



• • •

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TERAPIAS DE ELECTROESTIMULACIÓN, ULTRASONIDO Y
LÁSER EN FISIOTERAPIA DE CABALLOS DEPORTIVOS:
ESTUDIO DE REVISIÓN.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA:

MARTHA LUCIA RANGEL SMITH

Asesores:

MVZ M. en C. Gabriela López Navarro

MVZ M. en C. Tania Edith Arroyo Manzanilla



México, D.F.

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Para mis Papás y para Chinbilín.

Toda mi vida me han apoyado a seguir mi pasión: los caballos. En ese largo trayecto han habido buenos y malos momentos, así como triunfos y fracasos. Sin embargo, ustedes siempre me han impulsado a continuar sobre este sinuoso camino que me ha llevado hasta aquí. Muchas caídas después (del caballo y de la vida) culmina, por fin, mi licenciatura, aunque nunca mi vida de estudiante. Gracias por su apoyo incondicional.

A ese caballo inolvidable que me enseñó, a base de golpes, traumas y fracturas, que mi pasión por los caballos se extendía más allá del albardón. Desde aprender a ensillarte, hasta cuidarte en tus convalecencias, fuiste la chispa que comenzó mi amor por la veterinaria.

CONTENIDO

1- Introducción	1
2- Objetivos.....	5
2.1- Generales.....	5
2.2- Específicos.....	5
3- Revisión Sistemática.....	6
4- Antecedentes.....	7
4.1- Los deportes ecuestres olímpicos como causa predisponente a lesiones en miembros locomotores.....	8
4.1.1- Adiestramiento.....	8
4.1.2- Salto.....	11
4.1.3- Concurso completo.....	14
4.2- La importancia de la fisioterapia para caballos deportivos.....	17
5- Técnicas de Electroterapia.....	18
5.1- Electroestimulación.....	19
5.1.1- Electroanalgesia.....	22
5.1.2- Electroestimulación muscular.....	29
5.2- Ultrasonido terapéutico.....	41
5.3- Láser.....	50
6- Conclusiones y Sugerencias.....	66

7- Anexos.....	70
7.1- Ejemplos de protocolos de rehabilitación que incluyen electroterapia para uso en caso de cirugías o fracturas.....	71
7.2- Ejemplos de protocolos de rehabilitación que incluyen electroterapia para uso en caso de lesiones de tendón grado 3.....	74
7.3- Ejemplos de protocolos de rehabilitación que incluyen electroterapia para uso en caso de lesiones de tendón grados 1 y 2.....	77
7.4- Patologías a las que se puede aplicar la electroterapia en conjunto con otras terapias	79
7.5- Protocolo de rehabilitación con terapia de láser de utilidad en caballos...	81
7.6 - Parámetros útiles para el uso de electroterapia en caballos.....	83
8- Bibliografía.....	85

1- Introducción

La fisioterapia tiene sus inicios en la antigüedad, comenzando en China alrededor del año 3000 a. C., y en Grecia alrededor del 400 a. C. Algunas de estas terapias milenarias incluían la acupuntura, el masaje, la hidroterapia y el ejercicio terapéutico (Dreeben-Irimia, 2011; Schoen, 2000). En la antigua Grecia, Hipócrates, el padre de la medicina, desarrolló la electroterapia, que prescribía en forma de cataplasmas de pez-torpedo (*Torpedo torpedo*), el cual tiene una carga eléctrica de alrededor de 80 voltios (Dreeben-Irimia, 2011). Sin embargo, la fisioterapia moderna realmente comienza en los tiempos de la Primera Guerra Mundial, cuando existía una gran necesidad de rehabilitar a los soldados heridos de manera de que pudiesen regresar a tener vidas productivas (Van Dyke, 2011). En esa época, el doctor Lovett de la Universidad de Harvard, descubrió que el ejercicio terapéutico era una de las terapias más importantes para pacientes en la fase inicial de la enfermedad de la poliomielitis (Dreeben-Irimia, 2011). En la actualidad existen diversas asociaciones y leyes que rigen, impulsan y protegen esta especialidad y a los que la practican.

La rehabilitación en el medio veterinario data desde los años sesentas, cuando se acrecentó el interés por los deportes ecuestres, especialmente en Europa e Inglaterra. Sin embargo, a partir de los años ochentas y noventas, la práctica de la rehabilitación de los animales de compañía adquirió más impulso, y con ello se implementaron los programas de certificación en fisioterapia. En 1996 en Estados Unidos, la Asociación Americana de Médicos Veterinarios (AVMA) incluyó el término de "fisioterapia veterinaria" en sus directrices, sugiriendo que el servicio se debe proporcionar por un veterinario o fisioterapeuta certificado. Actualmente, esta rama de la medicina veterinaria está

creciendo exponencialmente, debido principalmente a las expectativas de los dueños de animales de compañía, quienes exigen una atención más avanzada para sus mascotas (Van Dyke, 2011). En la medicina de caballos deportivos la demanda de terapias físicas y de rehabilitación también se ha incrementado, particularmente en caballos lesionados y aquellos con enfermedades crónico-degenerativas.

En caballos de alto rendimiento se utiliza la fisioterapia como parte de la rehabilitación para lograr su potencial máximo. En un estudio hecho por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en 1998, se encontró que los problemas ortopédicos son la mayor causa de merma económica en caballos deportivos, con un costo estimado de entre \$678 y \$1000 millones de dólares al año, relacionando 66% de estos costos solamente con pérdida de la función (Anon, 2001). Por lo tanto, la fisioterapia y la rehabilitación de lesiones ortopédicas son de suma importancia para prolongar la vida útil en los caballos deportivos.

La fisioterapia se refiere al uso de agentes físicos como el frío, calor, electricidad, sonido, luz y compresión para controlar el dolor, reducir la inflamación y promover la recuperación de lesiones (Porter, 2005). La rehabilitación se define como las técnicas utilizadas para restablecer, mantener y promover la calidad de vida y cómo ésta se relaciona a desórdenes del movimiento (Van Dyke, 2011). Su objetivo es recuperar el control motor, coordinación, propiocepción y patrones de movimiento normales, para favorecer la recuperación del paciente y su retorno al deporte o nivel de actividad anterior (Spalding, 2010). Sin embargo, muchos autores usan estos dos términos, rehabilitación y fisioterapia, como intercambiables, ya que las terapias físicas normalmente no se usan

aisladas sino en conjunto con las modalidades de rehabilitación para lograr una recuperación óptima.

La formulación de planes terapéuticos en rehabilitación y fisioterapia requieren del uso de la palpación, la valoración de rango de movimiento activo y pasivo, así como el estudio de los aires (Porter, 2005). El éxito de dichos planes depende de que sean diseñados específicamente para cada paciente, considerando que cada uno responde de manera diferente a los tratamientos. También depende del grado de lesión, de que se reevalúe al caballo periódicamente, y del nivel de exigencia deportiva esperada en el futuro (Spalding, 2010). El éxito de cualquier programa de rehabilitación depende también del uso oportuno de técnicas médicas adecuadas, tanto de diagnóstico como terapéuticas. Existen muchas terapias utilizadas para lesiones en caballos, y se pueden administrar de forma oral, parenteral, intraarticular, así como intralesional. Un diagnóstico y tratamiento adecuado aunado a un buen plan de rehabilitación pueden reducir marcadamente el tiempo de recuperación, así como mejorar el resultado.

En la medicina humana, la fisioterapia es una parte integral de la rehabilitación de pacientes que se recuperan de enfermedades o lesiones, particularmente en el área de la medicina deportiva (Mcgowan et al., 2007), por lo que existe una gran variedad de estudios sobre la utilidad y aplicación de diferentes terapias en rehabilitación; sin embargo, en el ámbito de la medicina veterinaria hace falta más investigación científica sobre el uso de fisioterapia y rehabilitación.

En esta tesis se realizó una revisión bibliográfica sobre los principios fisiológicos y científicos de las técnicas de electroterapia y su uso en caballos deportivos. Se revisó tanto bibliografía de medicina humana como del ámbito veterinario, buscando la

información más reciente y aplicable a caballos deportivos. Las terapias que se examinaron son la electroestimulación, el ultrasonido terapéutico y la terapia de láser de baja intensidad. Sin embargo, existen otras terapias alternativas como la acupuntura, quiropraxia, hidroterapia, termoterapia, masaje, entre otras, que no se mencionan en esta tesis ya que caen fuera del objetivo de esta revisión. No obstante, son técnicas que se deben considerar al formular un plan terapéutico de rehabilitación para un caballo.

2- Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica médica y veterinaria para conocer las bases científicas, los usos, contraindicaciones y validez del uso de electroterapias en la rehabilitación de caballos deportivos.

3.2 Objetivos específicos

- a) Describir los deportes ecuestres olímpicos y conocer a qué tipos de lesiones están predispuestos los caballos que practican estos deportes
- b) Revisar la literatura para entender en qué casos y en qué momento están indicadas las terapias de electroestimulación, ultrasonido y láser.
- c) Definir cada electroterapia para conocer sus bases, su evolución y su aplicación contemporánea en el área de medicina y veterinaria.
- d) Comprender los efectos fisiológicos que se llevan a cabo tras el uso de las terapias de electroestimulación, ultrasonido y láser.
- e) Conocer la forma de aplicación así como la preparación necesaria del paciente para realizar cada terapia, incluyendo las diferentes variables de cada electroterapia.
- f) Comprender las contraindicaciones de las terapias de electroestimulación, ultrasonido y láser.
- g) Examinar los artículos científicos que existen para conocer la validez del uso de las terapias de electroestimulación, ultrasonido y láser en la rehabilitación de lesiones en caballos deportivos.

3- Revisión Sistemática

La información fue recabada de fuentes de información primarias y secundarias, incluyendo libros, revistas arbitradas, memorias de congresos, tesis y artículos científicos disponibles en internet. Se utilizaron datos recientes, su mayoría a partir del año 2000 hasta la fecha, de manera de contar con fuentes actualizadas y con ello generar un documento de referencia con la información más "novedosa" en el tema de electroterapia en equinos.

Para recabar la información se utilizaron buscadores de internet, incluyendo "Elsevier", "Science Direct", "Google Scholar" y "IVIS". Las palabras clave utilizadas fueron "electroterapia", "rehabilitación", "equinos", "ultrasonido terapéutico", "TENS", "NMES", "electroestimulación", "láser", "LLLT", y sus equivalentes en inglés. También se buscó información en libros de texto de medicina equina, de medicina deportiva, de rehabilitación de animales, de rehabilitación humana, de electroterapia y de fisioterapia.

4- Antecedentes

5.1 Los deportes ecuestres olímpicos como causa predisponente a lesiones de miembros locomotores

Cada disciplina ecuestre tiene diferentes exigencias sobre el aparato músculo esquelético de los caballos, es por esto que se deben entender los requerimientos de cada una de ellas para conocer a qué se exponen los pacientes equinos (Dyson, 2000). En este apartado se mencionan las lesiones a las que están predispuestos los caballos en relación con el deporte que practican. El objeto de estudio en este apartado son los deportes ecuestres olímpicos: adiestramiento, salto y concurso completo, los cuales han sido parte de los juegos desde 1912 y se consideran los cimientos de los deportes ecuestres (Anon, 2014a).

Estos deportes son regidos por la Federación Ecuestre Internacional (FEI), la cual es una organización que fue creada en 1921 para regular la competencia internacional de salto, adiestramiento y concurso completo; a partir del año 1970 se comienzan a incluir más deportes a la federación, como los enganches, enduro, volteo, y la última inducción en el año 2000 fue del deporte de rienda (Anon, 2014a). Los estatutos de la FEI indican que el propósito de la organización es impulsar el deporte ecuestre alrededor del mundo, buscando un deporte justo y equitativo, y siempre protegiendo el bienestar de los caballos. Es por esto que en competencias internacionales se regula muy estrictamente el uso de fármacos, suplementos y terapias que podrían dar una ventaja en el deporte.

Existen terapias alternativas que también son reguladas por la FEI en competencias internacionales, como son la terapia de choque, la cual solo se puede aplicar con un mínimo de 5 días antes de competir, y la crío-terapia en la que las

máquinas no deben enfriar por debajo de los 0 grados centígrados. De acuerdo con el reglamento de la FEI, las terapias que se revisan en esta tesis no están prohibidas, pero se deben aplicar bajo permiso del delegado veterinario y ser ejecutadas por personal calificado, ya sea un veterinario o un fisioterapeuta certificado (FEI, 2014).

Para comprender los padecimientos de los caballos de deporte y poder tratarlas más efectivamente, es importante entender las exigencias a las que están sujetos estos animales y las diferencias que hay entre los deportes ecuestres olímpicos. Así mismo, es importante conocer los principios de los deportes que hacen nuestros pacientes para poder mantener una comunicación más estrecha con los jinetes, entrenadores y cuidadores de estos atletas, para así poder realizar un mejor tratamiento a nuestros pacientes.

4.1.1 - El adiestramiento

El adiestramiento se considera la cumbre del entrenamiento equino. Es la disciplina más artística y elegante, sus orígenes se remontan a la Grecia antigua. El binomio realiza un patrón prescrito de movimientos al paso, trote y galope, excepto en la prueba de estilo libre (o "Freestyle") donde se realiza una coreografía al ritmo de la música (Anon, 2014a). Es un deporte que requiere de diversas habilidades de alta dificultad como balance, suavidad y energía. Conforme el nivel del deporte incrementa, se busca que los caballos muevan su centro de gravedad hacia el posterior, permitiendo que los movimientos de los miembros torácicos sean más ligeros y elásticos (Kold y Dyson, 2011). Los caballos deben ser extremadamente sensibles a los comandos del jinete, siempre manteniendo el ritmo, rectitud y contacto con el bocado (Maher y Snyder, 2011). La conformación ideal

para estos caballos es aquella en la que el cuello se mantiene erguido, por lo que carga la cabeza en posición alta, y así el contacto con el bocado y el balance son más fáciles de obtener. Así mismo, es importante que tengan buena conformación de la cruz, para que el albardón esté posicionado de manera nivelada y el peso se distribuya correctamente; esto es especialmente importante en este deporte, ya que los jinetes pasan mucho tiempo en trote sentado (Dyson, 2000) y con un asiento muy profundo.

Los caballos utilizados para el adiestramiento son mayoritariamente Warmbloods, con una alta proporción genética de la raza Pura Sangre Inglés; se busca obtener la elegancia y atletismo de estos últimos, y la facilidad de entrenamiento propia de los caballos Warmblood. Sin embargo, muy pocos caballos exclusivamente Pura Sangre alcanzan las competencias internacionales, porque no tienen la fuerza y calidad en los movimientos requeridos, especialmente al paso y al trote (Dyson, 2000). Los caballos de raza Española, también se utilizan para el adiestramiento y se considera que son más fáciles de entrenar, especialmente en el piaffe y passage; no obstante, son pocos los que alcanzan los niveles internacionales (Kold y Dyson, 2011). Esto se evidenció mediante un estudio que comparaba diferentes razas y sus habilidades para el adiestramiento (Barrey et al., 2010), e incluía razas como Hannoverianos, Españoles, de Silla Francés, Oldenburg, entre otros. Este estudio concluyó que los caballos Hannoverianos eran los más compatibles con el deporte de adiestramiento.

