

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
SECCIÓN DE FISIOTERAPIA
TRABAJO DE FIN DE GRADO

TÍTULO:

REVISIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS
TRATAMIENTOS DE FISIOTERAPIA EN LA LESIÓN DEL
NERVIO CIÁTICO EN RATAS

Autoras:

Esther Cabrera González

Raquel Campo León

CURSO ACADÉMICO 2021-2022

CONVOCATORIA DE JUNIO

TUTORES:

Juan Elicio Hernández Xumet

José Miguel Brito Armas

Resumen:

INTRODUCCIÓN: se realiza una revisión sistemática acerca de los tratamientos de Fisioterapia aplicados en la lesión del nervio ciático en ratas. Para ello se debe conocer la anatomía del nervio, los modelos de lesión y las pruebas de valoración de la misma, además de los tratamientos existentes.

METODOLOGÍA: consultadas las bases de datos PEDro, Medline, Cinahl y Scopus, finalmente se analizaron 9 artículos obtenidos de la base de datos Scopus siguiendo los criterios de inclusión de antigüedad máxima de 5 años, artículos con texto de acceso abierto y completo, idioma español e inglés, ensayos clínicos y realizados en ratas.

RESULTADOS: se extrajeron los datos de los artículos seleccionados concluyendo que todos presentan una buena calidad metodológica según los criterios de las escalas PEDro y PRISMA.

DISCUSIÓN: existe una falta de artículos que relacionen la patología con la Fisioterapia, además de falta de investigación y apoyo económico para su desarrollo.

CONCLUSIÓN: la investigación en este campo debe potenciarse en Fisioterapia. Una asistencia sanitaria mejorada incluye el conocimiento de las bases de sus tratamientos.

Palabras clave: nervio ciático, Fisioterapia, investigación básica, modelos murinos, neuropatía.

Abstract:

INTRODUCTION: A systematic review is made of the Physiotherapy treatments applied to sciatic nerve injury in rats. For this purpose, the anatomy of the nerve, the lesion models and the tests for its assessment, as well as the existing treatments, must be known.

METHODOLOGY: The PEDro, Medline, Cinahl and Scopus databases were consulted. Finally, 9 articles obtained from the Scopus database were analyzed following the inclusion criteria of a maximum age of 5 years, articles with open and complete access text, Spanish and English language, clinical trials and performed in rats.

RESULTS: data were extracted from the selected articles, concluding that all the studies present a good methodological quality according to the criteria of the PEDro and PRISMA scales.

DISCUSSION: there is a lack of articles relating the pathology with Physiotherapy, as well as a lack of research and economic support for its development.

CONCLUSION: research in this field should be promoted in Physiotherapy. Improved health care includes knowledge of the basis of its treatments.

Key words: sciatic nerve, Physiotherapy, basic research, murine models, neuropathy.

Agradecimientos

Desde el comienzo de nuestra trayectoria en el Grado de Fisioterapia hemos estado rodeadas de una gran cantidad de profesionales que nos han permitido conocer la belleza de esta profesión, así como todos los conocimientos necesarios para poder desempeñarla adecuadamente, siempre motivándonos a ser críticos y rigurosos con nuestro trabajo.

Por este motivo, queremos agradecer a la Universidad de La Laguna y a todos los profesores que componen el grado su paciencia y esfuerzo por guiarnos en este proceso, impartiéndonos las materias precisas y aportándonos sus experiencias para que el día de mañana tengamos las herramientas necesarias para poder ofrecer un servicio de calidad.

Asimismo, agradecemos a nuestros tutores Juan Elicio Hernández Xumet y José Miguel Brito Armas, por permitirnos formar parte de su proyecto de investigación, despertando en nosotras la curiosidad científica y ayudarnos a despertar a su vez el interés crítico y estricto en el campo de la investigación. Además, agradecemos que nos hayan acompañado en el desarrollo de este trabajo, atendiendo siempre a nuestras dudas y necesidades.

A los tutores externos, que nos han permitido aprender nuevas técnicas, así como aprender a manejar las diferentes situaciones que se han podido presentar durante el desarrollo de las prácticas externas.

Al personal del Estabulario y Animalario de la ULL, por permitirnos visitar sus instalaciones y acogernos con hospitalidad.

Finalmente, damos las gracias a nuestras familias, por haber sido partícipes del crecimiento tanto personal, como académico y profesional que hemos llevado a cabo en estos 4 años; y por habernos animado siempre a continuar y a mejorar en los momentos más complicados.

Simplemente, gracias.

ÍNDICE:

	Páginas
1. INTRODUCCIÓN.	
1.1. Anatomía del nervio ciático en ratas.	3-4
1.2. Modelos de lesión del nervio ciático.	4-8
1.3. Pruebas funcionales y conductuales de valoración de la lesión del nervio	9-18
1.4. Tratamientos de Fisioterapia empleados en la experimentación con ratas.	18-25
2. JUSTIFICACIÓN.	29-34
3. OBJETIVOS.	38
4. METODOLOGÍA.	
4.1 Búsqueda en las bases de datos.	42
4.2 Selección de artículos.	42
5. RESULTADOS.	
5.1 Extracción de datos.	46-54
5.2 Evaluación de los sesgos.	54-57
6. DISCUSIÓN.	61-62
7. CONCLUSIÓN.	66
8. BIBLIOGRAFÍA.	70-75

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Anatomía del nervio ciático en ratas.

El sistema nervioso en las ratas está compuesto por el cerebro, la médula espinal, los nervios y los órganos sensitivos. Todos estos componentes se encargan de la coordinación de los movimientos del cuerpo, la detección de los estímulos y la formulación de respuestas adecuadas para esos estímulos.

Dentro del sistema nervioso, los nervios espinales están formados por dos raíces que surgen de la médula espinal en cada nivel medular. Cada una de esas dos raíces está formada por 15 ramas dorsales y 15 ventrales, mientras que los humanos tienen la mitad de ramas. Estos nervios espinales contienen fibras sensoriales y motoras. Una vez los nervios espinales salen de la columna vertebral se dividen en dos ramas, una dorsal que inerva la musculatura de la espalda y piel adyacente, y una ventral que inerva la musculatura hipoaxial (diafragma, musculatura de las extremidades, músculos abdominales y vertebrales) y la piel de la zona. Además, aparece una rama comunicante que se conecta con el tronco simpático del sistema nervioso autónomo. Snyder, J. et al. (2018).

El nervio ciático es la rama principal del plexo lumbosacro siendo el nervio más investigado entre los componentes del sistema nervioso periférico de estos animales. Adelino, C. et al. (2016). Tiene su origen, principalmente, a nivel de la raíz nerviosa L4-L5, aunque en algunos casos, se unen ramas provenientes de L3 o L6. Snyder, J. et al. (2018). Al principio, el nervio es unifascicular, pero a 5-7mm del trocánter se divide en 2 y luego en 4 fascículos. La porción tibial da origen a los nervios tibial y sural, y la porción peronea genera el nervio peroneo y una rama cutánea que perfora los músculos isquiotibiales laterales para inervar la parte proximal lateral de la pantorrilla. Schmalbruch, H. (1986). (Ver figuras 1 y 2).

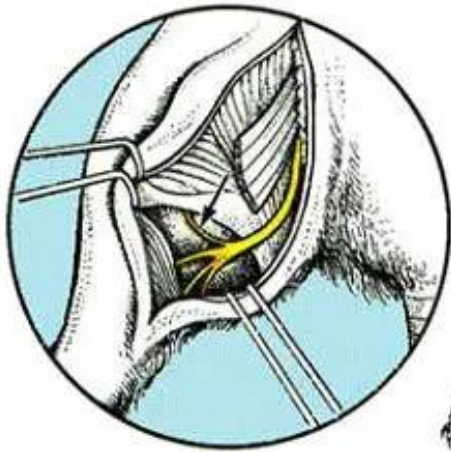


Figura 1. Ilustración del nervio ciático de la rata.

López, C. (2014, 19 mayo). Anatomía del nervio ciático de una rata [Ilustración]. Movilización neural para el dolor neuropático.

<https://carloslopezcubas.com/2014/05/movilizacion-neural-para-el-dolor-neuropatico.html>



Figura 2. Disección de una rata, visualización del nervio ciático.

Imagen de autoría propia

1.2 Modelos de lesión del nervio ciático.

Para poder valorar los diferentes tratamientos de Fisioterapia aplicables a las lesiones del nervio ciático en ratas, debemos, primero, lesionar el nervio y asegurarnos de que la lesión ha sido efectiva. Para ello, se pueden llevar a cabo diversos procedimientos:

- Sección completa del nervio con posterior sutura del mismo: fue descrito por Wall y col. Este tipo de lesión produce una interrupción inmediata e irreversible de la conducción nerviosa del nervio y la consiguiente degeneración walleriana axonal y la reorganización neuronal nueva (también llamada sprouting) que se produce en los axones proximales. También se conoce a este modelo como modelo del neuroma. Este modelo fue de gran importancia ya que se comparaba con lo que podría sucederle a un individuo que sufriera una amputación traumática de alguna extremidad o una sección nerviosa. De esta manera se estableció que, por la actividad espontánea o estimulada de las terminaciones nerviosas lesionadas, se podía explicar las sensaciones de dolores anormales en

los casos mencionados anteriormente, entre otras cosas. Este modelo podría ser considerado como el correlato experimental del dolor del miembro fantasma (aunque aún no se poseen pruebas suficientes para confirmarlo). A pesar de lo previamente mencionado, este modelo fue conflictivo debido a la disparidad de opiniones en cuanto a la objetividad, reproducibilidad y la ética del mismo, entre otros motivos. Baños, J. E. et al. (2006).

- Modelo de la ligadura del nervio ciático: fue propuesto por Bennet y Xie en 1988 y se conoce también como modelo de constricción crónica del ciático o de ligadura laxa. Consiste en aislar el nervio ciático cerca de la trifurcación y realizar tres ligaduras a su alrededor separadas entre ellas por 1 milímetro, con un tipo de hilo llamado hilo catgut crómico. De esta manera, se constriñe el nervio disminuyendo la circulación sanguínea, aunque no se impide totalmente. Los principales signos observados tras este procedimiento son las conductas de protección de la pata operada, la hiperalgesia térmica y la alodinia mecánica, que aparecen normalmente a la semana de realizar el procedimiento y persisten alrededor de tres meses. En la actualidad, se han desarrollado variaciones de este modelo, como por ejemplo el modelo de ligaduras parciales del nervio. Goicoechea, C. (s.f). Este modelo, comparándolo con posibles daños en los seres humanos, se podría asemejar a una lesión nerviosa por compresión del nervio tras una fractura, entre otros casos.

- Modelo de ligadura parcial del nervio ciático: descrito por Seltzer y col. Consiste en realizar una ligadura apretada en el nervio, lo que provoca dolor espontáneo, alodinia mecánica e hiperalgesia térmica bilateral. Baños, J. E. et al. (2006). Este caso es similar al anterior en cuanto a la comparación con daños en el humano, pero no se llega a comprimir totalmente el nervio, por lo que se conserva parte de la conducción nerviosa.

- Modelo estandarizado de lesión nerviosa de Mosconi y Kruger: consiste en la colocación de un manguito de polietileno en el nervio, lo que causa alteraciones morfológicas como desmielinización y sprouting regenerativo, entre otras

consecuencias. Por otro lado, se observaron alteraciones de la marcha, hiperalgesia mecánica y alodinia al frío. Baños, J. E. et al. (2006).

- Modelo de lesión criogénica del nervio ciático: descrito por DeLeo y col. Este modelo se basa en la aplicación de una sonda enfriada a -60°C en un período de un minuto, aproximadamente, alternando dos secuencias (una de congelamiento y una de deshielo). Los animales presentaron alodinia mecánica bilateral y cierto grado de autotomía. Baños, J. E. et al. (2006).

- Modelo de lesión mediante láser con argón: modelo desarrollado por Kupers y col. Baños, J. E. et al. (2006).

- Modelo de lesión mediante la provocación de una neuropatía diabética: existe la posibilidad de producir una diabetes en animales y evaluar su repercusión neurológica. Esto se debe a que, por ejemplo, algunas ratas pueden desarrollar la enfermedad de forma espontánea y otras pueden desarrollarla mediante diferentes métodos (por ejemplo: por una alimentación con un pienso altamente calórico, por una inyección de una dosis única de un fármaco que destruye los islotes de Langerhans llamado estreptozotocina, etc.). Estos modelos pueden provocar hiperalgesia y alodinia mecánica y térmica. Este modelo tiene grandes ventajas, pero ha sido fruto de controversia debido a que, en ocasiones, se podría provocar al animal una diabetes demasiado grave que no permite diferenciar las consecuencias sistémicas de la enfermedad de la neuropatía. Baños, J. E. et al. (2006).

