



Facultad de Veterinaria

Trabajo de
Fin de Grado

Tratamientos actuales y en desarrollo de las lesiones medulares agudas en el perro

Rocío Bermejo Bermejo

Grado en Veterinaria
Año 2021

Modalidad del Trabajo: Revisión bibliográfica

Licencia

Excepto donde se haga constar explícitamente, esta obra pertenece a Rocío Bermejo Bermejo y está bajo una licencia de “Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional”. Se puede acceder a una copia de la licencia del documento en el siguiente enlace:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



RESUMEN

La lesión medular aguda es un problema muy común en la medicina veterinaria. Puede provocar daños tanto completos como incompletos en la médula espinal, llegando incluso a producir déficits neurológicos permanentes que afectan a distintas funciones corporales. En muchas ocasiones puede suponer un reto para los veterinarios clínicos.

Su etiología es multifactorial, por lo que en el presente trabajo se tratarán las prevalencias y características particulares de aquellas que son más comunes en la clínica de pequeños animales, concretamente en cánidos. Además, se pretende hacer una revisión y actualización de su diagnóstico y tratamiento desde el punto de vista médico y quirúrgico, enfocándonos en el empleo de células madre, que pueden ser de gran importancia en el futuro.

Palabras clave: lesión medular aguda, perro, hernia discal, traumatismo, embolismo fibrocartilaginoso, descompresión, células madre.

RESUMO

A lesión medular aguda é un problema moi común na medicina veterinaria. Pode provocar danos tanto completos como incompletos na medula espiñal, chegando incluso a producir déficits neurolóxicos permanentes que afectan a distintas funcións corporais. En moitas ocasións pode supoñer un reto para os veterinarios clínicos.

A súa etioloxía é multifactorial, polo que no presente traballo trátanse as prevalencias e características particulares daquelas que son máis comúns na clínica de pequenos animais, concretamente en cánidos. Ademais, preténdese facer unha revisión e actualización da súa diagnose e tratamento desde o punto de vista médico e cirúrxico, enfocándonos no emprego de células nai, que poden ser de gran importancia no futuro.

Palabras chave: lesión medular aguda, can, hernia discal, traumatismo, embolismo, fibrocartilaxinoso, descompresión, células nai.

ABSTRACT

Acute spinal cord injury is a very common problem in veterinary medicine. It can cause both complete and incomplete damage to the spinal cord, even leading to permanent neurological deficits affecting various bodily functions. It can often be a challenge for veterinary clinicians. Its etiology is multifactorial, so this paper will discuss the prevalence and particular characteristics of those that are most common in the small animal clinic, specifically in canids. In addition, we intend to review and update its diagnosis and treatment from the medical and surgical point of view, focusing on the use of stem cells, which may be of great importance in the future.

Keywords: acute spinal cord injury, dog, intervertebral disc extrusion, trauma, fibrocartilaginous embolism, decompression, stem cells.

ÍNDICE

1. ABREVIATURAS.....	6
2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	7
3. MATERIAL Y MÉTODOS	8
4. EXPOSICIÓN DEL TEMA.....	9
4.1. RECUERDO ANATÓMICO Y FUNCIONAL DE LA MÉDULA ESPINAL Y ESTRUCTURAS ASOCIADAS.	9
4.2. ETIOLOGÍA Y PREVALENCIA.....	11
4.2.1. Enfermedad discal (ED) y hernia discal aguda.....	12
4.2.2. Traumatismos.....	15
4.2.3. Mielopatía isquémica o embolismo fibrocartilaginoso.....	16
4.3. FISIOPATOLOGÍA.....	17
4.4. SIGNOS CLÍNICOS Y DIAGNÓSTICO.....	18
4.4.1. Exploración general y neurológica.	19
4.4.2. Localización de la lesión medular.	20
4.4.3. Diagnóstico por imagen.	21
4.5. TRATAMIENTO Y PRONÓSTICO.....	22
4.5.1. Tratamientos específicos.....	22
4.5.1.1. Hernias discales.....	22
4.5.1.2. Traumatismos.....	31
4.5.1.3. Embolismo fibrocartilaginoso.....	36
4.5.2. Tratamiento de soporte.....	37
4.6. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO: EMPLEO DE CÉLULAS MADRE.	38
4.6.1. Modelos animales	38
4.6.2. Definición y tipos de células madre.....	39
4.6.3. Estudios realizados y resultados.	40
5. CONCLUSIONES.....	43
6. BIBLIOGRAFÍA.....	44

1. ABREVIATURAS

ANNPE: Acute noncompressive nucleus pulposus extrusión o extrusión aguda no compresiva del núcleo pulposo.

ASCs: células madre de individuos adultos.

CM: Células madre.

DIV: Disco intervertebral.

ED: Enfermedad discal.

EMC: Espondilomielopatía cervical.

ESCs: células madre embrionarias.

HNPE: Hydrated nucleus pulposus extrusión o extrusión aguda compresiva del núcleo pulposo.

iPSCs: células madre pluripotentes inducidas.

LM: Lesión medular.

LMs: Lesiones medulares.

LMA: Lesión medular aguda.

LMAs: Lesiones medulares agudas.

ME: Médula espinal.

MSCs: células madre mesenquimales.

NMS: Neurona motora superior.

NMI: Neurona motora inferior.

PMMA: Polimetilmetacrilato.

RM: Resonancia magnética

TAC: Tomografía computerizada

2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La lesión medular aguda (LMA) es un problema muy común en medicina veterinaria que provoca daños completos o incompletos en la médula espinal (Park et al., 2012). Puede llegar a producir déficits neurológicos permanentes, afectando tanto a las funciones motoras y sensoriales como a las autónomas (Olby, 2010). A pesar de ser una patología común en animales domésticos, se desconoce cuál es la incidencia general exacta de las lesiones medulares (LM) en perros y gatos (Besalti et al., 2016; Jeffery et al., 2006; Webb et al., 2010).

Al igual que todas las enfermedades neurológicas, tanto el diagnóstico como el tratamiento suponen un auténtico reto para los clínicos veterinarios (Jones & Shiel, 2010). A pesar de las diferentes opciones de tratamiento para las LMAs, en muchos casos no se llegan a conseguir buenos resultados, llegando incluso a ser sacrificados un gran porcentaje de los animales afectados (Park et al., 2012).

La finalidad de este trabajo fue realizar una revisión bibliográfica en la que se profundizara en el conocimiento actual sobre las LMAs mediante el abordaje de su etiología, fisiopatología, presentación clínica, forma de diagnóstico y pronóstico.

Además, el trabajo se enfoca en nuevas formas de tratamiento en el perro, centrándonos en el empleo de células madre por dos motivos: por una parte, es un tratamiento interesante para nuestros pacientes que puede ser de gran utilidad en un futuro; por otro lado, al ser también una patología de consecuencias fatales en la medicina humana, los perros se ven como un modelo adecuado de estudio, suponiendo los resultados del estudio un beneficio para ambas ramas de las ciencias de la salud (Granger & Carwardine, 2014; Jeffery et al., 2006; Webb et al., 2010).

Por todo ello, los principales objetivos son:

- Obtener conocimientos sobre las diferentes etiologías que provocan esta patología y sus causas predisponentes, así como su presentación clínica o sintomatología asociada.
- Aprender el protocolo diagnóstico ante la llegada de una urgencia a la clínica u hospital veterinario.
- Analizar y conocer los tratamientos actuales y aquellos en desarrollo tales como las células madre. Así mismo se estudiará el pronóstico de la enfermedad.
- Introducción a los modelos animales de esta patología en ensayos preclínicos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo presentado consiste en una revisión bibliográfica para el cual fue necesario realizar una exhaustiva búsqueda en distintos medios con el fin de encontrar fuentes de la mayor fiabilidad y veracidad posible.

Para ello, en primer lugar se emplearon distintas plataformas virtuales que permitieran encontrar artículos e incluso libros y revistas relacionados con el tema planteado. Las páginas de búsqueda mencionadas se corresponden con algunos de los recursos aportados por las bases de datos de la Universidad de Santiago de Compostela, tales como Medline, Dialnet y Google Académico, además de utilizar Pubmed, Scopus y la plataforma de conocimiento científico de AVEPA.

Inicialmente la búsqueda realizada en todas ellas fue de carácter general, empleando las palabras clave “Spinal cord injury + dog”, “Spinal cord injury + veterinary science” y “Spinal cord injury + dog + veterinary medicine” para evitar documentos exclusivos de la medicina humana, obteniendo 804, 306 y 203 resultados respectivamente. Debido al gran número de artículos encontrados, en primer lugar se filtró la búsqueda para obtener resultados no más antiguos que el 2009, ampliando el rango en algunos casos excepcionales en los que se consideró necesario. De esta forma se consiguió disminuir el total de artículos a 333, 242 y 159 respectivamente, dándole prioridad a los más recientes (año 2020).

Gracias a la información ya obtenida, más adelante se redujo notablemente el campo de búsqueda con las palabras clave “Acute spinal cord injury + dog”, “Acute spinal cord injury + dog + emergencies”, “Acute spinal cord injury + dog + epidemiology”, “Intervertebral disc disease + dog”, “Spinal cord injury + pathophysiology + dog”, “Acute spinal cord injury + dog + diagnosis”, “Acute spinal cord injury + dog + prevalence”, “Spinal cord injury + incidence”, “Acute spinal cord injury + dog + treatment”, “Stem cells + acute spinal cord injury + dog”, “Fibrocartilaginous embolism + dog” y “Animal models + spinal cord injury”, empleadas para la localización de artículos científicos que aportaran un enfoque específico de los distintos apartados a desarrollar.

Además se consultaron varios libros en formato físico relacionados tanto con la cirugía como la medicina interna veterinarias, la mayoría obtenidos en la biblioteca Intercentros de la USC tras la búsqueda previa en el catálogo IACOBUS, y otros de carácter propio.

4. EXPOSICIÓN DEL TEMA

4.1. RECUERDO ANATÓMICO Y FUNCIONAL DE LA MÉDULA ESPINAL Y ESTRUCTURAS ASOCIADAS.

La médula espinal constituye, junto con el cerebro, el sistema nervioso central. Se trata de un órgano situado en el interior del canal vertebral que inerva el cuello, el tronco, la cola, las extremidades y las superficies caudal y dorsal de la cabeza de los animales a través de los nervios y raíces espinales dorsales y ventrales, componentes del sistema nervioso periférico. Además, dentro del canal vertebral encontramos las meninges (duramadre, piamadre y aracnoides) envolviendo a la médula espinal y a las raíces espinales, actuando como tres capas protectoras (Fletcher, 2013).

Por el interior de la ME transcurre longitudinalmente un canal conocido como canal central, el cual contiene líquido cefalorraquídeo. Este canal se ensancha en su parte más caudal para dar lugar al ventrículo terminal. Como núcleo de la ME encontramos la sustancia gris, componente que rodea el canal central y que está constituido por cuerpos celulares, procesos neuronales y células de glía. Finalmente, en su superficie, la ME presenta la sustancia blanca constituida por axones (mielinizados y no mielinizados), oligodendrocitos y astrocitos (Fletcher, 2013).

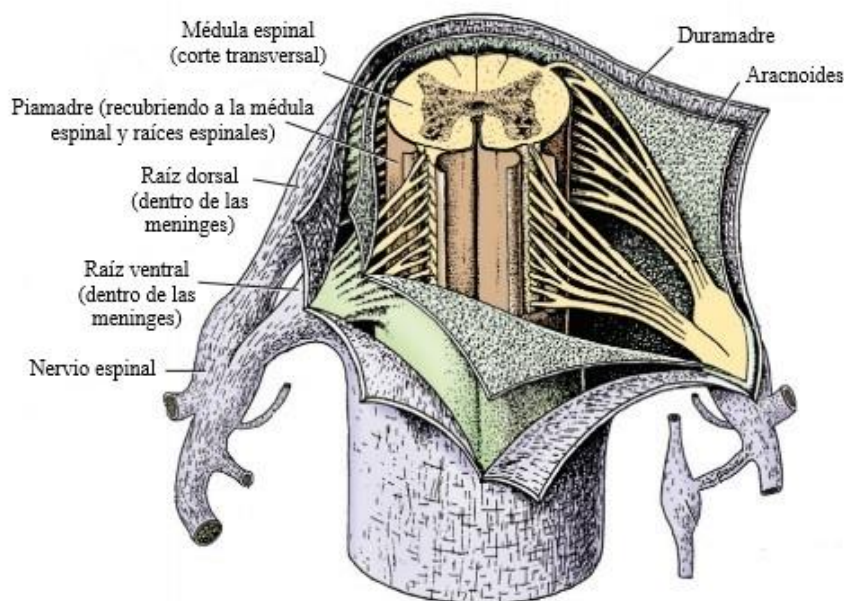


Figura 1: Esquema de la médula espinal con sus componentes (Evans & de Lahunta, 2013).

Como protección, la ME se encuentra rodeada de la columna vertebral, que consiste en un conjunto de 50 huesos conocidos como vértebras, las cuales se pueden dividir en 5 grupos: cervicales, torácicas, lumbares, caudales y sacras. Cada una de ellas está formada por un cuerpo, un arco vertebral y varios procesos (transversos, espinosos, articulares, accesorios y mamilares) que permiten las conexiones articulares o musculares (Evans & de Lahunta, 2013).

Entre las vértebras se sitúan los discos intervertebrales, excepto entre C1-C2 y las vértebras sacras fusionadas. Se trata de estructuras fibrocartilaginosas compuestas por dos partes. El centro de este constituye el núcleo pulposo, formado por un material de consistencia gelatinosa, que está rodeado por múltiples láminas de tejido fibroso muy organizado conocido como anillo fibroso. Este último se une estrechamente a las vértebras que le rodean, de forma que evita que el núcleo pulposo salga de su ubicación. Además, cada disco está unido craneal y caudalmente por placas vertebrales terminales de cartílago hialino, y ventral y dorsalmente por ligamentos longitudinales (Brisson, 2010; Fletcher, 2013).

Solo las capas más externas del anillo fibroso tienen vasos sanguíneos, el resto de los anillos y el núcleo pulposo son avasculares (Brisson, 2010). En un estudio realizado por Brunner y Frewein (1989) se descubrió que la principal fuente de sangre del núcleo pulposo procedía de bucles procedentes de la médula ósea de la vertebra, que llegaba a través de la placa terminal de la misma (citado por Bezuidenhout, 2013a).