Conforme el nivel del deporte aumenta, se incrementan las exigencias en el aparato músculo esquelético. Para las categorías de Primer y Segundo Nivel se califica el balance y libertad de movimiento, para Tercer y Cuarto Nivel se califica la colección e incluye movimientos laterales. Para Prix St Georges, Intermediare I y Gran Premio, se

exige la máxima reunión, permitiendo hacer ejercicios de suspensión como pueden ser el piaffe, passage, y piruetas (Kold y Dyson, 2011). Sin embargo, el cambio en centro de gravedad hacia el posterior a medida que el nivel del deporte se incrementa, aplica fuerzas extremas sobre el músculo interóseo (también conocido como ligamento suspensor) de los miembros pelvianos, y los movimientos laterales ejercen presiones adicionales sobre las articulaciones apendiculares (Kold y Dyson, 2011).

Para alcanzar el nivel de obediencia y comando de los movimientos requeridos en adiestramiento, se utiliza predominantemente la repetición de los ejercicios; generalmente en superficies sintéticas y de muy buena calidad, en donde también se desarrollan las competencias. Por lo tanto, la mayoría de las lesiones sostenidas en estos caballos son crónicas degenerativas y no de origen agudo o traumático. Es por esto que en este deporte los signos de lesión pueden ser muy sutiles. En el cuadro 1 se describen algunos de los signos iniciales que pueden indicar una patología subyacente:

Cuadro 1: Alteraciones iniciales observables en caballos de adiestramiento sugerentes de lesiones subclínicas en aparato músculo esquelético (Dyson, 2000).

• Encapotar el cuello o estar renuente a aceptar el bocado.
• No mantener el contacto en la boca de la misma manera a mano izquierda o derecha.
• Ritmo irregular al hacer movimientos laterales.
• Ritmo irregular al trote regular o extendido.
• Acortamiento del tranco en miembros pelvianos al caminar.
• Altura o ritmo desigual de los movimientos en piaffe o passage.

<ul style="list-style-type: none">• Inhabilidad para reunir, falta de elasticidad en la espalda y no lograr la activación de los miembros pelvianos.
<ul style="list-style-type: none">• Pérdida de la elasticidad y libertad de los movimientos.
<ul style="list-style-type: none">• No lograr bien los cambios de mano al aire especialmente a una mano específica, o entrar tarde con el posterior.

Un estudio retrospectivo realizado por Murray et al., determinó que en los caballos de adiestramiento la lesión más común es desmitis del músculo interóseo (o ligamento suspensor) en miembros pelvianos, sin importar el nivel en el que compita el caballo. Asimismo se determinó que los caballos de alto rendimiento sufren más frecuentemente de lesiones en tarsos, mientras que los caballos de rendimiento más bajo sufren lesiones en la región del hueso navicular y los tejidos blandos asociados (Murray et al., 2006). Esto concuerda con el incremento en la activación y exigencia puesta sobre los miembros pelvianos conforme el nivel de este deporte aumenta.

4.1.2 - El Salto

El salto es probablemente la disciplina más reconocida alrededor del mundo, y consiste en que los binomios salten un recorrido de obstáculos sin derribar ni rehusar, y en el mejor tiempo posible (Anon, 2014a). Es un deporte que requiere que los caballos tengan mucha fuerza, balance, precisión y agilidad, para poder girar súbitamente y ajustar la longitud del tranco fácilmente (Dyson, 2000). Esto se requiere para aproximarse a los obstáculos a una distancia adecuada y así poder despegar, bascular correctamente y no

tener ninguna falta. Es un deporte objetivo, el cual se califica con base en el número de obstáculos derribados o rehusados, y el tiempo del recorrido del desempate.

Por muchos años, los caballos Pura Sangre Inglés fueron utilizados exitosamente para esta disciplina, pero en los últimos años los Warmbloods han encabezado este deporte. Últimamente, se seleccionan caballos de mayor altura y musculatura delgada, ya que esto favorece a un tranco de mayor tamaño, conservando la agilidad y velocidad (Boswell et al., 2011).

Esta disciplina es un deporte intenso, donde los caballos pueden competir durante varias semanas al mes, en temporadas de hasta 10 meses, y recorrer largas distancias entre una y otra competencia (Murray et al., 2006). Estos caballos deben saltar en diferentes tipos de superficies, con bajos tiempos de recuperación y altos niveles de estrés, lo que los predispone a lesiones por agotamiento. Por esto, en el salto existe una gran diferencia entre las lesiones de caballos de alto rendimiento y aquellos que compiten en niveles de baja exigencia, quienes presentan lesiones similares a las que sufren caballos de paseo (Dyson, 2000).

A niveles altos, esta disciplina causa enorme estrés en el aparato suspensor de los miembros pelvianos, al despegar para el obstáculo, y de las manos al caer (Dyson, 2000). Se ejercen grandes fuerzas de torsión sobre las articulaciones al hacer giros súbitos, especialmente cuando se utilizan ramplones para incrementar la tracción y más aún si solo se utilizan en la parte lateral de la herradura (Dyson, 2000; Boswell et al., 2011). Estas fuerzas ejercidas constantemente sobre las articulaciones y tejidos blandos, pueden causar claudicaciones subclínicas que frecuentemente afectan el rendimiento del caballo,

aunque algunos pueden continuar compitiendo de manera exitosa a pesar del dolor (Dyson, 2000).

En el cuadro 2 se mencionan algunos posibles signos iniciales que se pueden presentar en lesiones subagudas, y que pueden ser la queja principal del jinete que nota un cambio en la manera de trabajar de su caballo.

Cuadro 2: alteraciones iniciales observables en caballos de salto sugerentes de lesiones subclínicas en aparato músculo esquelético (Dyson, 2000).

<ul style="list-style-type: none">• No despegar parejo con los miembros pelvianos, o que éstos se desplacen hacia un lado.
<ul style="list-style-type: none">• No querer dar vuelta.
<ul style="list-style-type: none">• No querer caer sobre una mano en específico.
<ul style="list-style-type: none">• Tener dificultad para cubrir los trancos en combinaciones.
<ul style="list-style-type: none">• Tener dificultad para ajustar el tranco.
<ul style="list-style-type: none">• No querer llegar cerca a los obstáculos, o tener faltas cuando esto pasa.
<ul style="list-style-type: none">• Apresurar ciertos obstáculos.
<ul style="list-style-type: none">• Rehusar.
<ul style="list-style-type: none">• Cambiar el galope de los miembros pelvianos.

Las lesiones más comunes en caballos de salto de alto rendimiento, según un estudio hecho en Inglaterra, se localizan en la porción proximal del músculo interóseo (o ligamento suspensor), seguido por lesiones en el tendón flexor digital profundo de miembros torácicos, y en el tendón flexor digital superficial (Murray et al., 2006b). En comparación, los caballos de bajo rendimiento están más predispuestos a síndrome navicular (Murray et al., 2006b), enfermedad articular degenerativa de las articulaciones

metacarpofalángicas e interfalángicas, así como enfermedad articular degenerativa de las articulaciones distales del tarso (Boswell et al., 2011). Esta diferencia en las lesiones sostenidas por caballos de alto y bajo rendimiento, está relacionado con el aumento en fuerzas de reacción del suelo causado por el incremento en altura de los obstáculos (Meershoek et al., 2001).

4.1.3 - El Concurso Completo

También conocido como *prueba de tres días* ya que los binomios compiten a lo largo de tres días en disciplinas diferentes: adiestramiento, salto y campo traviesa. La exigencia de este deporte es enorme en competencia y también en entrenamiento, y los caballos tienen que soportar trabajo en superficies suaves, duras, en subidas y bajadas. Los caballos que practican este deporte deben ser valientes y rápidos para la parte a campo traviesa, pero también tener suficiente finura para poder realizar los movimientos requeridos en el adiestramiento y salto. Es por esto que los caballos más exitosos en esta disciplina tienen una alta proporción de Pura Sangre, ya que los Warmbloods puros no tienen suficiente fortaleza física y velocidad para los niveles altos de este deporte (Dyson, 2000; Bathe, 2011).

Esta disciplina requiere del monitoreo constante por parte de los médicos veterinarios, ya que los caballos son evaluados el día antes de comenzar con la competencia de adiestramiento, luego se inspeccionan antes y después de la fase a campo traviesa y por último el tercer día antes de la competencia de salto. La evaluación es realizada por un panel de médicos veterinarios, quienes determinan si el caballo está en condiciones para competir, y aunque se podría aceptar un grado mínimo de asimetría

en miembros pelvianos, cualquier grado perceptible de claudicación en miembros torácicos normalmente resulta en el retiro de la competencia (Bathe, 2011). Por ende, los desórdenes ortopédicos y la rehabilitación de éstos resultan ser de suma importancia en esta disciplina, ya que sin la atención veterinaria oportuna los caballos no podrán competir.

La fase de adiestramiento generalmente se hace sobre una superficie de pasto, que es más firme que las superficies artificiales utilizadas en las competencias de adiestramiento (Dyson, 2000). Es por esto que las claudicaciones mínimas son más evidentes y pueden resultar en el retiro de la competencia del binomio. Por lo mismo, la conformación de los caballos compitiendo en esta disciplina es de suma importancia ya que es un deporte menos indulgente que el adiestramiento y salto en este aspecto. Caballos con mala conformación, especialmente aquellos rectos de cuartilla, rectos de corvejón o moderada a severamente izquierdos, son animales que generalmente no les va bien compitiendo en alto rendimiento (Dyson, 2000; Bathe, 2011).

La fase a campo traviesa implica un riesgo muy alto para los jinetes y caballos que practican este deporte, por lo que se han realizado estudios para identificar los factores de riesgo asociados a los accidentes incurridos. Se encontró que los obstáculos con una zanja al frente y aquellos posicionados en una bajada, incrementan el riesgo de sufrir accidentes (Singer et al., 2003). Asimismo, aquellos obstáculos con caída o despegue en el agua, y obstáculos con una anchura de más de dos metros también incrementan el riesgo de una caída de caballo y jinete (Murray et al., 2006).

Aunque la mayoría de las lesiones de estos caballos están asociadas al entrenamiento, las lesiones traumáticas son comunes en la fase a campo traviesa de las

competencias, ya que están saltando obstáculos grandes, fijos y a altas velocidades (Bathe, 2011). Estas lesiones generalmente son abrasiones, laceraciones, hematomas, trauma a la región de la babilla y rabdmiolisis por sobreesfuerzo (Singer et al., 2008). En comparación, las lesiones sostenidas en entrenamiento generalmente involucran tejidos blandos, siendo el tendón flexor digital superficial y el musculo interóseo (o ligamento suspensor) los más frecuentemente lesionados (Murray et al., 2006; Singer et al., 2008), especialmente en caballos de alto rendimiento (Murray et al., 2006).

Como ya se ha mencionado, el riesgo inherente de esta disciplina para caballo y jinete es preocupante, y aunque el número de accidentes ha disminuido de 2004 a 2013, la probabilidad de sostener lesiones graves al incurrir en una caída rotacional es alta (Anon, 2013). Por lo tanto, es de importancia conocer los factores predisponentes a este tipo de accidentes y tomar medidas para disminuir el riesgo de este deporte ecuestre.

4.2- La importancia de la fisioterapia para caballos deportivos

La fisioterapia es de mucha importancia para caballos deportivos de todos los niveles, ya que puede acelerar el tiempo de recuperación de lesiones del aparato músculo esquelético (Veenman, 2006). Es útil en el tratamiento de lesiones agudas, subagudas y crónicas para reducir la inflamación, manejar el dolor, incrementar la circulación del área afectada, reducir espasmos musculares, evitar atrofia muscular, promover la reparación de tejidos (Baxter y McDonough, 2007), entre otros efectos que se pueden alcanzar mediante el uso de técnicas de fisioterapia y que serán descritos específicamente más adelante. Asimismo, las técnicas de fisioterapia, aunado a tratamientos médicos

apropiados, pueden ayudar a extender la vida útil de los caballos de mayor edad o con enfermedades crónico-degenerativas (Mcgowan et al., 2007).

En los últimos años la fisioterapia ha sido especialmente importante para caballos de alto rendimiento que participan en competencias internacionales ya que su uso ha sido permitido de manera oficial en estos eventos (Mcgowan et al., 2007). Las restricciones que se tiene sobre el tratamiento de estos atletas con fármacos y terapias convencionales incrementan la necesidad de buscar otras modalidades terapéuticas, y en estos casos la fisioterapia es una buena alternativa para el tratamiento de las lesiones, sin quebrantar las regulaciones de la Federación Ecuéstrea Internacional (FEI) (Anon, 2014b). Como ya se mencionó anteriormente, existen algunas terapias como la terapia de choque y la crioterapia que también tienen restricciones de tiempo y forma en su uso durante este tipo de competencias (Anon, 2014b). Sin embargo, las terapias de electroestimulación (así como la electroacupuntura), el ultrasonido y el láser no tienen restricciones para su uso en competencia, aunque si deben ser proporcionadas por un médico veterinario o un fisioterapeuta acreditado en el área designada para proporcionar estos tratamientos (FEI, 2014).

5- Técnicas de Electroterapia

La electroterapia es un término que describe diferentes terapias, las cuales usan una corriente eléctrica para activar una o más respuestas fisiológicas y con esto obtener un efecto terapéutico (Sutton y Watson, 2011). Estas técnicas se pueden clasificar en cuatro grupos que son: la electroestimulación, el ultrasonido terapéutico, la terapia de láser y la terapia electromagnética, siendo los primeros tres el enfoque de este trabajo (Baxter y McDonough, 2007). Muy rara vez se utilizan aisladas, frecuentemente se utilizan en conjunto con otras modalidades de fisioterapia y rehabilitación (Baxter y McDonough, 2007), y es importante mencionar que la selección de parámetros adecuados (como frecuencia e intensidad) es crucial para el resultado obtenido. Por lo tanto, es necesario que el operador esté preparado y conozca los efectos y usos adecuados de los dispositivos de electroterapia (Porter, 2005).

