del borde distal, lisis de la corteza flexora con aplastamiento de la cresta sagital, remodelamiento de los bordes proximal y distal (entesofitos), formación de osteofitos en los borde lateral y medial y pérdida del contorno corticomedular del hueso navicular (Gabriel y col 1994; Pleasant y Crisman, 1997), Los cambios óseos asociados a la enfermedad navicular son el resultado de

una tentativa de acomodación ósea al estrés mecánico al cual está sometido el hueso, el cual reacciona con un activo proceso de remodelaje óseo (Numans y col, 1973; Ostblom y col, 1982 y 1989; Pool y col, 1989; Svalastoga y col, 1983). Puede que estos signos radiográficos estén ausentes en más de la mitad de los caballos que presentan signos claudicógenos de enfermedad navicular por primera vez (Adams, 1990), lo que no los excluye de ser diagnosticados con enfermedad navicular (Dyson, 1993). Así, también caballos clínicamente sanos pueden presentar signos radiográficos de enfermedad navicular (Colles, 1979), por lo que en todo paciente que se sospeche afectado por la patología no deberá omitirse el examen radiológico (Deppe y col, 1983).

Los tratamientos del síndrome navicular son muchos y variados e incluyen el herraje ortopédico, drogas vasodilatadoras, drogas anticoagulantes, corticoesteroides, antiinflamatorios no esteroidales, desmotomía del ligamento suspensor y la neurectomía de los nervios digitales palmares (MacGregor, 1989).

### **3.5 MÉTODOS DE EXAMEN RADIOLÓGICO Y SUS HALLAZGOS EN EL HUESO NAVICULAR**

El casco, para ser examinado radiográficamente debe ser preparado cuidadosamente con el objetivo de prevenir sombras radiográficas extrañas. Por esto, debe retirarse la herradura, limpiarse prolijamente todo el casco y realizarse un buen despalme con lo que se logra el balanceo del mismo (Douglas y Williamson, 1972; Gillette y Lebel, 1977; Morgan, 1984).

Existen tres vistas radiográficas básicas, para el examen radiológico del hueso navicular, siendo recomendable realizar las tres por cada mano. Las vistas son: la dorsoproximal-palmodistal o "vía coronaria alta" (high coronary view), la oblicua palmar, también llamada "vista tangencial flexora" (flexor tangential route) y la latero-medial (lateral-medial view) (Thrall, 1986; Kazer-Hotz y Ueltschi, 1992; Dyson, 1993; Pleasant y col, 1993).

Desde tiempos de Pryer (1934) y Oxspring (1935) se viene aplicando la técnica radiográfica de proyección dorsoproximal-palmodistal, fundamentalmente en dos modalidades. La vía coronaria alta (high coronary route) en la cual se coloca el casco pisando el chasis para luego proyectar el haz en un ángulo de 45° sobre la película, y en la otra la vía vertical del pie (upright pedal route) donde se coloca el casco apoyando con la punta del dedo, de modo que la muralla dorsal quede vertical al suelo y paralela al chasis que va apoyado en los talones (Adams, 1974). El principio fundamental de la técnica vía coronaria alta de Oxspring es la proyección del hueso navicular en toda su extensión junto a la segunda falange, tomando cuidado que el espacio articular que aparece como una línea ancha muy marcada, no cubra el borde distal del hueso navicular, y que tampoco el hueso navicular se distorsione demasiado al variar el ángulo de proyección, ya que en ambos casos se obtendrá una imagen deficiente (Deppe y col, 1983). Es así que Olson (1954)

recomienda 80°, Carlson (1967) junto a Campbell y Lee (1972) 60°; Adams (1974), 55° y finalmente Douglas con Willianson (1972) dan 45° como óptimo. En esta vista el hueso navicular normal aparece uniformemente radiopaco, de extremos simétricos y romos, con su borde proximal liso el que puede aparecer de aspecto rugoso por la superposición del borde distal de la segunda falange, y en su borde distal se pueden observar un número variable de formas cónicas de aspecto radiolúcido (Thrall, 1986). En un estudio comparativo de los cuatro ángulos de proyección radiográfica antes mencionados, para el examen del hueso navicular "vía coronaria alta" en caballos chilenos, se concluyó que la proyección de 60° es la más efectiva como ayuda diagnóstica, ya que el hueso navicular se muestra más al centro de la segunda falange, bien separado de las líneas articulares, apareciendo nítidamente en forma y contenido, con lo cual se facilita su examen (Deppe y col, 1983).

La vista "tangencial flexora" del hueso navicular fue desarrollada por Morgan (1972). Aquí el casco se dispone pisando el chasis lo más caudal posible y el equipo de rayos X es posicionado por delante de los miembros posteriores de modo de apuntar los rayos entre los bulbos del talón. El mejor ángulo de proyección de los rayos X se obtiene al apuntar estos a 55° con respecto la vertical y a entre 70 y 90 centímetros de los talones (Rose y col, 1978). Las ventajas de esta técnica son que el hueso navicular y la tercera falange pueden ser visto sin la interposición de la segunda falange (Rose y col, 1978; Gabriel y col, 1994), además de que su superficie flexora deja verse junto a su prominencia central. También permite observar la cavidad medular en la cual se observan 4 o 5 canales vasculares de aspecto radiolúcido. La corteza del hueso se observa de un espesor uniforme al centro, los extremos aparecen redondeados y pueden estar superpuestos a los procesos palmares de la tercera falange, todo esto en un hueso de aspecto normal (Thrall, 1986).

En la vista lateral-medial, el casco es colocado pisando un bloque de madera, el cual está acanalado para recibir el chasis radiográfico de modo que, éste forme un ángulo de 90° con la vertical y quede ubicado en la cara medial del casco, lo que también permite la suficiente elevación de la mano, para ubicar el equipo de rayos X y apuntarlo sobre el borde medial del hueso navicular (Morgan, 1984; Thrall, 1986). Esta vista ofrece una imagen limpia, pero pequeña del hueso navicular, cuyo aspecto normal muestra una superficie flexora convexa y de bordes lisos, al igual que los bordes proximal y distal, además de otros pequeños detalles (Thrall, 1986).

Con este trabajo se pretende mostrar las distintas variaciones de los aspectos radiomorfométricos del hueso navicular en el caballo chileno sano, utilizando dos proyecciones radiográficas, como son la "vía coronaria alta" y la "vista tangencial flexora", esto motivado por los escasos reportes en relación a la apariencia radiológica del hueso navicular no solo en esta raza.

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1 MATERIAL

#### 4.1.1 Material biológico

Durante el período comprendido entre Diciembre del 2000 a Junio del 2001, se realizaron 40 radiografías de manos, en dos vistas radiográficas, en 10 caballos de raza chilena sin signos de calaudicación, no haciendo distinción entre sexo, peso y edad. Los animales fueron tomados de entre la casuística del Hospital Veterinario de la Universidad Austral de Chile y de caballos provenientes del pensionado del parque Saval en Valdivia.

#### 4.1.2 Material de preparación del casco

- Despalmador.
- Escobilla de cerdas plásticas.
- Escofina.
- Ranillera.

#### 4.1.3 Material Radiográfico y de medición

- Equipo de rayos X portátil "Soyee" modelo SY- 31-90 P.
- Film radiográfico sensible al verde "Kodak<sup>11</sup> High speed radelin 506304, de 18 x 24 cm.
- Chasis con folio reforzador para film radiográfico de 18 x 24 cm.
- Revelador automático "Fuji" modelo FPM 100 A.
- Brazo mecánico porta equipo de rayos X.
- Baños reveladores.
- Portachasis.
- Negatoscopio doble.
- Lupa.
- Pie de metro.