Teniendo en cuenta que la ME se extiende desde el límite caudal del tallo cerebral, situado a la altura del agujero magno del cráneo, hasta la sexta vértebra lumbar (L6) en la mayoría de los perros, podemos dividirla en distintos segmentos atendiendo al punto de inserción de las raíces espinales (Wheeler & Sharp, 1994): 8 cervicales, 13 torácicos, 7 lumbares, 3 sacros y 2 caudales. Además, funcionalmente podemos clasificarla en 4 regiones teniendo en cuenta los segmentos mencionados: craneocervical (C1-C5), cervicotorácica (C6-T2), toracolumbar (T3-L3) y lumbosacra (L4-S3/caudal). Es importante tener en cuenta que estas regiones se establecieron en base a los signos clínicos, por lo que ningún hallazgo del examen neurológico es patognomónico de una región concreta (Schatzberg & Haley, 2018).

En cuanto a su irrigación, la región cervical se suple a partir de ramas de la arteria vertebral, una rama de la subclavia. A partir de la arteria vertebral surgen las primeras 7 ramas espinales cervicales que se introducen por cada foramen intervertebral, para posteriormente perforar la duramadre y la aracnoides hasta llegar al espacio subaracnoideo. Aquí, cada una de ellas se divide en una rama dorsal y otra ventral. Las ramas ventrales continúan hasta alcanzar la fisura mediana ventral de la médula espinal, donde se unen para dar lugar a la arteria espinal ventral. La arteria espinal ventral será la que irrigue la sustancia gris, mientras que las ramas dorsales de las arterias espinales anteriormente mencionadas serán las que suplan a la sustancia blanca (Bezuidenhout, 2013a).

La distribución de la región torácica es similar, siendo en este caso las ramas dorsales de la arteria dorsal intercostal (rama parietal de la aorta torácica) las que dan origen a las ramas espinales que

irrigarán la médula espinal de la misma manera que se describió en el párrafo anterior (Bezuidenhout, 2013a).

Por su parte, la región lumbar y sacra está irrigada a partir de las ramas parietales de la aorta abdominal: las arterias lumbares y las sacras mediales y caudales. Las arterias lumbares recorren las vértebras dorsalmente y dan lugar a las ramas espinales, como en los casos anteriores siguiendo el mismo recorrido. Lo mismo pasa con las arterias sacras mediales y caudales, que dan lugar a las ramas espinales que irrigan las últimas vértebras (Bezuidenhout, 2013a).

El sistema venoso vertebral constituye una ruta alternativa para el retorno venoso del cuerpo al corazón. Se trata de un sistema complejo que está formado por componentes internos y externos. El plexo venoso vertebral interno se encuentra dentro del canal vertebral rodeando a la médula espinal, cuyo componente más largo es el plexo venoso vertebral interno ventral. Este drena lateralmente a través de las venas intervertebrales, y ventralmente por las venas basivertebrales. Por su parte, el plexo vertebral externo se desarrolla dorsalmente (Bezuidenhout, 2013b).

La ME tiene diversas funciones principales. Por una parte, se encarga de procesar la información aferente procedente de los músculos, tendones, articulaciones, ligamentos, vasos sanguíneos, piel y vísceras, así como de liberar las órdenes eferentes que controlan los músculos y regulan las glándulas, lo cual consigue a través de las conexiones de los nervios espinales. También se trata de un centro reflejo que produce las respuestas subconscientes a un estímulo determinado, tanto en los músculos como en las glándulas. Finalmente, conduce la información que llega al cerebro y que parte de él, permitiendo que reciba información sobre el estado de todas las partes corporales inervadas a la vez que establece órdenes que controlan la postura y el movimiento (Fletcher, 2013).

4.2. ETIOLOGÍA Y PREVALENCIA.

Existen diversas causas que pueden dar origen a las LMs en perros: congénitas, traumáticas, vasculares, degenerativas, neoplásicas e infecciosas. Sin embargo, entre aquellas que provocan el proceso de manera aguda, las más comunes por orden de incidencia son: las hernias discales agudas (traumática y degenerativa), los traumatismos (traumática) y el embolismo fibrocartilaginoso (vascular) (Moeser & Vite, 2012; Olby, 2010; Taylor, 2020). El porcentaje exacto de incidencia no está claro, y existen variaciones entre los distintos autores.

Por una parte, en un estudio llevado a cabo en el Hospital Docente de Pequeños Animales de la Facultad de Veterinaria, en la Universidad de Berna (Suiza) entre 1989 y 2000 sobre pequeños animales que habían sufrido un traumatismo cerrado, se estimó que el 9% de los perros diagnosticados con una enfermedad neurológica padecían LMA secundaria a éste (citado por Fluehmann et al., 2006 y Difacio & Fletcher, 2013).

Por otro lado, Web et al. (2010) aporta datos sobre la incidencia aproximada de distintas etiologías de la LM, siendo la enfermedad intervertebral discal la más común con más del 2% de los todos los casos. Además, se estimó que, del resto de etiologías, el 60% de los perros con LM fueron causadas por accidentes de tráfico.

Estos datos se corresponden con estudios antiguos. Sin embargo, no se han encontrado datos más actuales con respecto a la incidencia general de la enfermedad.

4.2.1. Enfermedad discal (ED) y hernia discal aguda.

Esta enfermedad está ligada a la degeneración normal de los discos intervertebrales (DIV) que se produce por la edad, siendo el núcleo del mismo reemplazado por tejido fibrocartilaginoso de forma gradual (Taylor, 2020). Como se mencionó anteriormente, varios autores coinciden en que se trata de la principal causa de las LMs (más del 34% en algunos hospitales), por lo que se ha buscado durante muchos años la forma de comprender y describir este trastorno (Brisson, 2010; Granger & Carwardine, 2014).

Determinadas razas están especialmente predispuestas a padecer la patología tratada, siendo el Teckel el más propenso de todos (12,6 veces más que otros perros). De hecho, se espera que el 19-24% de los conocidos como “perros salchicha” padezcan signos clínicos relacionados con hernias discales en algún momento de su vida, suponiendo un 45-73% del total de los casos de extrusión aguda canina. Después de éste, encontramos como razas más predispuestas al Pequinés (10,3 veces más), Beagle (6,4 veces más) y Cocker Spaniel (2,6 veces más) (Brisson, 2010).

Los autores coinciden en que existen distintas clasificaciones para esta patología atendiendo a diferentes criterios.

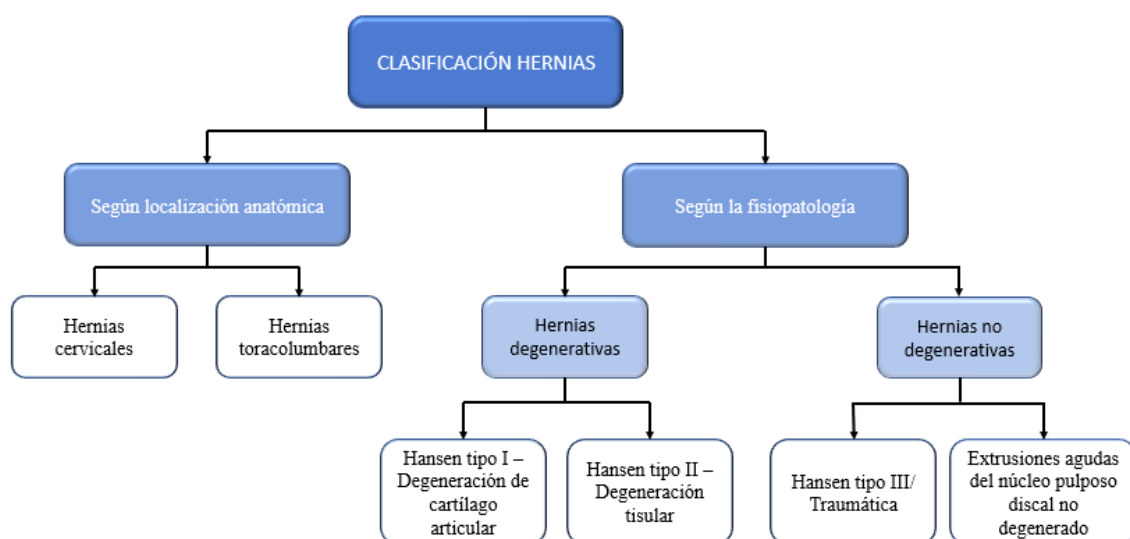


Figura 2: Esquema clasificación hernias.

Por una parte, se puede diferenciar entre dos tipos de degeneración/hernias discales en perros, ya que están íntimamente relacionadas:

- **Hansen tipo I:** el núcleo del DIV sufre una degeneración del cartílago articular que se caracteriza por un descenso progresivo del contenido de proteoglicanos, produciéndose como consecuencia la deshidratación y mineralización del mismo. Por ello pierde su capacidad para soportar la presión de manera equitativa, dando lugar a una degeneración secundaria y la rotura del anillo fibroso. Aunque la degeneración es de tipo crónica, cuando el DIV es sometido a mayor estrés o presión tiene lugar la extrusión del núcleo pulposo, proceso que provoca los síntomas de forma aguda (Olby & Jeffery, 2018). Por lo tanto, serán las hernias en las que se centrará el presente trabajo durante los siguientes apartados.

En cuanto a la edad de aparición, la degeneración Hansen tipo I tiene su origen en animales jóvenes, incluso a los 12 meses de edad. Sin embargo, los signos clínicos no son evidentes hasta los 5-8 años de edad (Olby & Jeffery, 2018).

Este tipo de hernias se dan principalmente en razas condrodistróficas y especialmente en aquellas de pequeño tamaño como el Teckel, el Pekinés, el Bulldog Francés y el Cocker Spaniel. No obstante, en las extrusiones agudas, las razas de tamaño grande de mediana edad o mayores también pueden verse afectadas, sobre todo el Basset Hound, Labrador Retriever, Dálmatas, Shar Pei, Border Collie, Rottweiler, Doberman Pinscher con EMC caudal y Pastor Alemán (Olby & Jeffery, 2018; Taylor, 2020).

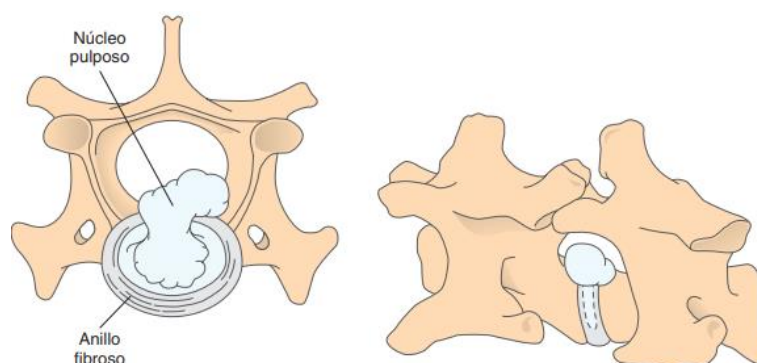


Figura 3: Esquema hernia Hansen tipo I (Seim, 2009).

- **Hansen tipo II:** en este caso el núcleo se deshidrata progresivamente y es reemplazado por tejido fibrinoide, transfiriendo mayor estrés al anillo discal. A causa de esto el anillo se desgasta con el tiempo, lo cual lleva a la rotura de sus fibras durante meses o incluso años. Este defecto permite al núcleo protruirse a través de la cara dorsal del anillo, comprimiendo la médula espinal. Se trata de una degeneración de tipo fibrinoide.

Están predispuestas a este tipo de degeneración principalmente los perros no osteodistróficos de razas grandes como el Pastor Alemán, aunque también es común en razas de pequeño tamaño como el Chihuahua o el Yorkshire Terrier. A diferencia del anterior, la degeneración, independientemente de la presencia o no de signos clínicos, se hace evidente en animales de mediana edad (8 años) (Olby & Jeffery, 2018).

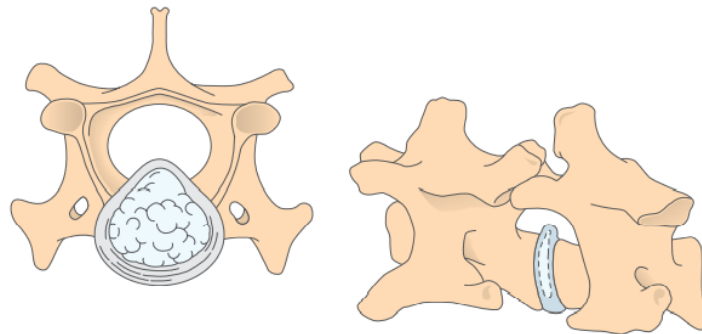


Figura 4: Esquema hernia Hansen tipo II (Seim, 2009).

Por otra parte, también se puede clasificar la enfermedad discal atendiendo a su localización anatómica según indican Casimiro da Costa & Platt (2017) y Seim (2009):

- **Enfermedad discal cervical:** también conocida como desplazamiento discal, o extrusión discal cervical. Se estima que constituyen el 14-25% de las extrusiones de DIV de los perros, de las cuales el 80% se dan en el Teckel, el Beagle y el Caniche. El principal lugar de aparición de las hernias cervicales es entre C2 y C4 (80% de los casos), disminuyendo su incidencia desde esta última hasta la primera torácica (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Seim, 2009).

Concretamente, los estudios indican que los perros de raza Beagle poseen una probabilidad 10 veces mayor de padecer hernia discal cervical que hernia discal toracolumbar (Brisson, 2010).

Se da principalmente en perros de edad mediana (4-9 años) y, al igual que las Hansen tipo I, en razas condrodistróficas y de pequeño tamaño. Sin embargo, razas de otros tamaños y perros no condrodistróficos también pueden padecerla, siendo la prevalencia de razas grandes de más del 24% de los casos (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Seim, 2009).

- **Enfermedad discal toracolumbar:** es la principal etiología de disfunción neurológica en la clínica de pequeños animales y la principal localización de hernias discales en el perro. La localización más frecuente son los DIV que se encuentran entre la T11 y la segunda vértebra lumbar, suponiendo un 65-75% de las extrusiones discales totales (Seim, 2009).

Además de las razas mencionadas en la enfermedad discal cervical, también están predispuestos el Pekinés, el Cocker Spaniel, el Shih tzu, el Lasa apso y el Corgi galés, aunque el más afectado es el Teckel. La gran mayoría de los casos (80%) se observan en animales de 3-7 años (Seim, 2009; Taylor, 2020).

Igualmente, los editores distinguen dentro de la clasificación anatómica entre Hansen tipo I y Hansen tipo II.

Finalmente se describen otros dos tipos de hernias discales que a menudo, debido a cierta nomenclatura, pueden confundirse. Se trata de las hernias discales **Hansen tipo III** o hernias traumáticas, las cuales serán tratadas en el apartado de traumatismos, y las extrusiones agudas del núcleo pulposo discal no degenerado, que pueden ser de carácter compresivo (**HNPE**) o no compresivo (**ANNPE**) (Beltrán, 2018; Moeser & Vite, 2012; Olby & Jeffery, 2018).