El término "ventana terapéutica" es también aplicable a la electroterapia, al igual que la mayoría de la terapéutica en medicina y veterinaria. En el caso de la electroterapia, se ha comprobado que la misma terapia a diferentes dosis tiene efectos distintos o hasta puede ser dañina (Watson, 2002; Low et al., 2006). La ventana terapéutica ideal se encuentra con la combinación correcta de varios factores, como la frecuencia y la amplitud de la energía, lo cual puede llegar a ser complejo. Sin embargo, esto no significa que no exista un efecto terapéutico cuando todos los parámetros no son los ideales, sino que no se logrará el potencial completo (Watson, 2008). Asimismo, con el progreso del paciente o lesión, la ventana terapéutica también cambia, ya que la misma terapia podría no tener el mismo efecto en la etapa aguda que en la etapa crónica de una lesión (Watson, 2002; 2008). Es por esto que se debe tener el conocimiento correcto de las

dosis adecuadas a utilizar en situaciones distintas, para lograr el potencial de la terapia y evitar complicaciones.

Existen distintos fabricantes de equipos de electroterapia, y pueden ser específicos para humanos, para uso veterinario o específicamente para uso en equinos. No obstante, en medicina veterinaria también se usan equipos distribuidos para humanos ya que son la selección de los parámetros y no necesariamente el aparato, que son importantes en estas terapias. A continuación se mencionaran algunos productos que existen en el mercado diseñados para equinos:

- a) Electroestimuladores: EquiNew LLC FES 310
- b) Ultrasonido: Chattanooga Intellect Vet
- c) Láser: Laserex 3000, THOR, Avant LZ30 y Respond 2400, que son algunos de los clase 3b disponibles para caballos. Asimismo también se encuentran láser de clase 4 específicos para equinos, como pueden ser el Pegasus de LiteCure, o el Nexus10.
- d) Combo: otra opción son consolas que combinan dos o tres terapias en un solo aparato. Un ejemplo es el Intellect Vet Combo manufacturado por la compañía Chattanooga, y el aparato Incluye electroestimulación de 2 o 4 canales, ultrasonido de 1 y 3 MHz, y un láser clase 3b de alta potencia. Asimismo se puede utilizar con batería, por lo que se puede transportar a donde se encuentre el paciente.

5.1- Electroestimulación

Definición

La electroestimulación es una terapia que usa electrodos superficiales para aplicar una corriente eléctrica y lograr la estimulación de piel, nervios, músculos y sus ligamentos y tendones asociados (Schils, 2009). Esta terapia se usa para dos propósitos distintos: la estimulación de neuronas sensitivas para producir analgesia (electroanalgesia), y la estimulación de neuronas motoras para lograr contracciones musculares (electroestimulación neuromuscular). Algunos de los beneficios que se producen, además de la analgesia y el fortalecimiento muscular son: la reducción de la inflamación y mejoría del tejido de cicatrización, absorción de edema y la estimulación de músculos atrofiados, para reducir el tiempo de rehabilitación después de lesiones o cirugías (Schils, 2009). Sin embargo, en caballos no se han establecido parámetros estandarizados como se ha hecho en humanos y perros, por lo que existe una gran necesidad de realizar estudios clínicos en esta área (Buchner y Schildboeck, 2006).

Efectos fisiológicos

Para entender los efectos terapéuticos de la electroestimulación, primero se deben conocer los principios fisiológicos de esta terapia; específicamente el efecto sobre los músculos y nervios. La estimulación eléctrica de los nervios causa una despolarización durante la cual se produce un potencial de acción. Éste a su vez, es transmitido hasta la unión neuromuscular causando que las fibras musculares se contraigan (Schils, 2009). La susceptibilidad de los nervios y músculos a la electricidad depende del diámetro de las fibras y del grado de mielinización de los nervios. Por ejemplo, los nervios periféricos son

los más excitables, ya que tienen fibras de diferentes calibres incluyendo fibras motoras mielinizadas, fibras sensitivas mielinizadas, fibras sensitivas poco mielinizadas y fibras nociceptivas no mielinizadas (Baxter y McDonough, 2007). Por lo tanto, una corriente eléctrica que logra estimular un nervio periférico no necesariamente logrará estimular un músculo. Es por esto, que los parámetros de amplitud, frecuencia y duración cambian dependiendo del tipo de fibra que se quiera estimular.

Aplicación

Los parámetros que se deben considerar al elegir una terapia de electroestimulación adecuada son:

- Intensidad, expresada en miliamperes (mA), se refiere a la magnitud de la corriente. Esto es importante, ya que fibras de mayor calibre necesitan menor intensidad para estimularlas, y viceversa. Sin embargo, la mayoría de los aparatos en el mercado tienen unidades arbitrarias de intensidad "precargadas" que cambian dependiendo del fabricante (Baxter y McDonough, 2007).
- Frecuencia, expresada en Hertz (Hz), es el número de pulsos por segundo, y su importancia radica en el periodo refractario de los nervios. Por ejemplo, los nervios de menor diámetro tienen un periodo refractario más largo y por lo tanto responden a frecuencias más bajas que aquellos de mayor calibre (Baxter y McDonough, 2007).
- Duración del pulso, expresada en microsegundos, es útil para la selección de fibras a estimular ya que con corta duración de pulso se estimulan fibras sensitivas,

mientras que con una duración más larga se estimulan fibras motoras (Baxter y McDonough, 2007).

Contraindicaciones

Aunque la electroestimulación es una opción segura y con valor terapéutico en la rehabilitación de lesiones, es importante conocer algunos de los efectos adversos que puede haber. Algunas de las contraindicaciones generales que se deben considerar son:

- Una contracción fuerte podría causar daño a articulaciones o músculos, especialmente a tejidos ya lesionados o articulaciones inestables (Low et al., 2006).
- En pacientes con osteoporosis, por el riesgo a producir fracturas (Niebaum, 2013).
- En caso de que se pueda desprender un trombo, como zonas de tromboflebitis (Niebaum, 2013).
- En caso de hemorragia o neoplasia ya que podría haber cambios metabólicos no deseables (Low et al., 2006).
- En casos en que la corriente se pudiera focalizar debido a la presencia de heridas abiertas (Low et al., 2006).

Esta terapia no se debe aplicar cerca de un útero grávido, sobre la parte craneal del cuello o la zona de la carótida (Sutton y Watson, 2011), directamente sobre el corazón (Niebaum, 2013), ni sobre los ojos ni gónadas (Baxter y McDonough, 2007). Como ya se mencionó anteriormente, es importante también conocer la ventana terapéutica antes de utilizar algún método de electroestimulación, para proporcionarle al paciente la terapia más adecuada y evitar los efectos adversos.

5.1.1- Electroanalgesia

Definición y Efectos Fisiológicos

La electroanalgesia se genera por un mecanismo llamado electroestimulación nerviosa transcutánea, también conocido como TENS (por sus siglas en inglés), es una técnica simple, no invasiva para el manejo del dolor agudo o crónico (Watson, 2008). La analgesia producida por estos aparatos se logra mediante tres distintas modalidades. La primera, es basada en la teoría de "puerta de entrada" propuesta por Melzak y Wall en 1965 (Low et al., 2006; Watson, 2008). Esta teoría dice que la modulación del dolor está a cargo de las células "T" en las astas dorsales de la médula espinal, las cuales se denominan la "puerta de entrada" ya que regulan la información que recibe el cerebro. Estas células T reciben estímulos por medio de las fibras A y C, que se encuentran en los nervios periféricos (Mercado et al., 2002). Esto permite modular la transmisión de señales dolorosas a la médula, y posteriormente al cerebro, mediante la estimulación eléctrica de los mecanorreceptores $A\beta$ quienes inhiben a las fibras nociceptivas C (Low et al., 2006). Al inhibir estas fibras, se cierra la puerta de entrada y la percepción del dolor en el paciente es alterada.

La segunda modalidad mediante la cual se produce analgesia es por la secreción de opiáceos endógenos al estimular las fibras de pequeño calibre, $A\delta$ y C, con frecuencias muy bajas (Sawaya, 2007). Sin embargo, se puede activar ambas modalidades al mismo tiempo usando ráfagas interrumpidas de alta intensidad (100 Hz con 2 a 3 ráfagas/segundo) estimulando ambos receptores $A\beta$ y $A\delta$. Para muchos caballos, esta modalidad puede ser la más efectiva para el manejo del dolor (Sutton y Watson, 2011).

Por último, la tercera modalidad para inhibir el dolor sucede en la corteza cerebral al bloquear los receptores de las fibras nociceptoras. Esto se logra sustituyendo el estímulo doloroso con el estímulo eléctrico, y solamente funciona durante el periodo que dura la terapia (Porter, 1998). Ya que el caballo es muy sensible a estímulos externos, esta modalidad es fácilmente apreciable al cambiar el enfoque del dolor hacia un nuevo estímulo que es el cosquilleo causado por la electroestimulación (Porter, 1998).

Aplicación

En la aplicación de electroestimulación transcutánea se debe tener presente la ubicación adecuada de los electrodos, la duración del tratamiento, y el confort del paciente. La aplicación de los electrodos para esta terapia debe ser a ambos lados de la lesión, sobre la rama nerviosa pertinente o bien en los puntos de acupuntura que se quieran estimular (Sutton y Watson, 2011). Lo más común, es que se apliquen los electrodos sobre el área de dolor para estimular las fibras A β que llegan al mismo segmento espinal que las fibras nociceptivas asociadas al origen de la lesión (Watson, 2008). La aplicación correcta de los electrodos es importante para el éxito de la terapia, y si no se está logrando el efecto deseado se deben reconsiderar los parámetros utilizados, pero también la aplicación de los electrodos. A continuación se explican algunas de las técnicas de aplicación de electrodos más comunes (Prentice et al., 2011):

- a. Monopolar: es la técnica en la que se aplica un electrodo más pequeño sobre el área de la lesión, y otro electrodo más grande en otra parte del cuerpo, para dispersión. La energía se concentra sobre el electrodo pequeño, y es donde se da la respuesta terapéutica, como se muestra en la figura 1.

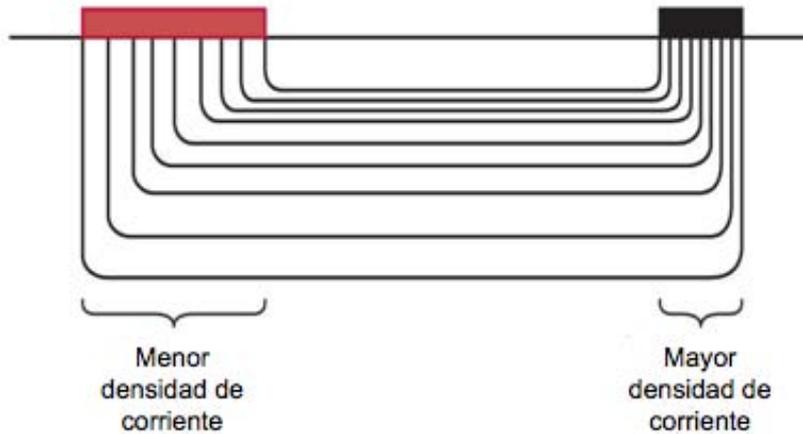


Fig.1: Técnica monopolar para aplicar electrodos, utilizando un electrodo más pequeño y uno de dispersión (modificado de Prentice et al., 2011).

- b. Bipolar: es la técnica en la que se aplican dos electrodos del mismo tamaño alrededor del área de la lesión, y se obtiene la misma densidad de corriente bajo ambos electrodos. Sin embargo, si se aplican muy cercanos el uno del otro, la corriente es más intensa pero superficial, mientras que si se separan se puede llegar a estructuras más profundas, como se muestra en la Figura 2.

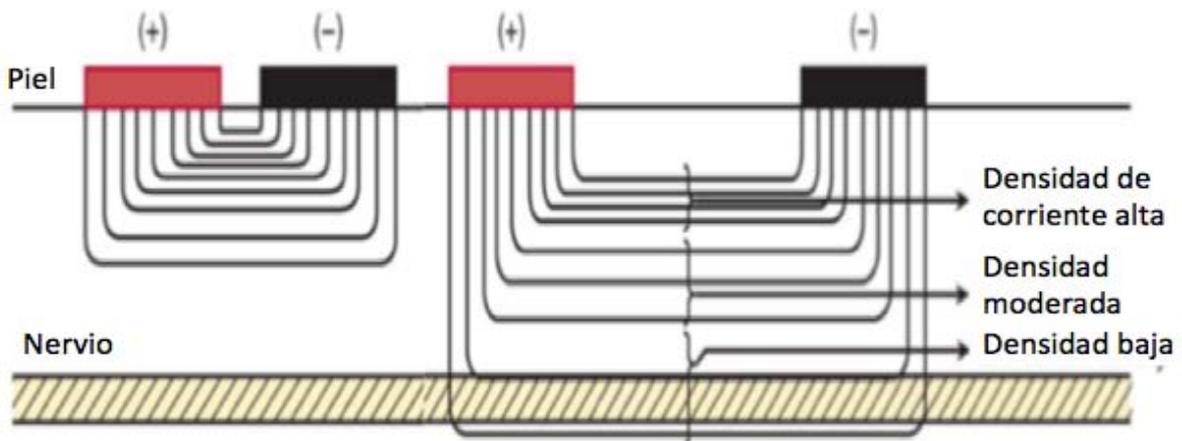


Fig. 2: Separación adecuada entre los electrodos para que la electricidad alcance la profundidad del nervio (modificado de Prentice et al., 2011)

- c. Cuadripolar: Se utilizan 2 pares de electrodos del mismo tamaño, cada par proviniendo de un canal distinto del generador de electroestimulación transcutánea (o TENS). Esta técnica es especialmente útil para zonas de gran tamaño.
- d. Cruzados: Es la técnica en la que se cruzan los polos de los electrodos para concentrar la energía un una zona central a los cuatro electrodos, como se muestra en la Figura 3.

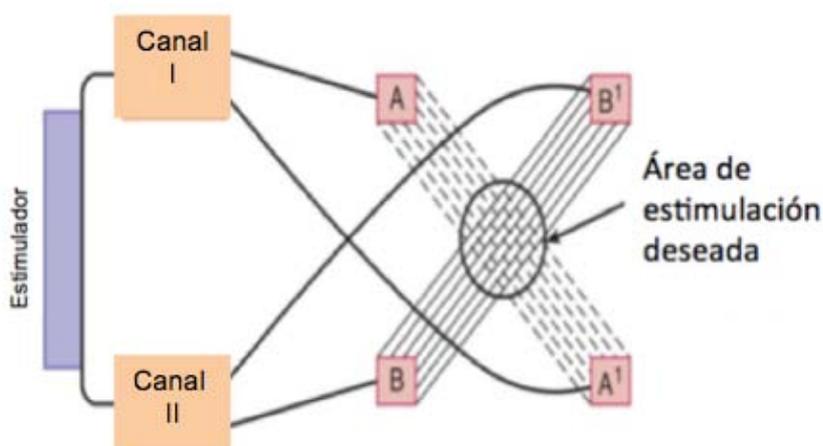


Fig. 3: Técnica de aplicación de electrodos cruzados para concentrar la energía de los cuatro electrodos en la parte central del área a tratar (modificado de Prentice et al., 2011).

