



UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE VETERINARIA

**Uso de la Ecografía para el Bloqueo de los Nervios Periféricos
del Miembro Pelviano en el Gato (*Felis catus L.*)**

Ana Paulina Haro Álvarez

2013



UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE VETERINARIA

Uso de la Ecografía para el Bloqueo de los Nervios

Periféricos del Miembro Pelviano en el Gato

(Felis catus L.)

ANA PAULINA HARO ÁLVAREZ

2013

TESIS DOCTORAL COMO COMPENDIO DE PUBLICACIONES

1. Haro, P., Gil, F., Laredo, F., Ayala, M.D., Belda, E., Soler, M., Agut, A. Ultrasonographic study of the feline sciatic nerve. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 2011; 13 (4): 259–265.
2. Haro, P., Laredo, F., Gil, F., Belda, E., Ayala, M.D., Soler, M., Agut, A. Ultrasound-guided block of the feline sciatic nerve. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 2012; 14 (8): 545-551.
3. Haro, P., Laredo, F., Gil, F., Belda, E., Ayala, M.D., Soler, M., Agut, A. Ultrasound-guided dorsal approach for the femoral nerve blockade in cats: An imaging study. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 2013; 15 (2): 91-98.



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D^a. Amalia Agut Giménez, Catedrática de Universidad del Área de Medicina y Cirugía Animal en el Departamento de Medicina y Cirugía Animal, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Uso de la ecografía para el bloqueo de los nervios periféricos del miembro pelviano en el gato (*Felis catus* L.)", realizada por D^a. Ana Paulina Haro Álvarez, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 30 de Enero de 2013

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a horizontal stroke.



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D. Francisco Ginés Laredo Álvarez, Profesor Titular de Universidad del Área de Medicina y Cirugía Animal en el Departamento de Medicina y Cirugía Animal, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Uso de la ecografía para el bloqueo de los nervios periféricos del miembro pelviano en el gato (*Felis catus* L.)", realizada por D^a. Ana Paulina Haro Álvarez, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 30 de Enero de 2013



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D. Francisco Gil Cano, Catedrático de Universidad del Área de Anatomía y Anatomía Patológica comparadas en el Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica comparadas, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "Uso de la ecografía para el bloqueo de los nervios periféricos del miembro pelviano en el gato (*Felis catus* L.)", realizada por D^a. Ana Paulina Haro Álvarez, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 30 de Enero de 2013

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a blue oval, with a long horizontal line extending from the left side.

Evaluation of the Doctoral thesis by

Ana Paulina Haro Álvarez

Center for Anatomy and Cell Biology
Plastination and Topographical Anatomy

Univ. Prof. Dr. Mircea-Constantin Sora

Tel: +43-1- 40160 - 37564 (Office),
Fax: +43-1- 40160 - 937564
Email: mircea-constantin.sora@meduniwien.ac.at

Prof. Dr. Mircea-Constantin Sora, Center for Anatomy and Cell Biology, Medical University of Vienna, Währingerstr.13, 1090 Vienna, Austria. Phone: +43 1 40160 37564, Fax: + 43 1 40160 937564.

Inform:

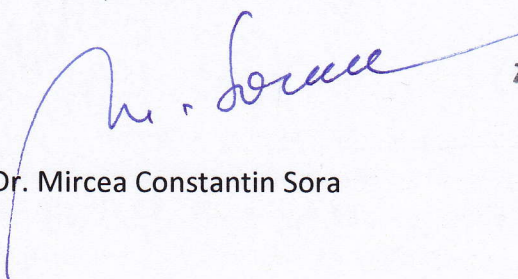
The Project of Doctoral Thesis entitled: **"Use of ultrasound for the blockade of the peripheral nerves of the pelvic limb in the cat (*Felis catus* L.)"** presented by **Ana Paulina Haro Álvarez** under the research supervision of Dr. Amalia Agut Giménez, Dr. Francisco Ginés Laredo Álvarez and Dr. Francisco Gil Cano **is evaluated positively** for the next public defence and evaluation by a jury to obtain the academic degree of Doctor by the University of Murcia with the mention "European Doctorate".

Prof. Dr. Mircea-Constantin Sora, Centro de Anatomía y Biología Celular, Universidad de Medicina de Viena, Währingerstr.13, 1090 Viena, Austria. Phone: +43 1 4277 61150, Fax: + 43 1 4277 61170.

Informa:

El proyecto de Tesis Doctoral titulada: **"Uso de la ecografía para el bloqueo de los nervios periféricos del miembro pelviano en el gato (*Felis catus* L.)"** presentado por **Ana Paulina Haro Álvarez** bajo la dirección de la Dra. Amalia Agut Giménez, el Dr. Francisco Ginés Laredo Álvarez y el Dr. Francisco Gil Cano **es evaluado positivamente** para ser defendido en acto público ante un tribunal para obtener el grado académico de Doctor por la Universidad de Murcia con mención de "Doctorado Europeo".

In Vienna, January 25th, 2013
En Viena, 25 de Enero de 2013



Dr. Mircea Constantin Sora

MEDIZINISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Prof.Dr.MIRCEA-CONSTANTIN SORA
-PLASTINATION-
ZENTRUM FÜR ANATOMIE UND ZELLBIOLOGIE
Tel: +43-1-4277 61150
Fax: +43-1-4277 61170



Department of Clinical Sciences
Clinic of Companion Animals
Unit of Diagnostic Imaging

Michail N. Patsikas

Associate Professor

E-mail: patsikm@vet.auth.gr

ARISTOTLE
UNIVERSITY OF
THESSALONIKI

Phone : + 30 2310 99 4442

Fax: + 30 2310 99 4409

Thessaloniki, 30/01/2013

**Evaluation of the Doctoral Thesis of
Ana Paulina Haro Álvarez**

Prof. Michail N. Patsikas

Inform:

The Project of Doctoral Thesis entitled: **“Use of ultrasound for the blockade of the peripheral nerves of the pelvic limb in the cat (*Felis catus* L.)”** presented by **Ana Paulina Haro Álvarez** under the research supervision of Dr. Amalia Agut Giménez, Dr. Francisco Ginés Laredo Álvarez and Dr. Francisco Gil Cano **is evaluated positively** for the next public defence and evaluation by a jury to obtain the academic degree of Doctor by the University of Murcia with the mention “European Doctorate”.

Prof. Michail N. Patsikas

Informa:

El proyecto de Tesis Doctoral titulada: **“Uso de la ecografía para el bloqueo de los nervios periféricos del miembro pelviano en el gato (*Felis catus* L.)”** presentado por **Ana Paulina Haro Álvarez** bajo la dirección de la Dra. Amalia Agut Giménez, el Dr. Francisco Ginés Laredo Álvarez y el Dr. Francisco Gil Cano **es evaluado positivamente** para ser defendido en acto público ante un tribunal para obtener el grado académico de Doctor por la Universidad de Murcia con mención de “Doctorado Europeo”.

In Thessaloniki January 30, 2013

En Thessaloniki January 30, 2013

Michail N Patsikas

DrVetMed, MedDoctor, PhD, DipECVDI
Associate Professor of Radiology
School of Veterinary Medicine
Aristotle University of Thessaloniki
Greece



To Whom It May Concern

15/1/2013

Dr. A. Haro Alvarez
Facultad de Veterinaria
Hospital Clínico Veterinario
Universidad de Murcia
Campus Universitario de Espinardo
30100 Murcia
Spain

Re : Externship at the University of Glasgow Small Animal Hospital Imaging Department
(June 1 to September 1 2010)

I have been asked to provide summary of a report on Paulina's performance during her externship at Glasgow I provided in 30/8/2010.

Conclusion, Paulina has been outstanding here at Glasgow and we wish her well in the future. To exemplify my assessment of her, I would offer her a residency if she was available and we had a residency open at the moment. She will have no difficulty in completing her PhD with a high degree of quality and on time.

Yours

Martin Sullivan

Professor of Veterinary Surgery & Diagnostic Imaging

Martin Sullivan

BVMS, PhD, FHEA, DVR, DipIECVDI, MRCVS
Professor of Veterinary Surgery & Diagnostic Imaging

McCall Building, Faculty of Veterinary Medicine,
464 Bearsden Road, Bearsden, Glasgow G61 1QH
T: 0141-330 5807, F: 0141-330 5729
M.Sullivan@vet.gla.ac.uk

Este trabajo ha sido financiado por
el Consejo Nacional de Ciencia y
Tecnología (CONACYT), México.

*A mis padres,
por apoyarme en cada uno de mis pasos.*

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis doctoral es el resultado del esfuerzo de un gran equipo de trabajo, al cual quisiera mostrar mi gratitud.

Mediante estas palabras quisiera corresponder a la Dra. Amalia Agut, Catedrática del Departamento de Medicina y Cirugía Animal de la Universidad de Murcia y directora de la presente Tesis, por haber confiado en mí para desarrollar el presente proyecto. También deseo darle las gracias por la invaluable instrucción recibida, la cual me ha permitido desarrollarme en el ámbito académico durante esta etapa, lo que considero un honor.

Mi respeto y estima al Dr. Francisco Ginés Laredo Álvarez, Profesor del Departamento de Medicina y Cirugía Animal de la Universidad de Murcia y director de la presente Tesis, por compartir su amplia experiencia, enseñanzas y consejos, los cuales han enriquecido el presente trabajo.

Al Dr. Francisco Gil, Catedrático del Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas de la Universidad de Murcia y director de la presente Tesis, quisiera manifestar mi admiración por su talento en la disciplina de Anatomía, sin el cual estoy segura de que los resultados no hubieran sido los mismos. Además, agradezco su generosidad y disposición para tenderme una mano en todo momento.

No quisiera olvidarme del personal de los Departamentos de Medicina y Cirugía Animal y de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas; ni de mis compañeros de estudio y amigos, quienes se vieron involucrados en el desarrollo y culminación del presente proyecto. A todos ellos también gracias.

RELACIÓN ALFABÉTICA DE ABREVIATURAS

ESPAÑOL:

AL: anestésico local

BNP: bloqueo de nervios periféricos

L2: segunda vértebra lumbar

L6: sexta vértebra lumbar

L7: séptima vértebra lumbar

MIP: músculo iliopsoas

N: nervio

NL4: cuarto nervio lumbar

NL5: quinto nervio lumbar

NL6: sexto nervio lumbar

NL7: séptimo nervio lumbar

Nn: nervios

NS1: primer nervio sacro

NS2: segundo nervio sacro

NS3: tercer nervio sacro

PLS: plexo lumbosacro

S3: tercer vértebra sacra

TC: tomografía computarizada

INGLÉS:

CT: computed tomography

FN: femoral nerve

IPM: iliopsoas muscle

LA: local anaesthetic

L2: second lumbar vertebrae

L6: sixth lumbar vertebrae

L7: seventh lumbar vertebrae

PNB: peripheral nerve block

ScN: sciatic nerve

ÍNDICE



1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	5
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	9
	3.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LOS PRINCIPALES NERVIOS DEL MIEMBRO PELVIANO EN EL GATO	11
	3.1.1 PLEXO LUMBAR	11
	3.1.1.1 NERVIO GENITOFEMORAL	11
	3.1.1.2 NERVIO CUTÁNEO FEMORAL LATERAL	12
	3.1.1.3 NERVIO FEMORAL	12
	3.1.1.4 NERVIO OBTURADOR	13
	3.1.2. PLEXO SACRO	13
	3.1.2.1 NERVIO CIÁTICO	14
	3.2 INERVACIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS ÓSEAS Y ARTICULACIONES DEL MIEMBRO PELVIANO	15
	3.2.1 INERVACIÓN DE LA ARTICULACIÓN DE LA CADERA	15
	3.2.2 INERVACIÓN DEL FÉMUR	16
	3.2.3 INERVACIÓN DE LA RODILLA	16
	3.2.4 INERVACIÓN DE LA TIBIA	17
	3.2.5 INERVACIÓN DE LA PIEL Y ARTICULACIONES DEL PIE	17
	3.3 EL DOLOR	18
	3.4 ANESTÉSICOS LOCALES	20
	3.5 CONSIDERACIONES BÁSICAS DE LA ANESTESIA REGIONAL Y EL BLOQUEO DE NERVIOS PERIFÉRICOS	21

3.6 ASPECTOS BÁSICOS DEL BLOQUEO ECOGUIADO DE NERVIOS PERIFÉRICOS	23
4. RELACIÓN DE ARTÍCULOS	27
4.1 ARTÍCULO 1	31
4.2 ARTÍCULO 2	41
4.3 ARTÍCULO 3	51
5. CONCLUSIONES	61
6. RESUMEN GENERAL	65
7. EXTENDED SUMMARY	85
8. BIBLIOGRAFÍA	103
9. APÉNDICE	111

1. INTRODUCCIÓN

Hasta el siglo XX, se creía que los animales no sentían dolor o que lo percibían de forma diferente a los humanos. No se consideraba tratar el dolor posterior a un procedimiento quirúrgico porque se suponía «beneficioso» para el paciente, ya que el dolor limitaría el movimiento y esto prevendría el desarrollo de complicaciones (Hellyer et al., 2007).

Actualmente, se sabe que los perros y gatos tienen vías neurales y neurotransmisores similares a los del ser humano, y por lo tanto, es muy probable que experimenten el dolor de forma similar a este (Hellyer et al., 2007). El dolor ha cobrado tal importancia que se considera el quinto signo vital, por detrás del pulso, la temperatura, la frecuencia cardíaca y la frecuencia respiratoria (Walid et al., 2008). Prevenirlo o establecer su tratamiento es una de las tareas más importantes en la práctica clínica veterinaria, ya que un dolor no tratado disminuye la calidad de vida del paciente, prolonga los tiempos de recuperación y puede inducir el desarrollo de dolor crónico (Hellyer et al., 2007).

El tratamiento del dolor en el gato es una actividad poco practicada en medicina veterinaria. Esto puede deberse principalmente a dos factores: la dificultad en reconocer los signos de dolor, ya que esta especie tiende a ocultarlos como mecanismo de protección, y el temor al desarrollo de efectos adversos derivados de la administración de analgésicos (Robertson y Taylor, 2004), debido a que el gato tiene una reducida capacidad para realizar la glucuronidación hepática de las drogas administradas, y por lo tanto, es más susceptible al desarrollo de toxicidad (Court y Grenblatt, 1997).