### 4.2 MÉTODOS

#### 4.2.1 Condiciones experimentales y técnicas radiográficas

Previo a realizar las 2 vistas radiográficas, se retiró la herradura de ambas manos y se procedió a realizar una limpieza de ambos cascos, utilizando para ello una ranillera y una escobilla de cerdas plásticas. Luego, se balancearon ambos cascos mediante el uso de despalmador y escofina.

Para ambas vistas radiográficas se dispuso del equipo a 70 KV y 20mA a una distancia foco película de 70 centímetros aproximadamente, utilizando como tiempo

de exposición 0,2 segundos, para la "vía coronaria alta" y 0,18 segundos, para la "vista tangencial flexora".

En la vista radiográfica "vía coronaria alta" (Figura 1A), se dispuso el casco pisando llanamente el portachasis cargado con el chasis y dentro de este último montado el film radiográfico. Luego se apuntó el equipo de rayos X portátil, hacia la superficie dorsal del casco en dirección al borde coronario en su parte media, con un ángulo aproximado de  $60^\circ$  con respecto a la horizontal. Una vez que el animal pisó el portachasis, el mismo se mantuvo con la mano opuesta levantada a fin de lograr su inmovilización.

Para la "vista tangencial flexora" (Figura 1B), se dispuso del casco pisando llanamente el portachasis cargado con el chasis y dentro de este último, montado el film radiográfico. La mano se colocó lo más caudal posible, para lograr así que el hueso navicular quedara bien expuesto y no se interpusieran estructuras anatómicas que interfirieran al paso de los rayos X, luego se apuntó el equipo de rayos X portátil montado en el brazo mecánico en dirección a la superficie palmar entre ambos bulbos de los talones, con un ángulo de aproximadamente  $55^\circ$  con respecto a la horizontal.

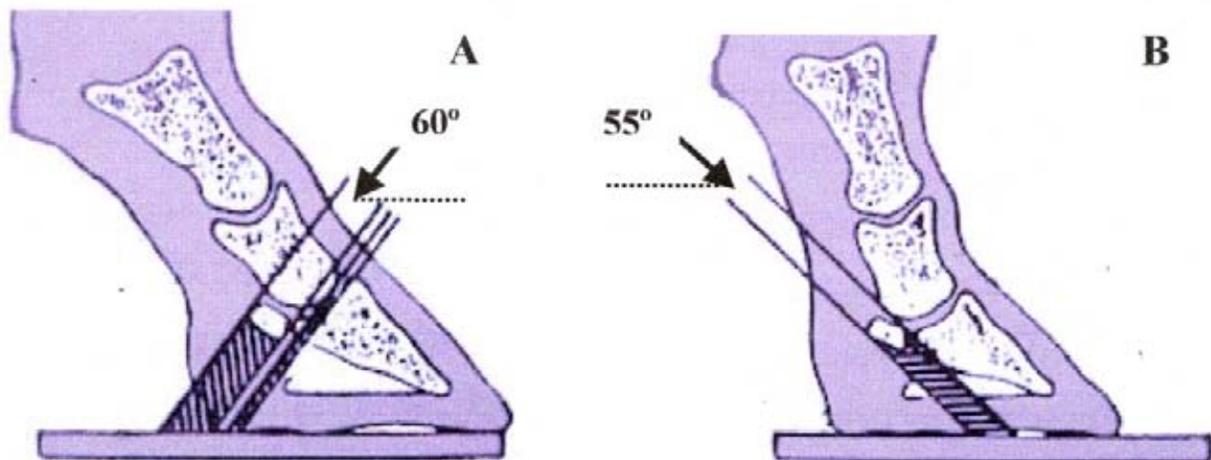


Figura. 1. Las flechas en ambas vistas muestran el ángulo de proyección del rayo con respecto a horizontal A) representación de la técnica radiográfica vía coronaria alta. B) Representación de la técnica radiográfica vista tangencial flexora.

El revelado se realizó de forma automática por medio de una reveladora "Fuji" FPM100A.

Para la evaluación de las radiografías se utilizó un negatoscopio doble, una lupa y un pie de metro.

### **4.2.3 Criterios de evaluación**

#### **4.2.3.1 Criterios de evaluación para la vista "vía coronaria alta"**

En esta vista, se evaluó, la forma del hueso, la forma de los canales sesamoideos, trama trabecular de la esponjosa y por último ancho y alto del hueso navicular. La diferencia entre los miembros derecho e izquierdo fue registrada, además de las diferencias por sexo y por edad.

La forma del hueso fue dividida en: "lanzadera" (forma típica), "doble contorno proximal" (cuando el hueso presentó dos borde proximales, levemente irregulares y de distinto contraste radiográfico), "elongado" (cuando se presentaron elongaciones en los extremos lateral y medial del hueso navicular) y "doble contorno proximal y elongado".

Los canales sesamoideos fueron clasificados de acuerdo a su morfología en: "cónicos" (más anchos distalmente), "callampa" (más anchos proximal mente) y "ancho uniforme".

La trama trabecular de la esponjosa se clasifico de acuerdo a su densidad radiográfica en: fina, gruesa y esclerosada.

Para esta vista también se dimensionó el hueso, anotando en milímetros su ancho y alto.

#### **4.2.3.2 Criterios de evaluación para la vista "tangencial flexora"**

Para esta proyección se evaluó en el hueso navicular, la forma de la cresta sagital, la forma de los extremos, la trama trabecular de la esponjosa, la interfase entre ésta ultima y la corteza flexora y la dimensión del hueso.

La forma de la cresta sagital fue clasificada en: "borde redondeado y prominente" y "achatada".

La morfología de los extremos del hueso se clasificaron en: "redondeados" y "rectangulares".

Al igual que para la vía coronaria alta, la trama trabecular de la esponjosa se clasificó de acuerdo a su densidad radiográfica en: "fina", "gruesa" y "esclerosada".

Para la zona de interfase entre la corteza y la esponjosa se observó si esta era "definida", en cuyo caso había una franca diferencia entre las dos zonas o "indefinida" cuando existía una zona de transición entre ambas.

El hueso navicular se dimensionó en milímetros en: ancho, alto, alto de la corteza flexora el que se midió inmediatamente adyacente a la cresta sagital y por ultimo se midió el ancho de la esponjosa.

## 5. RESULTADOS.

### 5.1 HALLAZGOS EN LA VISTA "VÍA CORONARIA ALTA"

Tabla 1. Evaluación morfométrica del hueso navicular mediante la vista "vía coronaria alta".