En las extrusiones agudas del núcleo pulposo no degenerado una parte del núcleo pulposo traspasa el anillo fibroso de manera abrupta hasta contactar con la ME. Esta situación podría darse debido a un aumento del estrés mecánico asociado a la actividad física (Beltrán, 2018; Moeser & Vite, 2012).

La diferencia fundamental que presentan estas dos últimas hernias con respecto a las descritas previamente es que se tratan de hernias no degenerativas.

4.2.2. Traumatismos

Constituyen la segunda causa principal de LMA de los cánidos, en la que destacan los atropellos o accidentes de tráfico, seguidos por las heridas de bala (Granger & Carwardine, 2014; Moeser & Vite, 2012). Los traumatismos neurológicos, tanto las lesiones cerebrales traumáticas como las lesiones espinales agudas, constituyen una importante causa de morbilidad y mortalidad en la clínica veterinaria, siendo más propensos los animales jóvenes, especialmente los machos (DiFazio & Fletcher, 2013; Jeffery, 2017).

Las lesiones medulares en este caso se suelen producir como un daño secundario a otras patologías provocadas por el traumatismo, como fracturas o luxaciones vertebrales, hernias discales traumáticas, contusiones en el parénquima de la ME o hemorragias extra-axiales (DiFazio & Fletcher, 2013).

- **Fracturas vertebrales/luxaciones:** son dos causas importantes de inestabilidad de la columna vertebral y de LM en la clínica de pequeños animales. Como consecuencia de las alteraciones producidas por el traumatismo en el tejido óseo vertebral y en las estructuras de tejido blando asociado, se puede producir una compresión tanto de las

raíces nerviosas como de la ME, provocando la sintomatología correspondiente al daño (Seim, 2009; Weh & Kraus, 2018).

Al igual que las hernias discales, podemos clasificar las fracturas y luxaciones vertebrales en función de su localización anatómica en región cervical y región toracolumbar. Existen variaciones entre distintos autores sobre cuál es la zona de la columna vertebral comúnmente más afectada, aunque existen estudios que sugieren que es la región toracolumbar, seguida de la región lumbar (Seim, 2009; Weh & Kraus, 2018).

Según Seim (2009) en el caso de las fracturas y/o luxaciones cervicales se suele ver más afectada la zona craneal, especialmente entre la primera y la segunda vértebra cervicales (80%). Sin embargo, la columna toracolumbar es la región de mayor incidencia, produciéndose fracturas y/o luxaciones entre las vértebras T10-L2 en un 50% de los casos que llegan a los hospitales veterinarios por fracturas espinales. Finalmente, en la región lumbar, esta patología representa un 25-30% de todas las fracturas y luxaciones vertebrales (Jeffery, 2010).

- **Hernias discales traumáticas:** también conocida como Hansen tipo III o extrusión aguda no compresiva del núcleo pulposo, se trata de una variante de la hernia Hansen tipo I. En este caso un DIV que está sometido a una degeneración Hansen tipo I sufre una ruptura hiperaguda del anillo discal. Además, se caracteriza por la diseminación del núcleo calcificado en el interior del espacio epidural sobre un número elevado de vértebras, a menudo sin un gran centro de compresión de la médula espinal. Causadas principalmente como consecuencia de accidentes de tráfico (Olby & Jeffery, 2018; Webb et al., 2010).
- **Contusiones del parénquima medular:** podemos definir una contusión de la médula espinal como una hemorragia en el parénquima medular que tiene lugar principalmente de manera secundaria a otras etiologías de daño primario, como extrusión discal o heridas penetrantes (DiFazio & Fletcher, 2013).
- **Hemorragias extra-axiales:** son hemorragias que tienen lugar vía epidural o subdural que pueden causar compresión directa sobre la médula espinal, aunque también ha sido asociado como daño secundario provocado por extrusiones discales (DiFazio & Fletcher, 2013).

4.2.3. Mielopatía isquémica o embolismo fibrocartilaginoso.

Tiene lugar un infarto agudo y necrosis isquémica del parénquima medular, que ocurre como consecuencia de una oclusión de las arterias y venas que irrigan la médula espinal. Este bloqueo

es provocado por material fibrocartilaginoso, histológicamente idéntico al núcleo pulposo de los DIV, que emboliza en los vasos. Es considerada la causa más común de mielopatía isquémica en pequeños animales (Beltrán, 2018; Jeffery, 2017; Taylor, 2020; Yun et al., 2020).

El origen del material embolizado aún es desconocido. Sin embargo, existen varias teorías al respecto. Se propuso la penetración directa de fragmentos del núcleo pulposo en la vascularización de la médula espinal. Sin embargo, al no haber encontrado explicaciones sobre el lugar de procedencia, sigue siendo tan solo una teoría. Otras alternativas serían: la entrada del material a través de los vasos sanguíneos existentes en los DIV degenerados; se produce metaplasia condroide en las paredes de los vasos sanguíneos, desprendiéndose el material y provocando un trombo; remanentes embrionarios de vasos sanguíneos en el núcleo pulposo y; herniación mecánica del núcleo pulposo en los canales venosos sinusoidales de la médula ósea vertebral con entrada retrógrada en la vena basivertebral y en los plexos de las venas intervertebrales (Haley & Shchatzberg, 2018; Jeffery, 2017; Park et al., 2012).

Esta patología se da principalmente en perros de tamaño medio y grande, incluyéndose razas como el Labrador Retriever, Pastor Alemán y Bóxer. No obstante, también puede darse en razas de pequeño tamaño, entre las que destaca en frecuencia el Schnauzer Miniatura (Haley & Shchatzberg, 2018).

En cuanto a la edad, afecta sobre todo a animales adultos, pero también se han descrito casos en perros de hasta 2 meses (Haley & Shchatzberg, 2018).

4.3. FISIOPATOLOGÍA.

Como se mencionó anteriormente, la médula espinal puede verse dañada por distintas causas, siendo las traumáticas y las vasculares de mayor interés en el presente trabajo por ser las principales etiologías de las LMAs.

Las **LM traumáticas** surgen como consecuencia de traumatismos tanto endógenos (hernias discales) como exógenos (accidentes de tráfico). En estos casos se producen dos tipos de daños: lesión primaria y lesión secundaria (Olby & Jeffery, 2018; Webb et al., 2010).

Las *lesiones primarias* consisten en el daño físico o mecánico de diferentes estructuras (médula espinal, vértebras o estructuras de soporte) cuya gravedad varía en función de cada caso particular, desde lesiones mínimas (ejemplo: hernias discales) hasta la sección completa de la ME (ejemplo: algunas fracturas vertebrales desplazadas). Como resultado se produce la rotura de las membranas celulares, provocando hemorragia con la consecuente isquemia y lesión neuronal y glial generalizada (Olby, 2010; Olby & Jeffery, 2018).

El mencionado daño mecánico puede darse por distintas fuerzas que varían en función del autor. Las fuerzas comunes a todos ellos son la compresión y la laceración. Además, Branco et al. (2020) añaden la tracción, la transección y la flexión, mientras que DiFazio & Fletcher (2013) y Park et al. (2012) añaden la conmoción, el cizallamiento, la distracción y la concusión.

La compresión ejercida por las extrusiones discales o fragmentos de vértebras, por ejemplo, limitan el riego sanguíneo arterial y ocluye el drenaje venoso, provocando daños tanto en la mielina como en los axones. Además, la compresión constante que surge a raíz de las fracturas/luxaciones en la médula espinal y/o raíces nerviosas dan como consecuencia desmielinización, daño progresivo de los axones y destrucción tanto de las neuronas como de los axones (Jeffery, 2010; Olby, 2010).

Las *lesiones secundarias* surgen como consecuencia de las primarias, y consisten en un conjunto de cambios metabólicos y químicos en cadena que resultan en la muerte de células de la glía y células neuronales. Dentro de estos cambios o alteraciones provocados por las lesiones primarias podemos encontrar hemorragias, modificaciones rápidas de las concentraciones de iones, excitotoxicidad, producción de radicales libres e inflamación (Olby, 2010; Olby & Jeffery, 2018). Branco et al. (2020) dividen las lesiones secundarias en varias fases en función del tiempo transcurrido desde el traumatismo causante de los daños: inmediata (2 primeras horas), aguda (2-48 horas), subaguda (48 horas-14 días), intermedia (14 días-6 meses) y crónica (6 meses). Es importante tener en cuenta de cara al tratamiento que el daño que se produce como consecuencia de las lesiones secundarias suele ser más grave que el ocasionado por las primarias (Moeser & Vite, 2012).

Por otra parte, las **LM vasculares** incluyen las hemorragias y las obstrucciones de los vasos, y pueden causar isquemia e infartos en la región afectada. La principal causa de isquemia/infarto de la ME en perros, como fue comentado anteriormente, es el embolismo fibrocartilaginoso. Tanto Olby & Jeffery (2018) como De Risio & Platt (2010) coinciden en que el daño de la isquemia causada por la obstrucción arterial dan lugar a eventos metabólicos y bioquímicos secundarios que provocan la LM. A veces, si se trata de casos graves puede darse la muerte de las neuronas y células de la glía. La sustancia gris suele verse más afectada que la blanca debido a la mayor demanda metabólica por parte de esta (Olby & Jeffery, 2018; De Risio & Platt, 2010).

4.4. SIGNOS CLÍNICOS Y DIAGNÓSTICO.

Ambos apartados se tratarán de manera conjunta porque para diagnosticar el problema que causa los signos clínicos es necesario valorarlos en su conjunto e identificar previamente el lugar exacto de la lesión, que solo es posible mediante estos.

Cuando llega un paciente a consulta con signos neurológicos es muy importante establecer una buena historia clínica y anamnesis. Ciertos datos como el momento de aparición de los signos clínicos, su progresión o el hecho de haber padecido un accidente o traumatismo, por ejemplo, nos ayudarán a la hora de establecer un diagnóstico diferencial y a decidir qué pruebas realizar (Taylor, 2020).

4.4.1. Exploración general y neurológica.

Se debe realizar una exploración general (búsqueda de alteraciones asociadas) y neurológica, en la que se incluyen la valoración del estado mental, la postura, la marcha, las reacciones posturales, el tono muscular, los reflejos espinales, la propiocepción, la presencia o ausencia de dolor, el funcionamiento del tracto urinario y los nervios craneales. De esta manera se puede determinar la región neuroanatómica afectada: prosencéfalo, tronco encefálico medio-caudal, cerebelo, ME o sistema neuromuscular (Schatzberg, 2017; Taylor, 2020).

Una vez se llega a la conclusión de que la lesión se halla en la ME, se valoran las extremidades de manera independiente, para después identificar la localización aproximada de la LM. Para ello, primero es necesario conocer dos términos: NMI y NMS. Ambos son sistemas neuronales, eferente y aferente respectivamente (Taylor, 2020).

La NMI discurre por la ME a través de la sustancia gris, y permite la transmisión de las órdenes procedentes del SNC a los músculos/glándulas. Si este sistema se viera dañado por la lesión, aparecerían signos tales como paresia flácida o parálisis en el lugar de la lesión, disminución o ausencia del tono muscular y de los reflejos espinales, con atrofia rápida y grave de la musculatura. Además, al andar suelen dar pequeños pasos, llegando a perder la sensibilidad cutánea o en la/las extremidades afectadas en casos graves. Las reacciones posturales suelen permanecer normales (Taylor, 2020).

La NMS, por su parte, constituye un sistema motor que parte del cerebro, cuya función es lograr que el animal se mueva de manera adecuada, regular el tono muscular e impedir que surjan reflejos tendinosos (reflejo que se produce como respuesta a al estiramiento de un músculo esquelético). A diferencia del anterior, en la ME, este discurre a través de la sustancia blanca. Los déficits neurológicos causados por un fallo en la NMS medular se ven reflejados en las extremidades del mismo lado de la lesión. En función del lugar del daño medular, los signos clínicos tendrán lugar caudalmente a él. Estos se corresponden con: incapacidad para realizar movimientos voluntarios o movimiento tardío, mayor tono muscular durante la extensión, reflejos normales o aumentados, incoordinación motora, disminución de la sensibilidad cutánea (al igual que en la NMI) y déficits propioceptivos y nociceptivos caudales al lugar de la lesión (Taylor, 2020).

4.4.2. Localización de la lesión medular.

Tras conocer el tipo de cuadro clínico que presenta el paciente, se debe averiguar la localización aproximada de la lesión atendiendo a 4 segmentos medulares según recogen Schatzberg (2017) y Taylor (2020): C1-C5 (cuerpos vertebrales C1-C4), C6-T2 (cuerpos vertebrales C4-T2), T3-L3 (cuerpos vertebrales T2-L3) y L4-S3 (cuerpos vertebrales L3-L5). Los hallazgos anormales durante el examen físico característicos de cada segmento se recogen en la siguiente tabla, excepto los problemas vesicales, que son variables en todos ellos.

Localización de la lesión	Extremidades torácicas	Extremidades pélvicas	En lesiones graves
C1-C5	Paresia de NMS, déficit propioceptivo general.	Paresia de NMS, déficit propioceptivo general, reflejos espinales y tono muscular normal-aumentado.	Tetraplegia espástica, posibles complicaciones respiratorias, Síndrome de Horner.
C6-T2	Paresia de NMI (pasos cortos e intermitentes), reflejos de abstinencia y tono muscular disminuido.	Paresia de NMS, déficit propioceptivo general, pasos largos-zancadas, reflejos espinales y tono muscular normal-aumentados.	Paraplegia espástica, Schiff Sherrington (extremidades anteriores), posibles complicaciones respiratorias, Síndrome de Horner (T1-T3).
T3-L3	Normal.	Paresia de NMS, déficit propioceptivo general, pasos largos-zancadas, reflejos espinales y tono muscular normal-aumentados.	Paraplegia espástica, Schiff-Sherrington (extremidades anteriores), posibles signos de NMI paradójicos en extremidades posteriores.
L4-S3	Normal.	Paresia de NMI, pasos cortos e intermitentes, déficit propioceptivo general, reflejos patelares (L4-L6) o de abstinencia (L6-S1) reducidos.	Paraplegia flácida en extremidades posteriores, posibles ano y cola flácidos y sensación perineal reducida-ausente.

Tabla 1: Signos asociados a las LM clasificados en función de los segmentos espinales (Schatzberg, 2017).

Cuando las lesiones son graves, también se ven afectados la vejiga y el intestino, provocando incontinencia urinaria y fecal (Granger et al., 2020).