La anestesia regional forma parte de la estrategia multimodal para el manejo del dolor. Es la única técnica capaz de proporcionar un bloqueo completo del impulso nociceptivo y prevenir el desarrollo del dolor (Lemke, 2004; Mathews, 2008).

Estudios recientes en el perro describen que el bloqueo combinado de los nervios (Nn.) ciático y femoral es útil para el manejo del dolor en procedimientos quirúrgicos que involucran la extremidad pelviana, ya que provee una analgesia, al menos, igual de efectiva que la proporcionada tras la administración neuraxial (epidural o espinal) de anestésicos locales, pero con menores efectos adversos (Campoy et al., 2012a).

El bloqueo de nervios periféricos (BNP) se realiza habitualmente utilizando marcas anatómicas de superficie o estimulación nerviosa. Estas técnicas se consideran «ciegas» debido a que no es posible determinar de forma precisa la posición de la aguja con respecto al nervio, lo que puede ocasionar un fracaso en el bloqueo, dañar el nervio o dar lugar a inyecciones intravasculares inadvertidas (Siddaiah y Sardesai, 2009). Por ello, recientemente se ha incrementado el interés en las técnicas ecoguiadas para el BNP en medicina veterinaria (Campoy et al., 2010; Echeverry et al., 2010; Shilo et al., 2010; Costa-Farre et al., 2011; Echeverry et al., 2012). El bloqueo ecoguiado ofrece ventajas como la visualización en tiempo real de la aguja y el nervio, además de proporcionar una imagen del resto de estructuras anatómicas de interés (Kumar et al., 2007). También permite observar la distribución del anestésico local (AL) alrededor del nervio durante la inyección, posibilitando la reducción de la dosis requerida. La oportunidad de reducir la dosis cobra particular importancia en el gato, por su susceptibilidad al desarrollo de toxicidad a los anestésicos locales (AL). Sin embargo, actualmente, según la bibliografía consultada, no existe información acerca del uso de las técnicas ecoguiadas para el BNP en el gato.

2. OBJETIVOS

Con el propósito de desarrollar nuevas técnicas de anestesia regional para el tratamiento del dolor perioperatorio en el gato, se planteó desarrollar la presente tesis doctoral con los siguientes objetivos:

- 1.- Desarrollar los abordajes ecográficos para la evaluación de los nervios ciático y femoral, describiendo la anatomía ecográfica normal y la ecogenicidad de las estructuras observadas. Correlacionar las imágenes ecográficas con la disección anatómica y criosecciones obtenidas en el mismo plano de corte (artículos 1 y 3).
- 2.- Establecer los abordajes ecográficos para el bloqueo anestésico ecoguiado de los nervios ciático y femoral (artículos 2 y 3).
- 3.- Determinar la eficacia de los diferentes abordajes para el bloqueo anestésico ecoguiado de los nervios ciático y femoral, mediante la evaluación de la distribución de tinta o contraste iodado inyectado alrededor de los nervios de interés; utilizando para ello la ecografía, disecciones y criosecciones anatómicas (artículos 2 y 3), y técnicas de imagen avanzadas como la tomografía computarizada (artículo 3).
- 4.- Evaluar clínicamente la eficacia del bloqueo ecoguiado del nervio ciático (artículo 2).

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 DESCRIPCIÓN ANATÓMICA DE LOS PRINCIPALES NERVIOS DEL MIEMBRO PELVIANO EN EL GATO

La inervación del miembro pelviano es suministrada principalmente por el plexo lumbosacro (PLS) (Sandoval, 1994). En el gato, el PLS se conforma a partir de las conexiones que establecen los ramos ventrales del cuarto (NL4), quinto (NL5), sexto (NL6) y séptimo (NL7) nervios lumbares, y desde el primer par sacro (NS1) hasta el tercero (NS2 y NS3) (Crouch, 1969). Este plexo puede dividirse anatómicamente en el plexo lumbar y el plexo sacro (Kitchell y Evans, 1993).

3.1.1 PLEXO LUMBAR

El plexo lumbar (PL) del gato se forma a partir de las interconexiones entre los Nn. lumbares NL4, NL5, NL6 y NL7 (Crouch, 1969), y da origen a los Nn. genitofemoral, cutáneo lateral femoral, femoral y obturador, los cuales inervan estructuras relacionadas con el miembro pelviano (Crouch, 1969).

3.1.1.1 NERVIO GENITOFEMORAL

En el gato, el nervio (N.) genitofemoral está compuesto por una rama principal proveniente del NL4 y una contribución del NL5 (Crouch, 1969). En carnívoros, este nervio se conforma en el vientre del músculo iliopsoas (MIP) (Kitchell y Evans, 1993), discurre en dirección caudal a través de este músculo y lo abandona; pasa dorsal al linfonodo iliaco externo, al cual envía una rama minúscula, y deja el abdomen a través del canal inguinal, se sitúa medial al cordón espermático en machos y envía pequeños ramos al músculo cremáster, o acompaña al ligamento redondo en hembras (Kitchell y Evans, 1993). Este nervio emite ramos cutáneos que inervan la piel del prepucio en el macho, o las glándulas mamarias

inguinales y la piel que las recubre en la hembra. En ambos sexos, la rama terminal del nervio discurre caudolateral y distal, innervando la piel de la superficie caudomedial del muslo (Kitchell y Evans, 1993).

3.1.1.2 NERVIO CUTÁNEO FEMORAL LATERAL

El N. cutáneo femoral lateral en el gato está formado principalmente por las ramas ventrales del NL4 y NL5 (Crouch, 1969). Discurre a través del vientre del músculo psoas menor, donde emite ramos a los músculos hipaxiales de la región. En carnívoros, el segmento más grande de este nervio pasa a través de la pared abdominal entre las porciones lumbares e inguinales del músculo oblicuo interno, y sobre el borde dorsal de los músculos oblicuos externos, e inerva la piel de la región de la tuberosidad coxal, la región adyacente de la cadera, así como la piel de la porción craneal del muslo y la superficie lateral de la rodilla (Kitchell y Evans, 1993).

3.1.1.3 NERVIO FEMORAL

El N. femoral es el nervio más grueso del PL, y en el gato se forma a partir de las raíces ventrales de los nervios lumbares NL5 y NL6 (Crouch, 1969). En carnívoros, el N. femoral se dirige hacia el miembro pelviano paralelo al techo de la cavidad abdominal, envuelto por el MIP. Abandona este músculo a través de la laguna muscular (Kitchell y Evans, 1993) y tiene un corto trayecto en el muslo, donde se divide en tres o cuatro ramos en el gato, de medial a lateral: el N. safeno, un ramo motor al cuádriceps y otro ramo motor (en ocasiones dos) al músculo sartorio (Crouch, 1969). A nivel del triángulo femoral se sitúa en el canal femoral, que aloja al N. safeno (la única rama sensorial del N. femoral) y a la arteria y venas femorales (Sandoval, 1994).

La disfunción del N. femoral se manifiesta con parálisis del cuádriceps, lo que ocasiona un colapso de la rodilla e inhabilita al miembro por completo, con pérdida de la sensibilidad de la superficie medial de la extremidad (Dyce et al., 2010).

3.1.1.4 NERVIO OBTURADOR

En el gato el nervio obturador se origina a partir de los ramos ventrales de los nervios lumbares NL5 y NL6 (Crouch, 1969), aunque su porción principal emerge de la raíz ventral de NL6. Este nervio se forma en las porciones caudomediales del MIP, abandona el abdomen en dirección dorsomedial y continúa distalmente en un trayecto intrapélvico; pasa ventral a la vena ilíaca común y abandona la pelvis a través del agujero obturador. Este nervio envía ramos a los músculos pectíneo, gracilis y aductores. La mayoría de los tratados anatómicos consideran que este nervio es exclusivamente motor (Kitchell y Evans, 1993).

Un daño al N. obturador se manifiesta con imposibilidad para aducir la cadera y ligeras anormalidades en la marcha (Añor, 2004).

3.1.2 PLEXO SACRO

Las ramas ventrales de los tres nervios sacros conforman el plexo sacro (Crouch, 1969). A su vez, las conexiones entre las ramas ventrales de los últimos dos nervios lumbares (NL6 y NL7) y NS1 (en ocasiones, NS2) dan origen al tronco lumbosacro, el cual constituye la parte más grande e importante del PLS (Kitchell y Evans, 1993; Dyce et al., 2010). A partir del tronco lumbosacro se forman los Nn. glúteos craneales y caudales, y el N. ciático (Crouch, 1969; Sandoval, 1994).

3.1.2.1 NERVIO CIÁTICO

El N. ciático, es el nervio más grande de todo el cuerpo y es una continuación directa del tronco lumbosacro (Ghosal, 2002). En el gato recibe ramas de los pares lumbares NL6, NL7 y NS1, y en algunos casos de NS2 (Crouch, 1969; Bennett, 1976). Algunos autores consideran que el N. ciático inicia una vez que el tronco lumbosacro abandona la cavidad pelviana a través de la escotadura ciática mayor (Kitchell y Evans, 1993). Este nervio emerge entre los músculos piriforme y glúteo profundo. En este tramo puede comunicarse con el N. pudendo (Ghosal, 2002), y proporciona ramas musculares a los músculos gemelos y cuadrado femoral. A continuación, el N. ciático discurre caudalmente sobre el tendón del músculo obturador interno, y emite unos ramos de gran tamaño (ramos musculares) para los músculos bíceps femoral, semitendinoso y semimembranoso. A este nivel, la arteria y vena glútea se sitúan caudalmente al nervio y a sus ramos musculares (Ghosal, 2002). En esta región, el N. ciático es irrigado por la pequeña arteria ciática (Kitchell y Evans, 1993), sigue un trayecto caudal por el muslo situándose entre el trocánter mayor del fémur y la tuberosidad isquiática, sobre la superficie lateral de los músculos aductor magno y semimembranoso, donde queda cubierto por el músculo bíceps femoral. A mayor o menor distancia del origen de los ramos musculares, este nervio se divide en dos nervios terminales: el N. tibial y el N. peroneo común (Ghosal, 2002).

La disfunción del N. ciático se manifiesta con imposibilidad para extender la rodilla, y extender y/o flexionar el tarso y los dedos; además, hay pérdida de la sensibilidad cutánea del miembro excepto en la cara medial y el primer dedo. El animal es capaz de soportar el peso sobre el miembro, pero la extremidad se apoyará sobre el dorso de los dedos (Añor, 2004).

3.2 INERVACIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS ÓSEAS Y ARTICULACIONES DEL MIEMBRO PELVIANO

Los libros de texto de Anatomía en gatos y otros animales domésticos no describen el aporte nervioso a estructuras óseas y articulares. Existen escasos artículos publicados relacionados con este tema en medicina veterinaria (Freeman y Wyke, 1967; Tokunaga, 1967; O'Connor y Woodbury, 1982).

Estudios realizados en humanos determinan que tanto el hueso mineralizado como la médula ósea y el periostio están inervados por fibras sensorias primarias aferentes y simpáticas que se asocian con frecuencia a los vasos sanguíneos (Mach et al., 2002). Los huesos, a través de sus extremos articulares, reciben un abundante aporte nervioso que se distribuye libremente dentro de las capas del periostio; también los vasos nutricios van acompañados de finas fibras mielinizadas y no mielinizadas en su trayecto por el interior del hueso (Williams y Warnick, 1985).

3.2.1 INERVACIÓN DE LA ARTICULACIÓN DE LA CADERA

En humanos, la inervación de la articulación coxofemoral proviene principalmente del N. femoral y de ramas articulares del N. obturador (Birnbbaum et al., 1997). La pared anterior de la cápsula de la articulación de la cadera está inervada por ramas sensoriales del N. femoral; la parte posterior se encuentra inervada por ramas articulares desprendidas del N. ciático (Birnbbaum et al., 1997). En carnívoros se describe que el N. ciático emite un ramo a la articulación de la cadera que inerva el ligamento redondo (Seiferle, 1988). En el gato, algunos autores indican la existencia de aporte nervioso a la articulación coxofemoral procedente de los Nn. femoral (Crouch, 1969) y ciático (Hudson, 1993).

3.2.2 INERVACIÓN DEL FÉMUR

Aunque no existen descripciones de la inervación del fémur en el gato, se conoce que la irrigación nutricia del fémur en carnívoros proviene de una rama de la arteria circunfleja femoral medial (Getty, 2002); y como el N. obturador discurre paralelo a dicha arteria (Kitchell y Evans, 1993; Anderson y Anderson, 1994) dada su cercanía anatómica, este nervio podría estar relacionado con el aporte de inervación al fémur.

3.2.3 INERVACIÓN DE LA RODILLA

Según Freeman y Wyke (1967), la rodilla del gato está inervada por Nn. articulares primarios y Nn. accesorios. Al tratarse de un artículo anterior a 1968, los términos que se refieren a continuación no corresponden a la nomenclatura anatómica internacional actual.

Según estos autores, el nervio primario más constante en el gato es el N. articular posterior, rama del N. tibial posterior que inerva sólo a tejidos de la articulación de la rodilla, principalmente en la región media y lateral, y una pequeña porción de la parte superior de la articulación tibio-peronea (Freeman y Wyke, 1967). En el perro este nervio puede estar ausente con relativa frecuencia (66%) (Freeman y Wyke, 1967; O'Connor y Woodbury, 1982). El N. articular medial es una rama variable en el gato y la más constante en el perro (Freeman y Wyke, 1967; O'Connor y Woodbury, 1982). Emerge como una rama del N. safeno, si bien en algunos animales resulta ser una derivación del N. obturador, o puede encontrarse un aporte combinado de ambos. Este es un nervio puramente articular que provee inervación a las caras medial y anteromedial de la rodilla (Freeman y Wyke, 1967). El N. articular lateral es una rama inconstante desprendida del N. peroneo común; e

inerva la cápsula de la articulación tibio-peronea superior y el extremo distal del ligamento colateral lateral (Freeman y Wyke, 1967; O'Connor y Woodbury, 1982). La articulación de la rodilla en el gato también se encuentra inervada por Nn. accesorios (este grupo es el más variable) que emergen de los músculos que actúan sobre la rodilla, a partir de los Nn. femoral y obturador (Freeman y Wyke, 1967; Crouch, 1969).