<b>Características Radiomorfológicas</b>	Miembro derecho	%	Miembro izquierdo	%	Total	%
<b>Forma del hueso.</b>						
-Lanzadera.	4	40	5	50	9	45
-Elongado.	2	20	0	0	2	10
-Doble contorno proximal.	3	30	2	20	5	25
-Elongado y doble contorno proximal.	1	10	3	30	4	20
<b>Forma de los canales sesamoideos</b>						
-Cónicos.	4	40	5	50	9	45
-Callampa.	3	30	2	20	5	25
-Ancho uniforme.	3	30	3	30	6	30
<b>Trama trabecular de la esponjosa</b>						
-Fina.	10	100	8	80	18	90
-Gruesa.	0	0	2	20	2	10
-Esclerosada.	0	0	0	0	0	0
<b>Evaluación métrica.</b>						
	<b>Promedio (±)</b>		<b>Valor máximo</b>		<b>Valor mínimo</b>	
-Ancho del hueso (mm).	57,4 ± 1,2		59,3		55,2	
-Alto del hueso (mm).	21,4 ± 2,9		29,3		18,5	

En esta vista, un 10% de los huesos presentaron elongación de sus extremos. La forma predominante del hueso, fue la de "lanzadera" (Figura 2A) con un 45%. Para el hueso navicular se observó un 25% de "doble contorno proximal" (Figura 2C). "Elongación y doble contorno" (Figura 2B) se presentaron en 20% de los huesos (Tabla 1).

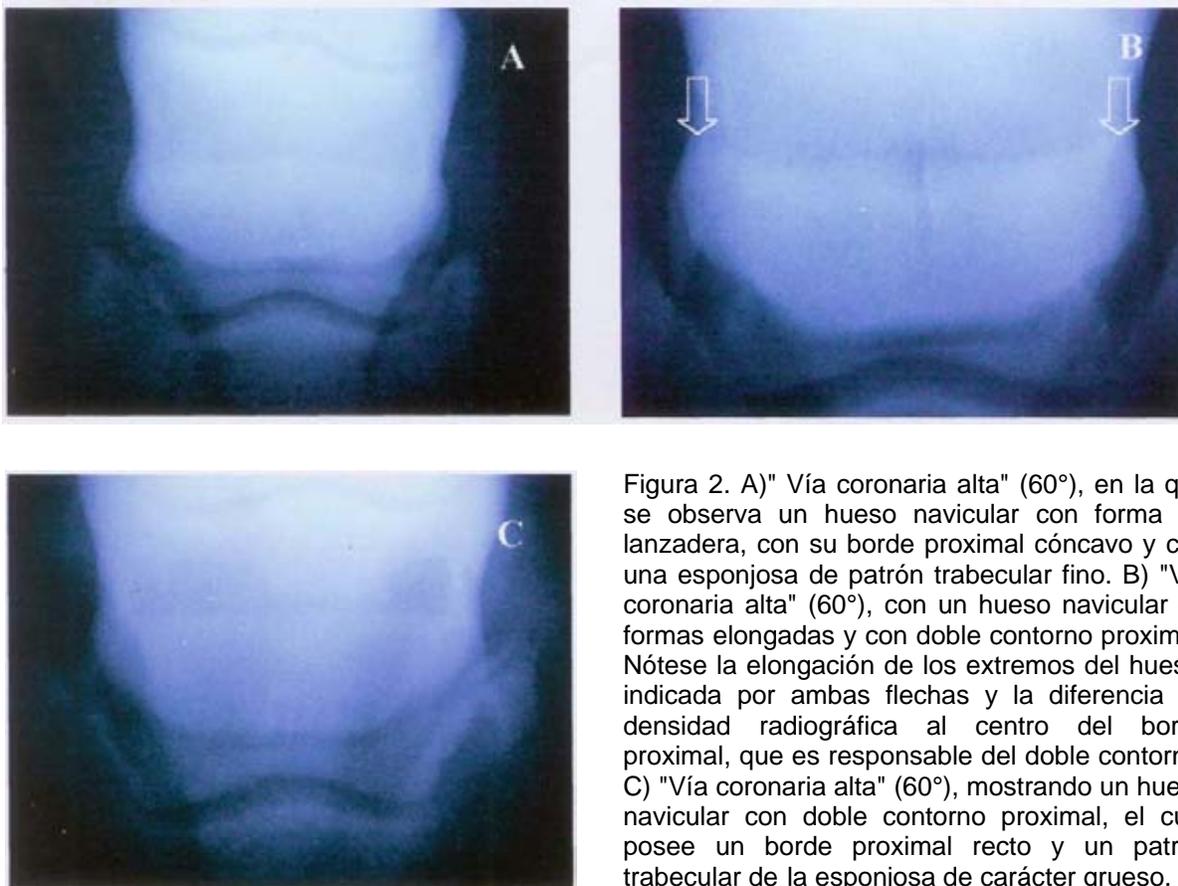


Figura 2. A) "Vía coronaria alta" (60°), en la que se observa un hueso navicular con forma de lanzadera, con su borde proximal cóncavo y con una esponjosa de patrón trabecular fino. B) "Vía coronaria alta" (60°), con un hueso navicular de formas elongadas y con doble contorno proximal. Nótese la elongación de los extremos del hueso, indicada por ambas flechas y la diferencia de densidad radiográfica al centro del borde proximal, que es responsable del doble contorno. C) "Vía coronaria alta" (60°), mostrando un hueso navicular con doble contorno proximal, el cual posee un borde proximal recto y un patrón trabecular de la esponjosa de carácter grueso.

En la misma vista, los canales sesamoideos se mostraron mayoritariamente de forma "cónica" (Figura 3A) con una frecuencia de 45%, para ambos miembros, y las formas de "callampa" (Figura 3B) y de "ancho uniforme" un 25% y un 30 % respectivamente (Tabla 1).

La trama trabecular "fina" (Figura 2A) de la esponjosa, fue predominante (90%), en ambos miembros, siendo para el miembro derecho de 100% y para el opuesto 80% (Tabla 1). El patrón "grueso" (Figura 2C) estuvo representado sólo por un 20% en el miembro izquierdo, no observándose este patrón en ningún hueso del miembro derecho. No se encontró ningún hueso con patrón de "esclerosis" (Tabla 1).

En la evaluación de las dimensiones del hueso navicular (Tabla 1) el ancho promedio fue de 57,4 milímetros, con rangos que variaron de 59,3 milímetros como máximo y 55,2 milímetros como mínimo, lo que da una diferencia entre ambos de 4,1 milímetros. El alto del hueso en esta vista, arroja un promedio de 21,4 milímetros, teniendo este un máximo de 29,3 milímetros y un mínimo de 18,5, con una diferencia entre ambos de 10,8 milímetros.

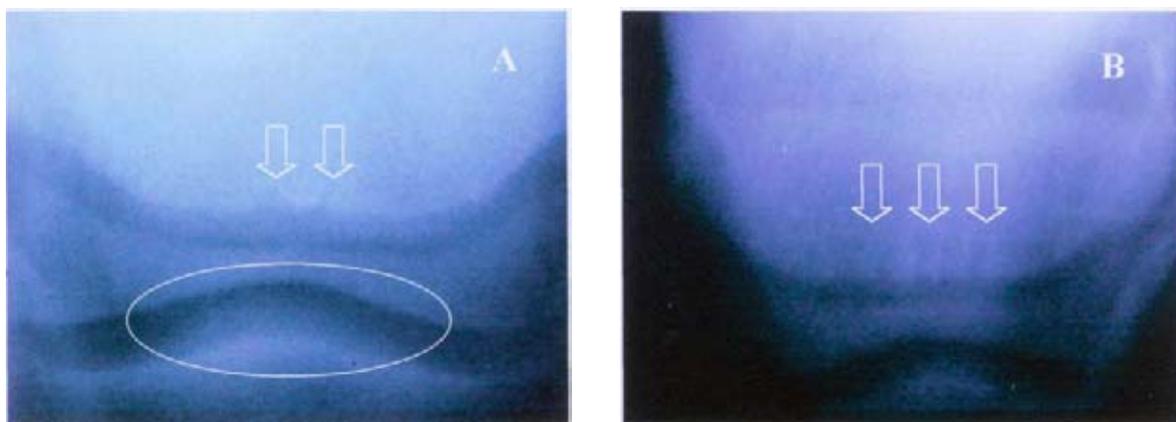


Figura 3. A) "Vía coronaria alta" (60°); las flechas indican los canales sesamoideos de forma cónica y ubicados en el borde distal del hueso navicular. Nótese la buena separación entre el borde distal del hueso navicular y la articulación interfalángica distal, lograda con la angulación de esta toma, que se muestra al interior de la elipse. B) "Vía coronaria alta" (60°); las flechas señalan canales sesamoideos de forma de callampa.