4.4.3. Diagnóstico por imagen.

El siguiente paso es la realización de pruebas complementarias, fundamentalmente técnicas de imagen, para diagnosticar la causa desencadenante y, en consecuencia, saber cuál es el tratamiento más adecuado. (Taylor, 2020)

Radiografías

Ayuda a diagnosticar o al menos a encaminar el diagnóstico de algunas de las etiologías más frecuentemente asociadas, como es el caso de las hernias. Cuando hay historia de traumatismos es especialmente importante ya que, además de identificar fracturas/luxaciones vertebrales, también permite localizar otras posibles afecciones secundarias al golpe como la presencia de derrame (seguramente hemorrágico), neumotórax, etc. Además sirve para identificar malformaciones anatómicas de las vértebras, discoespondilitis u otras patologías (Mai, 2018; Taylor, 2020).

Los signos radiográficos que nos indicarían la posible presencia de *extrusión discal* sería el estrechamiento del DIV y el desplazamiento dorsal de material discal mineralizado. No obstante, la confirmación diagnóstica debe realizarse mediante otras pruebas de imagen que, dentro de esta, podría ser la mielografía. Al introducir el contraste veríamos desviación ventral del mismo en el lugar de la lesión (Casimiro da Costa & Platt, 2017).

Si en la radiografía se visualizan *fracturas o luxaciones*, a la hora de valorar la posibilidad de aplicar un tratamiento quirúrgico debemos evaluar previamente su estabilidad mediante un sistema de compartimentos. Este consiste en la división figurada de la vértebra en tres secciones (dorsal, medio y ventral). En el compartimento dorsal se encuentran las facetas articulares, las láminas, los pedículos, los procesos espinosos y los ligamentos de soporte; el medio está constituido por el ligamento longitudinal dorsal, el anillo dorsal y la parte inferior del canal vertebral; y el compartimento ventral se compone del resto del cuerpo vertebral y del anillo, el núcleo pulposo y el ligamento longitudinal ventral. Si solo está afectado uno de los compartimentos se considera que la fractura es estable, pero cuando están dos o tres compartimentos afectados es inestable (Jeffery, 2017; Taylor, 2020).

El *embolismo fibrocartilaginoso* se suele diagnosticar a partir de la sintomatología y descarte de otras patologías, razón para la cual sirve esta prueba (Taylor, 2020).

TAC y RM

Son técnicas de imagen más avanzadas que permiten una mejor visualización de las estructuras. El TAC muestra de manera más precisa si existe una lesión contusiva y cuál es su lugar exacto, además de permitir confirmar la presencia de hernias discales. No obstante, la mejor técnica para visualizar las extrusiones de discos corresponde a la RM, que ofrece imágenes de alta resolución de una manera poco invasiva, mostrando también patologías tales como edema o hemorragias. Mediante TAC además se puede evaluar la estabilidad de las fracturas vertebrales (Casimiro da Costa & Platt, 2017).

4.5. TRATAMIENTO Y PRONÓSTICO.

Normalmente el tratamiento de las LMA en animales de compañía consiste en estabilizar al paciente tanto de forma física como médica y proceder a la descompresión temprana de la médula espinal, aunque aún no se ha llegado a demostrar su eficacia. No obstante, el tratamiento a seguir dependerá de la causa que provoca la lesión, de la sintomatología asociada y de la gravedad del caso (Granger & Carwardine, 2014).

Esto permite prevenir el daño provocado por las acciones contusivas derivadas de la causa de la lesión. Posteriormente se debería llevar a cabo un tratamiento de soporte dependiente de las lesiones de los pacientes y seguir una terapia de rehabilitación (Granger & Carwardine, 2014; Webb et al., 2010).

A continuación se recogen los distintos tratamientos indicados actualmente en la clínica de pequeños animales para cada una de las patologías descritas durante el presente trabajo, así como su pronóstico.

4.5.1. Tratamientos específicos

4.5.1.1. Hernias discales

El tratamiento de esta patología fue controvertido durante muchos años debido a dos razones. Por una parte, está la disputa sobre en qué casos es necesario o útil el tratamiento quirúrgico, ya que en ocasiones los pacientes experimentan una mejora espontánea de las funciones del sistema nervioso. La otra razón que afecta a la elección del tratamiento es la gran variabilidad de sintomatología que puede llevar asociada y si hay recurrencia de estos. Afortunadamente en la actualidad existe mayor consenso al respecto (Jeffery et al., 2013).

La elección entre el tratamiento conservador/médico o quirúrgico se basará en la localización de la lesión y en la gravedad de la sintomatología que presente el animal (Taylor, 2020). No obstante, dado que en muchos casos el tratamiento es común o similar en las extrusiones cervicales y

toracolumbares, a continuación, se detallan ambas modalidades de tratamiento especificando y diferenciando cuando sean necesarias las indicaciones particulares.

a) Tratamiento conservador

En el tratamiento conservador lo más importante es el periodo de reposo, cuya duración mínima ha aumentado con el paso de los años. Aproximadamente hace una década, los autores recomendaban entre 2 y 6 semanas de reposo absoluto (Brisson, 2010; Moeser & Vite, 2012), mientras que en publicaciones más recientes se recomiendan entre 4 y 6 semanas. Durante este tiempo los animales, para conseguir un mayor control y con el fin de evitar movimientos innecesarios, deberían permanecer en los brazos de los propietarios o en jaulas de pequeño tamaño, excepto cuando salgan a la calle para orinar o defecar exclusivamente. Gracias a este prolongado periodo de reposo se favorece la resolución de la inflamación, la reabsorción parcial del material extruido y la estabilización del disco roto, evitando así la formación de una hernia mayor (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Platt & Casimiro da Costa, 2018; Taylor, 2020).

En cuanto al tratamiento medicamentoso, el uso simultáneo de antiinflamatorios como los AINES o de analgésicos como el tramadol durante el periodo de reposo pueden estar recomendados durante los primeros 3-5 días (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Platt & Casimiro da Costa, 2018; Taylor, 2020). Algunos autores también indican la posibilidad de utilizar como antiinflamatorios los corticosteroides (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Platt & Casimiro da Costa, 2018). Sin embargo, según Taylor (2020), existen muchos casos en los que los veterinarios tratan a estos pacientes con glucocorticoides de forma rutinaria con el fin de disminuir el dolor, pero no existen evidencias de mejora a largo plazo. Además, indica que, independientemente de la dosis administrada, el riesgo de aparición de efectos secundarios gastrointestinales es muy elevado. Los glucocorticoides y los AINES nunca deben administrarse de manera conjunta (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Platt & Casimiro da Costa, 2018; Taylor, 2020).

El uso de relajantes musculares como el diazepam o metocarbamol puede ser útil a la hora de evitar espasmos musculares dolorosos en aquellos perros que presentan *extrusión del DIV cervical*. Si existen signos de afectación de las raíces espinales se puede administrar gabapentina (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Platt & Casimiro da Costa, 2018; Taylor, 2020).

Una vez transcurridas las semanas de reposo completo los animales pueden empezar a moverse por casa evitando actividades bruscas como correr o saltar durante otras 3-4 semanas y se puede comenzar con un aumento gradual de pequeños periodos de ejercicio. Se recomienda emplear arneses en lugar de collares en aquellos perros diagnosticados con *extrusión del DIV cervical* para evitar forzar la zona de la lesión y su consecuente dolor. Su vida en casa también se debe adaptar,

de tal manera que los comederos y bebederos estén elevados para evitar esfuerzos innecesarios (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Platt & Casimiro da Costa, 2018; Taylor, 2020).

Algunos autores recomiendan en el caso de las *hernias toracolumbares* la rehabilitación física como una de las bases del tratamiento, con el fin de mantener y mejorar la masa muscular y la movilidad (Kerwin et al., 2018).

Finalmente es muy importante llevar a cabo un seguimiento de la evolución de los pacientes que siguen estas indicaciones, ya que en ocasiones no hay mejoría y es necesario recurrir a la cirugía (Taylor, 2020).

Es el tratamiento de elección en aquellos animales con *hernia cervical* que tienen por primera vez un cuadro de dolor agudo, pero sin déficits neurológicos. Aunque normalmente responden de manera adecuada, algunos perros sufrirán recurrencia del dolor a los días/semanas una vez finalizado el tratamiento, o incluso padecerán dolor que no es posible tratar. (Taylor, 2020)

Cuando la hernia se localiza en la *región toracolumbar*, al igual que en el caso anterior, se recomienda cuando el perro padece un dolor agudo sin déficits neurológicos. También puede estar indicado si estos déficits se presentan de manera débil en las extremidades posteriores, siempre y cuando el animal sea capaz de andar y levantarse sin ayuda, y además se mueva de manera bilateral voluntaria y adecuadamente (Taylor, 2020).

Si la extrusión en cuestión fuera de tipo *no degenerativa* (ANNPE o HNPE) se podría aplicar el tratamiento conservador descrito, aunque no existen estudios que confirmen que el tratamiento farmacológico beneficie a los animales afectados. En la primera bastaría con reposo y rehabilitación durante el tiempo señalado anteriormente, junto con antiinflamatorios si el perro presenta dolor durante la palpación en el examen físico. Por su parte, la HNPE mejora durante los dos primeros días con el tratamiento también indicado para la ANNPE, aunque la compresión ejercida por el material extruido sea moderada (Beltrán, 2018).

b) Tratamiento quirúrgico

El tratamiento quirúrgico permite descomprimir la médula espinal mediante la evacuación del material extruido (Platt & Casimiro da Costa, 2018; Taylor, 2020).

Las indicaciones para este tratamiento varían en función de la sintomatología y, por lo tanto, también se ven influenciadas por la localización del DIV afectado. Debido a las particularidades anatómicas de las distintas regiones de la columna vertebral, la técnica quirúrgica de elección también varía, siendo de gran importancia su previa identificación por técnicas de diagnóstico por imagen (Platt & Casimiro da Costa, 2018; Taylor, 2020). Por esta razón, en el presente trabajo se tratan las posibilidades e indicaciones quirúrgicas de las hernias discales en función de su

localización anatómica (cervical o toracolumbar), así como el desarrollo de la técnica quirúrgica más empleada en cada una de ellas.

- ***Extrusión del disco cervical***

La cirugía está indicada en distintas situaciones: si tras 1-2 semanas de tratamiento conservador persiste el dolor cervical; el perro padece un dolor muy intenso que no se puede mitigar en un periodo corto de tiempo; el animal padece dolor cervical de manera recurrente; el déficit neurológico es lo suficientemente grave como para provocar paresia de NMS o ataxia. Gracias al mayor diámetro del canal espinal con respecto al de la propia médula, la cirugía se convierte en el mejor tratamiento de cara a la velocidad de recuperación del animal en esta región, ya que la aparición de signos clínicos supone la existencia de gran cantidad de material extruido en el canal medular (Taylor, 2020).

Las técnicas utilizadas para la descompresión y/o resolución de las hernias cervicales incluyen el slot ventral, la hemilaminectomía y la laminectomía dorsal, desarrolladas a continuación. La decisión sobre qué técnica utilizar depende principalmente del lugar de la lesión (DiFazio & Fletcher, 2013; Platt & Casimiro da Costa, 2018; Taylor, 2020). No obstante, la mayoría de los autores se refieren al slot ventral como técnica de primera elección (Brisson, 2010; Casimiro da Costa & Platt, 2017; Platt & Casimiro da Costa, 2018; Taylor, 2020).

La colocación previa del cuello antes de iniciar el procedimiento quirúrgico es de vital importancia, ya que favorece la descompresión de la médula espinal y mejora el campo de visualización y acceso quirúrgico. En este caso el mejor posicionamiento del cuello sería en tracción lineal, posición que aumenta el espacio intervertebral y que, por lo tanto, nos ayuda a observar el material extruido (Seim, 2009).

- **Slot ventral:** Se trata de una técnica en la que las estructuras sanas son mínimamente incididas. Para realizar esta técnica es necesario emplear un abordaje ventral de la zona implicada (Platt & Casimiro da Costa, 2018; Seim, 2009).

Una vez que se ha expuesto el espacio intervertebral se extrae la apófisis espinosa ventral de la vertebra más craneal mediante gubias. La parte ventral del anillo fibroso ahora está completamente expuesta, la cual se extirpa. Se elimina todo el material extruido visible empleando un raspador dental (Platt & Casimiro da Costa, 2018; Seim, 2009).

El siguiente paso es crear una hendidura sobre la estructura ventral ósea de los cuerpos vertebrales implicados empleando una fresa neumática de alta velocidad. Esta hendidura debe realizarse lo más centralmente posible para evitar dañar componentes vasculares

como las arterias vertebrales y los senos venosos. Su tamaño no debe ser mayor al 33% de la longitud de dichos cuerpos vertebrales y su ancho no debe superar el 50% del ancho de los cuerpos vertebrales (preferiblemente menos del 33%). La profundidad de la hendidura se calcula poco a poco al ver las tres capas del hueso (cortical externa, medular blanda y cortical interna) a medida que se va perforando con la fresa. Hay que tener especial cuidado al llegar a la última capa debido a la proximidad de la medula espinal y, por lo tanto, al riesgo de dañarla (Platt & Casimiro da Costa, 2018; Seim, 2009).

Mientras se esté utilizando la fresa neumática es muy importante irrigar cada cierto tiempo con solución salina fisiológica con el fin de evitar el calor que se produce al contactar la broca con el hueso, además de ayudar a mantener la humedad de los tejidos adyacentes (Platt & Casimiro da Costa, 2018; Seim, 2009).

En este momento está expuesto el periostio, debajo del cual se encuentra la parte dorsal del anillo fibroso del DIV. Se raspan ambas capas para llegar al ligamento dorsal (última estructura antes de visualizar la ME), el cual se extrae (Platt & Casimiro da Costa, 2018; Seim, 2009).

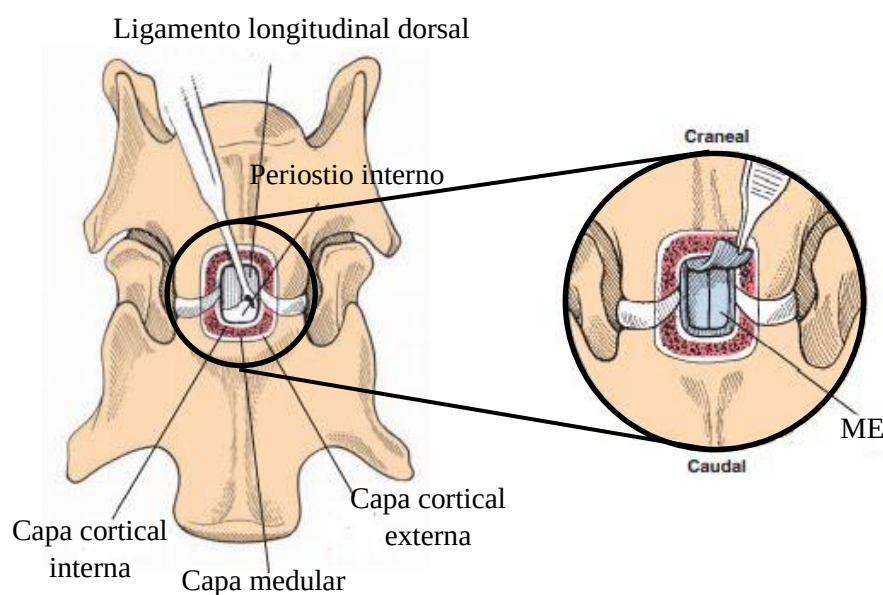


Figura 5: Esquema de Slot ventral. Se pueden apreciar las dimensiones adecuadas de la hendidura que se realiza en este procedimiento, con las distintas capas a incidir señaladas (Seim, 2009).