3.2.4 INERVACIÓN DE LA TIBIA

Tokunaga (1967) refiere que, en el gato, la inervación de la médula ósea de la tibia proviene de una rama independiente del N. «*poplíteo medial*», ahora conocido como N. tibial. A su vez, el periostio de la parte posterior de la diáfisis de la tibia se encuentra inervado por una rama separada de este mismo nervio (Tokunaga, 1967). Además, el periostio de las superficies lateral y medial de la diáfisis recibe inervación de ramas procedentes del N. peroneo profundo y finas ramas derivadas del N. safeno, respectivamente (Tokunaga, 1967).

3.2.5 INERVACIÓN DE LA PIEL Y ARTICULACIONES DEL PIE

Los ramos del N. ciático (Nn. peroneo común y tibial) y N. femoral (N. safeno) suministran la inervación a la piel y articulaciones de las porciones distales del miembro pelviano (Dyce et al., 2010). En carnívoros, el N. peroneo común y sus ramos se encargan de la inervación de la articulación del tarso y de la piel de la región dorsolateral del tarso, metatarso y superficie dorsal de los dedos (Seiferle, 1988). El N. tibial y sus divisiones inervan la piel de la porción caudal de la rodilla, las porciones lateral y medial de la articulación del tarso, las regiones lateral y

proximal del metatarso, la superficie plantar del metatarso y los dedos (Seiferle, 1988).

El N. femoral, mediante su ramo el N. safeno, inerva la piel de la superficie medial de la rodilla, la articulación tibiotarsiana y la superficie medial del primer metatarso hasta la primera articulación interfalángica (Seiferle, 1988).

3.3 EL DOLOR

El dolor se define como una experiencia sensorial y emocional desagradable asociada con daño tisular actual o potencial, que se manifiesta como el producto final de una red de procesamiento de información compleja que requiere la integración de información nociceptiva y sensorial a nivel cortical (Moffat y Rae, 2011). El procesamiento se inicia cuando un estímulo noxious impacta sobre las terminaciones nerviosas de neuronas periféricas especializadas denominadas nociceptores. Las señales químicas producto del estímulo noxious son convertidas en energía eléctrica (nocicepción). Esta señal eléctrica viaja hacia la médula espinal, donde es procesada, y asciende hasta el tallo cerebral y tálamo. Finalmente, las conexiones entre el tálamo y los centros corticales de control integran la respuesta de dolor (Meintjes, 2012).

El dolor se clasifica clásicamente en función del tiempo de presentación, en: agudo o crónico. El dolor agudo emerge de un trauma o inflamación (el dolor de tipo postoperatorio es un ejemplo del mismo). El dolor agudo no tratado puede evolucionar hacia el desarrollo de dolor crónico (Lamont et al., 2000). El dolor crónico se define tradicionalmente como aquel que persiste más de 3 a 6 meses; también engloba a todo dolor que se prolonga por un tiempo superior al periodo de curación considerado como normal (Meintjes, 2012). El dolor crónico se genera

normalmente a partir de un estímulo nóxico, aunque en ocasiones es desarrollado de manera autónoma sin presentar causa aparente. También se asocia a enfermedades como el cáncer y osteoartritis, e incluye al denominado «dolor fantasma» que, en ocasiones, persiste tras la amputación de una extremidad. El dolor crónico no tiene función protectora y presenta una pobre respuesta a los tratamientos analgésicos convencionales (Lamont et al., 2000).

El tratamiento del dolor es una de las tareas más importantes en la clínica veterinaria diaria y debe realizarse por razones éticas, ya que un dolor no tratado disminuye la calidad de vida del paciente, prolonga los tiempos de recuperación y puede generar el desarrollo de dolor crónico (Hellyer et al., 2007).

El tratamiento adecuado del dolor en animales sigue siendo un área deficitaria, especialmente en el gato (Wright, 2002; Robertson y Taylor, 2004). Esto puede estar relacionado con la dificultad que representa reconocer los signos de dolor en esta especie (Wright, 2002). El gato suele ocultar los signos de dolor y los indicadores de su presencia pueden ser sutiles y frecuentemente pasados por alto por el observador. La presencia de dolor se evidencia mediante patrones de comportamiento y cambios fisiológicos en el sistema nervioso simpático y endocrino (Short, 1998). El dolor agudo en el gato se manifiesta con depresión, el animal se muestra silencioso, intenta esconderse, entrecierra los ojos y rehúsa moverse o cambiar de posición, se distancia de su entorno sin dar respuesta a estímulos externos y puede presentar agresividad (Robertson y Taylor, 2004). Además, el apetito disminuye, se altera el comportamiento de micción y defecación, y reduce las actividades de aseo (Lamont, 2002; Robertson, 2008).

Otra posible explicación para las lagunas que existen en el adecuado manejo del dolor en el gato puede ser el temor a los efectos adversos derivados de la administración de analgésicos (Taylor y Robertson, 2004). Esta especie tiene una reducida capacidad para realizar la glucuronidación hepática de drogas exógenas, debido a que tienen pocas isoformas de UDP-glucuronosiltransferasa (UGT) y presentan mutaciones de la UGT y sus pseudogenes; como consecuencia, son extremadamente sensibles a los efectos adversos de muchas drogas y toxinas que necesitan ser glucuronizadas antes de su eliminación (Court y Grenblatt, 1997; Robertson y Taylor, 2004).

3.4 ANESTÉSICOS LOCALES

Los AL son fármacos que interrumpen la transmisión en nervios sensoriales aferentes. Los AL se ligan a los canales iónicos selectivos al sodio inhibiendo la permeabilidad del sodio en los nervios, evitando de este modo la generación del potencial de acción y la despolarización de la membrana del nervio. Aplicados en la cantidad y concentración suficiente como para abatir 3 nodos de Ranvier, estos compuestos son capaces de detener la actividad eléctrica a través de fibras mielinizadas y no mielinizadas (Skarda y Tranquilli, 2007).

Los AL se clasifican en amido ésteres y amino amidas. La diferencia entre el enlace éster y el amida en estos fármacos tiene un efecto notable en la estabilidad química y la ruta de metabolismo. Los AL con enlace éster son la cocaína, benzocaína, procaína, clorprocaína y tetracaína. La mayoría de estos compuestos se hidrolizan a través de la colinesterasa en el plasma sanguíneo y tienen una vida media corta. Los AL con enlace amida son la lidocaína, prilocaína, dibucaína, etidocaína, mepivacaína, bupivacaína, levovupivacaína, ropivacaína y articaína.

Este tipo de fármacos son muy estables, pero a diferencia de los anteriores son hidrolizados por degradación hepática. Los más utilizados en gatos son el hidrocloreuro de lidocaína y el hidrocloreuro de bupivacaína. El hidrocloreuro de lidocaína al 0.5-2%, administrado a dosis de 2-6 mg/kg (no exceder de 6 mg/kg), proporciona de 60 a 90 min. de anestesia (Robertson y Taylor, 2004). El hidrocloreuro de bupivacaína al 0.25-0.5% es más tóxico que la lidocaína, y su dosis total no debe exceder los 2 mg/kg (Robertson y Taylor, 2004). La bupivacaína actúa durante tiempos más prolongados y administrada por vía perineural, produce anestesia durante 240 a 360 min. (Skarda y Tranquilli, 2007).

Los gatos son más susceptibles que los perros a la toxicidad secundaria tras la administración de AL; pero, si se utiliza una técnica cuidadosa y la dosis adecuada estos fármacos pueden ser administrados de forma segura. En caso de exceder la dosis recomendada se presentarán signos de toxicidad; que usualmente involucran a los sistemas cardiovascular y nervioso central, manifestándose con temblores musculares, convulsiones y arritmias cardíacas (Lamont, 2002).

3.5 CONSIDERACIONES BÁSICAS EN LA ANESTESIA REGIONAL Y EL BLOQUEO DE NERVIOS PERIFÉRICOS

Según la Asociación Internacional para el Estudio del Dolor (IASP son sus siglas en inglés), el término analgesia se define como la ausencia de dolor en presencia de un estímulo que normalmente es doloroso. La anestesia regional mediante el bloqueo de nervios periféricos, plexos o cordón espinal, es la única técnica capaz de producir el bloqueo completo del impulso nociceptivo y prevenir el desarrollo del dolor (Lemke, 2004; Mathews, 2008).

Hasta hace pocos años, en medicina veterinaria las técnicas de anestesia regional utilizadas para tratar el dolor en procedimientos quirúrgicos realizados en el miembro pelviano se habían limitado a la administración neuraxial (epidural o espinal) de anestésicos locales (Valverde, 2008). Estudios recientes en el perro, describen que el bloqueo combinado de los Nn. ciático y femoral es una alternativa al menos igual de efectiva que la anestesia epidural, pero con menores efectos adversos (Campoy et al., 2012a).

El bloqueo de nervios periféricos (BNP) se realiza convencionalmente utilizando marcas anatómicas de superficie o estimulación nerviosa. Ambas técnicas se consideran «técnicas ciegas» debido a que no es posible determinar de forma precisa la posición de la aguja y el nervio, y tampoco permiten la visualización de la distribución del AL, lo que puede resultar en un fallo en el bloqueo, provocar daño al nervio o producir inyecciones intravasculares inadvertidas (Siddaiah y Sardesai, 2009).

Las técnicas ecoguiadas para el BNP en medicina veterinaria han generado un creciente interés en los últimos años (Campoy et al., 2010; Echeverry et al., 2010; Shilo et al., 2010; Costa-Farre et al., 2011; Echeverry et al., 2012). El uso de la ecografía para el BNP ofrece ventajas como, la posibilidad de visualizar en tiempo real la posición de la aguja y el nervio; también monitorizar la distribución del AL (Kumar et al., 2007) y reposicionar la aguja durante la inyección, evitando una distribución anómala del AL (Casati et al., 2007; Oberndorfer et al., 2007). La ecografía habilita el bloqueo de nervios periféricos utilizando volúmenes menores a los que se venían empleando con el uso de las técnicas convencionales (Casati et al., 2007; Oberndorfer et al., 2007), lo cual resulta de particular importancia en el

gato, ya que posibilita reducir el riesgo de toxicidad a los AL (Court y Greenblatt, 2000; Robertson y Taylor, 2004).

3.6 ASPECTOS BÁSICOS DEL BLOQUEO ECOGUIADO DE NERVIOS PERIFÉRICOS.

En medicina humana, las primeras publicaciones acerca del uso de la ecografía para el bloqueo de nervios específicos surgieron a partir de los años noventa (Marhofer et al., 2010). La incursión de las técnicas ecoguiadas en medicina veterinaria es relativamente reciente y actualmente se utilizan con éxito para el bloqueo de los Nn. ciático y femoral en el perro (Campoy et al., 2010; Echeverry et al., 2010; Shilo et al., 2010; Costa-Farre et al., 2011; Echeverry et al., 2012). Sin embargo, hasta el momento, se carece de publicaciones que documenten el uso de la ecografía como herramienta para el BNP en el gato.

Para realizar el BNP mediante una técnica ecoguiada se recomienda el uso de transductores de alta frecuencia (10-15 MHz), ya que permiten una mejor resolución de la imagen (Kumar et al., 2007). La mayoría de los nervios pueden visualizarse completamente en su trayecto, pero su visibilidad puede ser limitada ante la presencia de estructuras óseas, ya que provocan sombras acústicas (Marhofer et al., 2005).

La apariencia ecográfica de los nervios periféricos puede variar y es dependiente de la calidad de la imagen, el tamaño del nervio, el tejido que lo rodea y el ángulo de incidencia del haz de ultrasonido. El aspecto ecográfico de un nervio periférico en un corte transversal se describe como el de un «patrón fascicular» con múltiples áreas redondeadas hipoeogénicas que corresponden a los fascículos, rodeadas de un halo hipereogénico que se corresponde con el perineuro, a su vez,

los fascículos se encuentran contenidos por una banda hiperecogénica que se corresponde con el epineuro (Silvestri et al., 1995). Este patrón parece típico de nervios periféricos grandes y no se ve en nervios de pequeño calibre, ya que estos pueden estar constituidos por un solo fascículo (Silvestri et al., 1995). En el corte longitudinal, los nervios se observan como estructuras tubulares con múltiples líneas paralelas discontinuas hipoeecogénicas (fascículos), separadas por bandas hiperecogénicas (perineuro) y delimitados por dos líneas hiperecogénicas que se corresponden con el epineuro (Silvestri et al., 1995).

Para visualizar una estructura nerviosa se debe emplear un ángulo de 90° en relación al transductor. Cuando el haz de ultrasonido no se encuentra alineado 90° respecto a la estructura nerviosa, se produce una pérdida de la apariencia hiperecogénica de los bordes también llamado «efecto de anisotropía», que puede ocasionar confusión con vasos sanguíneos colindantes (Chiou et al., 1998).

Para realizar el bloqueo ecoguiado, los nervios pueden abordarse tanto en el «eje corto» como en el «eje largo». El «eje corto» se obtiene alineando el transductor perpendicularmente al nervio, y sirve para adquirir una imagen trasversal del mismo. Este abordaje permite visualizar la distribución del anestésico en la circunferencia del nervio. Se sugiere que una distribución completa del AL alrededor del nervio, también conocido como el signo de «donut», produce mejores resultados en términos de tiempo de inicio, intensidad y duración del bloqueo, y permite la reducción de la dosis total requerida de AL (Kumar et al., 2007). Aunque, algunos estudios refieren que el signo de «donut» no es un requisito imperativo para la obtención de un bloqueo efectivo (Eichenberger et al., 2009). El abordaje en el «eje largo» se obtiene alineando el transductor paralelo al nervio, lo que permite una imagen longitudinal de la estructura nerviosa de interés. Sin embargo, este abordaje

no permite la monitorización de la distribución del AL alrededor del nervio (Kumar et al., 2007).

La aguja puede aproximarse al nervio utilizando una técnica «en plano» o un abordaje «fuera de plano». La aproximación «en plano» se realiza insertando la aguja de forma paralela al eje largo del transductor, con el propósito de visualizar por completo el cuerpo de la aguja durante el procedimiento. El abordaje «fuera de plano» se obtiene cuando la aguja se orienta perpendicular al eje largo del transductor. En este caso, solo es posible visualizar la punta de la aguja, y su localización se infiere por los movimientos de las estructuras anatómicas adyacentes (Kumar et al., 2007).