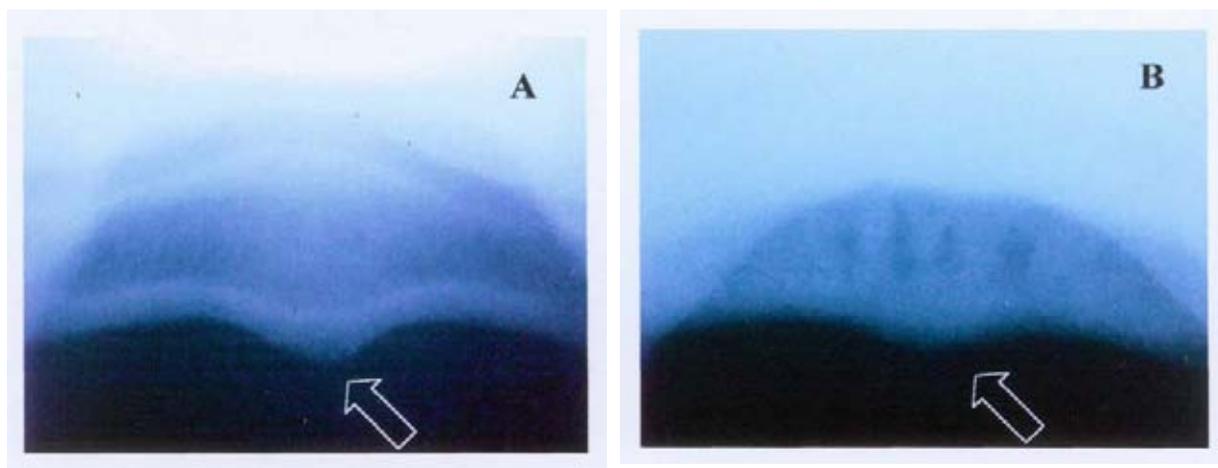


Fig. 4. A) "Vista tangencial flexora" (55°) del hueso navicular, la cual muestra una interface entre la esponjosa y la corteza flexora de carácter definido, una trama trabecular de la esponjosa de patrón fino y una cresta sagital redondeada y prominente. B) "Vista tangencial flexora" (55°), en la que se muestra una interface indefinida entre la esponjosa y la corteza flexora, además de presentar un patrón trabecular esclerosado de la esponjosa, con canales sesamoideos aumentados de tamaño y de aspecto radiolúcido y una cresta sagital achatada.

## 5.2 HALLAZGOS EN LA "VISTA TANGENCIAL FLEXORA"

Tabla 2. Evaluación morfométrica del hueso navicular mediante la vista tangencial flexora.

<b>Características radiomorfológicas</b>	Miembro derecho	%	Miembro izquierdo	%	Total	%
<b>Forma de la cresta sagital.</b>						
-Redondeada.	6	90	5	50	14	70
-Achatada.	1	10	5	50	6	30
<b>Forma de los extremos del hueso.</b>						
-Rectangular:						
Lateral	5	25	5	25	10	25
Medial	5	25	5	25	10	25
-Redondeada:						
Lateral	5	25	5	25	10	25
Medial	5	25	5	25	10	25
<b>Trama trabecular de la esponjosa.</b>						
-Fina.	6	60	5	50	11	55
-Gruesa.	3	30	4	40	7	35
-Esclerosada.	1	10	1	10	2	10
<b>Interface entre la corteza y la esponjosa.</b>						
-Definida.	6	60	5	50	11	55
-Indefinida.	4	40	5	50	9	45
<b>Evaluación métrica.</b>						
	<b>Promedio (<math>\pm</math>)</b>		<b>Valor máximo</b>		<b>Valor mínimo</b>	
-Ancho del hueso (mm).	58, $\pm$ 2,1		63,0		55,6	
-Alto del hueso (mm).	17,4 $\pm$ 1,0		19,0		15,0	
-Alto corteza flexora (mm).	3,3 $\pm$ 0,4		3,9		2,7	
-Ancho de la esponjosa (mm).	45,5 $\pm$ 2,8		50,8		40,7	

En esta vista como muestra la Figura 4 A, la mayoría de los huesos (70%) presentó una cresta sagital redondeada y un 30% una cresta sagital achatada (Tabla 2). En el miembro derecho 90% de las crestas de los huesos poseen forma redondeada y un 10% tiene esta cresta achatada (Figura 4B y Tabla 2). Para el otro miembro las frecuencias fueron de un 50% para ambas formas.

Respecto a la forma de los extremos del hueso, en la "vista tangencial flexora", no hubo ninguna diferencia entre los huesos de ambos miembros, ya que

ambos extremos del huesos (tanto el lateral como medial), presentaron formas rectangulares y redondeadas en igual porcentaje ( Figura 5 A, B y Tabla 2).

En la Tabla 2, también se observa que para la trama trabecular de la esponjosa predominó el patrón fino (Figura 4A) con un 55%, seguido del patrón grueso con un 35% (Figura 5B). Un 10% poseen patrón esclerosado (Figura 4B). Lo observado en el miembro derecho mostró un 60 % de patrón fino, 30 % grueso y 10 % esclerosado, mientras que para el miembro opuesto las frecuencias fueron de 50 % de patrón fino, 40 % grueso y 10% esclerosado.

La zona de interface entre la corteza flexora y la esponjosa es de carácter definido (Figura 4A) en 55% de los huesos e indefinida (Figura 4B) en 45% de los casos, mientras que en el miembro derecho la frecuencia fue de 60 % para el carácter definido y 40% para el indefinido. En el miembro izquierdo ambos patrones se presentaron con igual frecuencia un 50% (Tabla 2).