- Modelo de lesión con inflamación: Eliav y col. Idearon un modelo que consiste en colocar el adjuvante completo de Freund (una sustancia utilizada en los modelos de dolor por inflamación y para causar poliartropatías) en los alrededores del nervio ciático para provocar una respuesta inflamatoria. Se observó la presencia de hiperalgesia mecánica y térmica y alodinia mecánica y al frío de forma homolateral. Por otro lado, Wagner y Myers, describieron un

modelo en el que se administra una inyección endoneural de citocinas que provocaba fenómenos inflamatorios (en este caso, se administra el factor de necrosis tumoral a en el nervio ciático y se produce hiperalgesia térmica y alodinia mecánica durante los tres días siguientes, además de diversos cambios morfológicos nerviosos). Otra posible citocina podría ser el factor de crecimiento (que provoca hiperalgesia térmica sin alodinia mecánica). Baños, J. E. et al. (2006).

- Modelo de lesión por pinzamiento: consiste en realizar una intervención quirúrgica en la que se deja expuesto momentáneamente el nervio ciático de la rata y, a continuación, se coloca una pinza de sutura 2 cm proximal al punto de bifurcación del nervio. Se mantiene durante 30 segundos y, finalmente, se retira la pinza y se sutura la piel del animal. Este modelo de lesión provoca una disminución notable de la movilidad de la pata lesionada y dificultad en la marcha. González, O. et al. (2011). Un ejemplo de este tipo de lesión en individuos humanos sería el impingement subacromial o el pinzamiento del nervio ciático por una hernia discal.
- Modelo de lesión por estiramiento: se realiza aplicando fuerzas de tracción que exceden la capacidad de estiramiento fisiológico del nervio, ocurriendo una lesión en continuidad. Esto puede compararse con una lesión común en el ser humano, como es la lesión del plexo braquial con el parto. García, M. M. (2016).

Modelo	Ventajas	Inconvenientes	Tipo de daño
Sección completa del nervio con sutura	Interrupción inmediata de la conducción nerviosa Equiparable a dolor de miembro fantasma	Irreversible Disparidad de opiniones en cuanto a objetividad, reproducibilidad y ética	Sección del nervio
Ligadura del nervio	Equiparable a lesión nerviosa por compresión del nervio	-	Ligadura alrededor del nervio
Ligadura parcial del nervio ciático	Equiparable a lesión nerviosa por compresión del nervio	-	Ligadura apretada del nervio
Lesión nerviosa de Mosconi y Kruger	-	-	Colocación de manguito de polietileno en el nervio
Lesión criogénica del nervio	-	-	Aplicación de sonda a -60°C (1 minuto)
Lesión mediante láser con argón	-	-	Láser de argón
Lesión mediante provocación de neuropatía diabética	-	Posibilidad de provocar diabetes demasiado grave para diferenciar las consecuencias	Producción de diabetes
Lesión con inflamación	-	-	Colocar adyuvante completo de Freund o inyección endoneural de citocinas
Lesión por pinzamiento	Equiparable a un pinzamiento de nervio	-	Pinza de sutura en el nervio
Lesión por estiramiento	Equiparable a lesión del plexo braquial en el parto (lesiones por distensión)	-	Fuerzas de tracción que exceden la capacidad de estiramiento fisiológico del nervio

1.3 Pruebas funcionales y conductuales de valoración de la lesión del nervio.

Para el estudio del nervio ciático, los investigadores utilizan los diferentes modelos de lesión del nervio con el fin de poder aplicar diferentes tratamientos para comprobar su efectividad. Sin embargo, previamente a realizar los tratamientos, debemos corroborar que el nervio ha sido lesionado con éxito. Para comprobar esto, se utilizan diferentes pruebas o procedimientos, entre los que podemos encontrar:

- Modelo PIFIR: consiste en colocar a la rata en una superficie redonda de 30 centímetros de diámetro que gira a una velocidad de 4 revoluciones por minuto. La rata debe caminar durante 2 minutos en la plataforma y descansar durante 15 minutos (este proceso se repite 3 veces). Durante la realización de la prueba, el animal tiene un electrodo en cada pata trasera que permite comparar el tiempo de contacto con la superficie de la pata sana y de la lesionada. Tamayo-Venezuela, A. et al. (2004).
- Evaluación conductual con rejilla: consiste en medir el tiempo que tarda una rata en cruzar una rejilla metálica de 44 x 44 centímetros y con huecos rectangulares de 3'5 x 5 centímetros. Al final de la prueba se coloca una caja igual a la que se utiliza para la estancia inicial del animal como motivación. Además, se valora el número de veces que la pata lesionada cae en alguno de los huecos. Se realiza esta prueba antes y después de la lesión para poder comparar los resultados obtenidos. González, O. et al (2011).
- Prueba de campo abierto (OFT): permite analizar la actividad locomotriz y la actividad conductual. Requiere de una caja con arena y una cámara para poder observar el comportamiento de la rata. Se establecen algunos parámetros de estudio con el software EthoVision XT (tamaño de la arena, tiempo de inicio y finalización de la prueba...). A continuación, se coloca la rata en el centro de la arena y se inicia la prueba (durante la grabación debemos estar alejados para evitar distraer a la rata). Al finalizar la prueba, se realiza el análisis de datos con el software ya mencionado y se estudian parámetros como la distancia recorrida, la velocidad y el tiempo, entre otros.

- Análisis de la marcha CatWalk XT: nos permite evaluar diferentes parámetros como las huellas, la postura y la marcha de los animales. El procedimiento consta de una pasarela de cristal que se ilumina con luz LED verde y la luz dispersada por las huellas de los animales se captura con una cámara de vídeo, que se encuentra debajo de la pasarela. La prueba se debe realizar a oscuras o, para facilitar el procedimiento experimental en condiciones oscuras, se puede iluminar la sala con luz roja. De manera orientativa, la pasarela debe medir 65 centímetros de largo y 7 de ancho. Aunque debemos tener en cuenta el tamaño de las ratas y que se debe medir un mínimo de 3 huellas por pata en cada recorrido. Para que la prueba sea válida, se debe repetir el proceso 3 veces midiendo de manera correcta lo mencionado anteriormente. Para la realización de esta prueba es necesario entrenar a las ratas previamente 8 días. Para analizar los resultados se realizan mediciones interactivas de las huellas (se establecen marcadores para medir la propagación del dedo, la dispersión intermedia del dedo, longitud de impresión manual...). Esta prueba debe realizarse antes y después de la lesión para poder comparar los datos.

- Prueba de caminar por la viga: sirve para determinar déficits de la marcha y analizar la coordinación motora (capacidad de coordinar la activación muscular de diferentes partes del cuerpo). La viga debe medir, aproximadamente, 90 centímetros de largo, 1,7 centímetros de ancho y 2 centímetros de alto. La rata debe cruzar la viga sin interrupciones tres veces, debe grabarse el proceso y medir el tiempo que tarda en cruzar, el número de pasos, los errores cometidos por el animal y el porcentaje de deslizamiento. El periodo de entrenamiento será de 7 días y se realizará la prueba pre y post-lesión.

- Prueba de subir peldaños de escalera: evalúa la función motora, la colocación de las extremidades y la coordinación. La rata debe atravesar la pasarela de 100 centímetros con peldaños tres veces sin interrupción para que se pueda calificar la prueba como apta. Se realizarán 8 días de entrenamiento. Se grabará el proceso, tanto antes de la lesión como después. Se mide el tiempo en el que se

realiza la prueba, el número de pasos y el número de errores. Knorr, S., et al (2021).

- Índice funcional del ciático: se utiliza para valorar la lesión del nervio y su regeneración. Tras la cirugía, a las cuatro, ocho y doce semanas, se estudia el patrón de marcha de los animales sobre una madera (cuyas medidas son 100x20x15 centímetros). Las patas traseras del animal se manchan con tinta de manera que podemos observar las alteraciones en las huellas al caminar. (Ver figura 3). Se valoran datos como la longitud de impresión (que se refiere a la distancia entre el talón y la parte superior del tercer dedo), extensión del dedo intermedio (que se refiere a la distancia entre el segundo y el cuarto dedo del pie) y la extensión de los dedos del pie (la distancia entre el primer y el quinto dedo). (Ver figura 4).

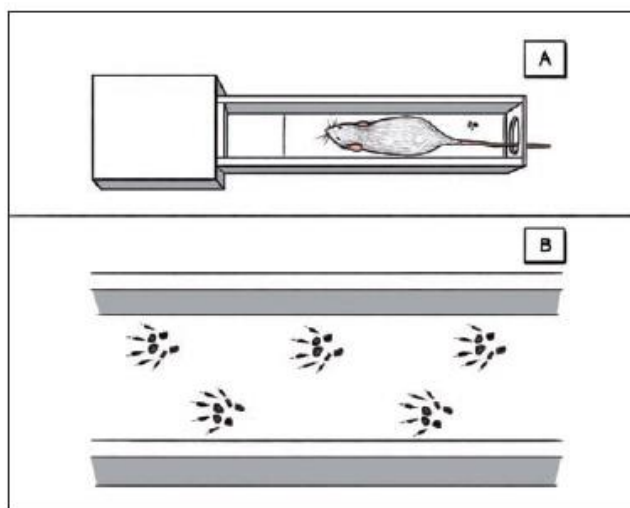


Fig. 1. Índice de función del nervio ciático (IFC) por prueba de marcha.

Figura 3. Prueba de marcha con impresión de huellas.

Sorrenti-Pérez, N. (2016). *Índice Funcional del Nervio Ciático mediante prueba de marcha (IFC)* [Ilustración]. Estudio preliminar experimental en ratas: uso de plasma rico en plaquetas en el tratamiento de lesiones agudas de nervios periféricos.

https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-78922016000200006

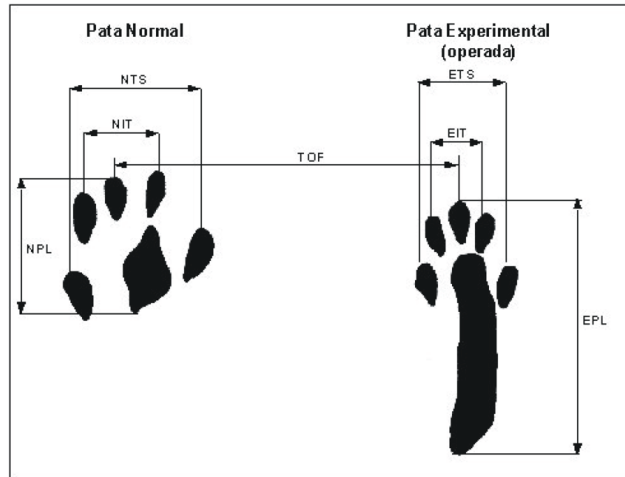


Figura 4. Parámetros medidos en la impresión de una huella.

Monte-Raso, V. (2005, diciembre). *Representación esquemática de los parámetros medidos para calcular el Índice Funcional del Ciático (IFC)*. [Ilustración]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Representacao-esquemática-dos-parametros-medidos-para-calcul-o-Indice_fig1_262624020

- Valorar tamaño y volumen de diferentes estructuras: estudios revelan que las ratas con lesión en el ciático presentan una reducción del número total de fibras nerviosas, del grosor de la vaina de mielina de las fibras, del volumen total del nervio ciático, del volumen total del ganglio de la raíz dorsal de la médula, del número de neuronas, del número de motoneuronas, entre otras variables. Sajadi, E., et al (2020). Por otro lado, tras realizar un estudio electrofisiológico se observó que, posteriormente a la lesión, las ratas sufrían una disminución de la activación del músculo por los potenciales de acción y del corrimiento de latencia de la onda F. González, O. et al. (2011). (Ver figura 5).