4. RELACIÓN DE ARTÍCULOS

1. Haro, P., Gil, F., Laredo, F., Ayala, M.D., Belda, E., Soler, M., Agut, A. Ultrasonographic study of the feline sciatic nerve. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 2011; 13 (4): 259–265.
2. Haro, P., Laredo, F., Gil, F., Belda, E., Ayala, M.D., Soler, M., Agut, A. Ultrasound-guided block of the feline sciatic nerve. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 2012; 14 (8): 545-551.
3. Haro, P., Laredo, F., Gil, F., Belda, E., Ayala, M.D., Soler, M., Agut, A. Ultrasound-guided dorsal approach for the femoral nerve blockade in cats: An imaging study. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 2013; 15 (2): 91-98.



4.1 ARTÍCULO 1

Ultrasonographic study of the feline sciatic nerve

Haro, P., Gil, F., Laredo, F., Ayala, M.D., Belda, E., Soler, M., Agut, A.

Abstract: This study was conducted to describe the ultrasonographic appearance and technique for the evaluation of sciatic nerve (ScN) in cats. An anatomical study was carried out using six feline cadavers to determine anatomic landmarks. An ultrasonographic 'in vitro' study was performed using eight pelvic limbs from four fresh feline cadavers to assess the ScN in three regions (glutea, femoralis and popliteal) using a 4e13 MHz linear transducer. Five healthy adult experimental cats were employed for an 'in vivo' ultrasonographic study of the ScN using the same protocol described for the 'in vitro' study. The ultrasonographic images of the ScN were well correlated with those obtained in the anatomical study. The ScN was easily identified in all the approaches. The ScN was observed as a hypoechoic structure with internal echoes, outlined by hyperechoic lines. This study shows the usefulness of ultrasound to evaluate the entire pathology of the ScN in the cat.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1098612X1000392X>



4.2 ARTÍCULO 2

Ultrasound-guided block of the feline sciatic nerve

Haro, P., Laredo, F., Gil, F., Belda, E., Ayala, M.D., Soler, M., Agut, A.

Abstract: This study was conducted to validate an ultrasound-guided technique to block the sciatic nerve in cats. An anatomical study was first carried out in four feline cadavers to evaluate the feasibility of the glutea (cranial and caudal), femoris and poplitea ultrasonographical approaches for the sciatic nerve block. The results showed that the femoris approach was optimal because the region was free of vascular and bony structures, and the needle was easily visualised in-plane. Then, the efficacy of the femoris ultrasonographical approach to block the sciatic nerve was tested in six healthy adult experimental cats. A dose of 2 mg/kg lidocaine 2% diluted in saline to a final volume of 1 ml was administered in all cats. The blockade was successful in all cases and the cats recovered uneventfully. This study shows the usefulness of the femoris approach in performing an ultrasound-guided blockade of the sciatic nerve in cats.

<http://jfm.sagepub.com/content/14/8/545.short>



4.3 ARTÍCULO 3

Journal of Feline Medicine and Surgery, 2013; 15 (2): 91-98.

Ultrasound-guided dorsal approach for the femoral nerve blockade in

cats: An imaging study. Journal

Haro, P., Laredo, F., Gil, F., Belda, E., Ayala, M.D., Soler, M., Agut, A.

Abstract: This study was conducted to describe and validate a dorsal ultrasound-guided approach to block the femoral nerve (FN) in cats by means of anatomical and computed tomography (CT) studies. The anatomical study was carried out in four fresh feline cadavers to determine the anatomic landmarks to approach this nerve. Then, an ultrasonographic study of the FN was performed in another eight cadavers using a 13 MHz linear transducer. The accuracy of the neurolocation by ultrasonography (US) was determined in four cadavers by the injection of 1 ml blue ink around the FN. The staining of the nerve was evaluated in anatomical studies. The feasibility of this technique was also evaluated by CT after injecting 1 ml of an iodinated contrast medium (150 mgI/ml) around the FN in the other four cadavers. The landmarks to approach the FN were the cranial border of the iliac crest and the dorsal processes of L6 and L7. The FN was visualised as a round hypoechogenic structure surrounded by a hyperechogenic rim located within the iliopsoas muscle on transverse scans. The anatomical and CT studies confirmed the accuracy of the US location of the FN. The dorsal ultrasound-guided approach may allow feasible and accurate access to the FN in cats and it could be useful in producing successful blockade.

<http://jfm.sagepub.com/content/15/2/91>

5. CONCLUSIONES

1.- El aspecto ecográfico del nervio ciático en el plano longitudinal es el de una estructura tubular e hipoecogénica, delimitada por dos líneas hiperecogénicas. En el corte transversal, este nervio se observa como dos estructuras hipoecogénicas ovaladas o redondeadas, rodeadas por una banda hiperecogénica. Estas dos estructuras se corresponden con los nervios peroneo común y tibial.

2.- El nervio ciático puede examinarse ecográficamente mediante el abordaje glúteo (craneal y caudal), femoral y poplíteo. El abordaje femoral (medio-femoral) fue considerado como el óptimo para realizar el bloqueo anestésico ecoguiado, obteniéndose una eficacia clínica del 100% en los gatos evaluados.

3.- El abordaje dorsal a nivel de las apófisis transversas de la sexta y séptima vértebras lumbares fue considerado como óptimo para localizar ecográficamente el nervio femoral en el gato. El nervio femoral aparece dentro del vientre del músculo iliopsoas, observándose ecográficamente como una estructura redonda e hipoecogénica, rodeada por un halo hiperecogénico en el corte trasversal; en el corte longitudinal su aspecto es similar al del nervio ciático.

4.- La distribución de la tinta observada alrededor de los nervios de interés tanto en disecciones anatómicas como en criosecciones, así como la diseminación del contraste iodado evaluado por medio de tomografía computarizada, permitió establecer la eficacia de los abordajes evaluados para el bloqueo de los nervios ciático y femoral.

6. RESUMEN GENERAL

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de anestesia regional empleadas para controlar el dolor en procedimientos quirúrgicos realizados en la extremidad pelviana de pequeños animales se limitan tradicionalmente a la administración neuraxial (ruta epidural o espinal) de AL (Valverde, 2008). Hoy en día, el bloqueo combinado de los Nn. ciático y femoral se considera una alternativa analgésica, al menos, igual de efectiva que la administración epidural de AL, pero con menores efectos adversos (Campoy et al., 2012a). El N. ciático y el N. femoral son los principales nervios que proporcionan la inervación sensorial de la extremidad pelviana. El bloqueo combinado de estos nervios suministra una analgesia perioperatoria adecuada para la realización de procedimientos quirúrgicos que involucren la rodilla u otras estructuras distales de la extremidad pelviana (Campoy et al., 2012b).

La neuroestimulación es una de las técnicas más comúnmente empleadas para localizar y bloquear nervios periféricos. No obstante, hoy en día en medicina humana, las técnicas ecoguiadas son las más recomendadas para este propósito, ya que se consideran más seguras y permiten obtener una mayor tasa de éxito (Gray et al., 2004; Enneking et al., 2005; Casati et al., 2007; Oberndorfer et al., 2007). En los últimos años ha surgido un gran interés en el uso de las técnicas ecoguiadas para el bloqueo de los principales nervios de la extremidad pelviana en el perro (Campoy et al., 2010; Echeverry et al., 2010; Shilo et al., 2010; Costa-Farre et al., 2011; Echeverry et al., 2012). Sin embargo, actualmente, según la bibliografía consultada, no existe información acerca del uso de las técnicas ecoguiadas para el BNP en el gato.

Por todo ello, se plantearon los siguientes objetivos, base de la presente tesis doctoral:

- 1.- Desarrollar los abordajes ecográficos para la evaluación de los nervios ciático y femoral en el gato, describiendo la anatomía ecográfica normal y la ecogenicidad de las estructuras observadas. Correlacionar las imágenes ecográficas con la disección anatómica y las criosecciones obtenidas en el mismo plano de corte (artículos 1 y 3).
- 2.- Establecer los abordajes ecográficos para el bloqueo anestésico ecoguiado de los nervios ciático y femoral (artículos 2 y 3).
- 3.- Determinar la eficacia de los diferentes abordajes para el bloqueo anestésico ecoguiado de los nervios ciático y femoral, mediante la evaluación de la distribución de tinta o contraste iodado inyectado alrededor de los nervios de interés; utilizando para ello la ecografía, disecciones y criosecciones anatómicas (artículos 2 y 3), y técnicas de imagen avanzadas como la tomografía computarizada (artículo 3).
- 4.- Evaluar clínicamente la eficacia del bloqueo ecoguiado del nervio ciático (artículo 2).

MATERIAL Y MÉTODOS

Para realizar la fase «*in vitro*» del estudio, se emplearon 26 cadáveres de gatos adultos con un peso medio de 3.78 kg (rango entre 2.4 y 4.9 kg), obtenidos en el Servicio de Zoonosis y Salud Pública Local del municipio de Murcia. La eutanasia

de los gatos utilizados no tuvo relación con enfermedades de la extremidad pelviana. Para desarrollar la fase «*in vivo*» del primer y segundo estudio, se utilizaron nueve gatos experimentales, adultos y sanos, con un peso medio de 3.95 kg (rango entre 3.15 y 4.1 kg). Los exámenes ecográficos se efectuaron utilizando una sonda lineal de 4-13 MHz (MyLab 70, Esaote, Barcelona, España). Todos los exámenes ecográficos «*in vitro*» se realizaron inmediatamente después de la eutanasia.

Artículo 1

Para el estudio anatómico del N. ciático, se realizaron disecciones anatómicas en las cuatro extremidades pelvianas de dos cadáveres. En otros dos cadáveres se introdujo látex de color rojo a través de la aorta torácica y a continuación, fueron congelados a -20°C las primeras 24 horas y a -80°C durante 24 horas más. Posteriormente, se realizaron criosecciones transversales de 5 mm de grosor desde el sacro hasta la rodilla. Se tomaron fotografías de cada corte para realizar su interpretación, que se compararon con las imágenes ecográficas obtenidas en la siguiente fase del estudio.

Para realizar la evaluación ecográfica del N. ciático se emplearon las ocho extremidades pelvianas de cuatro cadáveres. Los animales fueron posicionados en decúbito lateral y las extremidades fueron preparadas mediante la depilación del área de interés (desde la región sacroilíaca hasta la rodilla), limpieza de la piel y aplicación de gel acústico. El N. ciático se evaluó desde su origen hasta su bifurcación y para estandarizar las evaluaciones, se dividió en las siguientes regiones: glútea (craneal y caudal), femoral y poplítea. Para obtener el plano longitudinal de cada abordaje se emplearon marcas anatómicas de superficie. El ala

del ilion y el trocánter mayor del fémur fueron las referencias anatómicas para realizar el abordaje glúteo craneal; para ello, se dibujó una línea entre estas estructuras, y el transductor se colocó paralelo a esta línea con la marca orientada cranealmente. Para llevar a cabo el abordaje en la zona glútea caudal, se seleccionaron el trocánter mayor y la tuberosidad isquiática; el transductor se situó entre estos puntos y la marca fue orientada dorsalmente. Para el abordaje femoral (medio-femoral), las marcas anatómicas fueron el trocánter mayor y el cóndilo lateral del fémur; el transductor se situó a media distancia entre estas estructuras con la marca orientada proximalmente. En el abordaje poplíteo, el transductor se posicionó paralelo a la epífisis distal del fémur y se deslizó caudalmente hacia la zona poplíteo, área donde tiene lugar la división del nervio. Los planos transversales para cada uno de los abordajes se obtuvieron rotando el transductor 90° a partir de su posición longitudinal. La apariencia, ecogenicidad y ecotextura del N. ciático, así como las características ecográficas de las estructuras anatómicas colindantes, fueron evaluadas y comparadas con las criosecciones transversales. Para demostrar la precisión de la ecolocalización del N. ciático, se inyectó tinta azul (0.3 mL/kg) alrededor del nervio utilizando una técnica ecoguiada, e inmediatamente se realizó la disección de las extremidades para comprobar la presencia de tinta azul coloreando el nervio.

Se realizó la evaluación ecográfica «*in vivo*» del N. ciático en cinco gatos, que fueron sedados mediante la administración intramuscular (IM) de medetomidina (Domtor; Pfizer, Barcelona, España) a dosis de 30 µg/kg, butorfanol (Turbogesic, FortDodge, Barcelona, España) a 0.2 mg/kg y ketamina (Ketased, FortDodge; Barcelona, España) a 4 mg/kg. La piel del área de interés fue preparada empleando

la misma técnica que en la fase “*in vitro*” y el N. ciático fue evaluado utilizando los abordajes descritos anteriormente.

Artículo 2

Para realizar la evaluación de los abordajes ecoguiados glúteo craneal, glúteo caudal, femoral (medio-femoral) y poplíteo para el bloqueo del N. ciático, se emplearon las ocho extremidades pelvianas de cuatro cadáveres. Los cadáveres fueron posicionados en decúbito lateral y la piel fue preparada desde la región sacroilíaca hasta la zona distal de la rodilla, tal y como se ha descrito en el estudio anterior. Se seleccionaron dos puntos focales a profundidades de 0.5 cm y 1.5 cm. Se evaluaron dos abordajes en cada extremidad pelviana: glúteo craneal y medio-femoral en la extremidad pelviana izquierda, y glúteo caudal y poplíteo en la extremidad pelviana derecha. El N. ciático se abordó ecográficamente utilizando un plano transversal, siguiendo la metodología descrita en el artículo 1. La marca del transductor fue colocada cranealmente en todos los abordajes ecoguiados, excepto en el abordaje glúteo craneal, donde la marca fue situada lateralmente. Una vez que el N. ciático fue localizado, se insertó una aguja atraumática para el bloqueo de nervios periféricos (Stimuplex D 0.71 • 40 mm 30°; B Braun Melsungen AG), utilizando una técnica en plano para los abordajes glúteo caudal, medio-femoral y poplíteo, y una técnica fuera de plano en el abordaje glúteo craneal. Se inyectó 1 mL de tinta azul cerca del N. ciático y se grabaron videos de la distribución de la tinta inyectada. Posteriormente, se realizó la disección inmediata en dos de los cadáveres con el propósito de estudiar la distribución y extensión longitudinal de la tinta inyectada en cada abordaje. Los otros dos cadáveres fueron congelados a -20°C durante 24 horas, y trasladados a -80°C durante 24 horas más. Transcurrido

este tiempo, se realizaron criosecciones transversales de 3 mm de grosor a nivel del sitio de inyección, con la finalidad de estudiar la distribución de la tinta alrededor del N. ciático. Se hicieron fotografías de cada corte para facilitar la interpretación y compararlas con las imágenes ecográficas obtenidas.