Se considera que la duración de los tratamientos pueden variar de entre 15-20 minutos en etapas iniciales, hasta 1 hora en tratamientos posteriores (Baxter y McDonough, 2007). Sin embargo, otros autores proponen que la terapia dure el tiempo que el caballo permanezca en un estado de relajación profunda y detener el tratamiento cuando el paciente "despierte" (Porter, 2005). Considerando que esta terapia no tiene interacciones adversas con fármacos, no existen niveles tóxicos, ni se puede sobredosificar, es subjetivo hablar de un tiempo ideal de tratamiento, aunque en humanos se

llega a utilizar continuamente por largos periodos sin problemas (Watson, 2008). La duración más bien va a depender del paciente: su actitud, comodidad y calma durante el procedimiento, por lo que es necesario tener una comprensión básica de etología equina para poder evaluar correctamente al paciente (Porter, 2005).

Los parámetros adecuados para proporcionar analgesia en caballos es utilizando frecuencias de entre 100-130 Hz, para activar el mecanismo de puerta de entrada, utilizado en casos de dolor agudo (Bergh, 2014; Sawaya, 2007). En casos de dolor crónico se utilizan frecuencias de 2-8 Hz, activando la secreción de opiáceos endógenos (Bergh, 2014; Sawaya, 2007). Se utiliza una duración de pulso de alrededor de 100 μ s, excepto cuando se quiere estimular puntos de acupuntura donde se aplica una duración de pulso más amplia de 200-250 μ s (Sutton y Watson, 2011). La intensidad (o amplitud), se incrementa buscando que el caballo tolere la terapia adecuadamente y sin alcanzar contracciones musculares (Niebaum, 2013). Si el caballo muestra mucha incomodidad o se logran contracciones musculares, se deben ajustar los parámetros de la electroestimulación, ya que altas intensidades puede llegar a causar dolor.

Indicaciones

Clínicamente, la electroanalgesia es de mucha utilidad para caballos con dolor crónico, dadas las limitaciones que se tienen en relación a los antiinflamatorios no esteroideos (AINES). Las principales ventajas de esta terapia consisten en que puede proporcionar analgesia a corto y largo plazo, con pocos efectos secundarios (Porter, 2005). La electroanalgesia es más exitosa en casos donde el dolor es localizado, de intensidad moderada, y cuando proviene de un sitio anatómicamente superficial (Baxter y

McDonough, 2007). No obstante se puede utilizar esta terapia en casos de dolor más profundo, como casos de laminitis, proveyendo analgesia suficiente para que sean ambulatorios los pacientes (Porter, 2008). En la sección de anexos de este trabajo, se pueden encontrar algunos protocolos y parámetros utilizados en caballos.

Justificación para uso en caballos

Se han realizado varios estudios aplicando electroestimulación transcutánea a caballos con tendones flexores seccionados quirúrgicamente. Estos concluyeron que existe una resolución más rápida de la lesión (evaluado con ultrasonido). Asimismo, encontraron un incremento en el contenido de hidroxiprolina en el estudio histológico y un incremento en resistencia a la tensión significativos en el grupo de caballos tratado con electroestimulación transcutánea, en comparación con el grupo control (Sharifi et al., 2007; 2008; 2009). Sin embargo estos estudios se hicieron con un número de caballos limitado, y no se han hecho otros estudios para confirmar estos hallazgos.

Mercado et al. (2002) realizaron un estudio en el cual se evaluó la utilidad de la electroanalgesia y el ultrasonido terapéutico para el tratamiento de miositis del músculo largo del dorso (*Longissimus dorsi*) en caballos. Se encontró que los signos clínicos en el grupo de caballos tratados con ambas terapias se resolvieron 14 días después de comenzado el tratamiento. En el grupo al que sólo se le aplicó ultrasonoterapia, los signos clínicos se resolvieron para el día 28 del estudio, mientras que en el grupo en que sólo se le aplicó electroanalgesia no se resolvieron los signos por completo (Mercado et al., 2002). Sin embargo, en este estudio no se incluyeron casos control, y aunque es

sugere de su utilidad en conjunto con la ultrasonoterapia, no se comprobó su efectividad como terapia única.

Aunque el uso de la electroanalgesia ha sido probada en humanos con resultados consistentes (Domínguez-Carrillo, 2001), y también se han hecho estudios en perros donde se ha encontrado un efecto analgésico significativo en casos con osteoartritis de la articulación femoropatelar (Levine et al., 2002) y con osteoartritis de cadera, codo, rodilla (articulación femoropatelar) y hombro (Mlacnik et al., 2006), existe una falta enorme de información confiable acerca de la efectividad de esta terapia en caballos. No obstante, los resultados en humanos y pequeñas especies indican que esta técnica tiene validez clínica, y considerando que no existen riesgos importantes aunados al uso de esta terapia, puede ser una herramienta valiosa en el manejo del dolor en pacientes equinos.

5.1.2- Electroestimulación Neuromuscular

Definición

La electroestimulación muscular engloba varias terapias diferentes (NMES, FES, FNS, TES, etc.) y es el término utilizado para la terapéutica en la cual el objetivo es producir estimulación de las fibras musculares (Baxter y McDonough, 2007). Las contracciones musculares se logran aplicando una corriente pulsátil que emite cargas unidireccionales o bidireccionales y que se detienen periódicamente por un tiempo determinado (Sutton y Watson, 2011). Se debe mencionar que las ondas eléctricas emitidas por el aparato de electroestimulación transcutánea (o TENS) y el aparato de neuroestimulación muscular (o NMES) son iguales y se pueden producir por el mismo dispositivo. Por lo tanto la selección de parámetros, especialmente la duración de pulso,

es lo que hace la diferencia en el tipo de terapia que se obtendrá (Baxter y McDonough, 2007). Además, al estimular neuronas motoras también se estimulan los nervios periféricos, logrando un efecto combinado de analgesia y estimulación muscular (Schils, 2009).

En la literatura, la nomenclatura no es muy clara cuando se trata de electroestimulación muscular. Muchos autores utilizan los términos que se describirán a continuación como intercambiables, por lo que puede ser difícil saber qué tipo de terapia se utilizó en los estudios (Watson, 2008). El término electroestimulación neuromuscular, o NMES (por sus siglas en inglés), es la más común y se utiliza cuando la terapia se aplica sobre músculo enervado. Los términos electroestimulación funcional o FES (por sus siglas en inglés) y electroestimulación funcional neuromuscular (FNS) se utilizan cuando el objetivo es producir o mejorar movimientos funcionales; por ejemplo, para producir dorsiflexión al caminar en niños con parálisis cerebral (Watson, 2008). El término electroestimulación terapéutica (TES) se ha utilizado en la literatura para describir terapias que se podrían también clasificar como FES o NMES (Watson, 2008). Sin embargo, el término NMES se puede utilizar para representar todas estas terapias ya que se aplican sobre músculo enervado.

Existen también otros tipos de corrientes que se pueden utilizar para proveer terapia de electroestimulación. Dentro de estos se encuentran los estimuladores galvánicos, los estimuladores de corriente pulsada de alto voltaje (HVPC), y los estimuladores con microcorriente (MES). Los estimuladores galvánicos fueron la primer terapia de electroestimulación y causan una acumulación de iones bajo los electrodos, que a su vez producen una vasodilatación refleja. Sin embargo, esta acumulación de

iones causa una sensación de ardor y pueden causar daño a la piel. Por esta razón, se desarrollaron los estimuladores de corriente pulsada de alto voltaje, ya que pueden tener efectos similares a los galvánicos, reduciendo los efectos negativos en la piel (Schils, 2009). Los estimuladores con microcorriente son los electroestimuladores más recientes, y utilizan amplitudes tan bajas que no hay activación de nervios ni músculos; su uso se relaciona con cicatrización de heridas acelerada. Existen diferentes tipos de corrientes, aunque se considera que los de la categoría de NMES son los más adecuados para uso en caballos por su capacidad para producir respuestas motoras y sensitivas controladas (Schils, 2009).

Efectos fisiológicos

Como ya se mencionó, la electroestimulación neuromuscular es utilizada para producir contracciones musculares mediante la estimulación de los nervios que los inervan. Esto sucede cuando la intensidad y duración del impulso son suficientes para despolarizar la membrana del nervio, generando potenciales de acción, y que así se contraigan las fibras musculares (Watson, 2008). Durante el ejercicio, las fibras musculares se reclutan de manera jerárquica dependiendo de las necesidades de la actividad. Para mantener la postura y ejercicio de baja intensidad, suelen utilizarse sólo fibras musculares de tipo I. Conforme el ejercicio incrementa, se activan las fibras musculares IIA y para actividades de alta velocidad o salto, se activan las fibras musculares IIB (Hodgson et al., 2014).

En comparación, la electroestimulación neuromuscular activa primero las fibras musculares tipo II antes que las tipo I, por el gran calibre de sus axones y

consecuentemente su bajo umbral de activación (Watson, 2008; Sutton y Watson, 2011). Si se incrementa la duración de pulso, se pueden reclutar fibras motoras de menor calibre y crear una contracción más poderosa al involucrar más fibras musculares (Sutton y Watson, 2011). Asimismo, incrementar la frecuencia resulta en un aumento en el número y fuerza de las contracciones pero por consecuencia causa fatiga más rápidamente (Sutton y Watson, 2011).

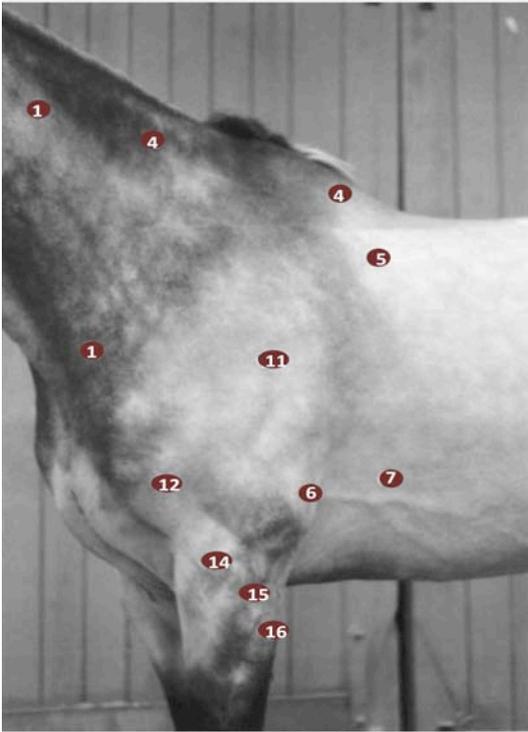
Los efectos de la terapia de electroestimulación neuromuscular en general son un incremento en masa y fortaleza muscular, así como en capacidad oxidativa (Sutton y Watson, 2011). Sin embargo, por el reclutamiento de fibras tipo II y las características inherentes a estas fibras, especialmente su alto nivel de actividad muscular y metabolismo anaeróbico, es fácil que se fatiguen los músculos estimulados (Baxter y McDonough, 2007; Watson, 2008; Sutton y Watson, 2011). Por lo tanto, se debe tener cuidado con los parámetros utilizados, especialmente el ciclo de contracción y descanso, para evitar la fatiga y complicaciones (Watson, 2008).

Aplicación

Para que la corriente eléctrica pueda ser transmitida de manera óptima es importante rasurar el pelo y limpiar el área a tratar, evitando el uso de alcohol (Baxter y McDonough, 2007). En caballos pelifinos, la corriente puede ser transmitida aun sin rasurar el pelo, pero puede ser necesario el uso de gel de ultrasonido para incrementar el paso de la corriente. Existen dos formas de colocar los electrodos para una terapia de electroestimulación neuromuscular exitosa. La primera es buscando un punto motor, que es el punto que permite que se produzca una contracción muscular utilizando la menor

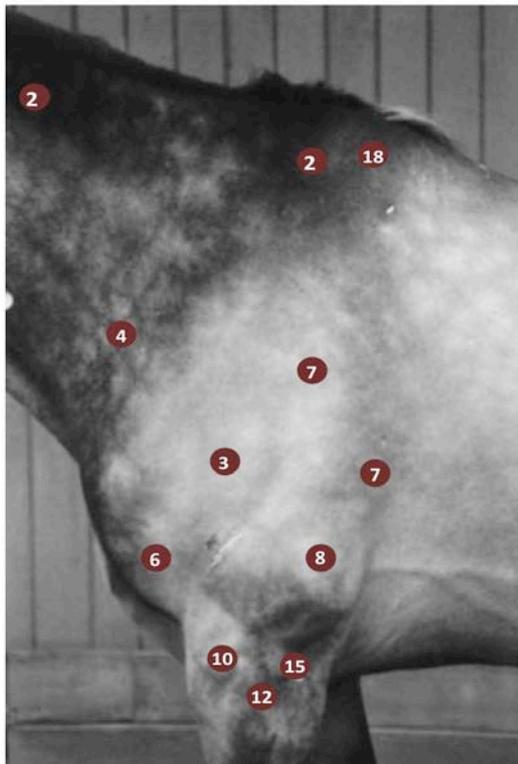
energía posible (Watson, 2008). Esto se puede hacer posicionando un electrodo en diferentes zonas para encontrar el punto ideal, y posteriormente aplicar otro electrodo de dispersión cercano al grupo muscular pero no sobre el mismo grupo muscular (Baxter y McDonough, 2007).

Otra manera de aplicar los electrodos, es posicionando los dos electrodos sobre el mismo grupo muscular, procurando cubrir la mayoría del cuerpo muscular. Para utilizar esta técnica se requiere un buen conocimiento anatómico de los músculos a tratar (Baxter y McDonough, 2007). El tamaño de los electrodos que se deben utilizar depende del tamaño del músculo que se quiere estimular, o para concentrar o dispersar la energía. Los electrodos pequeños se deben utilizar para músculos de menor tamaño o para concentrar la electricidad sobre un nervio o punto motor específico. Los electrodos más grandes se utilizan para músculos grandes, grupos musculares, o para funcionar como una terminal de dispersión ya que entre más grande sea el electrodo, menor densidad tiene la corriente (Watson, 2008). Las figuras 4-10 muestran los lugares aproximados donde se pueden encontrar puntos motores en caballos (Bromiley, 2007).