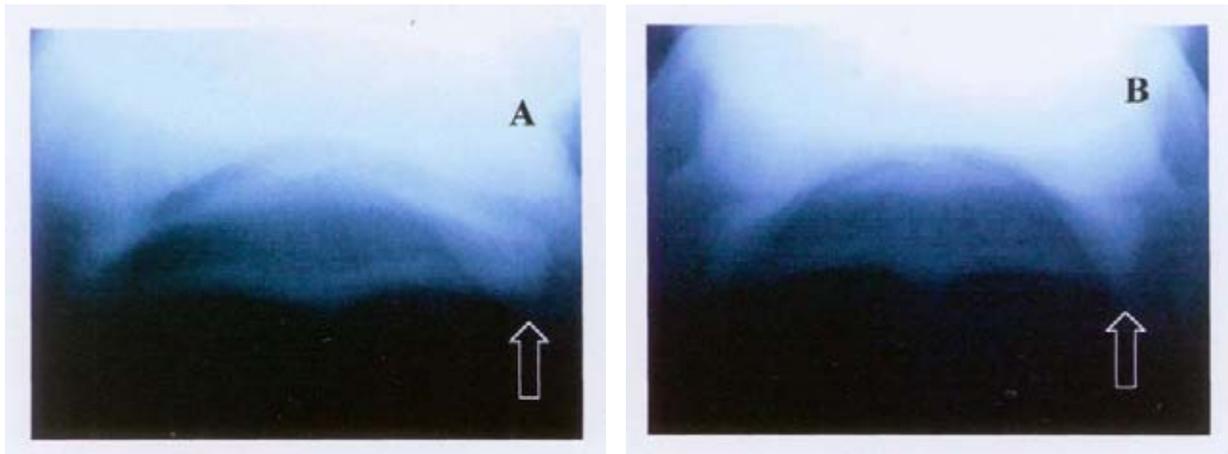


Figura 5. A) y B) Vista tangencial flexora (55°), donde las flechas indican un borde lateral redondeado y un borde lateral rectangular respectivamente. En B) se muestra además un patrón trabecular de la esponjosa de carácter grueso.

En la medición del hueso navicular con esta vista (Tabla 2) se encontró un ancho promedio de 58,0 milímetros, con un máximo de 63,0 y un mínimo de 55,6 milímetros. El alto promedio del hueso fue de 17,4 milímetros y fluctuó entre los 15,0 y 19,0 milímetros, mientras que el alto de la corteza flexora correspondió a 3,3 milímetros, con rangos entre 2,7 y 3,9 milímetros. Para el ancho de la esponjosa el promedio fue de 45,5 milímetros con un máximo de 50,8 y un mínimo de 40,7 milímetros.

## 6. DISCUSIÓN

El examen radiológico del hueso navicular tiene importancia como ayuda diagnóstica del síndrome navicular, enfermedad invalidante del equino utilizado con fines deportivos, categoría en la que se ubica el caballo chileno. Si bien los hallazgos radiológicos que se observan en esta patología son conocidos por los profesionales veterinarios, existen muy pocos reportes concernientes al estudio radiológico del caballo sano, el que sin duda podría ayudar a una mejor interpretación de los signos radiográficos asociados a la patología. Con el presente trabajo y unido a lo anteriormente expresado, este estudio pretende mostrar las distintas variaciones de los aspectos radiológicos, que posee el hueso navicular en el caballo chileno sano, utilizando dos proyecciones radiográficas, como son la "vía coronaria alta" y la "vista tangencial flexora", resultados de las cuales a continuación son discutidos.

En la vista "vía coronaria alta", los huesos naviculares, no presentaron la misma forma. Kaser-Hotz y Ueltschi (1992) encontraron en esta misma vista, que 10% de los caballos sanos no presentó la misma forma del hueso navicular. Ueltschi (1983) reporta que 79% de los caballos con enfermedad navicular no tienen la misma forma del hueso navicular, comparando miembro derecho e izquierdo de un mismo caballo.

La vista "vía coronaria alta", mostró que el 45% de los huesos en este estudio mostraron forma de lanzadera (Figura 2A). Esta forma es la característica para el hueso navicular (Kaser-Hotz y Ueltschi, 1992) y algunos investigadores, denominan también a esta forma, como de canoa (Pleasant y Crisman, 1997). Nuestros resultados muestran que 10% de los huesos presentan algún grado de elongación de sus extremos (Figura 2B), denominándose en este estudio como hueso de formas elongadas, que corresponden al hueso asimétrico de Kaser-Hotz y Ueltschi (1992). Esta denominación se basa en el aspecto desigual de los extremos laterales del hueso, lo que en nuestro trabajo no sucedió ya que cuando se presentó la elongación esta fue similar en ambos extremos y el hueso no se observó asimétrico (Figura 2B). La elongación de los extremos, observada con la vista "vía coronaria alta", se debería a la tensión ejercida por parte de los ligamentos colaterales (Poli y col, 1989). Otro estudio, pero con la vista lateral, identifica que un 55% de los huesos naviculares presenta elongación distal de sus extremos y 30% de los huesos muestran elongación proximal de estos extremos, afirmando que la elongación distal y proximal de los extremos del hueso navicular son una variación normal, y no necesariamente se les puede asociar a enfermedad navicular, ya que estos hallazgos tienen una alta presentación en caballos sanos, no siendo un criterio de valor para el diagnóstico de enfermedad navicular (Kaser-Hotz y Ueltschi, 1992). Se ha reportado que esta elongación ocurre con frecuencia con la edad avanzada (Wintzer y Daemrich, 1971; Hertsch y Zeller, 1977).

Para Kaser-Hotz y Ueltschi (1992), el doble contorno observado en la "vía coronaria alta" de algunos huesos naviculares se debe frecuentemente a la elongación de la corteza flexora proximalmente y en menor medida a la neoformación ósea de la inserción del ligamento suspensor. Esta característica se presenta en 25% de los huesos examinados, tal como se aprecia en la Figura 2A y C.

Existen evidencias que los factores mecánicos asociados con el peso, forma y balance del pie, tienen una relación etiológica con la enfermedad navicular (Wright, 1993). También la forma del hueso navicular puede influenciar la distribución y deflexión de las fuerzas ejercidas sobre las estructuras naviculares, pero estudios que cuantifiquen físicamente estas fuerzas no están disponibles (Dik y van den Broek, 1995). Para van der Meij y col (1967) y Bos y col (1986), existe una predisposición hereditaria a presentar enfermedad navicular, pero no existe una predisposición hereditaria en cuanto a la forma del hueso navicular (Dick y van den Broek, 1995).

Otro aspecto, a considerar en la observación radiográfica de la vista "vía coronaria alta" son los canales sesamoideos. En estos hay que tener en cuenta su número, tamaño y forma (Gabriel y col, 1994). Generalmente, es común observar hasta 7 canales sesamoideos más anchos que largos en el borde distal del hueso navicular (Adams, 1990), lo que concuerda con lo observado en este estudio. Canales con forma de callampa fueron encontrados en 25% de los huesos, forma que es considerada patológica (Kaser-Hotz y Ueltschi, 1992). La forma de cono (Figura 3A) y ancho uniforme presentaron una frecuencia de 45% y 30% respectivamente. Colles y Hickman (1977), afirman que la elongación de los canales sesamoideos comienza a desarrollarse en caballos que tienen una alta exigencia de trabajo, pero los canales mantienen su forma normal de cono, lo que se debería a un signo de remodelación ósea, en respuesta al trabajo (Rijkenhuizen y col, 1989). Canales de forma circular representan signo de algún problema obstructivo (Colles, 1979). Forma de callampa también llamada flask o lollipop (Figura 3B) se asocian con animales sometidos a fuerzas anormales sobre el hueso navicular (Gibson y Stashak, 1990), como es el caso de caballos que poseen una pobre conformación del casco, lo que probablemente aumenta en mayor proporción las fuerzas de tensión y compresión a las que está sometido el hueso navicular (Pleasant y Crisman, 1997), esto ocurre en animales de talones estrechos, secos, altos o muy rebajados, igualmente con herraduras cortas, cuartilla erguida y posición echada hacia atrás (Deppe, 1982). Todo esto produce una sobrecarga de la región palmar del dedo (Barrey, 1990), lo que se explica por la pérdida del eje podo falángico, el que en caso de estar alterado puede ser quebrado de adelante o quebrado de atrás lo que cambia las fuerzas de compresión y tensión sobre el hueso navicular, sometiéndolo a estrés (Wright y Douglas, 1993). Sin embargo, los canales sesamoideos con forma de callampa están presentes sólo en el 40% de los caballos con enfermedad navicular y en el 10% de los caballos sanos de la muestra estudiada

por Kazer-Hotz y Ueltschi (1992). No existe cuestionamiento alguno respecto a que los caballos con enfermedad navicular posean una alta incidencia de canales de formas anormales, pero los canales sesamoideos anormales por si solo no son concluyentes para dar un diagnóstico de enfermedad navicular (Kazer-Hotz y Ueltschi, 1992). Es más, existen estudios que demuestran que los canales sesamoideos no contendrían en su interior a los vasos sanguíneos y estarían tapizados por tejido sinovial, comunicándose directamente con la articulación interfalángica distal, lo que hace presumir que la enfermedad navicular sería una patología resultante de una artrosis de esta articulación (Gibson y Stashak, 1990).