En la fase «*in vivo*» del estudio, se emplearon seis gatos adultos experimentales para realizar el bloqueo ecoguiado del N. ciático. Los animales fueron sedados mediante la administración IM de medetomidina (Domitor; Pfizer) a 30 µg/kg y butorfanol (Turbogesic; FortDodge) a 0.2 mg/kg; se colocaron en decúbito lateral y la piel fue depilada y preparada asépticamente. Según los resultados obtenidos en la fase «*in vitro*» del estudio anatómico, se eligió el abordaje ecográfico medio-femoral para realizar el bloqueo del N. ciático. Una vez que el nervio fue localizado, se realizó una incisión de 2 mm en la piel de la zona caudal del muslo empleando una hoja de bisturí (№ 11 Sovereign; Paramount Surgimed), con la finalidad de facilitar la inserción de la aguja (Stimuplex D 0.71 • 40 mm 30°; B Braun Melsungen AG). Se inyectó lidocaína al 2% a dosis de 2 mg/kg (B Braun) diluida en solución salina hasta alcanzar un volumen final de 1 mL. Durante el procedimiento se realizaron múltiples inyecciones de pequeños volúmenes alrededor del N. ciático hasta obtener la aparición del signo de «donut». Una vez finalizada la inyección, se revirtió la sedación del animal administrando atipamezol (Antisedan; Pfizer) vía IM a dosis de 75 µg/kg, y se determinó el éxito del bloqueo mediante la evaluación de la función sensorial y motora de la extremidad bloqueada. Se consideró un bloqueo motor efectivo cuando se presentaron signos de propiocepción negativa, incapacidad para flexionar la rodilla y evidencia de parálisis del pie. Para evaluar el bloqueo sensorial, se pinzó la piel de las superficies plantar y dorsal de la extremidad bloqueada utilizando pinzas hemostáticas, este se

consideraba efectivo cuando la respuesta al dolor profundo se encontraba ausente. Tras los bloqueos, los animales fueron observados durante 72 horas para determinar posibles complicaciones posteriores.

Artículo 3

Se realizó el estudio anatómico del N. femoral en cuatro cadáveres. Dos de ellos fueron empleados para realizar la disección anatómica del N. femoral desde su origen hasta el punto donde emerge el N. safeno. En los otros dos cadáveres se introdujo látex de color rojo a través de la aorta torácica y posteriormente, fueron congelados a -20°C durante las primeras 24 horas y a -80°C durante 24 horas más, para obtener crio secciones transversales de 3 mm de grosor desde la segunda vértebra lumbar (L2) hasta el sacro. Se hicieron fotografías de cada corte para correlacionar las estructuras anatómicas con la imagen ecográfica correspondiente.

Se realizó el estudio ecográfico y el abordaje ecoguiado de los Nn. femorales izquierdo y derecho de cuatro cadáveres. Los cadáveres fueron colocados en decúbito lateral con la zona de interés hacia arriba, y la piel fue preparada como se ha descrito en estudios anteriores. Para realizar los exámenes ecográficos y guiar las inyecciones, se ajustó la profundidad de la imagen a 3 cm y se seleccionaron dos puntos focales a 0.5 cm y 1.5 cm. El transductor se colocó perpendicular a la columna, ligeramente ventral a las apófisis transversas de las vértebras lumbares, y craneal a la cresta iliaca, con la marca orientada dorsalmente, y fue deslizado en dirección craneal para localizar el N. femoral en la zona lumbar. Una vez identificado el N. femoral, se inyectó 1 mL de tinta azul alrededor del mismo utilizando una técnica ecoguiada y una aguja para el bloqueo de nervios periféricos (Stimuplex D 0.71 • 50 mm 30°; B Braun Melsungen AG), insertada utilizando una técnica en

plano. Basándose en los resultados del estudio anatómico, se seleccionó como lugar de inyección el espacio entre las apófisis transversas de las vértebras lumbares sexta (L6) y séptima (L7), y la aguja fue aproximada al N. femoral a través del MIP. Se realizó la disección inmediata en dos de los cadáveres, donde el hallazgo de tinta azul tiñendo el nervio confirmaba su correcta ecolocalización. Los otros dos cadáveres fueron preparados para la obtención de criosecciones transversales utilizando la metodología descrita en el estudio anatómico. Se realizaron fotografías de cada corte para estudiar el patrón de distribución de la tinta inyectada.

Con el objetivo de determinar la correcta localización de la aguja y el patrón de distribución de la solución inyectada, se realizaron estudios de tomografía computarizada (TC) en otros cuatro cadáveres. Para lo cual, se inyectó cerca del N. femoral 1 mL de medio de contraste iodado (150 mgI/mL) obtenido de iohexol 300 mgI/mL (Omnitrac 300, Bayer) diluido en solución salina 1:1, utilizando la técnica ecoguiada descrita anteriormente. Inmediatamente después de las inyecciones del medio de contraste se realizaron los exámenes de TC (High speed dual; General Electric), para ello los cadáveres fueron posicionados en decúbito lateral con el sitio de inyección hacia arriba. El estudio se realizó a 1mm de grosor desde L2 hasta la tercera vértebra sacra (S3) utilizando los algoritmos de hueso y estándar, y las imágenes fueron evaluadas utilizando las ventanas de hueso y tejidos blandos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Artículo 1

El desarrollo de transductores de alta frecuencia ha permitido que la ecografía se considere actualmente como una técnica de imagen eficaz para evaluar la anatomía normal y patológica de nervios periféricos en medicina humana (Stuart et al., 2004). El N. ciático del gato fue seleccionado para realizar el presente estudio, debido a que es el nervio de la extremidad pelviana que se lesiona con mayor frecuencia (Forterre et al., 2007).

El trayecto del N. ciático del felino puede determinarse con claridad utilizando la ecografía. Las marcas anatómicas, ala del ilion, trocánter mayor y tuberosidad isquiática proveen una guía constante para localizar este nervio en la región glútea; a su vez, el trocánter mayor y el cóndilo lateral del fémur son útiles para localizar el N. ciático en las regiones femoral y poplítea.

La apariencia ecográfica del N. ciático en el corte transversal a nivel de la región glútea fue la de una estructura de forma oval e hipoecogénica, rodeada por una banda hiperecogénica. En esta región, al encontrarse el nervio ciático próximo a la arteria y vena glúteas caudales, puede confundirse con estas estructuras vasculares; por lo que en caso de duda se recomienda el uso de Doppler color para su correcta identificación. Desde la región medio-femoral y hasta llegar a la zona poplítea, el N. ciático aparece como una estructura bitubular, constituida por los Nn. peroneo común y tibial; el primero, de menor tamaño y localizado cranealmente, y el segundo ubicado caudalmente.

En el corte longitudinal, el N. ciático aparece de proximal a distal como una estructura tubular e hipoecogénica, bordeada por dos líneas hiperecogénicas. Estas

líneas hiperecogénicas se corresponden con el epineuro y el área hipoeecogénica se asocia a los fascículos neuronales (Bianchi, 2008). A nivel de la zona femoral distal se visualiza un incremento en la ecogenicidad interna del N. ciático. La apariencia ecográfica de este nervio fue similar en cadáveres y gatos vivos, y también a la descrita en perros (Benigni et al., 2007; Echeverry et al., 2010).

Artículo 2

El bloqueo del N. ciático en el perro proporciona analgesia durante procedimientos ortopédicos realizados en la rodilla y en partes distales de la extremidad pelviana (Campoy, 2008). Según nuestro conocimiento, el presente estudio es el primero en investigar el uso de una técnica ecoguiada para el bloqueo del N. ciático en el gato.

Se evaluaron «*in vitro*» los abordajes glúteo craneal, glúteo caudal, femoral (medio-femoral) y poplíteo, con el objetivo de validar una técnica óptima para el bloqueo del N. ciático en gatos vivos.

Se realizó la localización y aproximación correcta del N. ciático mediante ecografía en todos los abordajes estudiados. La ecolocalización del nervio fue confirmada en todos los casos mediante la evidencia de tinta observada alrededor del nervio, tanto en disecciones como en criosecciones transversales. En ninguno de los casos estudiados se indujo una inyección intraneural. Fue posible producir una distribución perineural completa (signo de «donut») de la tinta inyectada en los abordajes glúteo craneal, glúteo caudal y medio-femoral. En cambio, en el abordaje poplíteo, no fue posible producir el signo de «donut» debido a que el N. ciático se bifurca a este nivel. La distribución longitudinal de la tinta fue mayor en el abordaje medio-femoral (5.0 ± 0.34 cm), mientras tanto, en los abordajes glúteo caudal,

poplíteo y glúteo craneal se obtuvieron valores de 4.2 ± 0.34 cm, 2.2 ± 0.34 cm y 2.2 ± 0.34 cm, respectivamente. La extensión longitudinal de AL sobre el nervio de interés es un factor determinante para el éxito del BNP. Se considera que una distribución de $AL \geq 2$ cm, conocida también como «longitud crítica», es suficiente para producir un bloqueo nervioso clínicamente efectivo (Raymond et al., 1989).

El abordaje medio-femoral se consideró como el abordaje ecográfico óptimo para el bloqueo del N. ciático en el gato, debido a que ésta ventana acústica no presenta estructuras óseas o vasculares que puedan dificultar la trayectoria de la aguja hacia el nervio. Este abordaje permite la inserción de la aguja utilizando una técnica en plano, por lo que resulta sencillo mantenerla en una posición estable (Echeverry et al., 2010). Además, a este nivel, el N. ciático puede visualizarse en una amplia longitud, lo que puede ser de ayuda en la práctica clínica, ya que permite evitar áreas de lesión o infección en los gatos que requieran de este bloqueo (Echeverry et al., 2010).

En el estudio «*in vivo*», el abordaje ecoguiado a nivel femoral (medio-femoral) posibilitó la localización y el bloqueo efectivo del N. ciático en todos los gatos evaluados. Esto fue confirmado mediante la obtención de un bloqueo motor y sensorial tras las inyecciones ecoguiadas. No se observaron complicaciones y los gatos se recuperaron sin incidencias de cada uno de los experimentos. En perros, el bloqueo de este nervio utilizando el abordaje femoral ha registrado tasas de éxito similares a las de este estudio (Echeverry et al., 2012). Por otra parte, fue posible inducir el signo de «donut» en cinco de los seis gatos evaluados; en el gato restante, la solución anestésica inyectada provocó el desplazamiento craneal del nervio. La presencia del signo de «donut» se asocia a una mejor tasa de éxito en términos de tiempo de inicio, intensidad y duración del bloqueo nervioso, y permite

la reducción de la dosis requerida para lograr el bloqueo (Kumar et al., 2007). A pesar de la ausencia del signo de «donut» en el caso citado, el bloqueo del N. ciático fue clínicamente efectivo en todos los casos. Este hallazgo puede reforzar las descripciones recientes que apoyan la idea de que la presencia de una distribución perineural completa del AL no es un requisito imprescindible para producir un bloqueo nervioso eficaz (Eichenberger et al., 2009). La dosis de 2 mg/kg de lidocaína diluida a un volumen final de 1 mL produjo una distribución de 2.2 ± 0.37 cm a lo largo del N. ciático, cumpliendo con la «longitud crítica» establecida por Raymond et al. en 1989. Este hecho puede resultar de particular importancia en el gato, ya que una técnica ecoguiada permite realizar un BNP efectivo utilizando bajos volúmenes de AL, reduciendo así el riesgo de toxicidad en esta especie. Los resultados obtenidos sugieren que, el bloqueo del N. ciático puede realizarse utilizando una técnica ecoguiada sin necesidad de confirmar la localización nerviosa con otras herramientas como la neuroestimulación.

Artículo 3

El bloqueo del N. femoral se recomienda como complemento analgésico durante procedimientos quirúrgicos tales como: reparación de fracturas del cuello femoral o diáfisis del fémur, prótesis de cadera, artroplastia de rodilla, reparación del ligamento cruzado craneal, injerto de piel o biopsia muscular de la cara caudal del muslo (Szucs et al., 2010). Además, el desarrollo de una técnica válida para el bloqueo del N. femoral en el gato podría ser útil para efectuar el bloqueo combinado de los Nn. ciático y femoral, siendo esta combinación, al menos, igual de efectiva que la anestesia epidural, con menores efectos adversos (Campoy et al., 2012a). El

presente estudio es el primero en investigar la apariencia ecográfica del N. femoral y el uso de una técnica ecoguiada para su bloqueo en el gato.

El N. femoral se identificó con facilidad durante las disecciones y criosecciones transversales en todos los casos. Las características anatómicas del N. femoral y de las estructuras relacionadas con el MIP fueron similares a lo anteriormente descrito (Crouch, 1969). El estudio anatómico permitió determinar la ventana acústica adecuada para el bloqueo del N. femoral, siendo el abordaje dorsal el seleccionado para este propósito. No se eligió el abordaje a nivel del triángulo femoral porque se consideró que el pequeño tamaño del gato dificultaría la manipulación de la aguja y el transductor a este nivel. Las marcas anatómicas que se establecieron para la localización del N. femoral utilizando el abordaje dorsal fueron la cresta iliaca y las apófisis espinosas de las vértebras L6 y L7.

La apariencia ecográfica del MIP en el corte transversal fue la de una estructura de forma ovoidea a triangular, hipoecogénica, con un patrón interno de ecos dispersos. El N. femoral fue localizado en el vientre del MIP con la apariencia de una estructura redonda e hipoecogénica, rodeada por una banda hiperecogénica en el corte transversal, y como una estructura tubular e hipoecogénica, delimitada por bordes hiperecogénicos, en la evaluación longitudinal. Se obtuvieron buenas correlaciones entre las imágenes ecográficas y las criosecciones anatómicas.