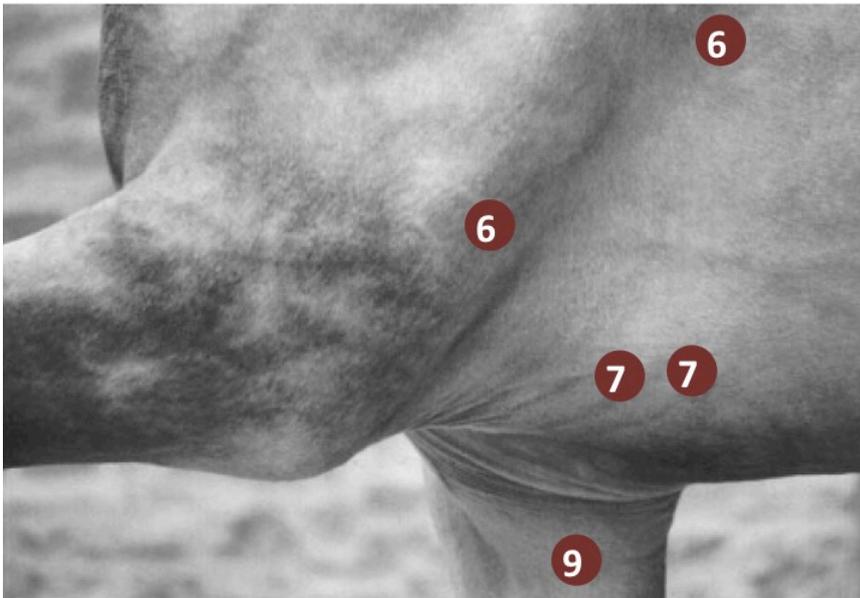
- 1) Braquiocefálico (músculo y tendón)
- 4) Músculo trapecio
- 5) Músculo dorsal ancho
- 11) Músculo deltoides
- 12) Músculo braquial
- 14) Músculo extensor carpo radial
- 15) Músculo extensor digital común
- 16) Músculo extensor carpo ulnar

Figura 4: Puntos motores que se pueden encontrar en caballos (modificado de Bromiley, 2007)



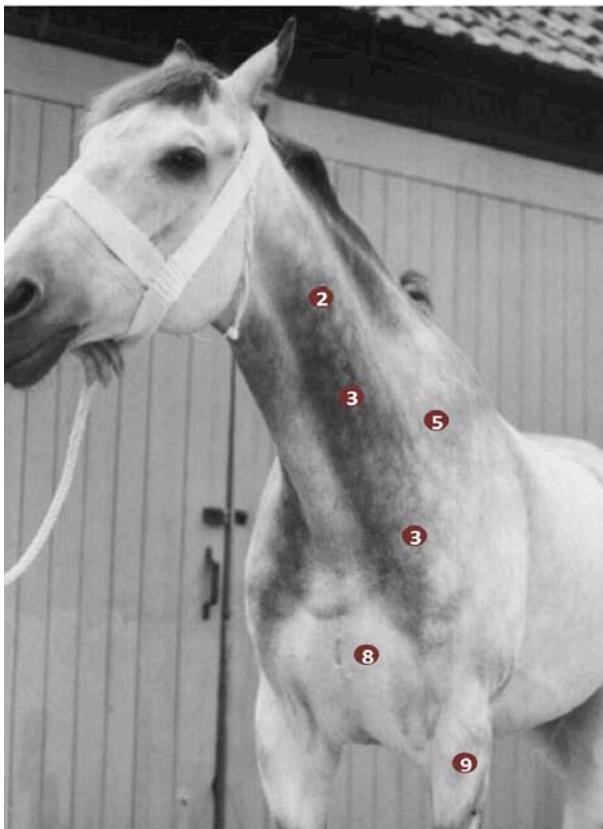
- 2) Músculo romboides
- 3) Músculo infraespinoso
- 6) Músculo bíceps
- 7) Músculo tríceps
- 8) Músculo tríceps
- 10) Músculo extensor carpo radial
- 12) Músculo extensor digital común
- 15) Músculo flexor digital profundo
- 18) Parte torácica del músculo supraespinoso

Figura 5: Puntos motores que se pueden encontrar en caballos (modificado de Bromiley, 2007)



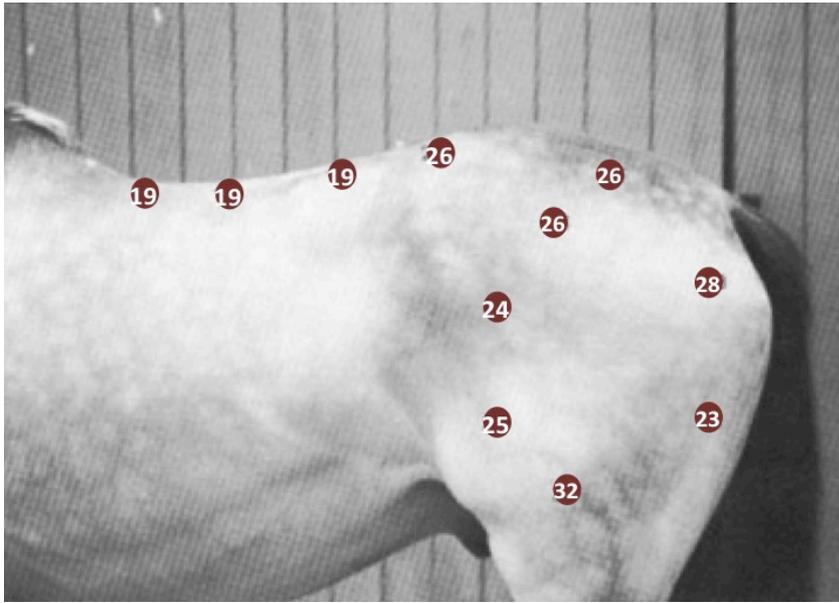
- 6) Músculo tríceps
- 7) Músculo pectoral profundo
- 9) Músculo flexor carpo ulnar

Figura 6: Puntos motores que se pueden encontrar en caballos (modificado de Bromiley, 2007)



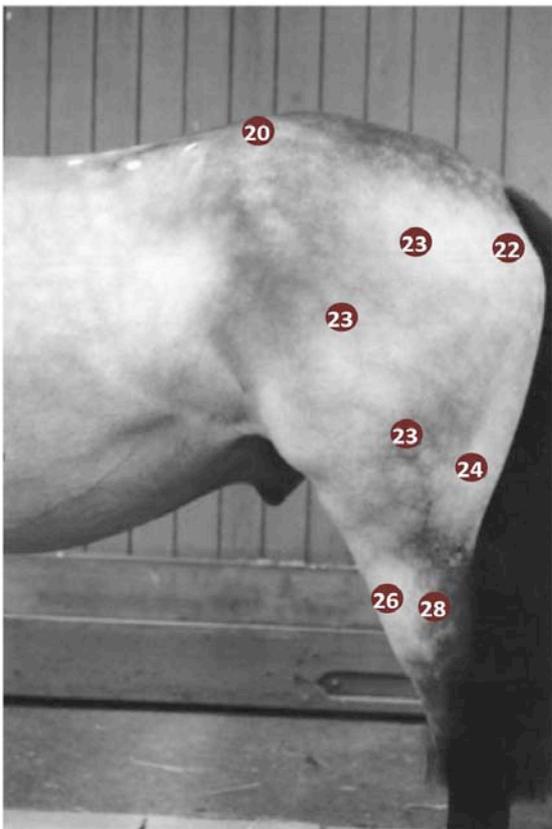
- 2) Músculo esternocéfálico
- 3) Músculo braquiocefálico
- 5) Músculo supraespinoso
- 8) Músculo pectoral superficial
- 9) Músculo extensor carpo radial

Figura 7: Puntos motores que se pueden encontrar en caballos (modificado de Bromiley, 2007)



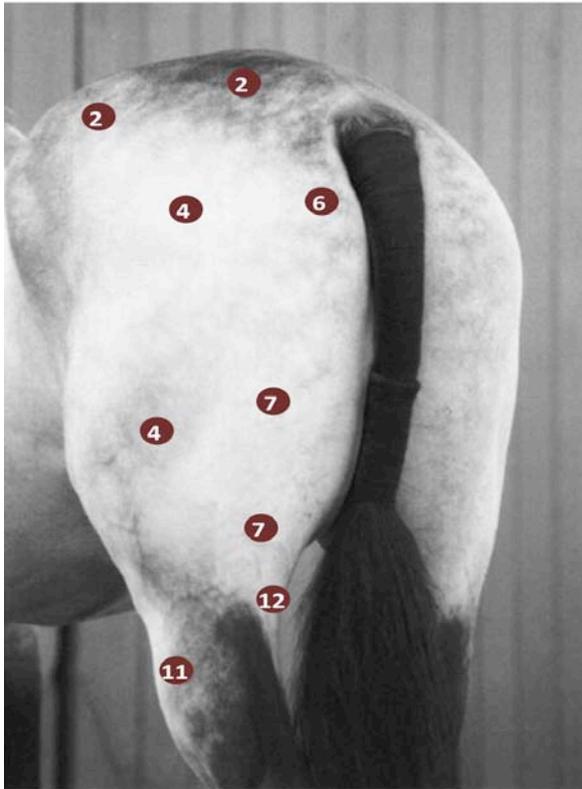
- 19) Músculo largo del dorso
- 24) Músculo recto femoral
- 25) Músculo vasto lateral
- 26) Músculo glúteo medio
- 28) Músculo semitendinoso
- 32) Músculo extensor digital largo

Figura 8: Puntos motores que se pueden encontrar en caballos (modificado de Bromiley, 2007).



- 20) Músculo glúteo superficial
- 22) Músculo semitendinoso
- 23) Músculo bíceps femoral
- 24) Músculo gastrocnemio
- 26) Músculo extensor digital largo
- 28) Músculo extensor digital lateral

Figura 9: Puntos motores que se pueden encontrar en caballos (modificado de Bromiley, 2007)



- 2) Músculo glúteo superficial
- 4) Músculo bíceps femoral
- 6) Músculo semitendinoso
- 7) Músculo semimembranoso
- 11) Músculo extensor digital lateral
- 12) Músculo gastrocnemio

Figura 10: Puntos motores que se pueden encontrar en caballos (modificado de Bromiley, 2007).

Los parámetros para una electroestimulación neuromuscular adecuada en caballos son:

- Amplitud: la piel de los caballos ofrece poca resistencia por lo que se requiere de menor intensidad que en humanos. La intensidad se incrementa hasta lograr la contracción deseada sin llegar a causar dolor (Sutton y Watson, 2011).
- Duración de pulso: de entre 200 a 400 μ s ya que se produce una contracción poderosa y al mismo tiempo se reduce la probabilidad de producir estímulos dolorosos (Sutton y Watson, 2011).
- Frecuencia: de entre 20-100 Hz considerando que a 20 Hz ya se produce una contracción tetánica mientras que con frecuencias de entre 60-100 Hz se producen

contracciones de mayor fuerza. Sin embargo, los músculos se fatigan más rápido entre más alta sea la frecuencia (Sutton y Watson, 2011).

- Ciclo: es el porcentaje de tiempo que se mandan estímulos eléctricos en comparación con el tiempo de descanso. Para músculos denervados este porcentaje puede ser bajo, porque necesitan periodos más largos de descanso entre cada contracción (Sutton y Watson, 2011). Un ciclo adecuado puede ser de 2-3 segundos, excepto a mayor intensidad que se puede necesitar de periodos más largos de descanso (Watson, 2008).
- Ramp: se refiere a los cambios graduales en amplitud que resulta en contracciones más cómodas (Sutton y Watson, 2011).

Indicaciones

La electroestimulación neuromuscular es útil en casos de lesiones agudas para evitar la atrofia muscular y comenzar con fortalecimiento desde las etapas iniciales; también es útil en casos de denervación de grupos musculares y para crear estabilidad de articulaciones mediante el fortalecimiento de músculos asociados (Sawaya, 2007). Otros beneficios son la movilización y fortalecimiento después de edema, contracturas, procedimientos quirúrgicos, daño nervioso y corrección de aires (Sutton y Watson, 2011). Bromiley (2000) describe un caso donde una contractura de los músculos flexores proximales al carpo de un caballo causaban una claudicación mecánica. El tratamiento fue la estimulación eléctrica de los músculos extensores, que logró una relajación del grupo flexor y una resolución de la claudicación (Bromiley, 2000). En la sección de anexos

de este trabajo, se pueden encontrar algunos protocolos y parámetros utilizados en caballos.

Justificación para uso en caballos

La mayoría de la investigación es realizada alrededor del uso de la electroestimulación muscular en humanos que han tenido lesiones neurológicas u ortopédicas. Se han tratado pacientes con lesiones de espina dorsal, con paresia y postquirúrgicos ortopédicos con buenos resultados. Se ha comprobado que se puede retardar la atrofia muscular causada por lesiones neurológicas o por falta de uso (Snyder-Mackler, 1991; Carrol y Bird, 1992; Baldi et al., 1998). Asimismo, se ha comprobado su utilidad para aumentar fuerza y propiocepción (DeLitto et al., 1988; Gauthier et al., 1992).

En ratas a las que se les cortó el nervio peroneal, se les detuvo la atrofia muscular y se mejoró la recuperación y reinervación utilizando estimulación muscular (Kanaya y Tajima, 1992; Williams, 1998), En gatos y ratas también se determinaron efectos adversos como una estructura muscular alterada y alteración en la capacidad de generar músculo (Kernell et al., 1987; Gorza et al., 1988). En primates se utilizó la estimulación muscular y se encontró un aumento en el metabolismo oxidativo, un incremento en el tamaño de fibras musculares, proliferación capilar, así como proliferación de células endoteliales (Bigard, 1993; Clemente y Barron, 1993).

En perros se han determinado los parámetros adecuados con los que se logra un tratamiento de neuroestimulación muscular apropiado, específicamente en términos de duración de pulso (Sawaya et al., 2008; Millis y Levine, 2014). Asimismo, se ha estudiado el uso de NMES en perros postquirúrgicos de reconstrucción de ligamento cruzado

anterior (o craneal), y se determinó que aquellos pacientes a los que se les proporcionó la terapia tenían una circunferencia de pierna significativamente mayor, menor dolor, menor crepitación a la palpación y menos daño al cartílago en la evaluación postmortem (Johnson et al., 1997). En otro estudio, Millis et al. (1997) revisaron la diferencia entre un protocolo postquirúrgico conservador y un protocolo postquirúrgico con rehabilitación y fisioterapia; de igual forma, sus resultados indicaron que la circunferencia de pierna era significativamente mayor a partir de las 2 semanas de tratamiento, y el rango de movimiento, especialmente la extensión de la rodilla, fue mejor en este grupo también, y se mantuvo así durante todo el estudio.

La investigación en caballos en este tema es especialmente pobre en estudios controlados o experimentales, enfocada en casos de estudios individuales, o estudios observacionales subjetivos. Schils (2010) describe dos casos de estudio utilizando electroestimulación muscular para evitar atrofia y disminuir espasticidad muscular en dos caballos distintos. El primero fue el caso de un caballo que desarrolló una atrofia del tríceps tras la reparación quirúrgica de una fractura de ulna. Una documentación fotográfica demuestra la diferencia en masa muscular antes del tratamiento, después de 4 tratamientos y después de 9 tratamientos, demostrando un marcado incremento en masa muscular. Asimismo, esta autora describe otro caso de una yegua de salto con un diagnóstico de superposición de las apófisis espinosas, la cual no respondía adecuadamente a tratamientos de acupuntura y quiropraxia, pero que sí redujo el espasmo muscular con 5 meses de tratamiento con electroestimulación muscular y posteriormente volvió a competir en gran premio. Como ya se mencionó anteriormente, Bromiley (2000) también describe un caso de estudio en el que se utiliza la

electroestimulación muscular para corregir una claudicación mecánica causada por una contracción de los músculos flexores del carpo, y que fue tratada exitosamente estimulando los músculos extensores de la misma área logrando una relajación de los flexores y una resolución de la claudicación.