Finalmente se comprueba que la descompresión se haya realizado con éxito y que no quede más material extruido. Algunos autores recomiendan antes de comenzar a cerrar, limpiar con solución salina fisiológica la zona para asegurarse de que no quedan restos de hueso (Seim, 2009).

El cierre se realiza en 4 planos: musculatura larga del cuello, musculo esternohioideo, subcutáneo y piel (Seim, 2009).

- **Hemilaminectomia:** dado que se trata de la técnica quirúrgica de elección para la resolución de las hernias toracolumbares, el procedimiento será descrito más adelante.
- **Laminectomía dorsal:** en este caso la ME se expone tras extirpar la lámina dorsal. Como se comentó con anterioridad, se trata de una técnica poco empleada en este tipo de patologías, pero se ha comprobado su utilidad en animales de pequeño tamaño. Se suele llevar a cabo cuando el daño medular tiene lugar en la región dorsal o lateral del canal vertebral, empleando para ello un abordaje dorsal (Seim, 2009).

En cualquier caso, tras la resolución quirúrgica de las hernias discales cervicales, deben seguirse unas recomendaciones postoperatorias tales como reposo durante 2 semanas y fisioterapia que ayuden a la recuperación del animal (Taylor, 2020).

- ***Extrusión del disco toracolumbar***

Algunas de las indicaciones del tratamiento quirúrgico son similares a las de las cervicales: si tras 5-7 días de tratamiento conservador el animal no mejora o incluso aumentan los déficits neurológicos; el perro padece un dolor muy intenso que no se puede mitigar en un periodo corto de tiempo; el animal padece dolor cervical de manera recurrente. Otras son específicas de esta localización: se recomienda la cirugía en aquellos casos en los que se detecta durante el examen exploratorio la incapacidad para caminar; aquellos casos en los que los propietarios no quieren darle una oportunidad al tratamiento conservativo y prefieren directamente operar a su mascota, aunque la lesión sea menos grave, siendo capaces de andar por sí solos (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Taylor, 2020).

Se han descrito distintas técnicas quirúrgicas para tratar las hernias discales toracolumbares, entre las que se encuentran la hemilaminectomia, minihemilaminectomía o pediclectomía, laminectomía dorsal, corpectomía parcial y fenestración del disco intervertebral con o sin la concurrente laminectomía para eliminar el material discal extruido (Moore et al., 2020; Swiech et al., 2019). Seim (2009) además añade y diferencia la laminectomía dorsal modificada, la laminectomía de Funkquist B, la laminectomía de Funkquist A y la laminectomía dorsal profunda (Kerwin et al., 2018).

Inicialmente se creía que la fenestración era la mejor opción, incluso como tratamiento único. Sin embargo, se vio que era la más útil emplearlo de manera profiláctica, pero no como tratamiento

de elección, ya que no permite extraer de manera exitosa el material discal extruido ni descomprimir la ME (Kerwin et al., 2018). Actualmente el tratamiento de elección es la hemilaminectomía.

Hace aproximadamente una década, varios autores se referían a la laminectomía dorsal como una de las principales técnicas junto con la hemilaminectomía (Brisson, 2010; Moeser & Vite, 2012). Sin embargo, esta última tiene una serie de ventajas con respecto a la laminectomía dorsal, ofreciendo un mejor punto de acceso para extraer el material extruido y para realizar la fenestración local, además de aportar una mejor estabilidad biomecánica (Swiech et al., 2019).

- **Hemilaminectomía:** a la hora de realizar esta técnica hay que tener en cuenta que el arco vertebral está compuesto por dos pedículos y dos láminas (una a cada lado). El procedimiento se basa en la extracción del pedículo y la lámina de uno de los laterales de la vertebra afectada, aportándonos una amplia exposición de la ME y del canal vertebral (exposición ventral, lateral y dorsal) (Kerwin et al., 2018).

Antes de comenzar a operar se debe colocar al paciente en decúbito esternal con las extremidades flexionadas de una forma neutra y bien sujetas a la mesa. En caso de que la hernia discal se encuentre en la región lumbar, previa localización mediante pruebas de diagnóstico por imagen, además se deben colocar toallas debajo de la zona pélvica del animal con el fin de elevarla y posicionarla lo más recta posible (Kerwin et al., 2018).

Se puede acceder a través tanto de un abordaje dorsolateral como dorsal, siendo más común este último. Al igual que el caso de la cirugía cervical, existen distintos abordajes dorsales en función del tramo de la columna vertebral al que se quiere acceder (Kerwin et al., 2018).

Para el abordaje dorsal, la incisión se debe realizar desde las dos vértebras situadas cranealmente al espacio intervertebral afectado hasta las dos vértebras más caudales del mismo. Una vez apartadas todas las estructuras implicadas, quedan expuestos los procesos mamilares, las raíces nerviosas y vasos sanguíneos, y la parte superior de las apófisis transversas de las vértebras (Johnson, 2014).

El primer paso es la eliminación de los procesos articulares de las vértebras afectadas (la craneal y la caudal) empleando una gubia, para después penetrar en el hueso con una fresa neumática, permitiéndonos llegar al canal vertebral (Kerwin et al., 2018; Seim, 2009).

A la hora de perforar el hueso debemos tener como referentes anatómicos límites: la región ventral del proceso accesorio, la base del proceso espinoso y la base del proceso articular que se encuentran en la parte craneal y caudal de la zona afectada. Sin embargo, esta extensión puede variar en función de donde se localice el material extruido o la LM.

En caso de estar localizado en la región ventral, se puede perforar ventralmente hasta incluir la región dorsolateral de los cuerpos vertebrales. De esta manera es más fácil extraer el material extruido manipulando la ME lo mínimo posible (Kerwin et al., 2018). Mientras utilizamos la fresa neumática debemos tener en cuenta las tres capas que hay que atravesar (cortical externa, medular blanda y cortical interna), siguiendo el procedimiento descrito con anterioridad en la técnica de slot ventral. A la hora de eliminar la capsula de los procesos articulares y los ligamentos amarillos, al igual que en la parte final de la cortical interna, se pueden emplear gubias o un raspador dental. Finalmente se elimina el material extruido en el canal vertebral empleando un raspador dental (Kerwin et al., 2018).

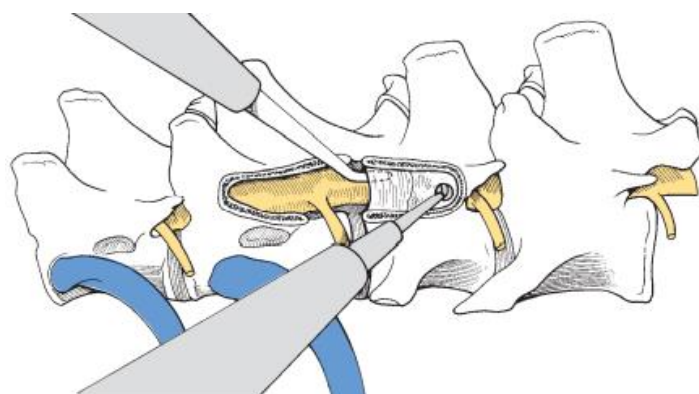


Figura 6: Esquema de hemilaminectomía. Se pueden apreciar las dimensiones adecuadas de la hendidura y su posición (Seim, 2009).

A la hora de cerrar se sutura la fascia dorsolumbar en la línea media. Después se suturan la grasa y el subcutáneo, seguido de la piel (Johnson, 2014).

Tras la cirugía además es necesario reposo, tratamiento de soporte y fisioterapia que ayuden en la recuperación, así como el uso de carritos para parapléjicos que les estimula y anima a comenzar a andar (Taylor, 2020).

- **Hernias discales no degenerativas**

Solo estaría indicado el tratamiento quirúrgico en aquellas de carácter compresivo, siempre y cuando la compresión ejercida sobre la ME sea de tipo severo y tras haber intentado el tratamiento conservador sin obtener ninguna mejoría en las primeras 24-48 horas (Beltrán, 2018).

c) **Pronóstico**

El pronóstico variará en función de la sintomatología y el tratamiento de elección. El mejor factor pronóstico es la capacidad del animal para detectar dolor. El hecho de que el paciente presente nocicepción antes de cualquiera de los tratamientos aumenta las probabilidades de que se recupere. En caso de animales con problemas ambulatorios, entre el 86-96% recuperan la capacidad de andar si presentaban nocicepción tras la LM. En cambio, si no detectaban la sensación de dolor solo recuperan la capacidad ambulatoria entre el 60-80% de los animales con LMA causada por hernias discales (Beltrán, 2018; Granger & Carwardine, 2014).

Fijándonos más detenidamente en la localización de las hernias, empleando el tratamiento conservador para solventar el daño causado por **hernias discales cervicales**, el índice de recurrencia es aproximadamente del 33-36%. En un estudio llevado a cabo en 88 perros, se vio que al emplear este tipo de tratamiento solo la mitad de ellos (49%) tuvieron los resultados favorables, mientras que el 33% sufrió recurrencia y el 18% resultó en fallo terapéutico (mencionado por Casimiro da Costa & Platt, 2017). Sin embargo, el tratamiento quirúrgico arroja mejores resultados, con una recuperación total del 90% al mes de realizar un slot ventral, y del 98% al año según Casimiro da Costa & Platt (2017).

Taylor (2020), por su parte, indica que la recuperación total de los perros que padecían únicamente dolor del cuello, o de aquellos que además padecían tetraparesia moderada-grave, es del 80-90% al mes de realizar el slot ventral. Además, 24-36 horas tras la cirugía, un gran número de animales experimentan mejora en cuanto al dolor cervical.

En cuanto a las **hernias discales toracolumbares**, estudios han demostrado que el índice de recuperación en los pacientes no ambulatorios es mayor y más rápido empleando el tratamiento quirúrgico que con el tratamiento a base de reposo y medicación, además de disminuir las posibilidades de desarrollar déficits neurológicos residuales (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Taylor, 2020). Un gran porcentaje (90%) de los animales que se someten a la cirugía con problemas ambulatorios, pero con percepción de dolor profunda consiguen recuperarse totalmente y recuperar la capacidad de andar. Si los perros carecen de percepción de dolor profunda es prácticamente imposible su recuperación mediante el tratamiento conservador, pero sometidos a cirugía es posible que recuperen la ambulación el 60% de los perros de raza pequeña y el 25% de raza grande (Casimiro da Costa & Platt, 2017; Taylor, 2020).

Se debería empezar a notar la mejora de las funciones neurológicas tras 7 días de la cirugía. Si, por el contrario, a los 28 días no se observa mejora, el pronóstico es malo (Taylor, 2020).

4.5.1.2. Traumatismos.

Los traumatismos pueden crear lesiones no medulares peligrosas para la vida del animal, por lo que el primer paso tras examinar al paciente es tratarlas rápidamente y proceder a su estabilización mediante oxigenoterapia, fluidoterapia intravenosa y analgesia (Taylor, 2020).

Una vez el animal ha sido estabilizado, se debe localizar en qué tramo se encuentra la LM causante de los déficits neurológicos y valorar en función de la causa y la gravedad de los signos clínicos cual es el tratamiento más adecuado. Si se sospecha de inestabilidad de la columna vertebral, como sería el caso de las fracturas o luxaciones, además se inmovilizará al animal (Kube & Olby, 2008; Taylor, 2020).

La cirugía de la columna vertebral tras un traumatismo está indicada en aquellos pacientes que presentan déficits neurológicos moderados o severos, deterioro neurológico por fallo del tratamiento conservador y/o inestabilidad de la columna vertebral (atendiendo al sistema de compartimentos descrito anteriormente) (DiFazio & Fletcher, 2013).

A continuación, se recogen los protocolos de actuación y tratamientos posibles en función de las etiologías más comunes de los traumatismos explicados con anterioridad.

a) Fracturas y luxaciones

El objetivo en estos casos es conseguir obtener un entorno para la ME que le permita recuperar sus funciones normales. De esta manera, va a estar dirigido a evitar más daños y aliviar la compresión a la que está sometida la ME (descompresión y reducción de la fractura/luxación) (Jeffery, 2010).

El tratamiento a instaurar depende de varios factores, tales como la gravedad de los signos clínicos que presenta el paciente, la estabilidad valorada en función de los compartimentos afectados y la localización de la lesión. Además, hay que tener en cuenta la presencia de sensación de dolor profundo porque en base a esto se puede valorar el pronóstico del caso (Jeffery, 2017; Taylor, 2020).

Las posibilidades de tratamiento pueden ser muy variadas. Para aquellos pacientes con daño primario en los que los déficits neurológicos son mínimos y se considera que los tres compartimentos son estables, se puede aplicar el *tratamiento conservador*. No obstante, sus indicaciones no se han establecido aún con certeza. Este consiste, al igual que las hernias, en reposo absoluto durante 6-8 semanas, analgesia y tratamiento de soporte. Sin embargo, el tiempo de recuperación es más largo y el tratamiento de soporte es mayor que en el caso de los pacientes tratados quirúrgicamente. También se ha descrito la coaptación externa para aquellos animales con buena nocicepción cuyos dueños no están dispuestos a someter a su mascota a la cirugía, pero

suelen estar incómodos y acaban moviéndose más a causa de esto (DiFazio & Fletcher, 2013; Weh & Kraus, 2018).

Las indicaciones para el *tratamiento quirúrgico* en estos casos se corresponden con los comentados al inicio del apartado de traumatismos. Se han descrito distintas técnicas basadas en la descompresión de la ME, la reducción y la fijación de las fracturas, cuya elección depende del tipo de fractura, la localización de esta y las preferencias del cirujano (DiFazio & Fletcher, 2013). Debido a la gran variedad y posibilidades de técnicas quirúrgicas, y teniendo en cuenta que la mayoría de las fracturas/luxaciones tienen lugar entre las vértebras T10-L2 (Jeffery, 2010), este apartado se centrará en dicha región anatómica.