La apariencia ecográfica del N. femoral del gato difiere de lo descrito en humanos y perros, en los que se reseña ecográficamente como una estructura triangular e hiperecogénica a nivel del triángulo femoral (Gruber et al., 2003; Echeverry et al., 2012). Las diferencias encontradas en la apariencia ecográfica de este nervio pueden ser explicadas por el efecto de los tejidos que lo cubren en las diferentes regiones anatómicas. A nivel del triángulo femoral, el N. femoral se

encuentra cubierto por múltiples planos fasciales y tejido graso, mientras que a nivel del MIP se encuentra rodeado solamente por músculo (Echeverry et al., 2012). Incluso, la visualización del N. femoral a través del abordaje dorsal puede ser superior ya que a este nivel el borde hiperecogénico del nervio se observa con un mayor contraste debido al tejido muscular hipoecogénico que lo rodea.

En el perro, el bloqueo ecoguiado del N. femoral utilizando un abordaje a nivel del triángulo femoral ofreció una tasa de éxito del 50% (Echeverry et al., 2010). La baja tasa de éxito del abordaje citado puede estar relacionada con la dificultad que supone localizar ecográficamente el N. femoral en esta zona, debido a que a este nivel el nervio es más corto y se bifurca (Echeverry et al., 2010). Por el contrario, se ha descrito una tasa de éxito del 100% al emplear un abordaje suprainguinal (Echeverry et al., 2012). Una explicación para la alta tasa de éxito en el abordaje suprainguinal es que, a este nivel, el N. femoral se localiza dentro del MIP antes de su bifurcación, lo que mejora su visibilidad ecográfica (Echeverry et al., 2012). De forma similar, el abordaje dorsal, seleccionado en el presente estudio permite la localización del tronco principal del N. femoral dentro del MIP antes de que se bifurque y por lo tanto, sería posible obtener tasas de éxito similares.

El N. femoral se localizó con éxito en todos los casos utilizando el abordaje dorsal. El sitio de inyección se ubicó aproximadamente un centímetro lateral a la línea media de la columna, entre las apófisis transversas de L6 y L7. El lugar de inserción de la aguja fue seleccionado en base a los resultados del estudio anatómico, se consideró el adecuado debido a que el tronco principal del N. femoral fue observado a nivel del cuerpo vertebral de L7. Se recomienda que el bloqueo del N. femoral se realice antes de su bifurcación, con el propósito de garantizar la inclusión de sus componentes más distales, tanto su rama sensorial (N. safeno)

como sus ramas motoras, y por lo tanto, obtener un bloqueo clínicamente más efectivo (Mahler y Adogwa, 2008).

El N. femoral fue abordado en el eje corto y la aguja fue insertada utilizando una técnica en plano. Ello posibilitó la visualización detallada de la distribución de la solución anestésica alrededor del nervio. Este hecho es de importancia en el BNP con volúmenes pequeños (Marhofer et al., 2005; Kumar et al., 2007) y puede ser de utilidad en gatos debido a su pobre capacidad para realizar la glucuronidación hepática y el consecuente riesgo de toxicidad a los AL (Court y Grenblatt, 1997; Robertson y Taylor, 2004).

La tinta inyectada se observó coloreando el quinto (NL5) y sexto (NL6) nervios lumbares, así como el N. femoral, tanto en las disecciones como en las criosecciones transversales practicadas. La solución inyectada se distribuyó en el espacio interfascial dentro del MIP, y entre los músculos iliopsoas y cuadrado lumbar. El patrón de distribución observado podría producir una difusión del AL a través de los tres componentes del plexo lumbar (N. cutáneo lateral femoral, N. femoral y N. obturador) (Mannion et al., 2005; Campoy et al., 2008). En un contexto clínico, el bloqueo del plexo lumbar suministra analgesia en procedimientos quirúrgicos realizados a nivel de la cadera (Capdevila et al., 2002), y el bloqueo combinado del plexo lumbar y del N. ciático podría proporcionar analgesia a todas las estructuras de la extremidad pélvica. Sin embargo, es necesario realizar estudios adicionales que permitan confirmar esta hipótesis.

La tomografía computarizada demostró la correcta ubicación de la aguja entre las apófisis transversas de L6 y L7, además, permitió comprobar la distribución del medio de contraste dentro del MIP y alrededor de la musculatura sublumbar, observándose una distribución craneal y caudal a partir del sitio de inyección en

todos los casos. La longitud media de distribución del contraste radiográfico inyectado fue de 4.6 cm (rango de 3-6.4 cm). Se ha establecido que la distribución longitudinal necesaria de AL para abolir la propagación del impulso eléctrico en un nervio periférico es ≥ 2 cm (Raymond et al., 1989); por lo tanto, la longitud de distribución obtenida en el presente estudio sugiere que, en un contexto clínico, la cantidad inyectada de 1 mL de solución anestésica podría ser suficiente para obtener un bloqueo efectivo del N. femoral.

El presente estudio ha sido realizado en cadáveres y solo nos permite especular acerca de la eficacia clínica del bloqueo del N. femoral según la extensión y características de distribución de las sustancias inyectadas a lo largo del nervio de interés. Se requieren estudios en animales vivos para demostrar clínicamente el éxito del abordaje dorsal para el bloqueo de N. femoral en el gato.

CONCLUSIONES

1.- El aspecto ecográfico del nervio ciático en el plano longitudinal es el de una estructura tubular e hipoecogénica, delimitada por dos líneas hiperecogénicas. En el corte transversal, este nervio se observa como dos estructuras hipoecogénicas ovaladas o redondeadas, rodeadas por una banda hiperecogénica. Estas dos estructuras se corresponden con los nervios peroneo común y tibial.

2.- El nervio ciático puede examinarse ecográficamente mediante el abordaje glúteo (craneal y caudal), femoral y poplíteo. El abordaje femoral (medio-femoral) fue considerado como el óptimo para realizar el bloqueo anestésico

ecoguiado, obteniéndose una eficacia clínica del 100% en los gatos evaluados.

3.- El abordaje dorsal a nivel de las apófisis transversas de la sexta y séptima vértebras lumbares fue considerado como óptimo para localizar ecográficamente el nervio femoral en el gato. El nervio femoral aparece dentro del vientre del músculo iliopsoas, observándose ecográficamente como una estructura redonda e hipoecogénica, rodeada por un halo hiperecogénico en el corte trasversal; en el corte longitudinal su aspecto es similar al del nervio ciático.

4.- La distribución de la tinta observada alrededor de los nervios de interés tanto en disecciones anatómicas como en criosecciones, así como la diseminación del contraste iodado evaluado por medio de tomografía computarizada, permitió establecer la eficacia de los abordajes evaluados para el bloqueo de los nervios ciático y femoral.

7. EXTENDED SUMMARY

INTRODUCTION

Regional techniques of analgesia for controlling surgical pain in small animals subjected to procedures carried out on the pelvic limb have traditionally been limited to the neuraxial administration (epidural or spinal routes) of local anaesthetics (LA) (Valverde, 2008). Nowadays, a combined sciatic (ScN) and femoral nerve (FN) blockade has been described as an alternative at least equally effective to epidurals in dogs, and with potentially fewer side-effects (Campoy et al., 2012a). The ScN and the FN nerves are the main nerves supplying sensory function to the pelvic limb, and the perioperative analgesia provided by a combined ScN and FN block has been shown to be adequate for surgical procedures involving the stifle, and structures distal to it, in the dog (Campoy et al., 2012b).

Electrolocation of peripheral nerves has been one of the most commonly employed techniques to achieve a peripheral nerve block (PNB); although, ultrasound (US)-guided techniques are now the most advocated in humans for this purpose (Marhofer et al., 2005). In recent years, a great interest in implementing US-guided techniques to block the main nerve supply of the pelvic limb in dogs has been documented (Campoy et al., 2010; Echeverry et al., 2010; Shilo et al., 2010; Costa-Farre et al., 2011; Echeverry et al., 2012). However, information regarding US-guided techniques to block peripheral nerves in cats have not been documented yet.

For all the above, the main objectives of this Thesis are:

1. To develop ultrasonographic approaches to the sciatic and femoral nerves in the cat. To describe the normal ultrasonographic anatomy and the echogenicity of these nerve structures, and to correlate the obtained

ultrasonographic images with those obtained by anatomical dissections and transversal cryosections (articles 1y 3).

2. To study different ultrasonographic approaches for the ultrasound guided blockade of the sciatic and femoral nerves in felines (articles 2 and 3).
3. To assess the usefulness of these ultrasonographic approaches for the blockade of the sciatic and femoral nerves, by means of injecting ink or contrast around the target nerves establishing the pattern of distribution of the injectate around them, by anatomical dissections, transversal cryosections, ultrasound (articles 1 and 2) and computed tomography (article 3).
4. To evaluate the clinical efficacy of the ultrasound guided blockade of the sciatic nerve (article 2).

MATERIALS AND METHODS

Twenty six fresh feline adult cadavers with a mean weight of 3.78 kg (range 2.4-4.9 kg) obtained from the Local Zoonoses and Public Health Service were employed for the “*in vitro*” studies. These animals were euthanased for reasons unrelated to pelvic limb lameness or disease. Additionally, another nine healthy adult experimental cats with a mean weight of 3.95 kg (range 3.15-4.1 kg) were employed in the first and second studies for the “*in vivo*” trials. All the ultrasonographic scans were performed using a 4-13 MHz linear transducer (MyLab 70, Esaote, Barcelona, Spain). The scans were always performed immediately after euthanasia.

Article 1

Anatomic dissections of the ScN were performed in four pelvic limbs of two cadavers. In another two cadavers, red coloured latex was introduced through the thoracic aorta. The specimens were frozen at -20°C for 24 hours, and transferred to -80°C for another 24 hours. Then, transverse cryosections of the pelvic limbs were performed from the sacrum to the stifle at a thickness of 5 mm. Photographs of each slide were taken to facilitate the interpretation and to be correlated with the corresponding ultrasonographic images.

Ultrasonographic scans of the ScN were performed in eight limbs of another four cadavers. The cadavers were positioned on lateral recumbence; the hair was clipped from the sacroiliac region to the stifle, the skin aseptically prepared and coupling gel applied. The ScN was imaged from its origin to its bifurcation close to the stifle. For this purpose, the ScN was divided in three regions: gluteal (cranial and caudal), femoral (midfemoral) and popliteal in order to standardise the scans. The anatomical landmarks employed to obtain the longitudinal windows were the wing of the ilium and the greater trochanter for the gluteal cranial zone. A line was drawn between these structures, and the transducer was positioned parallel to this line with the mark of the probe directed in a dorsal direction. The trochanter major and the ischial tuber were used as the landmarks to approach the caudal part of the gluteal ScN region. The transducer was positioned between these points with its orientation marker directed dorsally. The midfemoral area was approached using the greater trochanter to the lateral condyle of the femur as landmarks. The transducer was positioned parallel to the femur at the middle point of the thigh. For the popliteal approach, the femoral distal epiphysis was the anatomical landmark. The transducer was situated in the longitudinal plane and then moved caudally towards the area

where the division of the ScN takes place. To obtain the transversal views, the transducer was rotated 90° from its longitudinal position on each approach. The appearance, echogenicity and echotexture of the ScN and its surrounding structures were analysed and compared with the transversal cryosections. A volume of 0.3 mL/kg of blue ink was injected around the ScN under US-guidance to demonstrate the accuracy of the nerve location. Then, the limbs were immediately dissected. The presence of blue ink staining the target nerve confirmed its location.

The “*in vivo*” ultrasonographic evaluation of the ScN was carried out in five experimental cats. The animals were sedated by the intramuscular (IM) administration of medetomidine (Domtor; Pfizer, Barcelona, Spain) 30 µg/kg, butorphanol (Turbogesic; FortDodge, Barcelona, Spain) 0.2 mg/kg, and ketamine (Ketased, FortDodge; Barcelona, Spain) 4 mg/kg. The skin was prepared and the ScN explored as described above for the cadaveric study.

Article 2

Eight pelvic limbs were employed to evaluate the efficacy of the gluteal cranial, gluteal caudal, femoral (midfemoral) and popliteal ultrasound-guided approaches to block the ScN in felines. The cadavers were positioned in lateral recumbence. The skin was prepared as described in article 1, from the sacroiliac region to just below the stifle. Two focal points were selected at depths of 0.5 cm and 1.5 cm to perform the scans of the ScN and to guide the injections. A total of two approaches were evaluated on each pelvic limb. The gluteal cranial and midfemoral approaches were evaluated on the left pelvic limb while the gluteal caudal and popliteal approaches were tested on the right pelvic limb. The ScN was visualised on a transversal view, as described in article 1. The orientation marker of the transducer

was positioned cranially for all the approaches with the exception of the gluteal cranial approach where the mark was placed laterally. The needle was inserted parallel to the long axis of the US transducer (in-plane technique) on the gluteal caudal, midfemoral and popliteal approaches, and across the short axis (out of-plane technique) on the gluteal cranial approach. Once the ScN was identified, 1 mL of blue ink was injected, under US-guidance, by using an atraumatic peripheral nerve block needle (Stimuplex D 0.71 • 40 mm 30°; B Braun Melsungen AG) inserted close to the nerve. Images of the ink distribution around the nerve were obtained. The limbs of two of the cadavers were immediately dissected to study the distribution of the ink injected by gross dissection. The other two cadavers were frozen at -20°C for 24 hours, and, then, moved at -80°C for another 24 hours to obtain transverse cryosections of 3 mm in thickness. The cryosections were made at the level of the injection site to study the distribution of the ink around the ScN. Photographs of each slide were taken to facilitate the interpretation and to be correlated with the corresponding ultrasonographic images.

In the “*in vivo*” study, six experimental cats were sedated by the IM administration of medetomidine (Domitor; Pfizer) 30 µg/kg and butorphanol (Turbogesic; FortDodge) 0.2 mg/kg. The cats were placed in lateral recumbence and the skin clipped and prepared as described above. Based on the results from the anatomic study, the midfemoral approach (at the mid-thigh level), was selected to locate the ScN. A stab skin incision of 2 mm was performed in the caudal skin surface of the thigh using a surgical blade (№ 11 Sovereign; Paramount Surgimed) to facilitate the insertion of an atraumatic peripheral nerve block needle. The needle was inserted using an in-plane technique. A dose of 2 mg/kg of lidocaine 2% (B Braun) diluted in saline to a final volume of 1 mL was injected around the ScN.