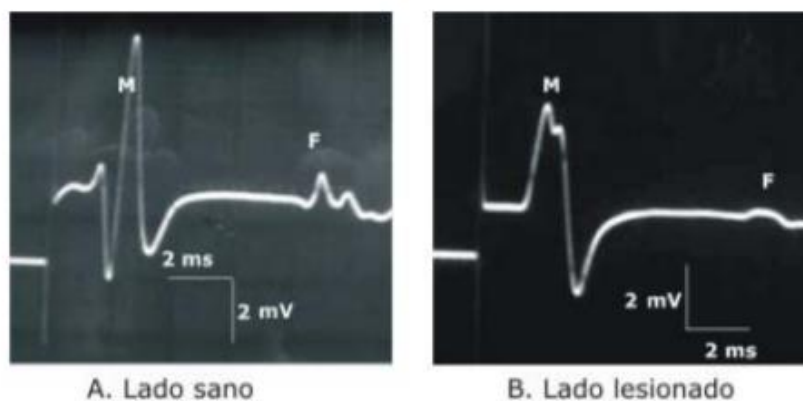


Figura 5. Estudio electrofisiológico del músculo sano frente al lesionado.

González, O. T. (2011). Evidencia electrofisiológica del efecto de la lesión [Fotografía]. En Un método experimental para lesionar un nervio periférico y evaluar conductualmente la recuperación y el efecto de tratamientos restaurativos (2.a ed., pp. 260–270).

- Prueba Rotarod: para realizar la prueba se utiliza un aparato que posee una barra que gira de manera constante o acelerada gracias a un motor. Su uso permite observar las habilidades de coordinación motora, condición física y planificación motora de los roedores utilizando la valoración del tiempo de permanencia de los roedores sobre la barra giratoria en diferentes velocidades constituye una medida de su coordinación, condición física y planificación motora. Aparatos de evaluación en roedores (s. f.).
- Electromiografía: la electromiografía (EMG) y los estudios de conducción nerviosa son métodos de diagnóstico que miden la actividad eléctrica del sistema nervioso periférico (evaluando las neuronas motoras) y los músculos que inerva. Los resultados de estas pruebas permiten detectar una disfunción nerviosa, una disfunción muscular o inconvenientes con la transmisión de señales nerviosas. Electromiografía (2019). Electromiografía y estudios de conducción nerviosa (s. f.).

Gracias a esta prueba es posible evaluar el estado del animal antes y después de la lesión con el fin de poder observar los posibles cambios que se produzcan en el músculo, nervios o sistema nervioso en general. De esta manera, también

se puede evaluar el estado de la lesión en cada estadio de la misma y su evolución.

Sumado a lo anteriormente expuesto, se han realizado múltiples estudios sobre electromiografía en animales e, incluso, muchos se han realizado específicamente en ratas. Algunos de estos estudios son los siguientes:

→ *Análisis funcional del paladar blando de ratas mediante electromiografía inalámbrica en tiempo real*: el objetivo del estudio era analizar la función de los músculos palatinos y los efectos de la herida en el paladar (una herida quirúrgica previamente realizada). Para ello, se implantaron microelectrodos en seis ratas en tres localizaciones diferentes (en el músculo masetero en dos ratas, en el paladar blando no lesionado en dos ratas y en el paladar blando que recibió una herida quirúrgica en las dos ratas restantes). Dos semanas después de la implantación de los electrodos, se realizó una herida en el paladar blando utilizando un sacabocados de biopsia de 1 milímetro. Se realizaron mediciones electromiográficas y grabaciones de vídeo semanales para evaluar la duración del entrenamiento, la amplitud máxima durante la comida, el aseo y la bebida. En conclusión, se obtuvo que la amplitud máxima se vio reducida en las ratas con heridas, sugiriendo una función deteriorada del paladar blando tras esa incisión. Rosero-Salazar, D. H. et al. (2020).

→ *Detección de estrés agudo por electromiografía de músculo liso, un estudio traslacional en ratas y humanos*: el objetivo del estudio fue inducir una respuesta de estrés en ratas y humanos para detectar la actividad del tracto gastrointestinal, la frecuencia cardíaca (FC) y la temperatura corporal. La muestra del estudio fueron diez ratas Sprague-Dawley y 16 personas voluntarias y sanas. La detección del estrés se midió utilizando electromiografía del músculo liso, que registraba las ondas mioeléctricas del estómago, íleon y colon. A la vez, se midió la FC y la temperatura. En cuanto a los resultados, se observó que las ondas mioeléctricas del estómago, el ciego y el íleon aumentaron

durante la inmovilización en ratas, aumentando, a su vez, la FC y la temperatura dérmica del abdomen. En humanos, se observaron las mismas alteraciones, excepto la actividad en el colon que, en este caso, no sufrió alteración. Tras esto, se deduce que las alteraciones gastrointestinales durante el estrés en ratas y humanos son similares. Katalin, I. et al. (2021).

→ *Evaluación de los nervios tibial y fibular mediante electromiografía intraoperatoria en ratas*: la intención del estudio fue estudiar un nuevo modelo de evaluación electromiográfica intraoperatoria de los nervios mencionados y sus respectivas unidades motoras en ratas. Para ello, se utilizaron ocho ratas Wistar, las cuales fueron sometidas a electromiografía intraoperatoria en ambas extremidades posteriores en dos momentos diferentes (la semana 0 del estudio y la semana 12). A estos animales se les aplicó estimulación eléctrica supramáxima en el nervio ciático y se registró el potencial de acción muscular compuesto en el músculo gastrocnemio y el músculo extensor largo de los dedos. Esto se hizo a través de electrodos colocados en puntos específicos y la evaluación de la función motora se realizó a través del “Walking Track Test”. En los resultados se observó que la exposición de los músculos y nervios al examen no alteró la función tibial y fibular entre los momentos de evaluación. Por otro lado, la electromiografía del músculo gastrocnemio (inervado por el nervio tibial), reveló una amplitud y latencia similar en las semanas 0 y 12 (creando un estándar de normalidad). Sin embargo, la electromiografía del músculo extensor largo de los dedos (inervado por el nervio fibular), sí mostró diferencias significativas entre las amplitudes y latencias de la semana 0 a la 12. Como conclusión, se estableció que la electromiografía intraoperatoria evalúa adecuadamente la integridad de la unidad motora del músculo gastrocnemio, aunque no fue útil para evaluar objetivamente la unidad motora del extensor largo de los dedos. Coelho, A. et al. (2016).

→ *Electromiografía de sóleo, gastrocnemio medial y tibial anterior de rata durante la suspensión de las patas traseras*: la suspensión de las patas traseras se utiliza como modelo habitual para estudiar la plasticidad muscular. Además, este modelo se utiliza frecuentemente porque imita en muchos aspectos las condiciones impuestas a algunos músculos durante los vuelos espaciales. Los cambios que se producen en las propiedades musculares tras la suspensión de las patas traseras, generalmente se atribuyen a reducciones en el reclutamiento de estos músculos. En este estudio, para determinar la validez de esta última suposición, se utilizó la electromiografía de tres músculos de las extremidades posteriores (el sóleo, el gastrocnemio medial y el tibial anterior). Se registró la actividad en cada rata durante 25 minutos de cada hora durante 24 horas consecutivas. Esto se hizo 7 y 3 días antes de la suspensión, el día de la suspensión, y 3, 7, 14, 21 y 28 días después de esta. Las ratas que formaban el grupo control se trataron de manera similar, registrando la actividad en los mismos días mencionados. En comparación con los días previos a la suspensión, la actividad del sóleo se redujo significativamente al 91% el primer día de suspensión, pero se recuperó al 81% de su actividad normal el séptimo día tras la suspensión. Por otro lado, hubo una reducción al 54% de la actividad del gastrocnemio medial el día de la suspensión, que se recuperó al 98% el día 7. Por el contrario, el tibial anterior mostró un aumento significativo en la actividad en relación con los valores hallados previos a la suspensión. Esto indica que la reducción se produce relativamente a corto plazo en el sóleo y el gastrocnemio medial, lo que da como resultado un aumento de la actividad del tibial anterior. Los estudios colaborativos demostraron que se mantuvieron ciertas alteraciones en la masa muscular y las propiedades metabólicas y mecánicas del músculo a pesar de la recuperación casi total de los músculos tras la suspensión. Alford, E. K. et al. (1987).

→ *Evaluación de un modelo neurofisiológico de la rama mandibular del nervio facial en ratas mediante electromiografía*: el objetivo del estudio fue desarrollar un modelo experimental para la evaluación no invasiva y objetiva de la regeneración del nervio facial en ratas mediante la utilización de una prueba de conducción nerviosa motora, la electromiografía. Se utilizó una muestra de veintidós ratas, que fueron sometidas a una evaluación neurofisiológica utilizando la conducción nerviosa motora de la rama mandibular del nervio facial. De esta manera, se obtuvieron potenciales de acción muscular compuestos. Para registrar estos potenciales se colocaron dos electrodos de aguja en el músculo del labio inferior de la rata, se aplicó un estímulo eléctrico supramáximo y se midieron los valores de latencia, amplitud, longitud, área e intensidad de los potenciales obtenidos de cada lado mediante el uso de la prueba “Wilcoxon”. No se registraron diferencias significativas en la latencia, amplitud, duración, área o intensidad de los estímulos entre los dos lados. Se concluyó que este método de evaluación era no invasivo, fácil y altamente reproducible, lo que ayuda a mejorar las técnicas descritas anteriormente y puede contribuir en futuros estudios sobre la degeneración y regeneración del nervio facial. Salomone, R. et al. (2012).

→ *Efectos diferenciales del uretano y el isoflurano en la electromiografía y cistometría del esfínter uretral externo en ratas*: el uretano es un agente anestésico común que se suele preferir para registros urodinámicos en ratas, pero su uso suele restringirse a procedimientos terminales debido a la duración prolongada de su acción y sus efectos tóxicos. Si los registros urodinámicos son parte de modelos experimentales en roedores, los anestésicos por inhalación como el isoflurano se usan con frecuencia y generalmente son bien tolerados. En este estudio, se estudió el efecto del uretano y del isoflurano en la función del tracto urinario inferior. Para ello, se utilizaron 6 ratas hembra que fueron anestesiadas mediante administración subcutánea

de uretano y 5 ratas hembras que fueron anestesiadas por inhalación de isoflurano. Los reflejos de la micción se evaluaron mediante un cistometrograma concurrente y electromiografía del esfínter uretral externo. En la comparación entre ambos anestésicos, el isoflurano redujo la frecuencia de los estallidos, la frecuencia de activación y la amplitud de la actividad de la electromiografía durante la micción y la fase de llenado. El isoflurano también prolongó los intervalos intercontráctiles de la vejiga. Chang, H. et al. (2008).

→ *Control de prótesis con un sistema de electromiografía inalámbrico multicanal implantable para amputados de alto nivel:* las prótesis mioeléctricas carecen de una buena interfaz hombre-máquina, lo que genera altas tasas de abandono en amputados. Los sistemas de electromiografía inalámbricos implantables mejoran el control mediante el registro de señales del músculo frente a la electromiografía de superficie. En una prueba piloto, los electrodos se implantaron en las patas traseras de 24 ratas Sprague-Dawley. A las 8-12 semanas se evaluó la impedancia y la histocompatibilidad. Este estudio mostró que la implantación de este dispositivo podría funcionar como alternativa prometedora a la electromiografía de superficie, ya que proporciona una interfaz inalámbrica potencialmente poderosa para amputados de alto nivel. Bergmeister, K. et al. (2016).

1.4 Tratamientos de Fisioterapia empleados en la experimentación con ratas.

Los tratamientos que, hasta el momento, se han utilizado para tratar algún síntoma de las lesiones en el nervio ciático en ratas son:

- Ultrasonidos:

Protocolo: se estudiaron 4 grupos divididos en grupo control, grupo con lesión del ciático, pero sin aplicación de tratamiento y dos grupos a los que se les realizó terapia con ultrasonido continuo (1MHz, 0'4W/cm²) y pulsátil

(2W/cm², 20%, 3 minutos), respectivamente. El tratamiento se inició 3 días después de la lesión del nervio y fue diario durante 15 días. Se evaluaron las formas funcionales, histológicas y morfométricas.

Resultados: no mejoró el índice funcional del ciático, el umbral de abstinencia ni la fuerza de agarre tras el uso del ultrasonido. En cuanto a las evaluaciones morfométricas del diámetro de las fibras nerviosas y los axones, del grosor de la vaina de mielina y de las estimaciones del cociente G y de las fibras nerviosas, se estimó que los valores de las ratas a las que se les trató con ultrasonido pulsátil eran significativamente más bajos. El análisis morfológico reveló una intensa respuesta inflamatoria y de neovascularización, así como degeneración axonal y de la vaina de mielina para el grupo con lesión que no fue tratado y para el grupo tratado con ultrasonido continuo; sin embargo, el grupo tratado con ultrasonido pulsátil mostró una mayor desorganización tisular. En resumen, no hubo diferencias significativas mostrando recuperación funcional o nociceptiva entre los grupos tratados y no tratados con ultrasonido. Flor, G., et al (2017).