Las técnicas empleadas para la estabilización de las vértebras toracolumbares son muy variadas, entre las que se incluyen el empleo de agujas, polimetilmetacrilato (PMMA), placas de bloqueo, fijación esquelética externa, placas en los cuerpos vertebrales, fijación segmentaria modificada, estabilización de la banda de tensión y revestimiento de los procesos espinosos, siendo los más útiles y versátiles las cuatro primeras según Weh & Kraus (2018). Seim (2009), por su parte, indica que tan solo los clavos de Steinmann y el PMMA han demostrado ser eficaces para estabilizar la columna vertebral de manera adecuada, tanto biomecánica como clínicamente.

Normalmente el abordaje de estas cirugías se lleva a cabo vía dorsal, pero en este caso, el abordaje continúa ventralmente hasta llegar a la base de los procesos transversos (vértebras lumbares) y/o hasta la fosita costal de estos (vértebras torácicas) para obtener mejor campo de visión y de actuación. Una vez identificada la articulación afectada se reduce y estabiliza temporalmente empleando cuidadosamente unas pinzas de campo en la base de las apófisis espinosas que se encuentran próximas al defecto, creando así una fuerza de distracción que permite evitar la manipulación excesiva de la columna vertebral si se hace de manera adecuada (Seim, 2009; Weh & Kraus, 2018).

El empleo de agujas Kirschner después de la reducción, además de lograr la estabilización temporal de la zona afectada hasta que se instauran las medidas definitivas, también ayuda a mantener la anterior reducción (Seim, 2009; Weh & Kraus, 2018).

Las **agujas o clavos de Steinmann** se insertan empleando una fresa neumática en las vértebras colindantes a la articulación luxada o vértebra fracturada, especialmente si da lugar al desmenuzamiento del hueso o se encuentra en mitad del cuerpo vertebral. El lugar de inserción de las agujas es bilateral, y difiere en función del tipo de vértebra: en las vértebras torácicas se introducen en las bases de los procesos accesorios o de los tubérculos de las costillas, dirigiéndolas hacia el cuerpo vertebral, mientras que en el caso de las vértebras lumbares se

insertan en la zona que se encuentra entre los procesos transversos y articulares (Seim, 2009; Weh & Kraus, 2018).

Además del punto de entrada es importante colocar la aguja en el ángulo adecuado, maximizando al máximo su acción. Independientemente del tipo de vértebra que se trate, las agujas deben ir dirigidas hacia medial y ventral. Si se encuentra craneal a la fractura se deben dirigir hacia craneal, de forma que en la vértebra caudal se dirigirán hacia este sentido (Seim, 2009; Weh & Kraus, 2018).

El orificio de salida debe de ser en la zona ventral del cuerpo vertebral, próximo al disco intervertebral, ya que esta zona es más ancha y, por lo tanto, más resistente. Una vez que los clavos están insertados deben ser cortados por su extremo dorsal, empleando una cizalla para clavos, a unos 3-4 mm bajo los procesos espinosos vertebrales, y finalmente hacer una pequeña muesca en su extremo (Seim, 2009; Weh & Kraus, 2018).

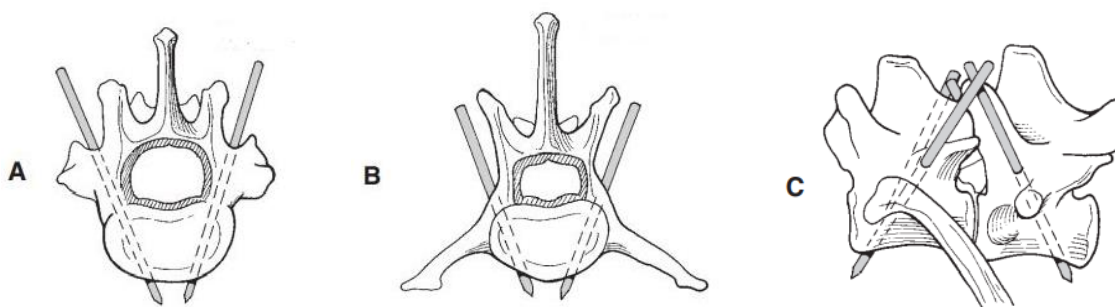


Figura 7: Esquema colocación de clavos de Steinmann. **A:** Vértebra torácica; **B:** Vértebra lumbar; **C:** Vista lateral en la que se muestra el ángulo y dirección de inserción de los clavos (Seim, 2009).

Según Seim (2009), en el caso de haber empleado alguna técnica de descompresión medular además debe taparse la zona empleando un injerto de la propia grasa del animal.

El siguiente paso a seguir es la colocación del **PMMA**. Para ello es necesario mezclar la preparación comercial siguiendo las indicaciones del fabricante para crear una masilla o cemento. Se debe amasar la mezcla hasta que no se quede pegada a los guantes del cirujano (Seim, 2009). Su correcta colocación implica que entre en contacto con todos los clavos colocados. En caso de haber empleado técnicas de descompresión medular, habría que darle forma circular, dejando espacio en la zona central para que rodee el defecto y no entre en contacto con la ME. De lo contrario, además de los clavos de Steinmann sería recomendable que el cemento contactara con los procesos espinosos y las carillas articulares de los procesos articulares, además de los pedículos (Seim, 2009).

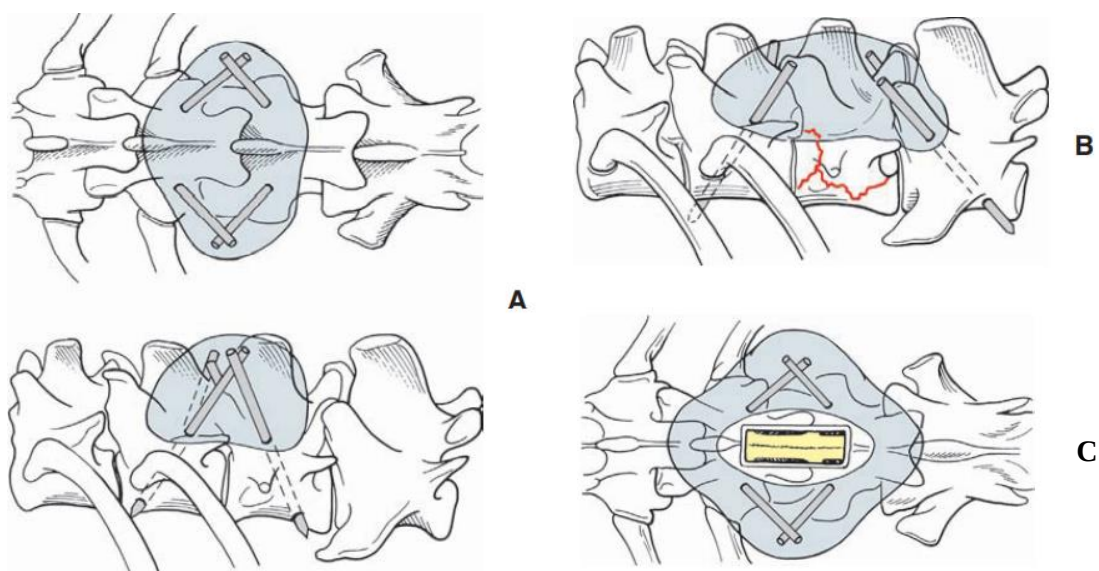


Figura 8: Esquema colocación de clavos de Steinmann con PMMA. **A:** Vistas dorsal y lateral respectivamente en luxación/subluxación vertebral; **B:** Vista lateral en caso de fractura vertebral; **C:** Vista dorsal en caso de laminectomía dorsal. Se debe moldear el PMMA para evitar el contacto con la ME (Seim, 2009).

A la hora de utilizar **placas de bloqueo**, a diferencia del caso anterior, previamente se debe emplear un bisturí eléctrico para ligar los vasos y las raíces nerviosas que surgen del agujero intervertebral de la zona afectada. Estas placas se colocan en la región dorsolateral de uno de los laterales de las vértebras, una vez que se ha reducido y estabilizado por las técnicas mencionadas anteriormente (pinzas de campo y clavos de Steinmann), debajo de la carilla articular y, en caso de haber empleado alguna técnica de descompresión, por debajo de esta. La placa debe ser lo suficientemente grande como para abarcar una vértebra craneal y otra caudalmente a la luxación/subluxación o fractura que se encuentre en un extremo. De tratarse de una fractura localizada en la zona central de la vértebra, la placa también debe abarcar esta (en total 3 vértebras) (Seim, 2009).

Con una broca y motor se hacen los orificios donde irán los tornillos (dos por vértebra) que fijarán la placa. Para ello previamente hay que calcular el ángulo más adecuado, de tal manera que el orificio atravesase por completo el cuerpo vertebral diagonalmente. En el caso de las vértebras torácicas, también es necesario seccionar la cabeza de las costillas por su unión al cuerpo de la vértebra en cuestión mediante un osteotomo, y después con una gubia, raspar el proceso espinoso con el fin de encajar la placa lo mejor posible al hueso (Seim, 2009).

A continuación, se labra la rosca para permitir al tornillo anclarse de manera óptima y se mide la distancia del orificio con un calibrador para seleccionar el tornillo adecuado. Finalmente se coloca la placa y se atornilla empleando los orificios recién creados, asegurando su fijación a la vértebra.

En las vértebras torácicas se vuelve a unir la costilla seccionada a los procesos espinosos con alambre ortopédico (Seim, 2009).

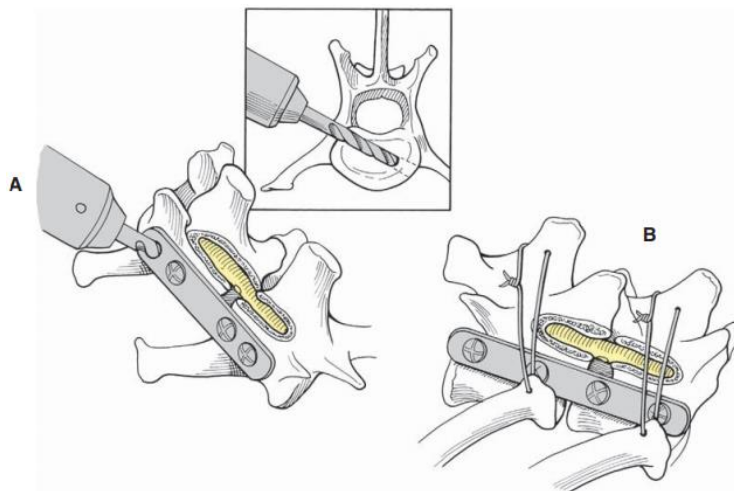


Figura 9: Esquema colocación de placa vertebral. **A:** Vértebra lumbar; **B:** Vértebra torácica. Unión de las costillas a los procesos espinosos con alambre ortopédico (Seim, 2009).

Actualmente también existe otra variedad de placa de bloqueo conocida como cadena de perlas, la cual está compuesta por varias esferas de acero inoxidable unidas por segmentos cilíndricos que aportan una gran capacidad para moldear la posición de toda la estructura. Las perlas permiten la fijación a la superficie dorsolateral irregular de las vértebras sin entrar en contacto con el hueso. Cada una de ellas posee un orificio en el cual se puede introducir un tornillo que permite su fijación. Una ventaja frente a las placas descritas anteriormente es que, debido a su forma, al colocarse cerca del pedículo vertebral, no interfiere con los vasos u otras estructuras neurológicas. Suele ser recomendable colocar esta modalidad de placa bilateralmente, con un mínimo de 3 perlas por vértebra entre los dos laterales (Weh & Kraus, 2018).

Finalmente, después de cualquiera de los procedimientos descritos, se cierra el abordaje según las indicaciones explicadas en el apartado anterior (Seim, 2009; Weh & Kraus, 2018).

La **fijación esquelética externa** puede ser tanto abierta como cerrada, pero en su conjunto se han descrito pocos casos clínicos (Weh & Kraus, 2018).

b) Hernias discales traumáticas

En su mayoría se trata de patologías no compresivas, por lo que se suele recomendar tratamiento de soporte basado en apoyo y rehabilitación, destacando la fisioterapia. Si existiera compresión de la ME, al tratarse de una hernia discal, aunque el origen sea distinto, estaría indicado el tratamiento quirúrgico desarrollado con anterioridad (Taylor, 2020).

c) Contusiones del parénquima medular y hemorragias extra-axiales.

El tratamiento recomendado para las *contusiones del parénquima medular* suele estar dirigido a tratar los daños primarios originados en la ME, el cual consiste en aplicar un tratamiento conservador basado principalmente en el reposo absoluto, analgesia para aliviar el dolor y cuidados de soporte (DiFazio & Fletcher, 2013).

En las *hemorragias extra-axiales*, por su parte, está indicado el tratamiento quirúrgico descompresivo en aquellos casos en los que existe una compresión medular directa por parte de los hematomas (DiFazio & Fletcher, 2013).

d) Pronóstico

El pronóstico de los traumatismos depende de diferentes factores tales como la gravedad del daño causado, la localización de la lesión, la velocidad con la que se tratan los daños primarios y secundarios, y el tipo de tratamiento instaurado. No obstante, en general el pronóstico es bueno (DiFazio & Fletcher, 2013; Jeffery, 2017; Taylor, 2020).

Como principal indicador tenemos la sensación de dolor profundo, de manera que aquellos animales que la presenten a su llegada al hospital/clínica podrán recuperar la capacidad de locomoción con gran probabilidad y continuar con una vida normal, aunque en algunos casos pueden persistir déficits neurológicos residuales. Este suele ser el caso de los animales que padecen una LM en el área cervical. De lo contrario, suelen morir por dificultad respiratoria aguda, con mayor tasa de mortalidad en el momento del traumatismo o próximos al momento de la cirugía. La capacidad de recuperación de las lesiones toracolumbares también se puede predecir en base a la presencia o ausencia de dolor profundo (DiFazio & Fletcher, 2013; Jeffery, 2017; Taylor, 2020).

El periodo de recuperación tras un traumatismo grave es largo. Jeffery (2017) indica que se necesitan al menos 10 días para empezar a notar cambios neurológicos mínimos, mientras que Taylor (2020) añade que, si tras 21 días desde el momento del traumatismo no se nota mejora, es muy probable que no tenga lugar la recuperación.

4.5.1.3. Embolismo fibrocartilaginoso

Para esta patología no está indicado un tratamiento específico ni quirúrgico, sino que se basa en cuidados de soporte y fisioterapia. De esta manera se pretende evitar o reducir los daños secundarios originados al mantener la perfusión de la ME y al proteger las estructuras nerviosas (De Risio & Platt, 2010; Taylor, 2020).