Multiple small volume injections of LA were made to elicit the appearance of a “doughnut” sign around the ScN. At the end of the procedure, sedation was reversed by IM administration of atipamezole (Antisedan; Pfizer) 75 µg/kg. The success of the ScN blockade was determined by the assessment of the motor and sensory function. Motor blockade was considered positive when proprioception was absent and the cats exhibited inability to flex the stifle and a paralysed foot. Sensory blockade was considered clinically effective when response to deep pain was absent. Deep pain was elicited by pinching the dorsal and plantar skin areas in the hind limbs with forceps. The animals were evaluated for 72 hours to determine complications after the blocks.

Article 3

An anatomic study of the FN was carried out in four cadavers. Two cadavers were employed to carry out gross dissections of the FN from its origin to the point where it gives rise to the saphenous nerve. Red coloured latex was introduced through the thoracic aorta in the other two cadavers. These two cadavers were frozen at -20 °C for 24 hours and then, moved to -80 °C for another 24hours, to obtain transverse cryosections of a thickness of 3 mm from the second lumbar vertebrae (L2) to the sacrum to determine the appropriate anatomic landmarks to locate the FN. Photographs of each slide were taken to correlate the anatomical structures to the corresponding US images.

An ultrasound nerve study and a US-guided approach to the FN were performed on the left and right FN of another four cadavers. The cadavers were placed in lateral recumbence with the side of interest upwards. The hair of the lumbar area was clipped, the skin cleaned and coupling gel applied. A depth setting

of 3 cm and two focal points were elected at 0.5 and 1.5 cm to perform the scans and to guide the injections. The transducer was placed perpendicular to the spine, slightly ventral to the transverse process and cranial to crest of the ilium. The orientation marker of the probe was positioned dorsally. Then, the transducer was directed cranially from this point trying to trace the projection of the FN on the lumbar area. Transverse images of the FN were obtained in this way. Once the FN was identified, 1 mL of blue ink was injected under US-guidance, around it using an atraumatic peripheral nerve block needle (Stimuplex D 0.71 • 50 mm 30°; B Braun Melsungen AG) by the use of an in-plane technique. Based on the results from the anatomic study, the needle was inserted between the transverse processes of the sixth lumbar vertebrae (L6) and the seventh lumbar vertebrae (L7), and directed towards the iliopsoas muscle (IPM). Two of the cadavers were immediately dissected and the FN evaluated. The presence of blue ink staining the FN confirmed the accuracy of its location. The other two cadavers were frozen to obtain transverse cryosections as described above. Photographs of each slide were taken and the pattern of distribution of the ink analysed.

In another four cadavers, 1 mL of iodinated contrast media (150 mgI/mL) obtained from iohexol 300 mgI/mL (Omnitrac 300; Bayer) diluted in saline (1:1 proportion) was injected close to the FN. The injections were performed using the US-guided technique described in article 2. Then, computed tomographic (CT) (High speed dual; General Electric) scans were performed. The cadavers were positioned for CT in lateral recumbence with side of the injection upwards. CT scans at a thickness of 1 mm were obtained from L2 to the third sacral vertebrae (S3) using bone and standard algorithms. The CT examinations were reviewed in both bone and soft tissue windows. The CT studies consisted of the evaluation of the location

of the needle in relation to the appropriate landmarks, and the pattern of distribution of the contrast media in the area of interest.

RESULTS AND DISCUSSION

Article 1

The introduction of high-frequency linear array transducers in humans has allowed US to become an optimal imaging technique to evaluate normal anatomy and disorders of peripheral nerves (Stuart et al., 2004). To the authors' knowledge, there is little information regarding the use of nerve sonography in routine clinical veterinary practice. The ScN was selected to perform this study because it is the most frequently nerve injured on the hind limb of cats (Forterre et al., 2007).

The course of the ScN can be clearly depicted by sonography in the cat. The bony landmarks: wing of the ilium, greater trochanter and ischial tuber provide a consistent guide to locate the ScN on the gluteal region. The greater trochanter and the lateral condyle of the femur provided a consistent guide to locate the ScN on the midfemoral and popliteal regions.

The ultrasonographic appearance of the ScN on transversal images was as an oval shaped hypoechoic structure surrounded by a hyperechoic rim at the gluteal location. In this region, the ScN is localised close to the gluteal caudal vein and artery and it can be confused with these vascular structures. Any uncertainty can be addressed by the use of colour-flow Doppler. The nerve appeared at midfemoral level as a bi-tubular structure until reaches the popliteal zone. These structures were identified as the common peroneal and tibial nerves. The common peroneal nerve is smaller in size and is always located on the cranial aspect while the tibial nerve is

situated on the caudal aspect. On longitudinal images, the ScN appeared from proximal to distal as a tubular hypoechoic structure bordered by two hyperechogenic lines. The hyperechoic rim is likely to represent the epineurium, whereas the hypoechoic areas separated by the hyperechoic bands are likely to represent the neuronal fascicles and the perineurium, respectively (Bianchi, 2008). The ScN appeared with an increase of internal echogenicity at the distal midfemoral zone. The ultrasonographic appearance of the ScN in cats was similar to that described for the ScN of dogs.(Benigni et al., 2007; Echeverry et al., 2010) No differences were found between the ultrasonographic appearance of the ScN in fresh cadavers and live cats.

Article 2

The blockade of the ScN can be used to provide analgesia during orthopaedic procedures of the stifle and distal parts of the hind limbs in dogs (Campoy, 2008). To our knowledge, this is the first study to investigate the use of a US-guided technique for the blockade of the ScN in cats.

In this report, the gluteal cranial, gluteal caudal, femoral (midfemoral) and popliteal approaches were evaluated “*in vitro*” to validate an optimal US-guided technique to block the ScN in the cat.

The ScN was correctly localized and approached by US at all the tested ultrasonographical approaches. This was confirmed by observing the spread of ink around the ScN in the dissected cadavers, as well as in the transverse cryosections. No evidence of intraneural injection was observed in any case. A complete perineural distribution (known as the “doughnut” sign), of the ink injected was elicited “*in vitro*” at the gluteal cranial, gluteal caudal and midfemoral approaches. This sign

could not be produced at the popliteal approach due the bifurcation of the ScN at this level. The longest nerve stains with a mean length of 5.0 ± 0.34 cm were observed at the midfemoral approach. The lengths of the nerve stains were 4.2 ± 0.34 cm, 2.2 ± 0.34 cm and 2.2 ± 0.34 cm respectively for the gluteal caudal, popliteal and gluteal cranial approaches. The length of the nerve in contact with the LA has been considered as a main factor determining the success of a PNB. A distribution of LA in an extension ≥ 2 cm along a peripheral nerve (known as the “critical length”), should be considered sufficient to produce a clinically effective nerve blockade (Raymond et al., 1989).

The midfemoral approach was considered to be the optimal ultrasonographical approach to block the ScN in the cat. The midfemoral acoustic window was devoided of bony and vascular structures which could impair the trajectory of the needle to the nerve, the needle could be easily inserted using an in-plane technique and, finally, the needle was easily maintained in a more stable position (Echeverry et al., 2010). Another advantage of this approach was that the ScN could be approached at different levels because of the long length of the ScN in this acoustic window. This could be useful in a clinical setting to avoid areas of injured or infected skin in polytraumatised patients requiring this block (Echeverry et al., 2010).

In this study, the US-guided midfemoral approach allowed an easy and accurate ScN location and blockade in all the experimental cats. This was confirmed by the complete motor and sensory impairment observed after the US-guided injections in all the cases. No complications were observed and the cats recovered uneventfully from the trials. In dogs, the blockade of the ScN using the same approach has been associated with a similar success rate (Echeverry et al., 2012).

The “doughnut” sign was observed in five out of six cats. The presence of this sign has usually been associated with a better outcome of the nerve blockade in terms of onset time, intensity, duration and a reduction in the required dose to achieve the block (Kumar et al., 2007). Despite the lack of “doughnut” sign elicitation in one cat, the ScN blockade was clinically successful also in this case. This finding may reinforce recent reports supporting the idea that the presence of a complete perineural spread of LA may not be mandatory to produce a successful nerve block (Eichenberger et al., 2009). A dose of 2 mg/kg of lidocaine diluted in a final volume of 1 mL was distributed along the ScN in a mean length of 2.2 ± 0.37 cm, fulfilling the “critical length” (Raymond et al., 1989). This fact could be of importance in cats where LA toxicity is a major concern. Therefore, the use of an US-guided technique could allow the use of smaller volumes of AL which would be still able to produce a clinical effective blockade. Furthermore, these results suggest that a ScN blockade may be achieved using an US-guided technique alone without needing to confirm the accuracy of the nerve location by electrostimulation.

Article 3

The blockade of the FN is recommended as an analgesic adjunct for a variety of surgical procedures such as fractures of the neck and shaft of the femur, hip replacement, total knee arthroplasty, cranial cruciate ligament repair, and skin graft and muscle biopsy of the cranial aspect of the thigh (Szucs et al., 2010). Moreover, a description of a valid US-guided technique to block the FN in cats could be useful to produce a combined ScN and FN block. This combined block has resulted in an effective alternative to the epidural anaesthesia in dogs, with fewer side effects

(Campoy et al., 2012a). This is the first study to investigate the appearance and the use of a US-guided technique for the blockade of the FN in the cat.

The FN was easily identified in gross anatomical dissections in all cases. The anatomical features of the FN and its related structures within the IPM were similar to previous descriptions (Crouch, 1969). The anatomical study was useful for establishing an adequate acoustic window to block the FN. A dorsal approach was selected considering that the small size of the cat could difficult the needle manipulation in the inguinal triangle. The anatomic landmarks established to localize the FN were the iliac crest of the pelvis and the dorsal processes of L6 and L7. The ultrasonographic appearance of the IPM was as an ovoid to triangular hypoechoic structure with an internal pattern of scattering echoes in the transverse scans. The FN was located within the IPM substance as a single, well-differentiated, rounded hypoechogenic structure surrounded by a marked hyperechogenic rim in the transverse scans. In the longitudinal scans, the FN appeared as a tubular hypoechogenic structure outlined by hyperechoic borders. There was a good correlation between the ultrasonographic images and the cryosections.

The ultrasonographic appearance found for the feline FN, differs from that described in humans and dogs. The FN has been described as a hyperechogenic triangular structure when it is observed by US at the level of the femoral triangle (Gruber et al., 2003; Echeverry et al., 2010). These differences might be explained by the effect of the tissues covering the FN at different anatomical regions. The FN is covered by multiple fascial planes and fat tissue at the level of the femoral triangle, while it is only surrounded by muscle mass within the IPM (Echeverry et al., 2012). Moreover, the visualization of the FN may be superior using a dorsal approach than

other approaches, because the hyperechogenic border of the nerve is better contrasted as it is surrounded by a hypoechoic muscle tissue.

In dogs, the FN block has been performed using an US-guided technique throughout the femoral triangle approach with a 50% success rate (Echeverry et al., 2010). The lower success rate of the FN block using the femoral triangle approach has been related with difficulties to visualize the FN by US in this area as well as, with the reduced length of this nerve and its branches in this area (Echeverry et al., 2010). Contrarily, a success rate of 100% has been described when a suprainguinal approach to this nerve was employed (Echeverry et al., 2012). The suprainguinal approach locates the FN within the IPM, similarly to our study, before this nerve bifurcates, which could improve the visualization of the FN, explaining the higher success rate found with this approach (Echeverry et al., 2012). The dorsal approach employed in our study, locates the main trunk of the FN within the IPM before it bifurcates and therefore, a high success rate should also be expected.

The localization of the FN by an US-guided dorsal approach was successful in all cases. The injection site was located approximately 1 cm lateral to the midline of the spine between L6 and L7 transverse processes. This insertion site was chosen because the major part of the FN was visualized at the level to the L7 vertebral body in the anatomic study. It is recommended to block the FN before it is branched, as the distal components of the FN, including its sensitive (saphenous nerve) and motor branches will be blocked producing a clinically more effective blockade (Mahler and Adogwa, 2008).

The FN was approached in a cross sectional view. The needle was inserted using an in-plane technique which allowed observing the needle and the nerve in the same plane and a more detailed observation of the distribution of LA solution around

the nerve. This fact is of importance to block a peripheral nerve using a small volume of LA (Marhofer et al., 2005; Kumar et al., 2007) which could be useful in cats, as mentioned above due to their low capacity for hepatic glucuronidation (Court and Grenblatt, 1997; Robertson and Taylor, 2004).

The ink injected was staining successfully the fifth and sixth lumbar nerves as well as the FN. The distribution of the injectate occurred in the interfascial space, within the IPM, as well as between the iliopsoas and the quadratus lumborum muscles as observed in the gross dissections and transversal cryosections. This spreading pattern may produce a diffusion of the injectate towards the three main nerve components of the lumbar plexus (lateral cutaneous femoral nerve, femoral nerve and obturator nerve) producing a more complete blockade (Mannion et al., 2005; Campoy et al., 2008). However, further research is required to confirm this hypothesis.

The CT scans demonstrated an accurate location of the needle between the transverse processes of L6 and L7, and also proved the spreading of contrast within the IPM and around the sublumbar musculature, with a cranial and a caudal distribution on injectate in all cases. The mean length of contrast distribution within the IPM was 4.6 cm (range 3-6.4 cm). The length distribution obtained in this study suggests that in a clinical context a volume of 1 mL of injectate should be enough to produce an effective FN blockade.

Nevertheless, the cadaveric nature of this study allows us only to speculate on the clinical efficacy of the FN block by observing the extent in which the injectate was distributed along the target nerve. Further studies carried out in live animals are required to demonstrate the clinical efficacy of the FN blocking technique developed in this Thesis.

CONCLUSIONS

1.-The ultrasonographic appearance of the ScN on longitudinal images was as a tubular hypoechoic structure bordered by two hyperechogenic lines. On transversal images, the sciatic nerve appeared as a bitubular oval to round hypoechoic structure surrounded by a hyperechoic rim. These two structures correspond to the peroneal and tibial nerves.

2.-The sciatic nerve was correctly localized and approached by ultrasound at gluteal (cranial and caudal), femoral (midfemoral) and popliteal approaches. The midfemoral approach was considered to be the optimal to block the sciatic nerve in the cat as it allowed an easy and accurate sciatic nerve location and blockade in all the experimental cats.