○ Electroacupuntura:

Protocolo (estudio 1): se aplicó electroacupuntura entre 5-20 Hz, a 2-3 mA, durante 15 minutos cada día, 6 días a la semana durante 3 semanas, en el nervio ciático derecho de las ratas (el nervio que se había lesionado). Se midió el peso húmedo de los músculos gastrocnemio de ambos lados para calcular la tasa de recuperación (peso del gastrocnemio derecho/peso del gastrocnemio izquierdo x100%).

Resultados: tras el tratamiento, la tasa de recuperación aumentó. Disminuyó la atrofia muscular causada por la lesión del nervio, aumentó la regeneración axonal y el transporte nervioso. Du, X. et al (2019).

Otro estudio sobre electroacupuntura (EA):

Protocolo (estudio 2): se estudiaron 48 ratas que se dividieron en 3 grupos (control, las tratadas con EA de baja frecuencia a 2 Hz y las tratadas con EA de alta frecuencia a 100 Hz). Todos los grupos fueron lesionados pinzando el nervio espinal. Las intervenciones (en los dos grupos en los que se realizó la

terapia) comenzaron 8 días después del pinzamiento. Se aplicó la terapia en el lado lesionado durante 15 minutos, una vez al día durante 14 días consecutivos. El objetivo del estudio era valorar el efecto de las diferentes frecuencias sobre la locomoción de las extremidades y la expresión de los factores inflamatorios en el nervio ciático y del factor nuclear Kappa B en la médula espinal. Para ello, se calculó el índice de función ciática para, posteriormente, poder evaluar la recuperación de la extremidad trasera afectada con referencia al grupo control. Los cambios histopatológicos del nervio se mostraron mediante tinción HE. Las expresiones de los factores inflamatorios en el tejido del nervio ciático se detectaron mediante inmunohistoquímica y se estudió el factor nuclear Kappa B mediante una marcación radioactiva llamada “Western blot”.

Resultados: tras el tratamiento, en los grupos en los que se aplicó el tratamiento, tanto a alta como baja frecuencia, se observó un incremento significativo en el índice funcional del ciático, lo que sugiere una mejora de la función motora de las extremidades (destacar que los resultados con el tratamiento de baja frecuencia fueron mejores). Por otro lado, en ambos grupos tratados, los niveles de expresión de los factores inflamatorios y del factor nuclear se regularon significativamente a la baja (el efecto terapéutico de la EA de baja frecuencia fue marcadamente superior a la de la EA de alta frecuencia en la regulación de los niveles de expresión de las proteínas). La tinción HE mostró un aumento en el número de células de Schwann, hinchazón celular, desintegración de los axones y la vaina de mielina y aparición de degeneración vacuolar en el grupo control, que fue más leve en los grupos tratados (más marcado en la terapia de baja frecuencia). Como conclusión, podemos deducir que este tipo de terapia puede promover la recuperación de la función motora de las patas traseras en ratas con lesión del ciático, lo que probablemente esté relacionado con su función de inhibir la respuesta inflamatoria y facilitar la reparación del nervio dañado. La terapia a 2 Hz es mejor que a 100 Hz en cuanto al efecto terapéutico logrado. He, Q. et al (2019).

- Estimulación de la médula espinal:

Protocolo: 3 días después de la lesión del nervio se realizó estimulación espinal a las ratas durante 6 horas mediante el uso de electrodos colocados paraespinalmente a la médula espinal a nivel de L4-S1. Se evaluó la sensibilidad mecánica plantar, la activación microglial y la excitabilidad neuronal del asta dorsal de L4. Las respuestas se examinaron usando imágenes ópticas in vivo con un colorante sensible al voltaje.

Resultados: la hipersensibilidad mecánica plantar que sufren las ratas tras la lesión del nervio ciático se redujo notablemente tras el tratamiento. Se mejoró la activación microglial y se suprimió la hiperexcitabilidad neuronal nociceptiva de asta dorsal de L4. Estos hallazgos sugieren que, con este tratamiento, se podría suprimir el dolor neuropático plantar inducido por la lesión nerviosa mediante la inhibición de la activación microglial en el asta dorsal de L4, que está involucrada en la hiperexcitabilidad neuronal espinal. Shinoda, M. et al (2020).

- Terapia con láser de bajo nivel:

Protocolo: se estudiaron treinta y seis ratas macho que se dividieron en 6 grupos experimentales: un grupo normal con o sin terapia con láser de 808 nm y un grupo con lesión por aplastamiento del nervio ciático con o sin terapia con láser de 808 nm. A las ratas se les administró la terapia transcutánea consecutiva en el sitio del aplastamiento y se sacrificaron 20 días después de la lesión por aplastamiento. Las evaluaciones funcionales de la regeneración nerviosa se analizaron utilizando el índice funcional ciático y el rango de movimiento de las patas traseras. La regeneración nerviosa se investigó midiendo el grosor de la vaina de mielina del nervio ciático usando un microscopio electrónico de transmisión y analizando la expresión de la proteína 43 asociada al crecimiento en el nervio ciático.

Resultados: encontramos que las ratas con lesión ciática que fueron irradiadas con láser habían mejorado significativamente el índice funcional del ciático pero que solo se encontró una mejora significativa del rango de movimiento de las patas traseras en aquellas ratas a las que se les trató con láser

de 8 J/cm². Además, el grosor de la vaina de mielina y los niveles de expresión de la proteína mejoraron significativamente en ratas con aplastamiento del nervio que recibieron terapia. Estos resultados sugieren que la terapia con láser a una densidad de energía baja es capaz de mejorar la regeneración del nervio ciático después de una lesión por aplastamiento. Wang, C. et al (2014).

- Estiramiento repetitivo rápido:

Protocolo: se estudió la influencia de las diferentes velocidades de estiramiento en la supresión de la fibrosis del músculo esquelético, producida por escisión del nervio ciático. El estiramiento se aplicó pasivamente al músculo plantar de la rata en tres ciclos diferentes de 0'5, 3 y 12 ciclos por minuto durante 20 minutos diarios durante 2 semanas.

Resultados: el análisis genético mostró una mayor expresión de factores relacionados con la fibrosis con el estiramiento rápido en comparación al músculo no estirado. El análisis del flujo sanguíneo indicó una reducción del flujo intramuscular durante el estiramiento. Por otro lado, el análisis histológico demostró una disminución del área fibrótica en el ciclo más rápido. En resumen, los estiramientos rápidos y repetitivos favorecen la supresión de los procesos de fibrosis muscular. Tanaka,S. et al. (2020).

- Técnica de movilización neural (neurodinamia):

Protocolo: Se utilizaron 2 grupos compuestos por 5 ratas cada uno, de unos 2 meses de edad aproximadamente. En el primer grupo, para la inducción del dolor neuropático, se llevó a cabo la constricción crónica del nervio ciático (grupo control); y en el segundo grupo, se le realizó una intervención similar en la que se expuso el ciático al mismo nivel, pero se dejó sin afectar, y se suturó el músculo (grupo simulado). Posteriormente, se observó a las ratas durante un periodo de 5 días y se analizó: la marcha, la exploración de la jaula, el grado de cojera que manifestaban y las condiciones de la pata trasera (incluidos los signos de acicalamiento excesivo o autotomía). A continuación, se midió el índice funcional del ciático (IFC) 14 días después de la lesión del nervio y se repitieron estas mediciones en la tercera, séptima y décima sesión

de neurodinamia y de simulación. La técnica de movilización neural se realizó de la siguiente manera: primero se anestesió a las ratas, después se las colocó en posición lateral izquierda para movilizar el lado derecho (ipsilateral a la intervención). Una vez colocadas todas las articulaciones implicadas con una mínima tensión de esos músculos, se iniciaron movimientos oscilatorios. La articulación del tobillo derecho se manipuló en dorsiflexión (de 30 a 45 grados) a unas 20 oscilaciones por minuto durante 2 minutos, seguidas de una pausa de 25 segundos para descansar. El tratamiento se realizó durante 10 minutos en un total de 10 sesiones.

Las huellas de los animales se obtuvieron utilizando tiras de papel impregnadas de bromofenoles azules. Se construyó una pasarela cuyas dimensiones eran de 44 cm x 8'7 cm, de madera y cerrada por los lados; al final de esta se dispuso una caja donde el animal podía encontrar refugio y comida. Los animales fueron entrenados para caminar por la pista antes de los pasos iniciales y se consideraron aptos si cruzaban la pasarela sin dudar. Una vez entrenados, se realizaron las pruebas con los animales caminando con las patas traseras humedecidas con agua sobre las hojas teñidas. A partir de las huellas obtenidas, se midieron los siguientes parámetros: longitud de la huella, extensión de los dedos y dedos intermedios.

Resultados: En este periodo, los animales de los grupos intervenidos y tratados con neurodinamia descargaron parcialmente su peso corporal sobre la pata derecha (lesionada), lo que se reflejó en la aducción completa de sus dedos y en la flacidez. Estos cambios se representaron como una disminución de los valores del índice funcional del ciático en comparación con las medidas de referencia y los grupos de control. En el grupo simulado (al que no se le intervino el nervio ciático), no se observaron cambios en los valores del IFC. Durante el tratamiento realizado con la técnica de movilización neural, los animales mostraron un aumento hasta valores cercanos a cero en el IFC, lo que representa una mejora de la locomoción y, por tanto, una disminución de la disfunción. Martinez, F. et al (2014).

- Ondas de choque:

Protocolo: el objetivo del estudio era investigar los efectos a corto plazo de las ondas de choque en la lesión del ciático en ratas. Los nervios se intervinieron quirúrgicamente y luego se les sometió a terapia con ondas de choque a tres intensidades. Se evaluaron diferentes parámetros como: la velocidad de conducción del nervio ciático (esto se valoró antes de la lesión y en los días 0, 1, 4, 7 y 14 tras la intervención), dos pruebas funcionales, el índice funcional del ciático y la latencia del reflejo de abstinencia (en los mismos días anteriormente mencionados). Para la observación morfológica se sacrificaron a las ratas. El grupo de tratamiento recibió la terapia con ondas de choque de alta intensidad, el grupo simulado también recibió el mismo procedimiento (lesión del nervio) pero sin recibir el posterior tratamiento y el grupo control no recibió ni operación quirúrgica ni tratamiento.

Resultados: estos mostraron una disminución moderada en la velocidad de conducción del nervio tras el tratamiento con ondas de choque, además de causar daño en la vaina de mielina de las fibras nerviosas de gran diámetro. El efecto fue mayor y de mayor duración en el grupo de alta intensidad. No hubo cambios significativos en las pruebas funcionales. Wu, Y., et al. (2008).

- Crioterapia:

Protocolo: el estudio evaluó los efectos sinérgicos de la natación en agua fría y el trasplante de células madre. Se les aplastó el nervio ciático a 40 ratas y se dividieron aleatoriamente en 4 grupos: grupo 1 al que se trató con ambas terapias, grupo 2 al que se trató solo con el trasplante, grupo 3 al que se trató solo con natación en agua fría y un último grupo sin tratamiento. Previo y posteriormente a la intervención, tras el tratamiento y 4 semanas después del tratamiento, se midieron el índice funcional del ciático, la actividad vertical, la actividad del tobillo y se hizo un estudio electrofisiológico. Se realizaron estudios morfológicos e inmunohistoquímicos.

Resultados: el grupo tratado con ambas terapias mostró una mejora significativa en el índice funcional del ciático, la actividad vertical, la actividad del tobillo, las amplitudes máximas, latencias de inicio del potencial de acción

muscular compuesto en el ciático y la infiltración de células inmunes. Yang, C. et al (2015).

2. JUSTIFICACIÓN

2. JUSTIFICACIÓN.

En España, el dolor en la región lumbar de la espalda es muy frecuente y afecta al 70-80% de la población adulta en algún momento de su vida. Díez, M. A. et al. (2003). De este porcentaje, un 4% de los casos se corresponden con un diagnóstico de afectación del nervio ciático. Teniendo en cuenta estos datos, se supone de gran importancia la prevención y el tratamiento de esta patología para conseguir disminuir la incidencia y prevalencia de la misma, no solo para evitar el propio daño que causa al paciente afectado, sino para evitar el impacto económico que a su vez genera esta situación.