Aunque no hay muchos datos ni investigación clínica sobre este tema en caballos, la utilidad de esta terapia en la rehabilitación equina se hace con base en la investigación extensa hecha en humanos para el tratamiento de afecciones neurológicas, ortopédicas y para protocolos postquirúrgicos. Sin embargo, los parámetros utilizados en humanos, animales de laboratorio, perros y otras especies, no serían los mismos que se utilicen con esta especie, por lo que se necesita más investigación enfocada en caballos para estandarizar los parámetros correctos de neuroestimulación muscular.

5.2 Ultrasonido Terapéutico

Definición

El ultrasonido es una energía mecánica, aunque se considera dentro del grupo de electroterapia, no es una energía eléctrica (Sutton y Watson, 2011). Estas ondas sonoras se describen en términos de frecuencia o Hertz (Hz), mientras que el sonido perceptible por el humano está dentro del rango de 16 Hz a 20,000 Hz, el ultrasonido terapéutico utiliza frecuencias muy altas de entre 1 millón a 3 millones de Hz o 1 a 3 Megahertz (MHz) (Porter, 1998). Los efectos terapéuticos de esta terapia se clasifican como termales y no-termales dependiendo de los parámetros utilizados (Baxter y McDonough, 2007). Esto se debe a que las ondas sonoras producen una oscilación molecular de los tejidos, generando calor; sin embargo, actualmente el uso del ultrasonido terapéutico se

concentra más en los efectos no-termales (Sutton y Watson, 2011). Existen riesgos, principalmente debido a un aumento excesivo en la temperatura de los tejidos, aunque con personal calificado esta terapia puede brindar muchos beneficios (Bromiley, 2000).

Efectos fisiológicos

Las ondas ultrasónicas se pueden emitir de manera continua o pulsátil. Sin embargo, la razón más importante por la que se utiliza el modo pulsátil es para evitar la cavitación inestable. La cavitación es la formación de burbujas en el tejido insonado y sucede como un evento transitorio cuando se utilizan intensidades muy altas en el modo continuo (Baxter y McDonough, 2007). Cuando esta cavitación es inestable, las burbujas colapsan causando daño a los tejidos (Porter, 1998). Por lo tanto, muchos aparatos de ultrasonido ofrecen un parámetro pulsátil con relaciones de entre 1:1-1:9 (Baxter y McDonough, 2007). Esto significa que con el parámetro de 1:1, se emiten ondas por 2 ms y después hay 2 ms de descanso, mientras que a 1:4 se emiten 2 ms de ondas y 8 ms de descanso, y así consecutivamente (Sutton y Watson, 2011). Teniendo en consideración que a frecuencias de 3 MHz los tejidos superficiales se elevan en temperatura muy rápidamente, es importante que se utilice el modo pulsátil para evitar sobrecalentamiento (Porter, 2008).

Como ya se mencionó anteriormente, los efectos del ultrasonido se pueden clasificar en termales y no-termales. Los efectos termales generalmente se proporcionan usando el modo continuo, manteniendo el transductor siempre en movimiento (Porter, 2005). Algunos de los beneficios obtenidos con la terapia termal son: alteraciones en el

flujo sanguíneo, mejoría en la extensibilidad de tejido colagenoso, cambios en conductividad nerviosa y alteraciones en la contractibilidad de los músculos (Porter, 1998). También, se ha determinado que si la temperatura de tejidos se eleva a 40-45 grados centígrados se pueden resolver casos de inflamación crónica (Sutton y Watson, 2011).

Los efectos no-termales se basan en tres fenómenos: la cavitación estable, la transmisión acústica y el micromasaje (Porter, 1998). En contraste con la cavitación inestable, la cavitación estable se produce usando dosis terapéuticas de ultrasonido y su función es intensificar la transmisión acústica. Este segundo fenómeno se caracteriza por pequeñas corrientes de fluidos que se forman alrededor de estructuras vibratorias, como podrían ser las membranas celulares o las burbujas creadas por la cavitación estable, causando varios cambios en las células. Dentro de estos se incluyen la permeabilidad de iones de sodio y el transporte de iones de calcio, los cuales excitan a las células. Este aumento en el metabolismo celular es mayormente responsable de los efectos terapéuticos del ultrasonido (Sutton y Watson, 2011). Por último, el micromasaje se refiere a la oscilación de las células y tejidos dentro del haz de ultrasonido, lo cual puede reducir edema y estimular mecanoreceptores en la fase aguda de las lesiones (Porter, 1998).

Aplicación

Las ondas ultrasónicas obedecen las leyes de reflexión y refracción, que son efectos que suceden cuando las ondas pasan por tejidos de diferentes densidades, como la interfaz de músculo y hueso (Bromiley, 2000; Porter, 2005). La refracción es la deflexión de energía, mientras que la reflexión es el ángulo con el que viaja el haz de

ultrasonido y su consideración es importante para obtener buenos resultados. Por ejemplo, si el transductor se posiciona con una inclinación mayor a 15 grados en relación con la superficie de tratamiento, la mayoría del haz de ultrasonido viajará solamente por los tejidos dermales (Sutton y Watson, 2011), si el transductor se posiciona a 90 grados, las ondas son reflejadas de regreso hacia la fuente, y si ésta no está en movimiento causa daño a los tejidos (Porter, 1998). Así mismo, cuando existe un espacio de aire entre la fuente y los tejidos, resulta en la refracción de la mayoría de la energía, por lo que ya no es transmitida a los tejidos (Sutton y Watson, 2011). Por esta razón es muy importante el uso de medios de acoplamiento, como pueden ser cremas, aceites, agua y geles. Hoy en día, los medios a base de gel son los más efectivos para eliminar la presencia de aire, y se considera que es preferible rasurar el pelo de la superficie para tratar de lograr la mejor penetración posible (Sutton y Watson, 2011).

La energía producida por el ultrasonido penetra a través de la piel, pero va perdiendo intensidad por fenómenos de dispersión y absorción (Bromiley, 2007). Los tejidos con mayor cantidad de proteína son los que más energía absorben, mientras que en hueso y cartílago es muy probable que las ondas sean reflejadas (Sutton y Watson, 2011). Con esta información, se ha calculado que la penetración alcanzada con frecuencias de 0.75 MHz es de 7 cm, con 1 MHz se alcanzan hasta 4 cm y con 3 MHz penetran las ondas hasta 2.5 cm (Bromiley, 2007). En comparación con otras terapias, en el ultrasonido terapéutico es la frecuencia, y no la intensidad, la que determina la profundidad que alcanzan las ondas. Paradójicamente, la frecuencia más alta, de 3 MHz, se absorbe más fácilmente en los tejidos superficiales. Algunas de las lesiones que se pueden tratar utilizando esta frecuencia incluyen exostosis de los metacarpos o

metatarsos, periostitis del tercer metacarpiano, desmitis del ligamento suspensor (o músculo interóseo) y desmitis del ligamento accesorio, entre otras (Porter, 2008). Si se considera que utilizando frecuencias de 1 MHz se alcanza hasta 4 cm de profundidad, esta modalidad es útil en estructuras como la cadera, el hombro y para reducir los espasmos musculares (Sawaya, 2007).

Los parámetros de intensidad y ciclo pulsátil también se deben considerar al elegir una terapia de ultrasonido. La intensidad se refiere a la fuerza del rayo de ondas ultrasónicas y es calculado con base en la cantidad de energía emitida por unidad de área tratada; se describe en términos de watts por cm^2 (W/cm^2) (Porter, 1998). Es importante que la intensidad sea suficiente para lograr un efecto terapéutico sin llegar a causar daño; el rango de intensidad utilizado comúnmente es de 1 a 3 W/cm^2 (Baxter y McDonough, 2007). Sin embargo, el rayo de ultrasonido es desigual por lo que se pueden llegar a formar zonas de calor excesivo (o "hot spots"). Cuando una onda ultrasónica es reflejada y se encuentra con más ondas que están siendo transmitidas, también se crean estas zonas de calor excesivo ("hot spots"), por lo que la mejor manera de evitarlos es manteniendo el transductor en movimiento durante toda la duración de la terapia (Porter, 1998). El transductor también se debe mantener a un ángulo de 90 grados sobre el área de tratamiento. De otra manera, se puede reflejar el rayo ultrasónico y nuevamente crear estas zonas ("hot spots") que causan daño a los tejidos por el calor excesivo generado sobre un mismo punto (Porter, 1998).

Indicaciones

El ultrasonido terapéutico puede ser utilizado durante diferentes fases de reparación de diferentes tejidos, teniendo en mente que los parámetros utilizados son de suma importancia dependiendo del estado de la lesión. Por ejemplo, el ultrasonido puede ser de utilidad en las tres fases de la remodelación de tejidos blandos: la fase inflamatoria, la proliferativa y la de remodelación. Durante la fase inflamatoria, el ultrasonido tiene un efecto pro-inflamatorio. Su utilidad está en optimizar la respuesta inflamatoria y promover la reparación, aunque si se utiliza a intensidades muy altas se puede intensificar la respuesta inflamatoria siendo contraproducente para el proceso de reparación (Sutton y Watson, 2011).

En la fase proliferativa, el ultrasonido estimula fibroblastos, miofibroblastos y células endoteliales. Asimismo, utilizando ultrasonido pulsado en dosis bajas, se incrementa la síntesis de proteína y colágeno. Durante la fase de remodelación, el ultrasonido ayuda en la remodelación y orientación de las fibras de colágeno, creando un tejido de cicatrización más funcional (Sutton y Watson, 2011). Otro ejemplo es el uso de ultrasonido en la reparación de fracturas, el cual se debe utilizar en dosis muy bajas. Esto se debe a que con intensidades normales, crea una respuesta muy dolorosa en el caballo. Desafortunadamente, las dosis tan bajas requeridas para esta terapia no se pueden lograr con la mayoría de los sistemas de ultrasonido (Sutton y Watson, 2011). La terapia ultrasónica tiene beneficios durante toda la reparación de los tejidos, sin embargo se deben conocer las limitaciones para no exacerbar el problema ya existente. En la sección de anexos de este trabajo, se pueden encontrar algunos protocolos y parámetros utilizados en caballos.

Contraindicaciones

El ultrasonido es una terapia con muchos beneficios, sin embargo se deben considerar las contraindicaciones y precauciones antes de utilizarlo. Su uso está contraindicado en casos donde hay tumores, trombos, flebitis, problemas cardiacos, hemartrosis y sepsis o infección (Nota: extremar precaución en casos de tumores, especialmente si existe alguna posibilidad de que sean malignos). También está contraindicado sobre órganos como el cerebro, los ojos, la médula espinal, el corazón y el útero grávido. Es muy importante evitar el uso del ultrasonido terapéutico sobre las fisis activas ya que puede causar alteraciones del crecimiento en potros. En cuanto a las precauciones que se deben tener, es importante que la máquina sea calibrada regularmente, mantener el transductor continuamente en movimiento, evitar zonas que puedan tener un injerto metálico ya que esto puede causar quemaduras superficiales, y siempre utilizar la intensidad más baja que provea un efecto terapéutico (Porter, 1998; Bromiley, 2007; Sutton y Watson, 2011). Los peligros asociados con el mal uso de esta terapia son importantes, especialmente en manos inexpertas, por lo que no se recomienda proporcionarla sin recibir la capacitación necesaria.

Justificación para uso en caballos

Estudios realizados en perros, cabras y ratas, confirman que el uso de ultrasonido terapéutico es útil en el tratamiento de lesiones de tendones, incrementando el contenido y direccionalidad de las nuevas fibras de colágena, reduciendo el dolor, anticipando el

proceso inflamatorio y mejorando la capacidad del miembro para soportar peso (Saini et al., 2002; Demir et al., 2004; Maiti et al., 2006). Asimismo, Reis et al. reportan que mediante un análisis de birrefringencia de las fibras de colágeno del tendón flexor superficial en caballos, se encontró una mejor disposición, agregación y orden molecular de las fibras de colágeno tras terapia de ultrasonido a 1MHz y 0.5 W/cm^2 por un periodo total de 60 días (Reis et al., 2009).

Otros estudios se han hecho para conocer los efectos termales del ultrasonido terapéutico en perros y caballos, estudiando el incremento en temperatura de diferentes tejidos, posterior al uso de ultrasonido terapéutico (Levine et al., 2001; Montgomery et al., 2013). El estudio en caballos encontró que existe un aumento de temperatura de $3.5 \text{ }^\circ\text{C}$ en el tendón flexor digital superficial (SDFT) y $2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ en el tendón flexor digital profundo (DDFT) tras 10 minutos de ultrasonoterapia a 3.3 MHz y 1.0 W/cm^2 . El incremento en temperatura de estos mismos tejidos utilizando una intensidad de 1.5 W/cm^2 tras 10 minutos de terapia fue de $5.2 \text{ }^\circ\text{C}$ y $3.0 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente. Por último este estudio encontró que el incremento en temperatura de los músculos epaxiales tras una terapia de 20 minutos a 3.3 MHz y 1.5 W/cm^2 sólo incrementó en $1.3 \text{ }^\circ\text{C}$ a 1 cm de profundidad y $0.7 \text{ }^\circ\text{C}$ a 4 cm y 8 cm respectivamente. Considerando que para obtener un efecto termal se requiere un incremento de $2\text{-}4 \text{ }^\circ\text{C}$, este protocolo no fue exitoso para lograr este efecto (Montgomery et al., 2013). Sin embargo, en humanos se ha encontrado que con frecuencias de 1 MHz se puede lograr un incremento en temperatura a más profundidad (entre 2.5 a 5 cm) y con una menor disipación del calor (Rose et al., 1996) lo que podría

resultar como mejor parámetro para incrementar la temperatura de estos grandes músculos.

Un estudio realizado en burros encontró que el uso de ultrasonido terapéutico para el tratamiento de artritis traumática aguda disminuyó la severidad de la reacción inflamatoria, incrementó la velocidad de sanación de la membrana sinovial y la cápsula articular, y aumentó el contenido de glucógeno en los condrocitos. Esto, aunado a las observaciones macroscópicas, apoyan el uso de la ultrasonoterapia para el tratamiento de artritis traumática en équidos (Singh et al., 1997). Se han hecho distintos reportes acerca del uso de ultrasonido terapéutico para el manejo de heridas, aunque los reportes son anecdóticos y no son estudios controlados con parámetros cuantitativos, por lo que la información no resulta confiable (De Miranda Moraes et al., 2009a; De Miranda Moraes et al., 2009b).