3.-The dorsal approach, at the level of the transverse processes of the sixth and seventh lumbar vertebrae, was considered to be the optimal ultrasonographical approach to block the femoral nerve in the cat. The femoral nerve was easily located within the iliopsoas muscle, and its appearance was as a single, well-differentiated, rounded hypoechogenic structure surrounded by a marked hyperechogenic rim in the transverse scans. On the longitudinal plane, its appearance was similar to the described for the feline sciatic nerve.

4.-The pattern of distribution of the ink, observed in the gross anatomical dissections and transversal cryosections, as well as the spreading of the contrast evaluated by the use of computed tomography, allowed to establish the efficacy of the

ultrasonographic approaches for the blockade of the sciatic and femoral nerves developed in this study.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, W., Anderson, B. (1994) Limbs and back. En: Anderson, W., Anderson, B. (Eds), Atlas of canine anatomy. Lea and Febiger, Pennsylvania, E.U.A. pp. 817-1170.
- Añor, S. (2004) Monoparesis. En: Platt, S.R. y Olby, N.J. (Eds), BSAVA Manual of Canine and Feline Neurology. British Small Animal Veterinary Association, Gloucester, Inglaterra. pp. 265-279.
- Benigni, L., Corr, S.A., Lamb, C.R. (2007) Ultrasonographic assessment of the canine sciatic nerve. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 48; 428-433.
- Bennett, D. (1976) Anatomical and histological study of sciatic-nerve, relating to peripheral-nerve injuries in dog and cat. *Journal of Small Animal Practice* 17; 379-386.
- Bianchi, S. (2008) Ultrasound of the peripheral nerves. *Joint Bone Spine* 75; 643-649.
- Birnbaum, K., Prescher, A., Hessler, S. et al. (1997) The sensory innervation of the hip joint - An anatomical study. *Surgical and Radiologic Anatomy* 19; 371-375.
- Campoy, L. (2008) Fundamentals of regional Anesthesia using nerve stimulation in the dog. En: Gleed, R.D. y Ludders, J.W. (Eds). Recent advances in veterinary anesthesia and analgesia: companion animals. Ithaca, NY: International Veterinary Information Service, 2008, http://www.ivis.org/advances/Anesthesia_Gleed/campoy/chapter.asp?LA=1 (accessed 10 February 2011).
- Campoy, L., Bezuidenhout, A.J., Gleed, R.D. et al. (2010) Ultrasound-guided approach for axillary brachial plexus, femoral nerve, and sciatic nerve blocks in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia* 37; 144-153.
- Campoy, L., Martin-Flores, M., Looney, A.L. et al. (2008) Distribution of a lidocaine-methylene blue solution staining in brachial plexus, lumbar plexus and sciatic nerve blocks in the dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia* 35; 348-354.
- Campoy, L., Martin-Flores, M., Ludders, J.W. et al. (2012a) Comparison of bupivacaine femoral and sciatic nerve block versus bupivacaine and morphine epidural for stifle surgery in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia* 39; 91-98.
- Campoy, L., Martin-Flores, M., Ludders, J.W. et al. (2012b) Procedural sedation combined with locoregional anesthesia for orthopedic surgery of the pelvic limb in 10 dogs: case series. doi: 10.1111/j.1467-2995.2012.00712.x. Epub 2012 Mar 13.
- Capdevila, X., Macaire, P., Dadure, C. et al. (2002) Continuous psoas compartment block for postoperative analgesia after total hip arthroplasty: New landmarks, technical guidelines, and clinical evaluation. *Anesthesia and Analgesia* 94; 1606-1613.

- Casati, A., Baciarello, M., Di Cianni, S. et al. (2007) Effects of ultrasound guidance on the minimum effective anaesthetic volume required to block the femoral nerve. *British Journal of Anaesthesia* 98; 823-827.
- Chiou, H.E., Chou, Y.H., Cheng, S.P. et al. (1998) Cubital tunnel syndrome: Diagnosis by high-resolution ultrasonography. *Journal of Ultrasound in Medicine* 17; 643-648.
- Costa-Farre, C., Blanch, X.S., Cruz, J.I. et al. (2011) Ultrasound guidance for the performance of sciatic and saphenous nerve blocks in dogs. *Veterinary Journal* 187; 221-224.
- Court, M.H., Greenblatt, D.J. (2000) Molecular genetic basis for deficient acetaminophen glucuronidation by cats: UGT1A6 is a pseudogene, and evidence for reduced diversity of expressed hepatic UGT1A isoforms. *Pharmacogenetics* 10; 355-369.
- Court, M.H., Grenblatt, D.J. (1997) Molecular basis for deficient acetaminophen glucuronidation in cats. *Biochemical Pharmacology* 53; 1041-1047.
- Crouch, J. (1969) The nervous System. En: Crouch, J. (Ed), *Text-Atlas of Cat Anatomy*. Lea y Febiger, Philadelphia, E.U.A. pp. 267-285.
- Dyce, K., Sack, W., Wensing, C. (2010) The Nervous System. En: Dyce, K., Sack, W. y Wensing, C. (Eds), *Textbook of veterinary anatomy*. Cuarta Edición. Saunders, St. Louis Missouri. E.U.A. pp. 255-327.
- Echeverry, D.F., Gil, F., Laredo, F. et al. (2010) Ultrasound-guided block of the sciatic and femoral nerves in dogs: A descriptive study. *Veterinary Journal* 186; 210-215.
- Echeverry, D.F., Laredo, F.G., Gil, F. et al. (2012) Ventral ultrasound-guided suprainguinal approach to block the femoral nerve in the dog. *The Veterinary Journal* 192; 333-337.
- Eichenberger, U., Stockli, S., Marhofer, P. et al. (2009) Minimal Local Anesthetic Volume for Peripheral Nerve Block: A New Ultrasound-Guided, Nerve Dimension-Based Method. *Regional Anesthesia and Pain Medicine* 34; 242-246.
- Enneking, F.K., Chan, V., Greger, J. et al. (2005) Lower-extremity peripheral nerve blockade: Essentials of our current understanding. *Regional Anesthesia and Pain Medicine* 30; 4-35.
- Forterre, F., Tomek, A., Rytz, U. et al. (2007) Iatrogenic sciatic nerve injury in eighteen dogs and nine cats (1997-2006). *Veterinary Surgery* 36; 464-471.
- Freeman, M.A., Wyke, B. (1967) The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat. *Journal of Anatomy* 101; 505-532.

- Getty, R. (2002) Corazón y arterias de los carnívoros. En: Sisson, S. y Grossman, J.D. (Eds), *Anatomía de los animales domésticos*, Tomo II. Quinta Edición. Masson, S.A., Barcelona, España. pp. 1746-1759.
- Ghosal, N. (2002) Neurología de los carnívoros: Nervios espinales. En: Sisson, S. y Grossman, J.D. (Eds), *Anatomía de los animales domésticos Tomo II*. Quinta Edición. Masson, S.A., Barcelona, España. pp. 1862-1886.
- Gray, A.T., Collins, A.B., Schafhalter-Zoppoth, I. (2004) An introduction to femoral nerve and associated lumbar plexus nerve blocks under ultrasonic guidance. *Techniques in Regional Anesthesia and Pain Management* 8; 155-163.
- Gruber, H., Peer, S., Kovacs, P. et al. (2003) The ultrasonographic appearance of the femoral nerve and cases of iatrogenic impairment. *Journal of Ultrasound in Medicine* 22; 163-172.
- Hellyer, P., Rodan, I., Brunt, J. et al. (2007) AAHA/AAFP pain management guidelines for dogs and cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 9; 466-480.
- Hudson, L. (1993) Nervous system. En: Hudson, L.C. y Hamilton W.P. (Eds), *Atlas of feline anatomy for veterinarians*. Primera edición. W.B. Saunders Company, Philadelphia, Pennsylvania. E.U.A. pp. 189-226.
- Kitchell, R., Evans, H. (1993) The spinal nerves. En: Evans H (Ed), *Evans Miller's Anatomy of the dog*. (Tercera edición). W.B. Saunders, Philadelphia, E.U.A. pp. 829-893.
- Kumar, P.A., Gentry, W.B., Arora, H. (2007) Ultrasound guidance in regional anaesthesia. *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology* 23; 121-128.
- Lamont, L.A. (2002) Feline perioperative pain management. *Veterinary Clinics of North America-Small Animal Practice* 32; 747-763.
- Lamont, L.A., Tranquilli, W.J., Grimm, K.A. (2000) Physiology of pain. *Veterinary Clinics of North America-Small Animal Practice* 30; 703-728.
- Lemke, K.A. (2004) Understanding the pathophysiology of perioperative pain. *Canadian Veterinary Journal* 45; 405-413.
- Mach, D.B., Rogers, S.D., Sabino, M.C. et al. (2002) Origins of skeletal pain: Sensory and sympathetic innervation of the mouse femur. *Neuroscience* 113; 155-166.
- Mahler, S.P., Adogwa, A.O. (2008) Anatomical and experimental studies of brachial plexus, sciatic, and femoral nerve-location using peripheral nerve stimulation in the dog. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia* 35; 80-89.

- Mannion, S., Barrett, J., Kelly, D. et al. (2005) A description of the spread of injectate after psoas compartment block using magnetic resonance imaging. *Regional Anesthesia and Pain Medicine* 30; 567-571.
- Marhofer, P., Greher, M., Kapral, S. (2005) Ultrasound guidance in regional anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia* 94; 7-17.
- Marhofer, P., Harrop-Griffiths, W., Kettner, S.C. et al. (2010) Fifteen years of ultrasound guidance in regional anaesthesia: Part 1. *British Journal of Anaesthesia* 104; 538-546.
- Mathews, K.A. (2008) Pain management for the pregnant, lactating, and neonatal to pediatric cat and dog. *Veterinary Clinics of North America-Small Animal Practice* 38; 1291-1308.
- Meintjes, R.A. (2012) An overview of the physiology of pain for the veterinarian. *The Veterinary Journal* 193; 344-348.
- Moffat, R., Rae, C.P. (2011) Anatomy, physiology and pharmacology of pain. *Anaesthesia and Intensive Care Medicine* 12; 12-15.
- O'Connor, B.L., Woodbury, P. (1982) The primary articular nerves to the dog knee. *Journal of Anatomy* 134; 563-572.
- Oberndorfer, U., Marhofer, P., Bosenberg, A. et al. (2007) Ultrasonographic guidance for sciatic and femoral nerve blocks in children. *British Journal of Anaesthesia* 98; 797-801.
- Raymond, S.A., Steffensen, S.C., Gugin, L.D. et al. (1989) The role of length of nerve exposed to local anesthetics in impulse blocking action. *Anesthesia and Analgesia* 68; 563-570.
- Robertson, S.A. (2008) Managing pain in feline patients. *Veterinary Clinics of North America - Small Animal Practice* 38; 1267-1290.
- Robertson, S.A., Taylor, P.M. (2004) Pain management in cats - past, present and future. Part 2. Treatment of pain - clinical pharmacology. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 6; 321-333.
- Sandoval, J. (1994) Sistemas neuromusculares del miembro pelviano y plexo lumbosacro. En: Sandoval, J (Ed.). *Aparato locomotor*, Tomo II. SORLES, León, España. pp. 217-256.
- Seiferle, E. (1988) Sistema nervoso periférico. En: Nickel, R., Schumer, A., Seiferle, E. (Eds) *Tratato di anatomia degli animali domestici*, Casa Editrice Ambrosiana Milano, Milano. Italia. pp. 200-261.

- Shilo, Y., Pascoe, P.J., Cissell, D. et al. (2010) Ultrasound-guided nerve blocks of the pelvic limb in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia* 37; 460-470.
- Short, C.E. (1998) Fundamentals of pain perception in animals. *Applied Animal Behaviour Science* 59; 125-133.
- Siddaiah, N.B., Sardesai, A. (2009) Role of ultrasound in modern day regional anaesthesia. *Current Anaesthesia and Critical Care* 20; 71-73.
- Silvestri, E., Martinoli, C., Derchi, L.E. et al. (1995) Echotexture of peripheral-nerves - correlating between US and histologic-findings and criteria to differentiate tendons. *Radiology* 197; 291-296.
- Skarda, R.T., Tranquilli, W.J. (2007) Local Anesthetics. En: Tranquilli, W.J., Thurmon, J.C. y Grimm, K.A. (Eds), *Lumb and Jones' Veterinary Anesthesia and Analgesia*. Cuarta Edición. Blackwell Publishing, Iowa, E.U.A. pp. 395-418.
- Stuart, R.M., Koh, E.S.C., Breidahl, W.H. (2004) Sonography of peripheral nerve pathology. *American Journal of Roentgenology* 182; 123-129.
- Szucs, S., Morau, D., Iohom, G. (2010) Femoral nerve blockade. *Medical ultrasonography* 12; 139-144.
- Taylor, P.M., Robertson, S.A. (2004) Pain management in cats - past, present and future. Part 1. The cat is unique. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 6; 313-320.
- Tokunaga, J. (1967) The innervation of the diaphysis of the cat tibia. *Journal of Anatomy* 101; 125-136.
- Valverde, A. (2008) Epidural Analgesia and Anesthesia in Dogs and Cats. *Veterinary Clinics of North America-Small Animal Practice* 38; 1205-1230.
- Walid, M.S., Donahue, S.N., Darmohray, D.M. et al. (2008) The Fifth Vital Sign—What Does It Mean? *Pain Practice* 8; 417-422.
- Williams, P., Warnick, R. (1985) Osteología: tejidos conectivos esqueléticos. En: Williams, P., Warnick, R. (Eds.) *Grey Anatomía*, Tomo I. (Treinta y seis Edición), Salvat Editores, Barcelona, España. pp. 271-297.
- Wright, B.D. (2002) Clinical pain management techniques for cats. *Clinical Techniques in Small Animal Practice* 17; 151-157.

9. APÉNDICE

ÍNDICE DE IMPACTO

Journal of Feline Medicine and Surgery



ISI Web of KnowledgeSM

Journal Citation Reports[®]

Abbreviated Journal Title (linked to journal information)	ISSN	JCR Data ⁱ⁾						Eigenfactor [®] Metrics ^{j)}	
		Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Articles	Cited Half-life	Eigenfactor [®] Score	Article Influence [®] Score
J FELINE MED SURG	1098-612X	1139	1.380	1.486	0.288	139	4.2	0.00309	0.337