Este gasto económico corresponde al dinero invertido en la consulta médica y en el tratamiento administrado, que incluye tanto el farmacológico como el quirúrgico y el fisioterápico, si fuera necesario. Además, se generan otros tipos de pérdidas económicas en aquellos casos en los que los pacientes precisan de una baja laboral, una reducción de jornada o, incluso, una adaptación o cambio del puesto de trabajo.

En cuanto a la Fisioterapia se refiere, los gastos se dividen en aquellos destinados al lugar de tratamiento y su mantenimiento, así como al tratamiento propiamente dicho. Los posibles tratamientos para esta patología se podrían clasificar en no invasivos e invasivos. Entre los no invasivos se incluyen técnicas como la masoterapia, el ejercicio terapéutico, la termoterapia, la electroterapia no invasiva (tipo TENS, ultrasonidos, electroestimulación...), la neurodinamia, la hidroterapia, entre otras. En cuanto a los invasivos podemos aplicar otro tipo de intervenciones como la EPI (electrólisis percutánea intratisular), la punción seca o la neuromodulación. Todo ello supone un gasto elevado debido a la necesidad de obtener diferentes materiales como camillas, diferentes equipos de tratamiento (como el ecógrafo, el ultrasonido, los distintos aparatos de electroterapia, las agujas para las punciones, etc.), utensilios para el ejercicio terapéutico (fitball, bandas elásticas, bozu, poleas, cuerdas...), las lámparas de infrarrojos, las bolsas de gel para aplicar frío y calor, más aquellas necesidades específicas que se precisen en función de las características individuales del paciente.

Por otro lado, la persona afectada también sufre daño a nivel personal, tanto físico como psicológico. En el aspecto físico, encontramos el dolor generado por la lesión y las limitaciones físicas y de movilidad que presenta el paciente. En cuanto al aspecto psicológico, debemos valorar las consecuencias sociales, familiares y de valoración

personal. La persona puede sentirse una carga para los demás, sentirse poco útil o no realizado, desanimarse y sufrir catastrofismo (tendencia a generar pronósticos irracionalmente negativos en relación con una amenaza percibida), entre otras muchas cosas.

Para evitar todos estos gastos, tanto económicos como personales, derivados de la asistencia sanitaria, debemos encontrar los mejores tratamientos al menor coste posible (mejorando así la eficacia y la eficiencia del sistema sanitario, agilizando las listas de espera y el tiempo de asistencia médica necesario para cada paciente ya que se podría resolver la fase de “estancamiento” o de pausa en la recuperación que pueden sufrir algunos pacientes debido a la acomodación a un mismo tratamiento o a la ineficacia del mismo en su caso). Sin embargo, probar tratamientos alternativos o novedosos directamente en humanos no resulta ético. Esto se debe a que decidir qué tratamiento recibe cada persona y, por tanto, alterar sus posibilidades de recuperación conlleva una gran responsabilidad y el hecho de tener la vida de personas en juego. Por otro lado, para poder realizar un experimento con humanos se deben cumplir una serie de requisitos (participación voluntaria e informada de los pacientes, derecho a la intimidad del sujeto, respeto a la integridad de la persona por encima de los intereses científicos, prohibición del lucro, entre otros), además de ser muy meticuloso en la realización de dichas investigaciones, ya que un error puede acabar con la vida de la persona. Comité Ético de Experimentación de la Universidad de Sevilla (s. f.). Además, en caso de que el experimento tuviera resultados negativos, al realizarse directamente en humanos, se enfrentan a posibles consecuencias catastróficas o daños mayores (como denuncias por parte de la familia hacia el investigador o la institución médica, prohibición del tratamiento, consecuencias legales o penales hacia el investigador como la suspensión del trabajo o la cárcel...).

Por estos motivos, los estudios experimentales deben realizarse previamente en animales y, tras superar una serie de fases, se consideran lo suficientemente seguros para llevarlos a cabo en humanos (habiendo ya eliminado los posibles efectos secundarios, daños y valorado, eliminado o atenuado las consecuencias negativas para el paciente). Habitualmente, los animales utilizados para ello son los roedores (en 2013 se utilizaron 920.000 animales para investigación, de los cuales el 85% eran ratones y ratas). Esto se debe a que son mamíferos pequeños, manejables, que se pueden criar en cautividad y ajenas a condiciones externas y presentan un ciclo vital breve (además

de contar con una rápida capacidad de recuperación frente a diferentes enfermedades). Por otro lado, cada raza de ratón genera individuos genéticamente idénticos entre sí, mientras que las ratas presentan variabilidad genética. Esto es útil para encontrar tratamientos efectivos y, a su vez, poder aplicarlos en diferentes genotipos y ver las diferentes manifestaciones y resultados. Salavert, E. (2022).

Dada la falta de estudios relacionados con los posibles tratamientos de fisioterapia que se pueden aplicar cuando existe una lesión del nervio ciático en ratas y, además, la antigüedad de los mismos (la mayoría se han publicado hace más de 10 años), se considera de gran importancia renovar estos estudios y, gracias a las tecnologías actuales, se podría, incluso, descubrir tratamientos más eficaces y novedosos.

Gracias a ese posible aumento en el número de estudios al respecto, se conseguiría dar visibilidad al tema expuesto y, por consecuencia, poder obtener una mayor financiación para avanzar en la investigación de este campo.

Para cumplir todos los objetivos y demandas anteriormente mencionados, serán necesarios una serie de instalaciones y materiales que permitan trabajar con los animales. Entre estos requisitos encontramos la necesidad de un espacio de conservación y mantenimiento de los animales (ver figura 6) con las características ambientales necesarias para su correcto cuidado y su supervivencia, zonas donde realizar los diferentes estudios (zonas estériles, zonas de quirófano, zonas en las que realizar las pruebas funcionales y conductuales, etc.), zonas para la eliminación de los restos animales (incineradores), material quirúrgico, plantilla suficiente para mantener controlado el estado de los animales (alimentación, ciclos circadianos...), entre otras cosas. Todas



Figura 6. Zona de conservación y mantenimiento de los animales.
Imagen de autoría propia.

estas zonas se corresponden con un animalario. En el caso de la Universidad de La Laguna, cuenta con estas instalaciones en el Campus de Anchieta.

El Estabulario y animalario pertenece al Servicio General de Apoyo a la Investigación (SEGAI) de la Universidad de La Laguna. Este servicio tiene como objetivo dar soporte científico, instrumental y técnico a grupos de investigación de la Universidad de La Laguna, además de ofrecer servicios y tecnología a los organismos, públicos o privados, y empresas de nuestro entorno, en el área de la Investigación Animal. El centro está inscrito como centro de cría, centro suministrador y centro de usuarios en la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación del Gobierno de Canarias. Estabulario y Animalario (s. f.).

En resumen, el centro ofrece los siguientes servicios:

- Cría y mantenimiento de ratas y ratones. (Ver figura 7).
- Mantenimiento de conejos.
- Inmunización y extracción de sangre de conejos.
- Obtención de hembras de rata y ratón preñadas a diferentes días de gestación.
- Inoculación, extracción y cirugía programada en roedores.
- Inmovilización y sujeción de animales.
- Anestesia de animales.
- Suministro de pienso y viruta.
- Gestión de restos y cadáveres de animales de investigación.
- Criopreservación de semen de ratón.
- Fertilización in vitro.
- Transferencia de embriones.
- Estudio de diferentes enfermedades y tratamientos en roedores.



Figura 7. Zona de cría del Estabulario.
Imagen de autoría propia.

Estabulario y Animalario (s. f.). (Ver figura 8).

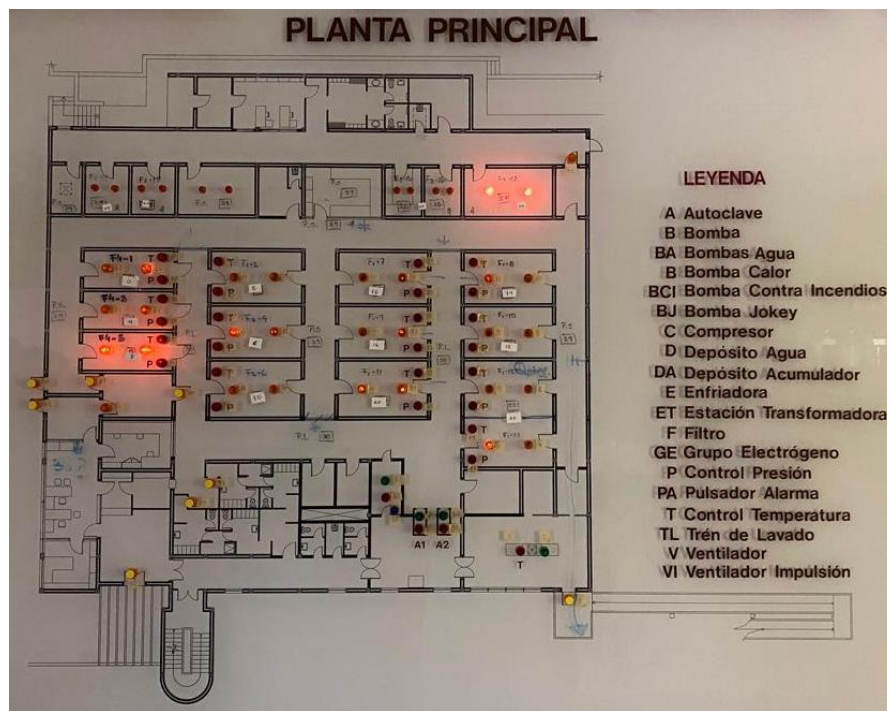


Figura 8. Plano del Estabulario.

Imagen de autoría propia.

Para concluir este punto, independientemente del enfoque general y científico ya explicado, este proyecto de fin de grado ha despertado gran interés a nivel personal:

- Ha motivado nuestra curiosidad de investigación frente al tema elegido.
- En fases iniciales del trabajo, desarrollar el tema resultó complicado por la falta de conocimiento previo sobre el mismo. Sin embargo, tras las primeras búsquedas, el tema cobró mayor importancia al tratarse de una patología bastante frecuente y, a su vez, al lograr con este trabajo aportar más información y ayudar a la comunidad científica a seguir avanzando en el campo de la investigación.
- Al ser un proyecto centrado en el trabajo con modelos animales, es poco frecuente en la defensa de un trabajo de fin de grado. La mayoría de estudiantes de Fisioterapia suelen decidirse por temas vistos durante el recorrido del grado (por ejemplo: neurología, pediatría, patologías deportivas, oncología, etc.). Y, relacionado con esta última reflexión, los trabajos suelen estar dirigidos a la puesta en práctica de tratamientos en humanos y es poco común que se realicen

estudios en animales como parte previa del proceso de extrapolación a la especie humana.

3. OBJETIVOS

3. OBJETIVOS.

El objetivo general del trabajo es realizar una revisión sistemática sobre los tratamientos de Fisioterapia existentes para tratar afecciones del nervio ciático en ratas.

Los objetivos específicos para la realización de la revisión sistemática son los siguientes:

- Evaluar y clasificar la metodología empleada y la calidad de los estudios empleados en la investigación. Específicamente, el trabajo va dirigido a los estudios experimentales realizados en animales, concretamente, en ratas.
- Extraer los resultados más acordes a nuestro campo de investigación.
- Estudiar y revisar los resultados para una mejora de futuros estudios.

4. METODOLOGÍA

4. METODOLOGÍA.

4.1 Búsqueda en las bases de datos.

Las bases de datos consultadas a la hora de llevar a cabo la búsqueda fueron: Medline, PEDro, Scopus y Cinahl. En principio, se utilizaron las palabras clave mencionadas al comienzo del trabajo para dicha búsqueda. Sin embargo, no se obtuvieron resultados con ninguna de las palabras, a excepción de “tratamiento fisioterapia ciático rata” que obtuvo los resultados posteriormente mostrados.

En definitiva, las palabras utilizadas para la realización de la búsqueda en las diferentes bases de datos (obteniendo únicamente resultados en la base de datos Scopus) fueron:

- En español: “tratamiento fisioterapia ciático rata”.
- En inglés: “treatment physiotherapy sciatic rat”.

4.2 Selección de artículos.

Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión definitivos en la búsqueda en las diferentes bases de datos, se acotaron los resultados a 9 artículos finales.