Un 10% de los huesos naviculares presentó a la vista "vía coronaria alta", un patrón trabecular grueso de la esponjosa (Figura 2C) y un 90%, un patrón fino de la misma (Figura 2A), no presentándose en esta vista focos de esclerosis. La regularidad de este patrón es más importante que un patrón fino o grueso en el diagnóstico radiológico, ya que una estructura trabecular irregular, no homogénea y con radiolucencias centrales, son reportadas comúnmente en animales con enfermedad navicular (Kazer-Hotz y Ueltschi, 1992). Así Las zonas menos densas pueden corresponder al agrandamiento de los canales sesamoideos o ser el resultado de lesiones degenerativas del fibrocartílago. El pronóstico de estas formaciones quísticas depende de su localización. Si éstas están localizadas en la médula tienden a una buena cicatrización, mientras que si se ubican en la corteza alcanzando suficiente volumen, pueden llegar a formar adherencias con el ligamento perforante (Gabriel y col, 1994).

De la comparación de nuestros resultados respecto a los promedios del alto del hueso navicular en la "vía coronaria alta" con aquellos obtenidos por Deppe (1983), en un estudio en que evaluó cuatro ángulos de proyección para esta misma vista en caballos chilenos, surge un promedio ligeramente mayor para el alto del hueso navicular ( $21,4 \pm 2,9$  mm) en este estudio, con respecto al de Deppe (1983), quien encontró un promedio del alto del hueso navicular de  $19 \pm 0,47$  mm.

En la "vista tangencial flexora", 70% de los huesos naviculares mostraron una cresta sagital redondeada (Figura 4 A) y 30% una cresta sagital achatada (Figura 4 B); si bien esta condición es considerada como patológica por algunos autores (O'Brien y col, 1975), Kazer-Hotz y Ueltschi (1992) la consideran una variación normal de la forma de la cresta sagital y opinan lo mismo, con respecto al cambio de forma desde la redondeada (Figura 5A) a la rectangular (Figura 4B), que toman los extremos (lateral y medial) de algunos huesos naviculares al momento de osificarse los ligamentos colaterales. En el presente estudio, la frecuencia de presentación, tanto para la forma redondeada y rectangular de los extremos del hueso navicular fue igual, incluso comparando las formas entre los extremos lateral y medial de un mismo hueso, y éstas formas comparadas con las del otro miembro (50%, para cada forma).

Pequeñas calcificaciones de la superficie flexora del hueso navicular observadas comúnmente en caballos enfermos por medio de la "vista tangencial flexora", indican degeneración y erosión contra el ligamento del flexor digital profundo (Wintzer y Daemmrich, 1971; Ueltschi, 1983; Pool y col, 1989, Gabriel y col, 1994). Si bien, en el presente estudio ningún hueso navicular presentó tal condición, el estudio de Kazer-Hotz y Ueltschi (1992) en caballos sanos, reportó un 2% de estos hallazgos contrastando con el 32% encontrado en otro estudio realizado en caballos que presentaban enfermedad navicular (Ueltschi, 1983).

La pérdida de la interface, entre la corteza flexora y la esponjosa, que se • puede observar en la "vista tangencial flexora", es un signo radiográfico importante en caso de enfermedad navicular y está presente en más del 80% de los animales afectados por la patología; sin embargo, esta pérdida se presenta en menos del 20% de los de animales sin signos de claudicación (Gibson y Stashak, 1990). En nuestro estudio se encontró un 45% de los huesos con pérdida de la interface entre la corteza flexora y la esponjosa (Figura 4A) y un 55% de los huesos presentaron una interface definida (Figura 4A), lo que no concuerda con otros estudios, como el de Kazer-Hotz y Ueltschi (1992), quienes encontraron sólo un 16% de los huesos naviculares con esta alteración. Normalmente, en los caballos con enfermedad navicular la pérdida de la interface entre la corteza flexora y la esponjosa es acompañada de esclerosis de la esponjosa (Wright, 1993), lo que se puede observar claramente en la Figura 4B. Esta misma figura muestra también un notorio agrandamiento de los canales sesamoideos, los que se observan con un aspecto radiolúcido uniformemente. La pérdida de la interface se observó en 10% de los huesos naviculares considerados en nuestro estudio. Ambos huesos presentaron además, una zona de interface indefinida. Todos estos cambios provendrían del aumento de la actividad remodeladora del hueso, el cual reaccionaría precozmente como medio de adaptación a los apremios mecánicos. Esto induciría una hiperemia activa en el hueso que se empeoraría con la esclerosis, provocando el encarcelamiento de los sinusoides venosos, retardando el drenaje sanguíneo y aumentando la presión intraósea con el consecuente dolor (Ostblom y col, 1982; Pool y col, 1989). La no existencia de signos clínicos podría explicarse en base a que la pérdida de la interface entre corteza flexora y la esponjosa presentada en forma aislada, sea sólo un signo de remodelación ósea (Kaser-Hotz y Ueltschi, 1992).

Para un diagnóstico acabado en estados tempranos de enfermedad navicular se recomienda medir el alto de la corteza flexora (Ueltschi, 1983). No obstante, hay que tener en cuenta, que esta variable se ve modificada por factores tales como son la distancia foco película, la distancia foco objeto, la distancia objeto película, la posición del miembro y la angulación del rayo (Deppe y col, 1983; Kazer-Hotz y Ueltschi, 1992). Este estudio evidenció que el alto de la corteza flexora en la "vista tangencial flexora", varió entre 2,7 a 3,9 milímetros, con un promedio 3,3 milímetros, lo que concuerda para animales sanos donde el promedio obtenido por Kaser-Hotz y Ueltschi (1992) fue de 3,6 milímetros. Lo anterior lo podemos comparar con

resultados en caballos con enfermedad navicular, donde el hueso navicular del miembro derecho arrojó un promedio 4,3 y el izquierdo 4,0 milímetros (Ueltschi, 1983). Los resultados de nuestro estudio, con respecto a esta misma característica fueron 3,2 y 3,4 milímetros, para el miembro derecho e izquierdo respectivamente.