5.3 Terapia de Láser de Baja Intensidad

Definición

La palabra láser es un acrónimo por sus siglas en inglés de "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*" y es una terapia que utiliza aparatos que transforman la radiación electromagnética en ondas de luz ultravioleta, visible o infrarroja (Bergh, 2006). Existen diferentes tipos de láser con usos en cirugía, diagnóstico y terapéutica (Baxter y McDonough, 2007), y se clasifican dependiendo de:

a) el medio activo que emite las ondas de luz y que determina la longitud de onda, como pueden ser helio-neón (HeNe) con una longitud de 632.8 nm, arseniuro de galio (GaAs) con una longitud de 904 nm, y arseniuro de galio y aluminio (GaAlAs) con una longitud de 820 nm (Bergh, 2006; Sutton y Watson, 2011).

b) la potencia de los rayos láser, que pueden ser de alta potencia ($> 10 \text{ W}$) y son generalmente utilizados en cirugía, y los láser de baja potencia ($< 500\text{mW}$, $< 35 \text{ J/cm}^2$) que son aquellos utilizados de manera terapéutica (Bergh, 2006; Sutton y Watson, 2011).

c) por el riesgo de daño potencial a la piel y los ojos de acuerdo con el "American National Standards Institute" y que se clasifican de 1-4, donde los láser clase 4 involucran alto riesgo al utilizarlos (Bergh, 2006; Jann et al., 2012). Este es el tipo de clasificación más comúnmente utilizada; el cuadro 3 muestra sus características y precauciones a tomar con los diferentes tipos de láser (Anon, 2007; Millis y Levine, 2014).

Cuadro 3: Clasificación de los láser, sus características y precauciones a tomar (Anon, 2007; Millis y Levine, 2014).

Clase	Características	Precauciones
Clase 1	Láser seguro bajo toda circunstancia, como lectores de código de barras o impresoras láser.	No es riesgoso para la salud.
Clase 1M	Similar a los láser clase 1.	Sólo es riesgoso si es visto por medio de un instrumento óptico o lente.
Clase 2	Se encuentran en el espectro de 400-700 nm y hasta 1mW; pueden incluir apuntadores de láser y algunos láser terapéuticos.	Son seguros hasta por 0.25 segundos de exposición a los ojos. Ya que causan reflejo de parpadeo, esto limita la exposición.
Clase 2M	Similar a los láser clase 2	Sólo es riesgoso si es visto por medio de un instrumento óptico o lentes (como binoculares o microscopios).
Clase 3R	Láser de entre 1 mW hasta 5 mW. Como ejemplo: láser HeNe de hasta 5 mW	Potencialmente peligroso bajo ciertas circunstancias, como vistos por lentes.
Clase 3B	Láser continuo de 315 nm y hasta 500 mW, o de 400-700 nm y hasta 30 mW. Como ejemplo: láser HeNe de entre 5-500 mW	Peligroso para los ojos con exposición directa, por lo que se requiere utilizar protección para los ojos. No causa daño en la piel.
Clase 4	Cualquier láser con mayor potencia que los clase 3B, e incluyen láser quirúrgicos, industriales y algunos terapéuticos.	Peligroso para los ojos con exposición directa e indirecta (reflejos), por lo que se requiere utilizar protección para los ojos para cualquier persona en el área. Puede quemar la piel.

Desde finales de la década de los sesentas y principios de los setentas, un grupo liderado por el profesor Endre Mester comenzó a investigar sobre el efecto de los rayos láser de baja potencia sobre los tejidos, y específicamente la bioestimulación de los procesos de cicatrización de heridas (Watson, 2008). Este trabajo inicial fue hecho con un aparato de láser de HeNe, y consecuentemente es el tipo de terapia mejor documentada (Porter, 1998; Watson, 2008). Sin embargo, la introducción de aparatos de diodos semiconductores, que son aparatos más compactos y menos costosos, incrementó la popularidad de esta herramienta en la fisioterapia, odontología, acupuntura y medicina (Watson, 2008). No obstante, la escasez de estudios científicos que utilicen protocolos de investigación estrictos, disminuye la aceptación de la utilidad de esta terapia en el medio de la medicina y veterinaria (Sutton y Watson, 2011).

Las características que distinguen a los rayos láser de otros tipos de radiación es que son monocromáticos, o sea que pertenecen a una misma longitud de onda y por lo tanto a un mismo color (Porter, 1998; Sutton y Watson, 2011); son coherentes, lo que significa que las ondas tienen una misma relación de fase entre sí (Sutton y Watson, 2011) y son colimados, lo que indica que las ondas viajan en una misma dirección. Estas propiedades son ejemplificadas en la Figura 11. Sin embargo, lograr todas estas propiedades eleva enormemente el costo de los equipos, por lo que muchas veces se utilizan aparatos que contienen un diodo semiconductor (como GaAs) en vez de un medio gaseoso (como HeNe). Este tipo de rayo no tiene la propiedad de coherencia pero es efectivo terapéuticamente, por lo que generalmente es el tipo de equipo utilizado en medicina veterinaria (Porter, 1998; Baxter y McDonough, 2007; Sutton y Watson, 2011).

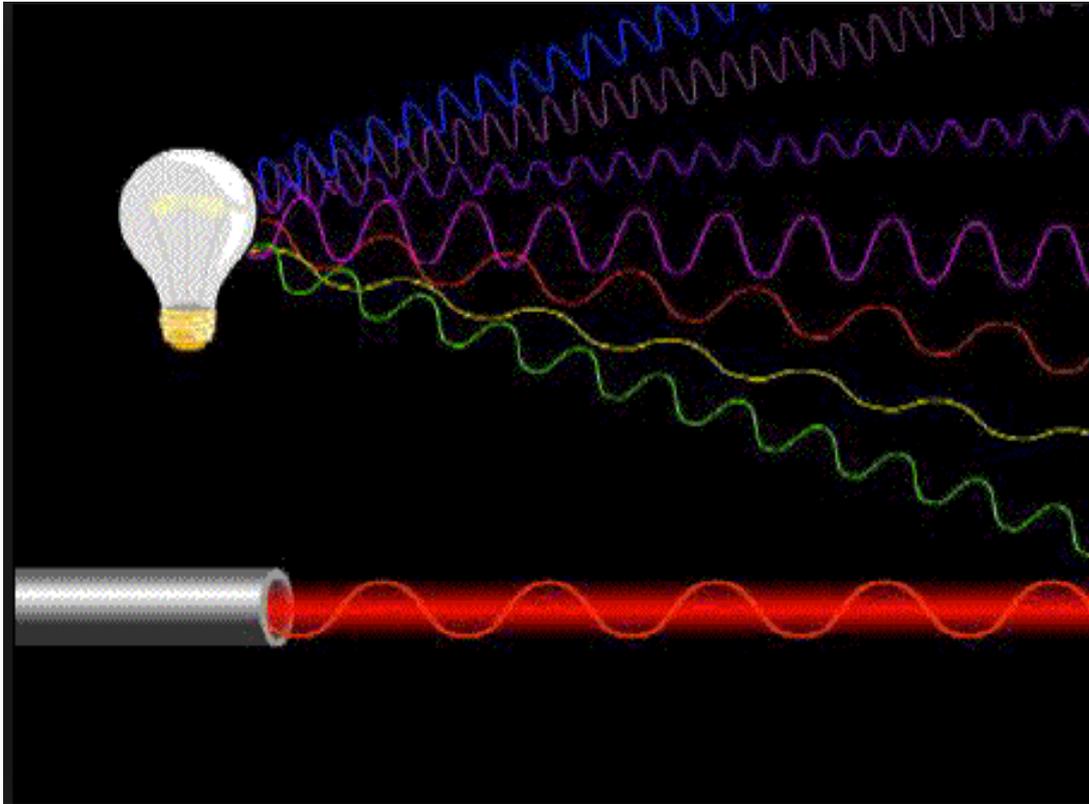


Figura 11: Diferencias entre la luz emitida por un foco de luz y la luz láser (el láser es monocromático, coherente y colimado).

Efectos Fisiológicos

El fotón es la unidad emitida y absorbida en la terapia de láser, y es la interacción entre los fotones y los componentes celulares que inician los cambios biológicos (Porter, 1998). Las biomoléculas que absorben los fotones se llaman cromóforos, y los más comunes son la hemoglobina, melanina, agua, citocromo C en la mitocondria, proteínas y aminoácidos (Watson, 2008; Millis y Levine, 2014). Tras la absorción de luz, ésta se convierte en energía bioquímica, la cual resulta en la modulación de las funciones celulares (Baxter y McDonough, 2007). Aunque a dosis bajas el láser funciona como estimulador del metabolismo y proliferación celular, a dosis más altas se pueden inhibir las respuestas de reparación de los tejidos (Millis et al., 2005; Allen, 2006).

Mucha de la investigación realizada con terapia de láser se ha hecho *in vitro*, y aunque es muy importante este tipo de investigación, no siempre se ven los mismos efectos *in vivo* (Watson, 2008). No obstante, sirve como base para explicar los efectos biológicos de esta modalidad terapéutica. Uno de los efectos importantes que se ha encontrado en estos estudios es que la terapia de láser estimula la enzima flavomononucleotido, lo que causa un incremento en producción de ATP dentro de las células; induciendo pequeños cambios en la producción de ATP que alteran el metabolismo celular (Niebaum, 2013; Millis y Levine, 2014). Así mismo, se encontró que los fotones son absorbidos por las enzimas de la cadena respiratoria, específicamente la enzima Citocromo C oxidasa, alterando así la respiración celular y resultando en una cadena de eventos que promueven la proliferación celular (Millis y Levine, 2014; Porter, 2005). Los cambios en la permeabilidad de la membrana celular y la facilitación de la comunicación intercelular, son efectos que también se le atribuyen a la terapia de láser (Prentice et al., 2011; Millis y Levine, 2014; Niebaum, 2013).

El láser de baja intensidad utiliza potencias que generalmente se encuentra por debajo de 500 mW, por lo tanto no llega a causar un efecto termal sobre los tejidos (Watson, 2008). Sin embargo, en investigaciones recientes se ha utilizado el láser de CO₂, que originalmente fue utilizado como herramienta quirúrgica, pero esta vez haciéndolo desfocalizado y manejando una intensidad menor para utilizarlo como un láser terapéutico. Este tipo de láser si tiene un efecto termal sobre los tejidos, y por lo tanto los efectos fisiológicos son diferentes a los demás rayos láser terapéuticos (Bergh et al., 2005; 2006). Como en otras modalidades con efectos termales, algunos de los beneficios

que se le atribuyen a esta terapia incluyen un incremento en la perfusión sanguínea, relajación muscular y modulación del dolor (Bergh et al., 2005).

En la terapia de láser es conocido que la absorción de la energía sucede en los primeros milímetros a partir de la superficie de la piel. A los efectos que se observan a más profundidad o inclusive a nivel sistémico, se les conoce como efectos indirectos (Martinez Morillo et al., 1998). Estos efectos se dan al desatarse una cadena de eventos a causa de los efectos primarios más superficiales, y que estimulan otras reacciones en tejidos más profundos.

Aplicación

La luz láser se comporta de distintas maneras al encontrarse con los tejidos. Esta luz puede ser reflejada, dispersada, transmitida o absorbida (Bergh, 2006). Los fotones que son reflejados no tienen efecto clínico, aunque son potencialmente peligrosos si son reflejados hacia los ojos (Millis y Levine, 2014). Para disminuir la dispersión, la terapia se debe aplicar a un ángulo de 90° e incrementar la longitud de onda utilizada y así incrementar la penetración del rayo. La transmisión sucede cuando la luz pasa por los tejidos sin ser reflejada ni absorbida, aunque este es un efecto raro en la terapia de láser de baja intensidad. Por último, los fotones pueden ser absorbidos por los cromóforos en las células y tejidos, siendo esto la causa de los efectos clínicos de esta terapia (Millis y Levine, 2014).

La penetración del láser es dependiente de la longitud de onda, ya que entre más larga sea, tiene menor susceptibilidad a dispersión (Millis et al., 2005; Sutton y Watson,

2011). Por ende, un láser GaAs que tiene una longitud de onda de 904 nm tiene más penetración que un láser HeNe con longitud de onda de 632.8 nm (Sutton y Watson, 2011), el cual pierde alrededor de un tercio de su intensidad a 0.5-1 mm de la superficie de la piel (Millis et al., 2005; Millis y Levine, 2014). Es importante conocer las limitaciones del láser que se está utilizando, ya que no se puede alcanzar tejidos más profundos con equipos de longitud de onda corta. Los equipos que utilizan GaAs y GaAlAs tienen una penetración de alrededor de 2 cm de efecto directo y alrededor de 5 cm de efecto indirecto (Millis y Levine, 2014).

Además de la longitud de onda, para aplicar exitosamente la terapia de láser se deben considerar los siguientes parámetros: la potencia, que es expresada en miliwatts (mW), y es un parámetro de tiempo que generalmente está fijo y es determinado por el equipo que se utiliza (Watson, 2008; Millis y Levine, 2014). Entre más alta es la potencia, más rápido se puede administrar la misma cantidad de energía que con aparatos de menor potencia (Baxter y McDonough, 2007). La densidad de potencia, o intensidad, es expresada en miliwatts por centímetro cuadrado (mW/cm^2) e indica la superficie cubierta al mantener el cabezal estacionario (Watson, 2008; Millis y Levine, 2014). Por último, la energía es expresada en joules y se refiere a la potencia emitida por un tiempo. Por ejemplo, 1 joule es igual a 1 watt por 1 segundo; asimismo, la densidad de energía, es expresada en J/cm^2 y también se le conoce como la dosis de energía de láser. Es este parámetro el que se usa como variable en los proyectos de investigación y del cual se ha demostrado que dependen los efectos clínicos de la terapia, en comparación con la potencia o la intensidad (Millis, 2005; Baxter y McDonough, 2007; Watson, 2008).