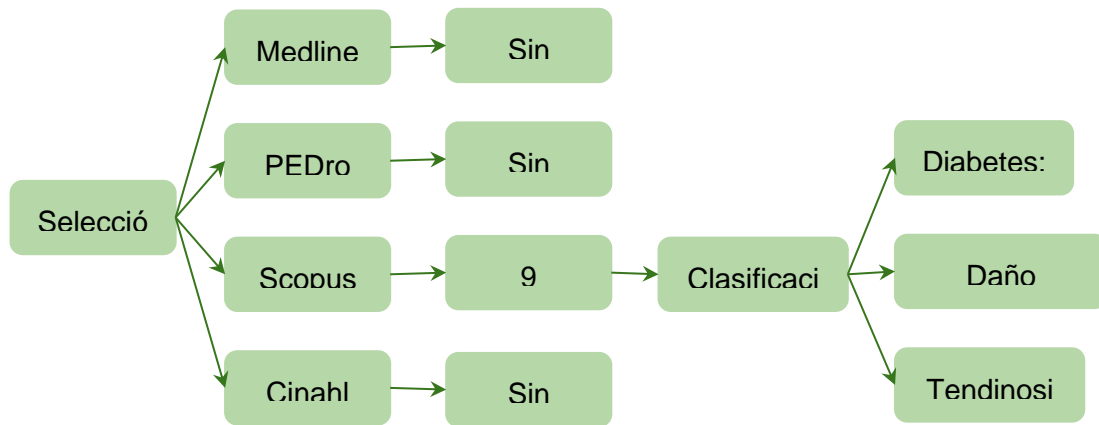
Dichos criterios fueron:

- Un máximo de 5 años de antigüedad de publicación del artículo.
- Artículos con texto de acceso abierto y completo.
- Idioma español e inglés.
- Tipo de estudio: ensayos clínicos.
- Realización del estudio en ratas.

5. RESULTADOS

5. RESULTADOS.

5.1 Extracción de resultados.



A la hora de extraer los datos de relevancia de los diferentes artículos científicos seleccionados en la búsqueda, se han localizado los siguientes parámetros: objetivo del artículo, número de sujetos de la muestra, grupos de intervención (atendiendo a la existencia de grupos control o placebo), aleatorización, patología de estudio, variables a medir, tratamiento utilizado, efectos secundarios y resultados tanto favorables como desfavorables.

Los artículos analizados fueron agrupados en función de la patología tratada, resultando así la siguiente clasificación:

- Diabetes mellitus (DM): se define como un trastorno que afecta a la secreción y/o la asimilación de la insulina (hormona secretada por el páncreas en respuesta a los niveles de glucosa sanguínea). Los artículos asociados a esta patología son:

1. Gait analysis correlates mechanical hyperalgesia in a model of streptozotocin-induced diabetic neuropathy: A CatWalk dynamic motor function study. El objetivo de este artículo fue estudiar los mecanismos neurofarmacológicos del dolor en la neuropatía diabética periférica, centrándose en la evaluación de la hiperalgesia y alodinia mecánica. En humanos diabéticos, el dolor resultante del daño a los nervios periféricos causado por la hiperglucemia induce el deterioro postural, la debilidad muscular, inestabilidad del equilibrio, caídas y

alteración de la marcha. En el caso de una lesión por constricción crónica del nervio ciático en animales, provoca que las ratas generen menos presión sobre el miembro afectado durante la marcha, minimizando el contacto de la pata con el suelo. Para este estudio, se utilizaron 15 ratas Lewis macho de 6-8 semanas de edad con un peso de 200 a 250 g. separadas en dos grupos de intervención. El primer grupo (llamado grupo STZ) estaba compuesto por 8 ratas, mientras que el segundo grupo (llamado grupo control recibió un tratamiento placebo) lo estaba por 7 ratas. No se especifica si la determinación de qué sujetos se incluían en cada grupo fue decidido aleatoriamente o no. Al grupo tratamiento (grupo STZ) se le administró una dosis baja de estreptozotocina durante 5 días consecutivos, siempre a la misma hora del día, induciendo así una diabetes mellitus tipo 1. No se refiere ningún efecto secundario al tratamiento. En cuanto a los resultados, las ratas diabéticas inducidas (grupo STZ) mostraron hiperalgesia mecánica y reducción de la intensidad de las pisadas de los miembros posteriores. El día 28 de evaluación, las ratas presentaron alteraciones en parámetros espaciales (área máxima de contacto, longitud de zancada y área de impresión), que mostró una fuerte correlación con los umbrales de retirada mecánica. Vieira, W. et al. (2020).

2. “Effect of Photobiomodulation Therapy on Oxidative Stress Markers in Healing Dynamics of Diabetic Neuropathic Wounds in Wistar Rats”.

El objetivo principal del estudio fue conocer el efecto de la fotobiomodulación (terapia conservada y no farmacológica basada en la bioestimulación de baja energía con el fin de provocar reacciones fotoquímicas en las células o tejidos diana buscando favorecer la cicatrización y regeneración tisular) a dosis de 4 J/cm² en la cicatrización de heridas neuropáticas diabéticas. No se refiere ningún efecto secundario al tratamiento. Para realizar el estudio, se usaron 18 ratas hembra Albino Wistar de unos 230 g. aproximadamente, con 5-6 meses de edad. A los animales, se les indujo diabetes y, posteriormente, una neuropatía periférica del nervio ciático por compresión (se aplastó

durante 20 segundos con la punta de unas pinzas para inducir la lesión). Se dividieron en 2 grupos, un grupo control que constaba de 9 ratas diabéticas con neuropatía no irradiada y el grupo experimental formado por 9 ratas diabéticas con neuropatía irradiada. No se especifica si la determinación de qué sujetos se incluían en cada grupo fue decidido aleatoriamente o no. Se analizaron los cambios biomecánicos, histopatológicos y bioquímicos en ambos grupos. En cuanto a los resultados del tratamiento, se observaron cambios en el patrón de reposo, de marcha y de rascado en la pierna afectada por la neuropatía. Además, el cierre de la herida y los resultados de las pruebas (el 5.07 monofilament test y pruebas de retirada de la pata trasera frente a estímulo térmico) fueron mejor en aquellas ratas tratadas con la terapia de fotobiomodulación. Karkada, G. et al. (2021).

3. “Quantification of Nerve Viscosity Using Shear Wave Dispersion Imaging in Diabetic Rats: A Novel Technique for Evaluating Diabetic Neuropathy”. El presente estudio tenía como objetivo investigar la eficacia de la utilización de imágenes de dispersión de la onda de cizallamiento en la evaluación de la neuropatía diabética. Para ello, se utilizó un modelo de lesión del nervio ciático inducido por la diabetes. Se usaron 27 ratas macho Sprague-Dawley de 8 semanas de edad con un peso de 250-300g. Se separaron en un grupo control formado por 12 de ellas a las que se les facilitó una dieta normal y un grupo intervención con 15 ratas con dieta alta en glucosa para inducir la diabetes. Finalmente, cuatro ratas fueron excluidas por no cumplir los valores de glucosa en sangre esperados (>16.7 mmol/L) quedando el grupo control con 11 miembros y el grupo intervención con 12. No se especifica si la determinación de qué sujetos se incluían en cada grupo fue decidido aleatoriamente o no. Se evaluaron los nervios ciáticos bilaterales con las imágenes tras el tratamiento con estreptozotocina a los 3 meses (área transversal del nervio, rigidez y viscosidad de este, además de la velocidad de conducción nerviosa motora). No se refiere ningún efecto secundario al tratamiento. En cuanto a los resultados, la

viscosidad y la rigidez del nervio en el grupo diabético fue mayor y la densidad de fibras mielinizadas fue significativamente menor. El grosor medio de la vaina de mielina fue menor en el grupo intervención que en el de control. Por último, se observaron cambios en la proliferación de células endoteliales, en el engrosamiento de la membrana basal capilar y en el lumen capilar irregular de los nervios ciáticos. Liu, F. et al. (2022).

○ Daño neurológico:

4. “Anti-apoptotic effect of adipose tissue derived stromal vascular fraction in denervated rat muscle”. El objetivo fue investigar los efectos de la fracción vascular del estroma (SVF) en la apoptosis de las células musculares y su potencial para mantener el tejido muscular tras sufrir una denervación. Se usaron 36 ratas hembra Sprague-Dawley de 10-12 semanas de edad. Estas se dividieron en 3 grupos experimentales de 6 ratas en cada uno; un grupo control no denervado, un grupo intervención con denervación que recibió inyecciones simuladas (grupo placebo) y un grupo tratamiento que recibió inyecciones intramusculares de SVF. Este estudio se realizó dos veces con la división anteriormente descrita para contrastar resultados. No se especifica si la determinación de qué sujetos se incluían en cada grupo fue decidido aleatoriamente o no. Para producir el daño neurológico, se realizó la sección del nervio ciático del lado izquierdo proximal a la bifurcación del mismo, dejando los músculos del lado contralateral como control. Posterior a la intervención, se examinaron histológicamente los músculos, además de realizar la medición de la apoptosis y la matriz de PCR para los genes apoptóticos. No se refiere ningún efecto secundario al tratamiento. En cuanto a los resultados, en los grupos con denervación hubo un aumento de los genes apoptóticos. El-Habta, R. et al. (2021).

5. “Stem cell therapy to promote limb function recovery in peripheral nerve damage in a rat model” – Experimental research. El estudio se realizó con el fin de evaluar si la terapia con células madre mesenquimales puede mejorar la recuperación de la función de las extremidades con daño de nervios periféricos. Se utilizaron ratas Lewis macho endogámicas de 10 a 12 semanas de edad que pesaban aproximadamente 300 g. Se utilizaron machos para evitar la influencia hormonal que varía con la fase reproductiva en las hembras. Se dividieron a los animales en cuatro grupos experimentales con 9-12 sujetos por grupo sin especificar si se realizó de manera aleatoria o no:
- Grupo A: modelo de reparación del nervio ciático (incluye la sección y reparación de la rama principal del nervio ciático) que recibieron solución salina.
 - Grupo B: modelo de reparación del nervio ciático que recibieron células madre.
 - Grupo C: modelo de reparación nerviosa individual (incluye la sección y reparación de las ramas distales del nervio ciático, es decir, las ramas tibial, sural y peronea) que recibieron solución salina.
 - Grupo D: modelo de reparación nerviosa individual que recibieron células madre.

Se usaron modelos de sección/reparación del nervio ciático de la pata trasera derecha (desde compresión de este hasta la sección completa). La pata contralateral sirvió como un control nervioso no seccionado. Una vez se cumplió la primera semana después de la lesión, se realizó fisioterapia manual en la pata trasera afectada (máximo 5 minutos, 1-2 veces por semana). Las técnicas utilizadas fueron manipulaciones suaves y repetidas del miembro dentro de un rango normal de movimiento. A los sujetos, se les evaluaron las funciones sensoriales/motoras de la extremidad y la masa del gastrocnemio, las contracturas en flexión y la histología nerviosa. Como resultado, el tratamiento con células madre aceleró el inicio de las funciones sensoriales (se evaluaron con la prueba del reflejo espinal de retirada

del flexor o prueba de reacción al dolor cutáneo). La mejora en las funciones motoras (se estudió mediante las huellas al caminar y el índice de función del ciático) fue evidente en las ratas con tratamiento, la atrofia del músculo gastrocnemio se redujo significativamente y la histomorfometría del nervio reveló un área axonal reducida en comparación con el nervio contralateral. Bingham, J. et al. (2019).

6. Stem cell, Granulocyte-Colony Stimulating Factor and/or Dihexa to promote limb function recovery in a rat sciatic nerve damage-repair model: Experimental animal studies. El objetivo del estudio fue optimizar la regeneración nerviosa y la reinervación de los músculos para mejorar la recuperación funcional después del daño de los nervios periféricos. Se estudió si la administración de células madre mesenquimales (MSC), el factor estimulante de granulocitos (G-CSF) y/o Dihexa puede mejorar esa recuperación funcional tras una sección del nervio ciático en ratas. Utilizamos un modelo de reparación del nervio ciático derecho que implicó la sección transversal del nervio justo por encima de la trifurcación, de forma que la extremidad izquierda sirvió como control nervioso no seccionado. Se usaron 10 grupos experimentales de ratas Lewis macho formados por 6-8 animales por grupo. A los sujetos, se les administró el tratamiento mencionado a través de hidrogel en el sitio de reparación del nervio, sistémicamente y/o al músculo gastrocnemio. La administración de esto, se realizó con la siguiente distribución sin conocer la aleatorización:

-Grupo 1: solución salina.