De acuerdo a estos resultados, podemos concluir que:

- Para la proyección "vía coronaria alta", el hueso navicular del caballo chileno sin signos de claudicación, aparece simétrico y se pudo caracterizar radiomorfométricamente con forma de lanzadera, canales sesamoideos cónicos, patrón trabecular fino de la esponjosa y con un ancho y alto promedio de  $57.4 \pm 1,2$  y  $21.4 \pm 2.9$  mm respectivamente.
- Para la proyección "vista tangencial flexora", el hueso navicular del caballo chileno sin signos de claudicación, aparece simétrico y se pudo caracterizar radiomorfométricamente con una cresta sagital prominente, de extremos rectangulares o redondeados, una trama trabecular de la esponjosa de carácter fino, una interface entre esta última y la corteza flexora de carácter definido, un ancho, alto, alto de la corteza flexora y ancho de la esponjosa de  $58.0 \pm 2.1$ ,  $17.4 \pm 1,0$ ,  $3.3 \pm 0.4$  y  $45.5 \pm 2.8$  respectivamente.
- Ambas proyecciones son complementarias para el estudio radiológico del hueso navicular en el caballo chileno, ya que cada una por si sola da importantes acercamientos con respecto a la apariencia radiológica del hueso.
- La presencia de cambios radiológicos en el hueso navicular, no es indicadora de enfermedad navicular, ya que estos hallazgos por si solo no son indicadores de la patología, lo que no implica que el examen radiológico con ambas vistas sea innecesario, pero sugiere que debe ir acompañado de un examen clínico completo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, O.R. 1990. Les boitres du cheval. Troisieme édition. Maloine Ed. París.
- ADAMS, C.R. 1974. Lameness in horse. 3 ed. Lea & Febiger, Philadelphia.
- ACKERMAN, N. 1977. Navicular disease in the horse: Risk factors, radiographic changes, and response to therapy. J. Am. Vet. Med. Assoc. 170: 183-187.
- BARREY, E. 1990. Investigation of the vertical hoof force distribution in the equine fore limb with an instrumented horseboot. Equine. Vet J. Suppl. 9: 35-38.
- BARTEL, D.L; SCHRYVER, H.F; LOWE, J.E; PARKER, R.A. 1978. Locomotion in the horse: A procedure for computing the internal forces in the digit, Am. J. Vet. Res. 39: 1721-1727.
- BELL, B.T; BRIDGE, L.S; SULLIVAN, S.T. 1996. Surgical treatment of navicular syndrome in the horse using navicular suspensory desmotomy. New Zealand Vet. J. 44: 26:30.
- BOS, H; van der MEIJ, G.J:W; DIK; K:J. 1986. Hereditary of navicular disease. Vet. Quarterly. 8: 68:72.
- BOWKER. R.M. 1994. A silver impregnation and immunocytochemical study of innervation of the distal sesamoid bone and its suspensory ligaments in the horse. Equine. Vet. J. 26: 212-219.
- CABRERA, A. 1945. Caballos de América. Ed. Sudamericana. Buenos Aires.
- CALISLAR, T.; St. CLAIR, L.E. 1969. Observations on the navicular bursa and distal interphalangeal joint cavity of the horse. J A V M A. 154: 410-412.
- CAMPBELL, J.R; LEE, R. 1972. Radiological techniques in the diagnosis of navicular disease. Equine. Vet. J. 4: 135-138.
- CARLSON, W.D. 1967. Veterinary Radiology. 3 Ed. Lea & Febiger, Philadelphia.
- CLAYTON, J; VVEBBON, P.M. 1979. Observation on technical quality of radiographs submitted to a Veterinary College. Vet. Rec. 104: 576-578.
- COLAHAN, P. 1994. Navicular disease vs. Navicular syndrome. Equine. Pract. 16: 20-22.

COLLES, C.M; HICKMAN, J. 1977. Concepts of blood flow in the etiology and treatment of navicular disease. Equine. Vet. J. 9: 15-154.

COLLES, C.M. 1979. Ischaemic necrosis of the navicular bone and its treatment. Vet. Rec. 104: 133-137.

CRISMAN, M.V; PLEASANT, S. 1997. Treating navicular disease. Vet. Med. 92: 459-459.

DEPPE, M; DEPPE, R; TAMAYO, R. 1994. Algunas características de la enfermedad navicular (EN) en caballos chilenos atendidos en el Hospital Veterinario de la Universidad Austral de Chile. Arch. Med. Vet. 26: 29-34.

DEPPE, R. 1979. La enfermedad navicular del equino. Arch. Med.Vet. 11: 65-71.

DEPPE, R. 1982. Podopatología. Central de Publicaciones UACH. Valdivia (Chile).

DEPPE, R; GONZÁLEZ, L; HENRIQUEZ, O. 1983. Estudio comparativo de cuatro ángulos de proyección radiográfica para el examen del hueso navicular vía coronaria alta en el caballo chileno. Arch. Med.Vet. 5: 43-47.

DIK, K.J; van den BROEK, J. 1995. Role of navicular bone shape in the pathogenesis of navicular disease: a radiological study. Equine. Vet. J. 27: 390-393.

DOUGLAS, S.W. and WILLIAMSON, H.D. 1972. Principles of Veterinary Radiography. 2<sup>nd</sup> Ed. The Williams & Wilkins Co, Baltimore.

DYSON, S. 1993. Current thoughts on the diagnosis of the navicular disease syndrome. 3<sup>rd</sup> Geneva Congress of Equine Medicine and Surgery- 3<sup>rd</sup> Congress of the World Equine Veterinary Association (WEVA), Geneva (CH) 7-11 December, pp 134-136.

ENSMINGER, M.E. 1973. Producción Equina. 4<sup>a</sup> Ed. El Ateneo. Buenos Aires.

FICUS, H.J. 1980. El radiodiagnóstico en la clínica de los animales pequeños. Editorial, Acribia, Zaragoza.

GABRIEL, A; CAUDRON, I; SERTEYN, D; COLLIN B. 1994. Syndrome naviculaire: anatomie, etio-pathogénie, diagnostic et traitement. Ann. Med. Vet. 138: 309-330.

GIBSON, KT. 1990. A radiographic study of the distal interphalangeal joint and navicular bursa of the horse. Vet. Radiol. 31: 22-25.

GIBSON, K.T.; STASHAK, T.S. 1990. The steps in diagnosing navicular syndrome. Vet. Med. 84: 168-176.

GILLETTE, E.L.; D.E.; LEBEL, J.L. 1977. Carlson's Veterinary Radiology. 3<sup>rd</sup> edition. Lea & Febiger, Philadelphia.

HERTSCH, B. ZELLER, R. 1977. Roentgenologische Veraenderungen am Strahlbein und ihre Beurteilung. Prakt. Tierarzt. 58: 14-19.

HICKMAN, J. 1989. Navicular Disease- what are we talking about?. Equine. Vet. J. 21: 395-398.

HOFFER, M.A. 1982. The development and ultrastructural anatomy of the equine navicular bursa and associated structures (thesis). Western College of Veterinary Medicine, University of Saskatchewan, Saskatoon.

KASER-HOTZ, B.; UELTSCHI G. 1992. Radiographic appearance of the navicular bone in sound horses. Vet Radiol. and Ultrasound. 33: 9-17.

KEEGAN, K.G.; WILSON, D.J.; WILSON, D.A.; FANKENY, R.L.; LOCH, W.E.; SMITH, B. 1997. Effects of anesthesia of the palmar digital nerves on kinematic gait analysis in horse with and without navicular disease. Amer. J. Vet. Res. 58: 218-223.