Es muy importante, especialmente en aquellos pacientes con problemas cardiovasculares o respiratorios, monitorizar y mantener la presión de oxígeno sanguínea dentro de los valores de referencia, ya que favorece la perfusión adecuada de la ME (De Risio & Platt, 2010).

Actualmente, aunque no se ha demostrado su eficacia, se cree que es una buena opción administrar una dosis de succinato sódico de metilprednisolona (neuroprotector), siempre y cuando hayan transcurrido menos de 6 horas desde la parálisis del animal (De Risio & Platt, 2010; Taylor, 2020). No obstante, la base del tratamiento consiste en el tratamiento de enfermería mediante aporte adecuado de alimentos y fluidos, limpieza, vaciado de vejiga, aplicar ampollas rectales y prevenir las úlceras que pueden surgir por decúbito o por escaldamiento de orina, además de seguir un protocolo fisioterapéutico temprano. Gracias a la fisioterapia se estimula la plasticidad neuronal, de manera que se maximiza la capacidad de recuperación del tejido nervioso, además de evitar o minimizar determinadas consecuencias provocadas por la falta de movilidad, tales como la atrofia muscular o la aparición de contracturas musculares (De Risio & Platt, 2010).

Pronóstico

La gravedad y extensión o localización del daño provocado por la isquemia son los principales factores que influyen en el pronóstico del paciente. Normalmente si la lesión inicial ocurre en el tramo T3-L3 o C1-C5 y la sensación de dolor profundo está presente, el pronóstico es bueno. Si por el contrario la sensación de dolor profundo está ausente o se ven afectadas las regiones medulares C6-T2 o L4-S3, el pronóstico pasa a ser reservado, ya que al ser las regiones donde se encuentran las intumescencias medulares, la capacidad de respuesta plástica disminuye si se ha visto afectada la materia gris, por lo que es menos probable que tenga lugar la mejora de los déficits neuronales (Jeffery, 2017; De Risio & Platt, 2010; Taylor, 2020).

La mayoría de los signos de mejora clínica tienen lugar durante la primera semana o 10 días desde el inicio de los primeros déficits neurológicos. No obstante, la recuperación total requiere un largo periodo de tiempo, siendo necesario 6-8 semanas según Taylor (2020) e incluso más de tres meses según Jeffery (2017).

Al igual que en el caso de los traumatismos Taylor (2020) indica que, si tras 21 días desde los primeros signos clínicos no se observa mejora, la recuperación es improbable.

4.5.2. Tratamiento de soporte.

Es necesario tratar, si se da el caso, los problemas clínicos derivados de las lesiones independientemente de la causa, tales como alteraciones hemodinámicas, disfunción urinaria y gastrointestinal, siendo especialmente importantes estas dos últimas (incontinencia o retención urinaria y fecal). Se trata de medidas que van a mejorar la calidad de vida del animal y van a influir en el tiempo de recuperación funcional (Granger et al., 2020; Hou & Rabchevsky, 2014).

El **tratamiento de las disfunciones urinarias** en las LMA está dirigido a prevenir la distensión excesiva de la vejiga, en caso de retención, o a medidas de higiene y limpieza que eviten la

aparición de úlceras o infecciones del tracto urinario. Se puede proceder a la extracción de la orina mediante vaciado manual, cateterismo aséptico de manera intermitente o fijación del catéter. El vaciado manual es la técnica de elección por ser rápida, simple y poco invasiva, aunque no es factible su realización en todos los casos. La cateterización tiene como inconvenientes ser una técnica invasiva y la posibilidad de introducir gérmenes que provoquen una infección, pero es capaz de vaciar la vejiga casi por completo. Suele realizarse principalmente cuando los animales se encuentran hospitalizados, ya que los propietarios en ocasiones no son capaces de realizarlo de la manera apropiada en casa (Granger et al., 2020).

Además, se puede administrar fármacos que ayuden a modificar el tono muscular de la vejiga, siendo necesario estudiar cada caso particular y valorar si los beneficios superan a los efectos adversos (Granger et al., 2020).

La ***incontinencia fecal*** puede dar lugar a daños secundarios como daños en la piel por contaminación de las heces, además del tracto urinario al entrar la vulva en contacto con los microorganismos que hay en ellas. La mejor opción para prevenir y tratar este problema es emplear dietas de bajo residuo como las que ofrecen las dietas hipoalergénicas o de tipo gastro-intestinal, las cuales reducen el volumen de las heces y pueden resolver la diarrea en caso de existir. A parte de esto se podría establecer rutinas en las que vaciar la vejiga y estimular la región perianal para favorecer la defecación, además de situar al animal sobre empapadores durante el tiempo que se encuentre en la casa y mantener su higiene (Granger et al., 2020).

4.6. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO: EMPLEO DE CÉLULAS MADRE.

Las LM también afectan en gran medida a los seres humanos y, al igual que en los animales, las consecuencias pueden ser fatales. Aunque ya se han realizado ensayos con células madre (CM) en humanos y se ha visto una pequeña mejora funcional de los pacientes, los resultados son variables y poco concluyentes. Por ello, surge mayor necesidad de investigar el mecanismo de acción de esta terapia, así como conocer qué tipo de células son las que proporcionan mejores resultados, lo cual se consigue realizando ensayos en modelos animales (Chow et al., 2020; Kang & Park, 2020; Webb et al., 2010).

4.6.1. Modelos animales

Los modelos animales permiten el estudio de las lesiones bajo condiciones controladas. Los estudios experimentales se realizan inicialmente con ratones o ratas, en los que se puede inducir el daño, lo cual permite un mayor control y estudio de los cambios fisiológicos. No obstante, se trata de un modelo de estudio menos fiable, ya que se vio que en ocasiones los animales se recuperan de manera espontánea incluso cuando las LM son graves (Cizkova et al., 2020).

El mejor modelo de estudio se corresponde con los primates debido a sus similitudes con los humanos y a la fiabilidad de los resultados. Sin embargo, se trata de una opción poco viable por razones éticas y económicas (Cizkova et al., 2020).

El perro supone un buen modelo intermedio para el estudio de las LM y de nuevos tratamientos, como es el caso de las CM, ya que presentan similitudes clínicas tanto en los mecanismos lesionales como en los resultados y monitorización funcional de estas lesiones, además de características inmunológicas, fisiológicas y anatómicas parecidas. En este caso los estudios se pueden llevar a cabo en animales cuyas LM han sido inducidas, pero también se pueden utilizar poblaciones de estudio con LM espontáneas (pacientes) (Cizkova et al., 2020; Jeffery et al., 2006; Moraes et al., 2014).

De esta forma, la información obtenida de los estudios beneficia tanto a la medicina veterinaria como a la humana (Granger & Carwardine, 2014).

4.6.2. Definición y tipos de células madre.

Se pueden definir las células madre como células indiferenciadas y no especializadas que tienen la capacidad de renovarse y diferenciarse en cualquier tipo celular. Su uso en la medicina, tanto animal como humana, se recoge en la llamada medicina regenerativa, cuyo objetivo es conseguir la reparación, reemplazo o regeneración de las células y/o tejidos dañados con el fin de recuperar su estructura y funcionalidad (Kang & Park, 2020; Saunders et al., 2018).

Las células madre se pueden dividir, según Kang & Park (2020), en dos grupos en función de su lugar de obtención: células madre embrionarias (ESCs) y células madre de animales adultos (ASCs). Saunders et al. (2018) añade como tercer grupo las células madre fetales o perinatales (PSCs). A pesar de tener mayores posibilidades en lo que se refiere al desarrollo, las ESCs pueden ser peligrosas para la salud de los pacientes por distintos motivos, entre los que destacan sus propiedades teratogénicas. Por su parte, las ASCs se pueden obtener a partir de la médula ósea, sangre periférica, sangre/tejido del cordón umbilical, tejido adiposo, piel, neuronas y músculo (Chow et al., 2020; Kang & Park, 2020).

Se ha descubierto que también se pueden obtener células pluripotentes, conocidas como células madre pluripotentes inducidas (iPSCs), a partir de células somáticas de animales adultos mediante reprogramación genética. Se cree que pueden llegar a suponer una prometedora fuente de células para tratar las LM. Sin embargo, al igual que ocurre con las ESC, algunas iPSCs tienen cierta predisposición a formar neoplasias, especialmente teratomas (Chow et al., 2020; Kang & Park, 2020).

Dentro de las ASCs, los mejores grupos celulares, gracias a sus características, se corresponden con las células madre hematopoyéticas, las mesenquimales y las neuronales (células

multipotentes). No obstante, las primeras tienen poca importancia en este caso al ser las precursoras de las células sanguíneas (Saunders et al., 2018).

El procedimiento a seguir con cualquiera de estas variedades consiste principalmente en su obtención a partir de los tejidos mencionados, para posteriormente cultivarlas con el fin de ser transformadas y especializadas en el tipo celular deseado. Finalmente se trasplantan directamente en la zona corporal u órgano deseado del paciente (Kang & Park, 2020).

Las células madre neuronales se encuentran mayormente en la circunvolución dentada del hipocampo, y son capaces de diferenciarse en neuronas, astrocitos y oligodendrocitos. Saunders et al. (2018) indican que se ha comprobado su acción en ratones, pero los estudios en los que se basan son antiguos.

Las células madre mesenquimales (MSCs) se pueden obtener a partir de tejidos de diferente naturaleza como tejido adiposo, encía, placenta y médula ósea. Tienen la capacidad de diferenciarse en distintos y muy variados grupos celulares, entre los que se encuentran los osteocitos, condrocitos, células musculares, células del estroma medular, fibroblastos y adipocitos. Además, gracias a sus características, adquieren un papel muy importante dentro del estudio de los reparadores de las LM, existiendo diferentes experimentos que investigan su posible implantación futura como tratamiento de las mismas (Nishida et al., 2012; Saunders et al., 2018).

4.6.3. Estudios realizados y resultados.

Los artículos encontrados a la hora de realizar este trabajo sobre el uso de MSCs se centran principalmente en aquellas que se obtienen a partir de tejido adiposo o de la médula ósea.

4.6.3.1. MSCs obtenidas a partir de tejido adiposo.

En uno de los estudios más antiguos, llevado a cabo por Ryu et al. (2009), se buscaba conocer los cambios funcionales que resultaban de la implantación de células mesenquimales alogénicas obtenidas a partir de *adipocitos*. Para ello emplearon 11 perros adultos con LM inducidas a los que dividieron aleatoriamente en tres grupos: grupo control sin trasplante, grupo al que inyectan solo la solución vehiculadora y el último grupo con las células madre. Al notar mejoras en aquellos animales que fueron sometidos al tratamiento con células madre, se concluyó que la mejora funcional podría deberse a la capacidad de diferenciación de estas células.

En otro estudio posterior, Kim, Jo, Kim y Kweon (2015), a través de 16 perros adultos con LMA, se estudiaron los posibles efectos antioxidantes y antiinflamatorios de las MSCs procedentes de tejido adiposo alogénico. Fueron divididos en 4 grupos de estudio: control, inyección IV con succinato sódico de metilprednisolona, inyección IV con MSCs e inyección IV con MSCs + succinato sódico de metilprednisolona. Los resultados demostraron que al administrar las MSCs

previamente preparadas, éstas producían una respuesta antiinflamatoria y antioxidante que provocaba efectos beneficiosos en cuanto a la protección y recuperación del tejido medular, convirtiéndose en una alternativa al controvertido uso del neuroprotector (provoca efectos secundarios).

Concretando más en una determinada enfermedad, Kim, Lee, Kim y Kweon (2016) se centraron en conocer el resultado de inyectar MSCs derivadas de tejido adiposo alogénico en 34 perros parapléjicos con extrusión discal aguda en la región toracolumbar, sin percepción de dolor profundo, que fueron sometidos a una hemilaminectomía. Los resultados fueron prometedores, ya que se vio una mayor mejora en estos animales (descompresión con hemilaminectomía + tratamiento con MSCs), que otros perros en las mismas condiciones tratados solo quirúrgicamente.

4.6.3.2. MSCs obtenidas a partir de médula ósea.

En cuanto al estudio de células madre obtenidas a partir de la *médula ósea*, Jung et al. (2009) realizaron un experimento en perros con daños medulares inducidos con el fin de averiguar si existía alguna diferencia entre emplear MSCs alogénicas o autólogas. En este caso se utilizaron 30 perros que se dividieron en 3 grupos (control, CM alogénicas, CM autólogas), obteniéndose mejores resultados en aquellos tratados con MSCs alogénicas.

Nishida et al. (2012) intentaron averiguar si el trasplante autólogo de este tipo celular era seguro. Sin embargo, aunque los resultados parecen indicar esto, debido a la existencia de ciertas incógnitas como la variabilidad en función de la ruta de administración o la dosis celular, llegaron a la conclusión de que era necesario seguir investigando acerca del tema.

Unos años después, Moraes et al. (2014) estudiaron el efecto de las MSCs obtenidas a partir de tejido autólogo de la médula ósea en 12 perros adultos con LMA causada por extrusión del disco intervertebral toracolumbar, los cuales habían sido remitidos a cirugía y posteriormente a rehabilitación. Al igual que en el caso anterior, aunque los resultados eran relativamente favorables tanto a nivel clínico como de seguridad, se concluyó la necesidad de continuar con la investigación.

Besalti et al. (2016) estudiaron un tema parecido. Sin embargo, en este caso no estaba restringido a una enfermedad, sino que se amplió a cualquier lesión traumática, además de que los pacientes carecían de nocicepción. Según lo descrito anteriormente en el presente trabajo, la ausencia de dolor profundo supone un punto crítico en la recuperación de los pacientes. Por ello no se obtuvieron grandes resultados, contando de manera positiva pequeñas mejoras clínicas en algunos de los animales.

En un experimento más reciente, Sharun et al. (2020) investigaron los cambios clínicos que experimentan un grupo de X perros tras la compresión espinal causada por fracturas vertebrales

tras realizar un trasplante percutáneo con este tipo de CM. Para formar parte del grupo de estudio, los pacientes debían presentar paresia, parálisis o ataxia, constituyendo en total 6 animales de distintas edades y razas. Teniendo en cuenta las mejoras neurológicas de todos ellos, a pesar de ser un grupo reducido de animales y, por lo tanto, no concluyente, el trasplante percutáneo de las MSC procedentes de la médula ósea puede ser útil en el tratamiento de estas patologías.

4.6.3.3. MSCs obtenidas a partir de otros tejidos.

Finalmente, Lee et al. (2009) experimentaron con otro tipo de MSCs diferente al resto, *sangre de un cordón umbilical humano*. Se realizó un trasplante percutáneo de estas células en 10 perros con LM inducidas, concluyendo que posiblemente su uso tenga algunos beneficios.