-Grupo 2: solución salina + hidrogel local.

-Grupo 3: MSC + hidrogel local.

-Grupo 4: MSC + MSC local vía hidrogel.

-Grupo 5: MSC + MSC local y G-CSF a través de hidrogel.

-Grupo 6: MSC + MSC local y Dihexa a través de hidrogel.

-Grupo 7: MSC + MSC local y G-CSF a través de hidrogel + inyección en gastrocnemio con MSC y G-CSF a través de solución salina.

-Grupo 8: MSC + MSC local y Dihexa a través de hidrogel + inyección de gastrocnemio con MSC a través de solución salina y Dihexa a través de dimetilsulfóxido (DMSO).

-Grupo 9: MSC + MSC local y DMSO mediante hidrogel.

-Grupo 10: MSC + MSC local y DMSO a través de hidrogel + inyección en gastrocnemio con MSC y DMSO.

Se evaluaron las funciones sensoriales y motoras de las extremidades a intervalos de 1 a 2 semanas después de la reparación del nervio hasta la semana 16 (final del estudio). Como resultado, se observó que la función sensorial volvió a ser casi normal a las 8 semanas en todos los grupos combinados. La función del nervio peroneo se recuperó rápidamente con el retorno de la función a la semana, mientras que la función del nervio sural se recuperó con bastante lentitud a las 4 semanas. La función motora mejoró significativamente en el músculo gastrocnemio y mitigó las contracturas por flexión del pie, según lo determinado por los grados de la huella de la marcha, con la administración de los tratamientos. Weiss, J. et al. (2021).

7. “The GDF11 Promotes Nerve Regeneration After Sciatic Nerve Injury in Adult Rats by Promoting Axon Growth and Inhibiting Neuronal Apoptosis”. El objetivo del estudio fue investigar una alternativa terapéutica génica basada en lentivirus. En el estudio se utilizaron 40 ratas Wistar macho que fueron divididas en 2 grupos de 20 sujetos cada uno, un grupo control (al que se le inyectó el lentivirus) y un grupo GDF11 (a las que se les inyectó dicho virus tras la sección del ciático). Tras la intervención, a las 12 semanas, se le practicó la eutanasia a las ratas para medir de forma objetiva los cambios que se hayan producido por el efecto del GDF11 en el gastrocnemio. Además, se evaluaron los patrones de marcha de las extremidades traseras para obtener el índice

de función del ciático (SFI) en las semanas 1, 3, 6, 9 y 12 después de la cirugía. Para ello, se seleccionaron tres ratas al azar de cada grupo para ser sometidas a la prueba en la que se midió la longitud de la pata y la extensión de los dedos. También se valoró el potencial evocado por el movimiento mediante la apertura del muslo lesionado para exponer el nervio ciático, y éste se estimuló con un electrodo a una intensidad de 0,65 mA. Al mismo tiempo, se insertó el electrodo de registro en el músculo gastrocnemio, y el electrodo de referencia en el músculo gastrocnemio contralateral sano. En cuanto a los resultados, el GDF11 promueve la recuperación de la función del nervio ciático dañado en ratas. Los resultados mostraron que la expresión de GDF11 en el grupo GDF11 era significativamente mayor que la del grupo de control. Además, el grupo de intervención sufrió una mejora en los patrones de marcha. Se observó que el potencial evocado del grupo GDF11 presentaba una mayor amplitud y una latencia más corta que la del grupo de control. Una vez se sacrificó a los animales y se pesó el músculo gastrocnemio, se reveló que la relación entre el músculo gastrocnemio afectado con respecto al lado sano en el grupo GDF11 era significativamente mayor que la del grupo de control, lo que confirmó una mayor restauración de la conducción nerviosa del ciático y la mejora muscular de este grupo. Por último, las ratas pertenecientes al grupo tratamiento presentaron una mejor recuperación de la función del nervio ciático. Lin, J. et al. (2022).

8. Sugarcane Biopolymer as a Guide Tube in the Regeneration of Peripheral Nerves in Rats. El objetivo del estudio fue evaluar la eficacia del tubo de biopolímero de caña de azúcar y tubo de polietileno expandido en la regeneración nerviosa periférica del nervio ciático (sin observar efectos secundarios). El nervio se lesionó un centímetro por encima de la bifurcación de este con el fin de estandarizar el lugar de la lesión. Se usaron 14 ratas albinas Wistar macho, separados en tres grupos de manera aleatoria: grupo control (con 4 animales), grupo lesión + tubo de polietileno (con 5) y grupo lesión + biopolímero de

caña de azúcar (con otros 5 animales). Posterior a la intervención, se valoraron el número de fibras nerviosas y de vasos sanguíneos, además del diámetro axonal. En conclusión, el grupo que recibió el biopolímero mostró mayor número de vasos y diámetro axonal que los otros grupos. Además, el biopolímero favorece un entorno adecuado para la regeneración de los nervios periféricos y no interfiere en el proceso regenerativo. Bezerra, I. et al. (2019).

- Tendinosis del tendón Aquiles:

1. Tendinosis-like changes in denervated rat Achilles tendon. El objetivo fue evaluar los cambios morfológicos y bioquímicos en el tejido del tendón de Aquiles utilizando un modelo de sección del nervio ciático unilateral. Para ello, se recogieron biopsias de tendón de seis ratas Sprague Dawley hembra de 10 a 12 semanas de edad. Se evaluó el número de células, la redondez nuclear y la estructura de la fibra, además de la expresión de diferentes neuromoduladores. El tendón contralateral sirvió como control. Finalmente, se observó que los tendones denervados expresan cambios morfológicos como hiper celularidad, células desfiguradas, desorganización de la red de colágeno, mayor producción de colágeno tipo III y mayor expresión del receptor neuroquinina 1 (NK-1R). El-Habta, R. et al. (2018).

5.2 Evaluación de los sesgos.

Para llevar a cabo la evaluación de posibles sesgos experimentales y, de esta manera, comprobar la calidad de los artículos seleccionados, se ha utilizado la escala PEDro y la PRISMA abreviada (2020).

Por un lado, la escala PEDro permite identificar aquellos ensayos que presentan validez interna y corroborar el nivel de calidad metodológica de estos. La escala evalúa 11 criterios, por lo que a cada ensayo se le otorga una puntuación final que puede variar en un rango de 0 a 11 puntos, siendo la calidad metodológica valorada según la siguiente tabla:

<i>Puntuaciones</i>	<i><4 puntos</i>	<i>4-5 puntos</i>	<i>6-8 puntos</i>	<i>>8 puntos</i>
<i>Calidad</i>	Mala	Regular	Buena	Excelente

Los artículos anteriormente desarrollados, obtuvieron las siguientes puntuaciones según la escala:

- Diabetes mellitus:

<i>Número de artículo</i>	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3
<i>Puntuación</i>	8 puntos	6 puntos	8 puntos
<i>Calidad metodológica</i>	Buena	Buena	Buena

- Daño neurológico:

<i>Número de artículo</i>	Artículo 1	Artículo 2	Artículo 3	Artículo 4	Artículo 5
<i>Puntuación</i>	7 puntos	7 puntos	7 puntos	8 puntos	7 puntos
<i>Calidad metodológica</i>	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

- Tendinosis:

<i>Número de artículo</i>	Artículo 1
<i>Puntuación</i>	7 puntos
<i>Calidad metodológica</i>	Buena

En cuanto a la escala PRISMA abreviada se refiere, evalúa 12 ítems que recogemos en la siguiente tabla:

Nº de ítem	Sección	Descripción del ítem
1	Título	La publicación se identifica como una revisión sistemática
2	Objetivos	Especificación de los principales objetivos del estudio
3	Metodología	Descripción de los criterios de inclusión y exclusión
4	Metodología	Existencia de bibliografía
5	Metodología	Métodos utilizados para la evaluación de sesgos
6	Metodología	Métodos utilizados para presentar y sintetizar los resultados
7	Resultados	Descripción del número de participantes y características del estudio
8	Resultados	Presentación de los resultados y análisis estadístico
9	Discusión	Resumen de las limitaciones del estudio
10	Discusión	Interpretación general de los resultados
11	Financiación	Fuente principal de la misma
12	Registro	Nombre y número de registro

Page, M. J. et al. (2021).

Dependiendo de la puntuación obtenida, la calidad metodológica del estudio podrá variar. En este caso, todos los artículos seleccionados, cumplen 8 de los 12 ítems ya expuestos, lo que les otorga una calificación buena, aunque no excelente.

En conclusión, observamos que todos los artículos seleccionados cumplen con una buena calidad metodológica, por lo que los resultados obtenidos en los estudios pueden considerarse fiables.

6. DISCUSIÓN

6. DISCUSIÓN.

La idea principal de este trabajo era la realización de una revisión sistemática de los artículos existentes sobre tratamientos de Fisioterapia aplicados en lesiones del nervio ciático en ratas. Una vez llevada a cabo dicha revisión, se podría plantear un proyecto en el que se estudiara un nuevo tratamiento no probado hasta el momento para comprobar su eficacia y que se llevaran a cabo las correspondientes fases de experimentación.

Durante el curso de la investigación, los principales objetivos fueron recabar información acerca de la anatomía del nervio ciático de las ratas para poder comprender los distintos mecanismos de lesión de éste, así como su capacidad de regeneración, los tratamientos que ya se han probado para la recuperación de dicha lesión, los resultados obtenidos con los tratamientos y las pruebas para valorar esa lesión, así como la mejoría con la terapia.

Tras terminar el proceso de búsqueda, se observa que, en la actualidad, no hemos encontrado artículos que relacionen directamente la patología estudiada con la Fisioterapia. En su mayoría, los resultados obtenidos relacionaban los daños en el nervio ciático con terapias médicas, con otras patologías (como la diabetes u otro tipo de neuropatías) o, en caso de mencionar la Fisioterapia, esta mención se realizaba de manera puntual y abarcaba esta rama como un complemento a otro tratamiento considerado el principal del estudio (la Fisioterapia quedaba desplazada a un segundo plano). De la misma manera, incluso los artículos no relacionados con la rama de la Fisioterapia eran escasos.

Por ello, resulta imprescindible aumentar la inversión económica y de medios en investigación para poder llevar a cabo un mayor número de estudios experimentales con el fin de obtener los tratamientos más efectivos, a la par que novedosos y con el mínimo coste posible. De esta manera, a largo plazo, las inversiones realizadas para llevar a cabo estas investigaciones serán compensadas al verse disminuidas las pérdidas económicas y personales generadas por la patología, reportando beneficios en diferentes ámbitos: aumentando la eficacia sanitaria, la productividad del sistema, la calidad asistencial, la satisfacción con el servicio...

Por otro lado, existe un dilema ético acerca de la experimentación con humanos (debido a los posibles efectos secundarios del tratamiento a probar y la toxicidad o

efectividad del mismo). La experimentación animal brinda una solución a este dilema, permitiendo el estudio de los tratamientos novedosos mediante las fases de experimentación correspondientes, asegurando así la selección de los tratamientos más eficaces y descartando aquellos que supongan cualquier tipo de riesgo para la salud.

Otro punto a mencionar es que nos encontramos en una era tecnológica en la que la mayoría de los aspectos de la vida, incluido el ámbito sanitario, gira en torno a aparatos electrónicos cada vez más avanzados y costosos (los aparatos para realizar resonancias magnéticas, las camillas eléctricas/hidráulicas, los aparatos de electroterapia, etcétera). Todo ello nos devuelve al mismo punto ya mencionado: la inversión. Por ejemplo, si se estudiara un nuevo tratamiento con ondas para la lesión del nervio ciático en nuestro caso, se necesitaría un cierto presupuesto para que se genere una máquina o aparato que aplique este tratamiento. También debemos tener en cuenta que un tratamiento de Fisioterapia bien aplicado y estudiada su efectividad, podría suponer la recuperación de algunos pacientes, evitando otros tratamientos más costosos o con posibles efectos secundarios (como tratamiento farmacológico o cirugía), es decir, podrían evitarse gastos innecesarios y sufrimiento personal del paciente.