LAGO, T. 1953. "El huaso". Ensayo de Antropología Social. Ediciones Universidad de Chile. Santiago (Chile).

LEACH, D.H. 1983. Biomechanical considerations in raising and lowering the heel. Proc Am. Ass. Eq. Pract. 29: 333-342.

LEACH, D.H. 1993. Treatment and pathogenesis of navicular disease ("syndrome<sup>11</sup>) in horses. Eq. Vet. J. 25: 477-481.

LETELIER, E.M. 1949. "El Caballo Chileno y su registro Genealógico". Tomo 1. Stud Book de la Raza Chilena. Imprenta la Ilustración, Santiago (Chile).

LOCHNER, F.K. 1980. In vivo and invitro measurement of the tendón strain in the horse. Amer. J. Vet. Res. 41. 212-219.

Mac GREGOR, C.M. 1989. Navicular disease- in search of definition. Equine. Vet. J. 21: 389-391.

MALDONADO, R. 1981. Afecciones pódales del caballo. Monogr. Med. Vet. Universidad de Chile. 3: 24-51.

- MORGAN, J.P.1972. Radiology in Veterinary Orthopedics. Lea & Febiger, Philadelphia.
- MORGAN, J.P.1984. Radiology in Veterinary Orthopedics. 3<sup>rd</sup> Ed. Lea & Febiger, Philadelphia.
- NOVILLE, R.A. 2000. "Squire" Fundamentos de radiología. 5ta edición. Editorial Masson S.A, Barcelona.
- NUMANS, S.R, VAN DER WATERING, C.C. 1973. Navicular disease: Podotrochlitits Chronica Aséptica Podotrochlosis. Equine. Vet. J. 5: 1-7.
- OLSSON, S.E. 1954. On navicular disease in the horse. Nord. Vet. Med. 6: 547-566.
- OSTBLOM, L; LUND, C; MELSEN, F. 1982. Histological study of navicular disease. Equine. Vet. J. 14: 199-202.
- OSTBLOM, L; LUND, C; MELSEN, F. 1989. Navicular bone disease: a comparative histomorphometric study. Vet. Clin. North. Ara: Eq. Pract. 21: 431 -433.
- OXSPRING, G.E. 1935. The radiologie of navicular disease, whit observations on its patohology. Vet. Rec. 15: 1433-1447.
- PINOCHET, J.L. 1980. "Estudio hipométrico y morfológico del caballo de raza criolla chilena y su posible cambio tipológico". Tesis Med. Vet. Lie. Cien. Pee. Med. Vet. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Veterinarias, Santiago.
- PLEASANT, S; BAKER, G; FOREMAN, J; EURELL, J; LOSONSKY, J. 1993. Intraosseous pressure and pathological change in horses whit navicular disease. Am. J. Vet. Res. 54: 7-12.
- PLEASANT, S; CRISMAN, M. 1997. Navicular disease in horses: Pathogenesis and diagnosis. Vet. Med. 92: 250-257.
- POOL, R.R; MEAGHER, D.M; STOVER, S.M. 1989. Pathophysiology of navicular syndrome. Vet. Clin. North Am.: Eq. Pract. 5: 109-129.
- POULOS, P.W; SMITH, M.F. 1988. The nature of enlarged "vascular channels" in the navicular bone of the horse. Vet. Radiol. 29: 60-64.
- PRYER, A. A. 1934. The diagnosis of navicular disease. Vet. Rec. 14: 253-263.
- RATZLAFF, M.H; WHITE, K.K. 1989. Some biomechanicals considerations of navicular disease. J. Eq. Vet. Sci. 9: 149-153.

RIJKENHUIZEN, A.B.M; NEMETH, F; DIK J; GOEDEGEBUURE, SA 1989 The arterial supply of the navicular bone in adult horses with navicular disease. Equine Vet. J. 21: 418-424.

ROONEY, J.R. 1969. Biomechanics of lameness in Horses. Ed. Williams Wilkins, Baltimore.

ROSE, RJ; TAYLOR, B.J; STEEL J.D. 1978. Navicular disease in the horse: An study of seventy cases and assessment of a special radiographic view. J. Eq. Med. Surg. 2: 492-497.

SCHRYVER, H.F; BARTEL, D.L; LANGRANA, N; LOWE, J.E. 1978. Locomotion in the horse: Kinematics and external and internal forces in the normal equine digit in the walk and trot. Am. J. Vet. Res. 39: 1728-1733.

SISSON, S. 1975. Sisson and Grossman's The anatomy of the Domestic animals. 5th Ed. W.B. Saunders Company, Philadelphia.

STASHAK, T.S. 1985. Adam's lameness in Horses. 4th Ed. Lea & Febiger, Philadelphia.

SVALASTOGA, E; REIMANN, i; NIELSEN, K. 1983. A Method for quantitative assessment of bone formation using double labelling with tetracycline and calcein. An experimental study in the navicular bone of the horse. Nord. Vet. Med. 35: 180-183.

THRAIL, D.E. 1986. Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology. W.B. Saunders Company, Philadelphia.

THOMPSON, K.N; ROONEY, J.R; PETRITES-MURPHY, M.B. 1991. Considerations on the pathogenesis of the navicular disease. J. Eq. Vet. Sci. 11: 4-8.

TROUT, D.R; HORNOF, W.J; O'BRIEN, T.R. 1991. Soft tissue and bone phase scintigraphy for diagnosis of navicular disease in horse. JAVMA. 198: 73-77.

TURNER, T.A. 1989. Diagnosis and treatment of navicular syndrome in horse. Vet. Clin.: North Am.: Eq. Pract. 5: 131-144.

TURNER, T.A; FESSLER, J.F. 1982. The anatomic, pathologic and radiographic aspects of navicular disease. Compend. Contin. Educ. Vet. 4: 350-357.

UELTSCHI, G. 1983. Podotrochlose- Wert und Haeufigkeit roentgenologisch nachweisbarer Veraenderungen am Strahlbein. Berl. Muench. tieraerztl. Wschr. 96: 308-310.

Van der MEIJ, G.J.W; KLEYN, E.F; van de WATERING, C.C. 1967. Een onderzoek naar de erfelijke aanleg voor podotrochleitis. Tijdschr. Diergeneesk. 92: 1261 -1271.

WINTZER, H.J. 1970. Zur Bewertung des Röntgenbildes vom Strahlbein des Pferdes in der Lahmheits-diagnostik. Schweiz. Arch. Tierhk. 112: 471-479.

WINTZER, H.J; DAEMMRICH, K. 1971. Untersuchungen zur Pathogenese der sogenannten Strahlbeinlahmheit des Pferdes. Berl. Muench. Tieraerztl. Wschr. 12: 221-225.

WITTMANN, F. 1940. Átiologie, Diagnostik und Therapie (Neurektomie) der chronischen Podotrochlitis des Pferdes. Zeitschr. Vetkd. 52: 97-112.

WRIGHT, I.M. 1993. A study of 118 cases of navicular disease: radiological features. Eauine. Vet. J. 25: 493-501.

WRIGHT, I.M; DOUGLAS 1993. Biomechanical considerations in the treatment of navicular disease. Vet. Rec. 133: 109-114.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis agradecimientos sinceros a Rosario y Saúl, por haber hecho posible la realización de este trabajo.

A mi profesor patrocinante, Dr. Rodolfo Deppe G., agradezco el haber compartido sus conocimientos, experiencia y amistad durante el desarrollo de esta tesis.