4.6.3.4. Conclusión.

Todos estos estudios nos indican que el uso de células madre, especialmente las MSCs, suponen un tratamiento prometedor en el futuro tanto en veterinaria como en medicina humana. Sin embargo, es necesario continuar investigando para conocer cuál es el mejor tipo celular, maximizar su eficacia y garantizar su seguridad.

5. CONCLUSIONES

A partir de este trabajo de revisión bibliográfica sobre las LMA en perros, hemos podido llegar a las siguientes conclusiones:

1. Las hernias discales suponen la principal etiología de las LMA y, por lo tanto, uno de los principales diagnósticos diferenciales con signos clínicos propios de esta patología.
2. A pesar de existir distintas fuerzas o causas que provoquen el daño medular, los autores coinciden en que ocurren en su mayoría por fuerzas traumáticas, concretamente por compresión de la médula.
3. Es muy importante recabar información acerca de la sintomatología y realizar un buen examen neurológico para localizar la zona medular afectada y obtener el mejor diagnóstico diferencial posible. Además, gracias a esto podremos decidir las pruebas complementarias a realizar y así identificar la causa primaria que nos ayudará a establecer el tratamiento más apropiado (médico o quirúrgico) o específico de la etiología.
4. A pesar de ser un tema aún en discusión, la descompresión temprana de la ME ayuda a la recuperación de los pacientes, siendo necesario conocer las distintas técnicas y aplicar la más adecuada en cada caso.
5. El tratamiento de soporte y rehabilitación también es fundamental a la hora de ayudar a la recuperación del animal y mejorar su bienestar y calidad de vida.
6. El tratamiento con células madre aún se está investigando y es necesario un estudio más profundo. Sin embargo, los datos aportados hasta el momento indican que esta terapia tiene un futuro prometedor.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Beltrán, E. (2018). Enfermedades agudas de la médula espinal - Cuando la solución no es neurocirugía. *AVEPA*, 1–5.
- Besalti, O., Aktas, Z., Can, P., Akpinar, E., Elcin, A. E., & Elcin, Y. M. (2016). The use of autologous neurogenically-induced bone marrow-derived mesenchymal stem cells for the treatment of paraplegic dogs without nociception due to spinal trauma. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 78(9), 1465–1473. <https://doi.org/10.1292/jvms.15-0571>
- Bezuidenhout, A. . (2013a). The Heart and Arteries. En H.E. Evans & A. de Lahunta (Eds.), *Miller's Anatomy of the Dog* (4ª ed., pp. 428–504). ELSEVIER.
- Bezuidenhout, A. . (2013b). Veins. En H.E. Evans & A. de Lahunta (Eds.), *Miller's Anatomy of the Dog* (4ª ed., pp. 505–534). ELSEVIER.
- Branco, É., Alves, J. G. R., Pinheiro, L. L., Coutinho, L. N., Gomes, C. R., Galvao, G. R., ... De Lima, A. R. (2020). Can Paraplegia by Disruption of the Spinal Cord Tissue Be Reversed ? The Signs of a New Perspective. *The Anatomical Record*, 303(7), 1812–1820. <https://doi.org/10.1002/ar.24262>
- Brisson, B. A. (2010). Intervertebral Disc Disease in Dogs. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 40(5), pp. 829–858. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2010.06.001>
- Casimiro, R., & Platt, S. R. (2017). Spinal Cord Diseases: Congenital (Developmental), Inflammatory, and Degenerative Disorders. En S. J. Ettinger, E. C. Feldman, & E. Côté (Eds.), *Textbook of Veterinary Internal Medicine* (8ª ed., Vol. 2, pp. 1428–1442). ELSEVIER.
- Chow, L., Mcgrath, S., De Arruda, C., Whalen, L., Packer, R., & Dow, S. (2020). Generation of Neural Progenitor Cells From Canine Induced Pluripotent Stem Cells and Preliminary Safety Test in Dogs With Spontaneous Spinal Cord Injuries. *Frontiers in Veterinary Scienc*, 7, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.575938>.
- Cizkova, D., Murgoci, A. N., Cubinkova, V., Humenik, F., Mojzisova, Z., Maloveska, M,... Salzet, M. (2020). Spinal Cord Injury: Animal Models , Imaging Tools and the Treatment Strategies. *Neurochemical Research*, 45(1), 134–143. <https://doi.org/10.1007/s11064-019-02800-w>.
- De Risio, L., & Platt, S. R. (2010). Fibrocartilaginous Embolic Myelopathy in Small Animals. *Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*, 40(5), 859–869. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2010.05.003>.
- DiFazio, J., & Fletcher, D. J. (2013). Updates in the Management of the Small Animal Patient

- with Neurologic Trauma. *Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*, 43(4), 915–940. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2013.03.002>.
- Evans, H.E., & de Lahunta, A. (2013). The Skeleton. En H.E. Evans & A. de Lahunta (Eds.), *Miller's Anatomy of the Dog* (4^a ed., pp. 80-157). ELSEVIER.
- Fletcher, T. F. (2013). Spinal Cord and Meninges. En H.E. Evans & A. de Lahunta (Eds.), *Miller's Anatomy of the Dog* (4^a, pp. 589–610). ELSEVIER.
- Fluehmann, G., Doherr, M. G., & Jaggy, A. (2006). Canine neurological diseases in a referral hospital population between 1989 and 2000 in Switzerland. *Journal of Small Animal Practice*, 47(10), 582–587. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2006.00106.x>.
- Granger, N., & Carwardine, D. (2014). Acute spinal cord injury: Tetraplegia and paraplegia in small animals. *Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*, 44(6), 1131–1156. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2014.07.013>.
- Granger, N., Olby, N. J., Nout-Lomas, Y. S. & the Canine Spinal Cord Injury Consortium (2020). Bladder and Bowel Management in Dogs With Spinal Cord Injury. *Frontiers in Veterinary Scienc*, 7, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.583342>.
- Haley, A. C., & Shchatzberg, S. J. (2018). Medical Conditions of the Vertebral Column and Spinal Cord. En S. A. Johnston & K. M. Tobias (Eds.), *Veterinary Surgery Small Animal* (2^a ed., Vol 1, pp. 417–438). ELSEVIER.
- Jeffery, N.D. (2017). Spinal Cord Diseases: Traumatic, Vascular, and Neoplastic Disorders. En S. J. Ettinger, E. C. Feldman, & E. Côté (Eds.), *Textbook of Veterinary Internal Medicine* (8^a ed., Vol 2, pp. 1443–1451). ELSEVIER.
- Jeffery, N. D., Levine, J. M., Olby, N. J., & Stein, V. M. (2013). Intervertebral Disk Degeneration in Dogs: Consequences, Diagnosis, Treatment, and Future Directions. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 27(6), 1318–1333. <https://doi.org/10.1111/jvim.12183>.
- Jeffery, N.D., Smith, P. M., Lakatos, A., Ibanez, C., Ito, D., & Franklin, R. J. M. (2006). Clinical canine spinal cord injury provides an opportunity to examine the issues in translating laboratory techniques into practical therapy. *Spinal cord*, 44(10), 584–593. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101912>.
- Jeffery, N. D. (2010). Vertebral fracture and luxation in small animals. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 40(5), 809–828. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2010.05.004>
- Jones, B. R., & Shiel, R. (2010). Neurologic disorders. En M. Schaer (Ed.), *Clinical Medicine of*

The Dog and Cat (2ª, pp. 631–672). MANSON PUBLISHING.

- Jung, D., Ha, J., Kang, B., Kim, J., Quan, F., Lee, ... Park, H. (2009). A comparison of autologous and allogenic bone marrow-derived mesenchymal stem cell transplantation in canine spinal cord injury. *Journal of the Neurological Sciences*, 285(1–2), 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2009.05.027>.
- Kang, M.-H., & Park, H. (2020). Challenges of stem cell therapies in companion animal practice. *Journal of Veterinary Science*, 21(3), 1–22.
- Kerwin, S. C., Levine, J. M., & Mankin, J. M. (2018). Thoracolumbar Vertebral Column. En S. A. Johnston & K. M. Tobias (Eds.), *Veterinary Surgery Small Animal* (2ª ed., Vol 1, pp. 485–513). ELSEVIER.
- Kim, Y., Jo, S., Kim, W. H., & Kweon, O. (2015). Antioxidant and anti-inflammatory effects of intravenously injected adipose derived mesenchymal stem cells in dogs with acute spinal cord injury. *Stem Cell Research & Therapy*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13287-015-0236-5>
- Kim, Y., Lee, S. H., Kim, W. H., & Kweon, O. (2016). *Transplantation of adipose derived mesenchymal stem cells for acute thoracolumbar disc disease with no deep pain perception in dogs*. 17(1), 123–126. <https://doi.org/10.4142/jvs.2016.17.1.123>.
- Lee, J.-H., Chang, H.-S., Kang, E.-H., Chung, D.-J., Choi, C.-B., Lee, J.H, ... Kim, H.-Y. (2009). Percutaneous transplantation of human umbilical cord blood–derived multipotent stem cells in a canine model of spinal cord injury. *Spine*, 11(6), 749–757. <https://doi.org/10.3171/2009.6.SPINE08710>
- Mai, W. (2018). Traumatología: papel del diagnóstico por la imagen. *AVEPA*, 1–4.
- Moeser, A., & Vite, C. (2012). Acute spinal cord injuries. *Today's Veterinary Practice*, 38–84.
- Moore, S. A., Tipold, A., Olby, N. J., Stein, V., & Granger, N. (2020). Current Approaches to the Management of Acute Thoracolumbar Disc Extrusion in Dogs. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00610>.
- Moraes, E., Santana, C., Teixeira, E., Pinheiro, M. V., Alice, F., Bahia, C.M., ... Pereira, M. . (2014). Use of autologous mesenchymal stem cells derived from bone marrow for the treatment of naturally injured spinal cord in dogs. *Stem Cells International*, 2014, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2014/437521>.
- Nishida, H., Nakayama, M., Tanaka, H., Kitamura, M., Hatoya, S., Sigiura, K.,... Inaba, T. (2012). Safety of Autologous Bone Marrow Stromal Cell Transplantation in Dogs with

- Acute Spinal Cord Injury. *Veterinary Surgery*, 41(4), 437–442.
<https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2011.00959.x>.
- Olby, N. (2010). The pathogenesis and treatment of acute spinal cord injuries in dogs. *Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*, 40(5), 791–807.
<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2010.05.007>.
- Olby, N. J., & Jeffery, N. D. (2018). Pathogenesis and Physiology of Central Nervous System Disease and Injury. En S. A. Johnston & K. M. Tobias (Eds.), *Veterinary Surgery Small Animal* (2ª ed., Vol 1, pp. 402–416). ELSEVIER.
- Park, E. H., White, G. A., & Tieber, L. M. (2012). Mechanisms of injury and emergency care of acute spinal cord injury in dogs and cats. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, 22(2), 160–178. <https://doi.org/10.1111/j.1476-4431.2012.00723.x>.
- Platt, S. R., & Casimiro da Costa, R. (2018). Cervical Vertebral Column and Spinal Cord. En S. A. Johnston & K. M. Tobias (Eds.), *Veterinary Surgery Small Animal* (2ª ed., Vol 1, pp. 438–485). ELSEVIER.
- Ryu, H.-H., Lim, J.-H., Byeon, Y.-E., Park, J.-R., Seo, M.-S., Lee, Y.-W., ... Oh-Kyeong, K. (2009). Functional recovery and neural differentiation after transplantation of allogenic adipose-derived stem cells in a canine model of acute spinal cord injury. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care*, 10(4), 273–284.
<https://doi.org/10.4142/jvs.2009.10.4.273>
- Saunders, W. B., Gregory, C. A., Bearden, R. N., & McNeill, E. P. (2018). Stem Cells and Regenerative Medicine. En S. A. Josndton & K. M. Tobias (Eds.), *Veterinary Surgery Small Animal* (2ª ed., Vol 1, pp. 29–40). ELSEVIER.
- Schatzberg, S. J. (2017). Neurologic Examination and Neuroanatomic Diagnosis. En S. J. Ettinger, E. C. Feldman, & E. Côté (Eds.), *Textbook of Veterinary Internal Medicine* (8ª ed., Vol. 2, pp. 1368–1380). ELSEVIER.
- Schatzberg, S. J., & Haley, A. C. (2018). Neurologic Examination and Neuroanatomic Diagnosis. En S. A. Johnston & K. M. Tobias (Eds.), *Veterinary Surgery Small Animal* (2ª ed., Vol 1, pp. 347–362). ELSEVIER.
- Seim, H. B. (2009). Neurocirugía. En T. W. Fossum (Ed.), *Cirugía en pequeños animales* (3ª ed., pp. 1357–1514). ELSEVIER.
- Sharun, K., Rawat, T., Kumar, R., Chandra, V., Chandra, A., Pawde, A. , ... Taru, G. (2020). Clinical evaluation following the percutaneous transplantation of allogenic bone marrow-

- derived mesenchymal stem cells (aBM-MSc) in dogs affected by vertebral compression fracture. *Veterinary and Animal Science*, 10, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2020.100152>.
- Swiech, F., Kuniyoshi, C. L., Fracaro, L., Senegaglia, A. C., Ishikawa, F. Y., Daga, D. R., ... Villanova, J. A. (2019). Comparison of the Efficacy of Surgical Decompression Alone and Combined With Canine Adipose Tissue-Derived Stem Cell Transplantation in Dogs With Acute Thoracolumbar Disk Disease and Spinal Cord Injury. *Frontiers in Veterinary Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00383>.
- Taylor, S. M. (2020). Sistema nervioso y trastornos neuromusculares. En R. W. Nelson & C. G. Couto (Eds.), *Medicina interna de pequeños animales* (6ª ed., pp. 1037–1186).
- Webb, A. A., Ngan, S., & Fowler, J. D. (2010). Spinal cord injury I: A synopsis of the basic science. *The Canadian Veterinary Journal*, 51(5), 485–492.
- Weh, J. M., & Kraus, K. H. (2018). Vertebral Fractures, Luxations, and Subluxations. En S. A. Johnston & K. M. Tobias (Eds.), *Veterinary Surgery Small Animal* (2ª ed., Vol 1, pp. 529–548). ELSEVIER.
- Wheeler, S. J., & Sharp, N. J. (1994). *Small animal Spinal disorders: Diagnosis and surgery*. Barcelona: Mosby.
- Yun, T., Lee, K.-I., Koo, Y., Kim, H., Chang, D., Lee, C., ... Kang, B.-T. (2020). Diffusion-Weighted Imaging Findings of Ischemic Spinal Injury in a Chondrodystrophic Dog With Fibrocartilaginous Embolism. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 1–6. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.598792>.