Por último, recordar que las afecciones del ciático son muy numerosas y frecuentes en la sociedad actual y, por tanto, impacta la falta de información e investigación al respecto. A pesar de ser una patología considerada “no letal”, una lesión del nervio ciático puede provocar graves alteraciones en la calidad de vida de las personas que la sufren, entre las que podemos destacar: denervación, debilidad muscular o atrofia, desensibilización, pérdida de movilidad, problemas estéticos (cicatrices, asimetrías...), alteraciones de la marcha (cojera), alteraciones psicológicas (depresión, ansiedad, entre otras), problemas sociales (a nivel familiar, de pareja, laboral...), etcétera. Esto puede suponer consecuencias no solo a nivel económico (como ya hemos mencionado, por las bajas laborales consecuentes o los gastos asistenciales), sino también graves problemas personales y sociales para el paciente. Es decir, se podría considerar una patología que afecta a la salud de los pacientes en todas las esferas del mismo (marco biopsicosocial).

Teniendo en cuenta lo mencionado, procede pensar que cuanto mayor sea la investigación que se realice acerca del tema expuesto, mayor será el número de pacientes beneficiados y menor será el impacto de la ciática en la sociedad.

7. CONCLUSIÓN

7. CONCLUSIÓN.

Hemos observado una carencia de estudios experimentales que prueben técnicas de Fisioterapia en el tratamiento de la lesión del nervio ciático.

En los artículos revisados, la Fisioterapia se utiliza como un accesorio a otro tratamiento considerado principal (por ejemplo, como complemento a un tratamiento farmacológico). Se debería dar la misma importancia a cada una de las ramas de las ciencias de la salud, ya que son disciplinas que deben complementarse. Se deben realizar investigaciones en todos los campos de las diferentes ramas para unificar el ámbito de la salud.

Hemos encontrado una gran variedad de modelos de lesión del nervio ciático de las ratas (por estiramiento, por compresión, por sección completa, etcétera), así como de métodos para tratar dicho daño, como puede ser el ultrasonido, la electroacupuntura o las técnicas de movilización neural, entre otras.

Desarrollar la investigación en el campo animal con esta información servirá para sentar las bases de futuros tratamientos y, por tanto, favorecer el desarrollo de la Fisioterapia.

8. BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA.

Adelino, C. et al. (2016). Aspects of the Macro and Microscopic Anatomy of the Sciatic Nerve in Wistar Rats. *International Journal of Morphology*, volumen (34), pp. 877-884.

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022016000300010

Alford, E. K. et al. (1987, junio). Electromyography of rat soleus, medial gastrocnemius, and tibialis anterior during hind limb suspension. Recuperado de:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3582549/>

Aparatos de evaluación en roedores (s. f.). Universidad de Oviedo de

<https://ineuropa.uniovi.es/servicios/roedores;jsessionid=B8CD2F6AC40BFAB7E6110A59AAC2B472>

Autoclave (2021, septiembre 28). Wikipedia de

<https://es.wikipedia.org/wiki/Autoclave#:~:text=Un%20autoclave%20es%20un%20recipiente,esterilizar%20materiales%20e%20instrumentos%20quir%C3%BArgicos>

Baños, J. et al. (2006, noviembre). La evaluación del dolor experimental en el laboratorio: los modelos de dolor neuropático en animales. Recuperado de

<https://scielo.isciii.es/pdf/dolor/v13n8/revision1.pdf>

Bergmeister, K. et al. (2016, enero). Prosthesis Control with an Implantable Multichannel Wireless Electromyography System for High-Level Amputees: A Large-Animal Study. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26710019/>

Bezerra, I. et al. (2019). Sugarcane Biopolymer as a Guide Tube in the Regeneration of Peripheral Nerves in Rats. Recuperado de [Sugarcane Biopolymer as a Guide Tube in the Regeneration of Peripheral Nerves in Rats \(scielo.cl\)](#)

Bingham, J. et al. (2019, mayo). “Stem cell therapy to promote limb function recovery in peripheral nerve damage in a rat model” – Experimental research. Recuperado de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2049080119300214>

Chang, H. et al. (2008, agosto 27). Differential effects of urethane and isoflurane on external urethral sphincter electromyography and cystometry in rats. Recuperado de:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18753298/>

Coelho, A. et al. (2016, agosto). Tibial and fibular nerves evaluation using intraoperative electromyography in rats. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27579882/>

Comité Ético de Experimentación de la Universidad de Sevilla (s. f.). Principios éticos que deben regir la experimentación con sujetos humanos [archivo PDF]. Recuperado de https://research.uoc.edu/portal/resources/CA/documents/recerca/Principios_eticos_USevilla.pdf

Díez, M. A. et al. (2003, octubre). Lumbalgia y ciática. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-lumbalgia-ciatica-13053074>

Du, X. et al. (2019, febrero 25). Effect of electroacupuncture on muscular atrophy and Slit/Robo signaling in sciatic nerve and lumbar spinal cord tissues in rats with sciatic nerve injury. CNKI, volumen (44), pp. 102-106. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30945485/>

Electromiografía (2019, Mayo 21). Mayo Clinic de <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/emg/about/pac-20393913>

Electromiografía y estudios de conducción nerviosa (s. f.). MedlinePlus de <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/electromiografia-y-estudios-de-conduccion-nerviosa/>

El-Habta, R. et al. (2018, noviembre 30). Tendinosis-like changes in denervated rat Achilles tendon. Recuperado de <https://bmcmusculoskeletdisord.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12891-018-2353-7#:~:text=Results,increased%20expression%20of%20NK%2D1R.>

El-Habta, R. et al. (2021, marzo 4). Anti-apoptotic effect of adipose tissue-derived stromal vascular fraction in denervated rat muscle. Recuperado de <https://stemcellres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13287-021-02230-y>

Estabulario y Animalario (s. f.). Servicio General de Apoyo a la Investigación de la Universidad de La Laguna de <https://www.ull.es/servicios/segai/servicios/ea/>

Flor, G., et al. (2017, julio 8). Therapeutic ultrasound after sciatic nerve compression of Wistar rats. Taylor&Francis Online, pp. 837-844.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01616412.2017.1348712>

García, M. M. (2016, diciembre). Valoración funcional de ratas con aloinjerto de nervio descelularizado [Tesis de doctorado]. Universidad Autónoma de Nuevo León, España.

Goicoechea, C. (s.f). Modelos animales de dolor neuropático: dolor inducido por antitumorales frente a manipulación de nervios periféricos. Recuperado de

<https://www.esteve.org/wp-content/uploads/2018/01/136574.pdf>

González, O. et al. (2011). Un método experimental para lesionar un nervio periférico y evaluar conductualmente la recuperación y el efecto de tratamientos restaurativos.

Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, volumen (30).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002011000200007

He, Q. et al. (2019, agosto 25). Lower frequency electroacupuncture is better in promoting recovery of limb locomotion in rats with sciatic nerve injury by reducing local inflammatory reaction. Pubmed, volumen (44), pp. 571-576.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31475490/>

Karkada, G. et al. (2021, julio 30). Effect of Photobiomodulation Therapy on Oxidative Stress Markers in Healing Dynamics of Diabetic Neuropathic Wounds in Wistar Rats.

Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8881248/>

Katalin, I. et al. (2021, abril 14). Detection of acute stress by smooth muscle electromyography: A translational study on rat and human. Recuperado de:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33864819/>

Knorr, S., et al. (2021, julio 31). Multifactorial Assessment of Motor Behavior in Rats after Unilateral Sciatic Nerve Crush Injury. Jove Journal.

[https://www.jove.com/es/t/62606/multifactorial-assessment-motor-behavior-rats-](https://www.jove.com/es/t/62606/multifactorial-assessment-motor-behavior-rats-after-unilateral)

[after-unilateral](https://www.jove.com/es/t/62606/multifactorial-assessment-motor-behavior-rats-after-unilateral)

Lin, J. et al. (2022, enero 4). The GDF11 Promotes Nerve Regeneration After Sciatic Nerve Injury in Adult Rats by Promoting Axon Growth and Inhibiting Neuronal Apoptosis.

Recuperado de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2021.803052/full>

Liu, F. et al. (2022, enero 4). Quantification of Nerve Viscosity Using Shear Wave Dispersion Imaging in Diabetic Rats: A Novel Technique for Evaluating Diabetic Neuropathy. Recuperado de

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8814712/>

Martinez, F. et al. (2014, mayo 13). The neural mobilization technique modulates the expression of endogenous opioids in the periaqueductal gray and improves muscle strength and mobility in rats with neuropathic pain. BMC.

<https://behavioralandbrainfunctions.biomedcentral.com/articles/10.1186/1744-9081-10-19#Sec2>

Page, M. J. et al. (2021, septiembre). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. Recuperado de

<https://www.revespcardiol.org/es-declaracion-prisma-2020-una-guia-articulo-S0300893221002748>

Rosero-Salazar, D. H. et al. (2020, diciembre 8). Functional analysis of the rat soft palate by real-time wireless electromyography. Recuperado de:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33348206/>

Sajadi, E., et al. (2020, agosto 27). Tissue Plasminogen Activator Loaded PCL Nanofibrous Scaffold Promoted Nerve Regeneration After Sciatic Nerve Transection in Male Rats. Springer science+Business Media. volumen (39), pp. 413-428.

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12640-020-00276-z>

Salavert, E. (2022, abril 17). ¿Por qué se utilizan ratones en el laboratorio?

Webconsultas de [https://www.webconsultas.com/curiosidades/por-que-se-utilizan-ratones-en-el-](https://www.webconsultas.com/curiosidades/por-que-se-utilizan-ratones-en-el-laboratorio#:~:text=Aunque%20no%20son%20los%20C3%BAnicos,infecci%C3%B3n%20o%20una%20intoxicaci%C3%B3n%20experimental)

[laboratorio#:~:text=Aunque%20no%20son%20los%20C3%BAnicos,infecci%C3%B3n%20o%20una%20intoxicaci%C3%B3n%20experimental](https://www.webconsultas.com/curiosidades/por-que-se-utilizan-ratones-en-el-laboratorio#:~:text=Aunque%20no%20son%20los%20C3%BAnicos,infecci%C3%B3n%20o%20una%20intoxicaci%C3%B3n%20experimental)

Salomone, R. et al. (2012, marzo). Assessment of a neurophysiological model of the mandibular branch of the facial nerve in rats by electromyography. Recuperado de:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22530478/>

Schmalbruch, H. (1986, mayo). Fiber composition of the rat sciatic nerve. Recuperado de:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3706794/#:~:text=The%20rat%20sciatic%20nerve%20originates,and%20then%20into%20four%20fascicles.&text=The%20sural%20n>

[erve%20contained%201%2C100,were%201%2C500%20unmyelinated%20sympathetic%20axons](#)

Shinoda, M. et al. (2020, marzo 30). Suppression of superficial microglial activation by spinal cord stimulation attenuates neuropathic pain following sciatic nerve injury in rats. *International Journal of Molecular Sciences*, volumen (21), pp. 2390. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7177766/>

Snyder, J. et al. (2018). *Nervous System. Comparative Anatomy and Histology: A Mouse, Rat, and Human Atlas*, volumen (2), pp. 403–444. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802900-8.00020-8>

Tamayo-Venezuela, A. et al. (2004). Evaluación del modelo PIFIR en dolor neuropático. Comparación de tres esquemas antinociceptivos en ratas. *Revista Mexicana de Anestesiología*, volumen (27), pp. 10-15. <https://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2004/cma041c.pdf>

Tanaka, S. et al. (2020, diciembre). Fast repetitive stretch suppresses denervation-induced muscle fibrosis. *Pubmed*, volumen (62), pp. 746-756. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32893367/>

Vieira, W. et al. (2020, septiembre 25). Gait analysis correlates mechanical hyperalgesia in a model of streptozotocin-induced diabetic neuropathy: A CatWalk dynamic motor function study. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304394020305231?via%3Dihub>

Wang, C. et al. (2014, agosto 13). Low-level laser irradiation improves functional recovery and nerve regeneration in sciatic nerve crush rat injury model. *Pubmed*, volumen (9). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25119457/>

Weiss, J. et al. (2021, noviembre). Stem cell, Granulocyte-Colony Stimulating Factor and/or Dihexa to promote limb function recovery in a rat sciatic nerve damage-repair model: Experimental animal studies. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2049080121008670?via%3Dihub>

Wu, Y., et al. (2008, octubre). Electrophysiological and functional effects of shock waves on the sciatic nerve of rats. *Pubmed*, volumen (34), pp. 1688-1698. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18468775/>

Yang, C. et al. (2015, septiembre). Enhanced functional recovery from sciatic nerve crush injury through a combined treatment of cold-water swimming and mesenchymal stem cell transplantation. Pubmed, volumen (37), pp. 816-826.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26042664/>