Para calcular la dosis, se debe tomar en cuenta la potencia del láser (mW), el tiempo en que se administra la terapia (s), y el área a tratar (cm²) (Baxter y McDonough, 2007). Primero se tienen que calcular los Joules mediante la siguiente operación:

$$\text{Energía (J)} = \text{Potencia (mW)} \times \text{Tiempo (s)} / 1000$$

Posteriormente se divide la energía entre el área a tratar (cm²) y así obtener la dosis:

$$\text{Dosis} = \text{Energía (J)} / \text{Área a tratar (cm}^2\text{)}$$

Por ejemplo, si se utiliza un láser de 500 mW por un tiempo de 2 minutos (120 segundos) sobre un área de 15 cm², la dosis que se administra es de 4 J/cm² (Watson, 2008), que es una dosis adecuada para el tratamiento de heridas abiertas en piel (Baxter y McDonough, 2007). En la fórmula se haría de esta forma:

$$\text{Energía} = (500 \text{ mW}) \times (120 \text{ s}) / 1000$$

$$\text{Energía} = 60 \text{ J}$$

$$\text{Dosis} = (60 \text{ J}) / (15 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Dosis} = 4 \text{ J/cm}^2$$

La potencia del láser sólo cambia el tiempo requerido para administrar una cierta dosis de energía. Por ejemplo, un láser de 50 mW puede administrar 1 J de energía en 20 segundos, mientras un láser de 500 mW lo administra en sólo 2 segundos. Los aparatos de láser de alta potencia pueden ser útiles cuando se está aplicando la terapia a una superficie amplia, y aunque se puede también hacer con un láser de menor potencia, toma más tiempo (Millis y Levine, 2014). Algunos aparatos también permiten elegir un modo pulsátil, el cual se expresa en Hertz (Hz) y consiste en periodos de flujo de energía y periodos apagado (Millis y Levine, 2014). Para lesiones agudas, generalmente se usan frecuencias bajas (<20 Hz), mientras que para condiciones crónicas o lesiones en piel se

utilizan frecuencias altas de cientos a miles de Hz (Baxter y McDonough, 2007). Aunque no se conoce aún si el modo pulsátil es mejor que el modo continuo, se teoriza que se podría administrar más dosis sin causar daño termal a los tejidos (Millis y Levine, 2014).

Al aplicar la terapia de láser, se recomienda que se rasure el pelo para mejorar el contacto con la piel. El contacto con la piel debe ser firme para aproximar el cabezal lo más posible a los tejidos que se quieren tratar por la baja penetración de esta terapia. Esta presión, a su vez, causa el desplazamiento de los eritrocitos debajo del cabezal y evita que el láser sea absorbido por la hemoglobina de estos (Watson, 2008). Asimismo, se debe mover más frecuentemente el cabezal cuando la piel es oscura, para evitar quemaduras, ya que el láser es fácilmente absorbido por la melanina en estos pacientes (Niebaum, 2013).

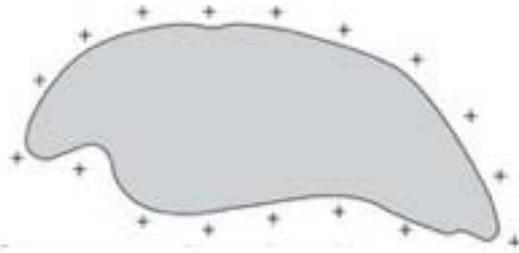
Cuando se aplica terapia de láser a heridas abiertas, se debe hacer de manera aséptica al separar el cabezal 0.5-1 cm de la piel o aplicar un plástico estéril y transparente al cabezal (Watson, 2008; Niebaum, 2013). Generalmente se hace en dos etapas, aplicando la terapia a los márgenes de la herida y en contacto con la piel, y posteriormente se aplica al área de la herida sin poner en contacto el cabezal (Watson, 2008). Existen dos distintos tipos de cabezales: un cabezal sencillo (en forma de lapicero) y un cabezal múltiple. Las diferencias entre los cabezales se pueden observar en las Figuras 12 y 13, y la técnica con la que se aplica depende del cabezal que se va a utilizar (Baxter y McDonough, 2007). La Figura 13 muestra los patrones que se utilizan para el tratamiento de heridas. Al aplicar esta terapia en articulaciones se debe hacer en estado natural de la articulación, sin flexión ni extensión, para maximizar la cantidad de energía que llega a la faceta articular (Niebaum, 2013).



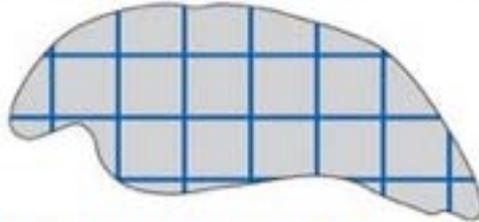
Figura 12: la figura ejemplifica la diferencia entre un cabezal sencillo y uno múltiple (también conocido como cluster en inglés). Esta es una máquina de láser de la marca THOR Photomedicine Ltd., la cual tiene productos específicamente para uso en caballos.



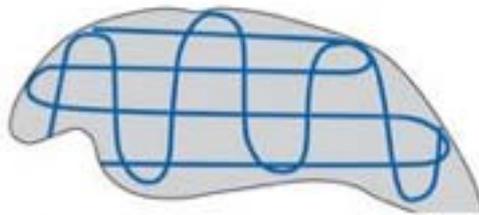
Figura 13: Ejemplo de una máquina de láser portátil que también viene con cabezal sencillo y múltiple para uso en caballos de la marca LasereX Technologies.



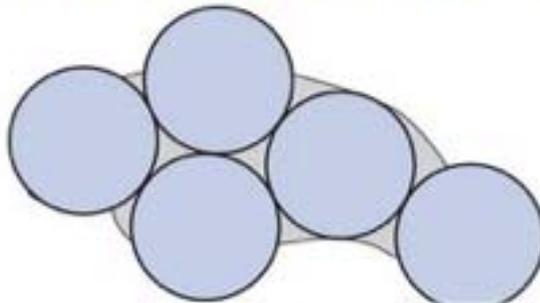
Tratamiento de puntos al borde de la herida



Patrón cuadrículado para área de la herida



Tratamiento de margen y área de herida con cabezal múltiple



Tratamiento de margen y área de herida con cabezal múltiple

Figura 14: Patrones que se pueden utilizar para el tratamiento de heridas en piel con terapia de láser de baja intensidad (modificado de Watson, 2008).

Indicaciones

La terapia de láser generalmente se utiliza para el tratamiento de heridas abiertas o úlceras en piel, para el control del dolor, reducción de la inflamación y para tratar lesiones en el aparato locomotor de los caballos (Bergh, 2014). También se puede utilizar para estimular puntos de acupuntura. Algunas de las patologías que se pueden tratar con la terapia de láser son:

- Heridas en piel, especialmente casos crónicos o de curación retardada, quemaduras y abrasiones (Baxter y McDonough, 2007).
- Lesiones agudas, como en casos de desgarres de tendón o ligamento, fracturas, hematomas y subluxaciones (Baxter y McDonough, 2007; Niebaum, 2013) .
- Condiciones inflamatorias, como tendinitis, desmitis, osteoartritis, miositis, bursitis, entre otras (Baxter y McDonough, 2007; Bergh, 2014).

Para el tratamiento de heridas en piel, se considera que una dosis inicial de 4 J/cm^2 (Baxter y McDonough, 2007) es adecuada y que puede aumentar hasta 8 J/cm^2 (Bergh, 2014). En casos donde se aplica la terapia a puntos focales, se considera que una dosis de 30 J por punto es adecuada (Baxter y McDonough, 2007), aunque debe ser menor en el tratamiento de lesiones agudas (Bergh, 2014). Para la estimulación de puntos de acupuntura se utiliza una dosis de $0.5\text{-}1 \text{ J/cm}^2$ (Bergh, 2014). En la sección de anexos de este trabajo, se pueden encontrar algunos protocolos y parámetros utilizados en caballos.

Contraindicaciones

Esta terapia tiene pocas contraindicaciones, y como ya se mencionó anteriormente, dependiendo de la potencia del láser, existe un riesgo de daño ocular. Por lo tanto, esta terapia no se debe aplicar cerca de los ojos (Baxter y McDonough, 2007), y se debe de utilizar protección ocular cuando se manejan aparatos de alta potencia. Otras contraindicaciones incluyen la aplicación sobre el útero grávido, sobre glándulas endocrinas, áreas hemorrágicas, neoplasias (Niebaum, 2013), y sobre el corazón o nervio vago (Allen, 2006). Se debe tener precaución cuando se aplica esta terapia sobre la región epifisial de huesos largos en animales jóvenes, y sobre zonas que presentan alguna infección (Allen, 2006).

Justificación para uso en caballos

La terapia de láser es probablemente la modalidad en la que se ha hecho más investigación en medicina equina, especialmente en temas de manejo de heridas. Sin embargo, muchos estudios son solamente observacionales, y aunque ya se están haciendo estudios de mejor calidad, son contradictorios en sus hallazgos. Los estudios que se han hecho en humanos son mejores indicadores de la efectividad de esta terapia, y en esta área sí se han hecho estudios cuantitativos, estadísticamente relevantes y controlados. Estos estudios evalúan la terapia de láser en el manejo de heridas en piel (Hopkins et al., 2004), en la modulación del dolor (Emwemeka et al., 2004; Naeser, 2006), para el tratamiento de la desmitis y la tendinitis (Demir et al., 2004; Marcos et al., 2014), en la reparación ósea y sus efectos sobre el cartílago (Calatrava et al., 1997; Cho et al., 2004).

Así mismo, se han hecho estudios en animales de laboratorio, más que nada en ratas, estudiando el efecto del láser sobre la cicatrización de heridas (Reddy, 2003; do Nascimento et al., 2004;), y la reparación ósea (Lirani-galvão et al., 2006). Do Nascimento et al. (2004) comprobaron que el incremento en la cicatrización de heridas cutáneas es un efecto inversamente proporcional entre la intensidad del láser, con la longitud de onda. Esto significa que al aplicar la terapia, se debe usar una alta intensidad con una longitud de onda corta, o una baja intensidad con una longitud de onda larga (do Nascimento et al., 2004). En cuanto a la efectividad de esta terapia en la reparación ósea en ratas, Lirani-Galvao et al. (2006) encontraron que la terapia de láser de baja intensidad mejora la reparación ósea mediante el incremento en la proliferación de osteoblastos (Lirani-Galvão et al., 2006). También se han hecho estudios en conejos, comprobando que la terapia de láser de baja intensidad tuvo efectos antiinflamatorios y ayuda en la regeneración del cartílago hialino (Calatrava et al., 1997; Cho et al., 2004)

La investigación que se ha hecho en caballos, acerca del uso de terapia de láser de baja intensidad, ha sido principalmente en modelos de heridas en piel, aunque también se ha investigado el uso de esta terapia en la modulación del dolor en caballos con laminitis (Petermann, 2011), y para el tratamiento de tendinitis (Sharifi et al., 2009). Asimismo existen dos artículos observacionales, que describen casos en donde la terapia de láser fue útil para el tratamiento de heridas (Mustonen et al., 2008; Whitfield et al., 2010) de tendinitis y artritis (Mustonen et al., 2008). Sin embargo, al no ser experimentales ni controlados, los resultados de estos artículos son poco útiles para confirmar la validez del uso de esta terapia en caballos.

Los proyectos experimentales, que se han hecho para evaluar la terapia de láser en su aplicación en el tratamiento de heridas en caballos, muestran resultados contradictorios. Petersen et al. (1999) realizaron un proyecto utilizando un aparato de láser de GaAlAs con una dosis de 2 J/cm^2 sobre heridas creadas quirúrgicamente en la parte de dorsal de la articulación metacarpofalángica. Después de 50 días, no se encontró ninguna diferencia significativa entre las heridas tratadas con láser y el grupo control (Petersen et al., 1999). Asimismo, otro grupo de investigadores evaluó el uso de esta terapia sobre heridas ubicadas sobre las articulaciones metacarpofalángica y metatarsfalángica utilizando un láser de He-Ne, a una dosis alta de 45.9 J/cm^2 , y tampoco encontraron diferencia entre el grupo con tratamiento y el grupo control (Fretz y Li, 1992). Por último, se realizó un estudio en heridas creadas quirúrgicamente sobre el cuerpo del metacarpo, utilizando un aparato de HeNe en modo pulsátil y a una dosis de 5.1 J/cm^2 . En éste se encontró que la terapia de láser fue exitosa para el tratamiento de estas heridas, ya que para el día 80 del experimento, las heridas tratadas con láser eran 9% más pequeñas y ya estaban completamente epitelializadas mientras que el grupo control aun no terminaba este proceso (Jann et al., 2012).

Otro estudio realizado para evaluar el uso potencial de la terapia de láser de baja intensidad en el tratamiento de tendinitis, evaluó la resistencia a la tracción aplicada al tendón flexor superficial. En este experimento se creó una lesión longitudinal a lo largo del tendón flexor superficial quirúrgicamente. Se evaluó la resistencia a la tracción en tendón normal, en el grupo control y en el grupo tratado con láser. Se dio tratamiento continuamente por 14 días, utilizando un aparato que permite la aplicación por 5 minutos a una longitud de onda de 630 nm y por 10 minutos a una longitud de onda de 890 nm. Al

final del estudio, el tendón normal tenía una fuerza de 0.6625 KN, el grupo que recibió tratamiento presentó una fuerza de 0.6585 KN y el grupo control una fuerza de 0.6175 KN. Se concluye que la terapia de láser en ese protocolo, fue efectiva para acelerar la remodelación de tendones traumatizados (Sharifi et al., 2009).

Se han realizado dos estudios en caballos utilizando un láser de CO₂, que como ya se mencionó, generalmente es utilizado en cirugía, pero haciéndolo desfocalizado, se puede aplicar a los tejidos blandos. Bergh et al. (2005) estudiaron los efectos termales de la terapia de láser con CO₂, midiendo la elevación en temperatura de la piel, el subcutáneo, y la articulación del menudillo tras el tratamiento. Encontraron una elevación en la temperatura de la piel de 5.3 °C en promedio, de 5.7 °C en el subcutáneo, y no se registró una elevación en la temperatura de la articulación del menudillo (Bergh et al., 2005). Asimismo, Bergh et al. (2006) investigaron el efecto del láser desfocalizado de CO₂ sobre la perfusión de los tejidos. Este grupo de investigación encontró que se incrementa la perfusión sanguínea de la piel, pero no del tejido muscular, y que al aplicarse sobre un área rasurada el incremento en la perfusión y temperatura de la piel fue aún mayor (Bergh et al., 2006).

7- Conclusiones y Sugerencias

Los deportes ecuestres son disciplinas sumamente demandantes para el aparato locomotor de los caballos y las lesiones ortopédicas son una causa importante de merma económica en este sector. Los atletas de alto rendimiento llegan a viajar largas distancias, compiten en distintas superficies, cambian de herreros en las competencias y, generalmente, tienen poco tiempo de recuperación antes de la siguiente competencia. Con estas exigencias puestas sobre los caballos, cada día se buscan nuevas maneras de tratar lesiones, aliviar el dolor, acelerar la recuperación y disminuir el tiempo de reposo. Es por esta razón que la fisioterapia es tan importante en los caballos de deporte, ya que utilizando agentes físicos como calor, electricidad, sonido y luz, se busca que estos animales puedan continuar desempeñando su función zootécnica adecuadamente.

Con el uso de técnicas de fisioterapia se puede reducir la inflamación, manejar el dolor, evitar atrofia muscular, reducir espasmos musculares, incrementar la circulación, estimular la cicatrización y promover la reparación de tejidos. Sin embargo, es importante que estas terapias sean utilizadas en conjunto con tratamientos médicos y otras técnicas de rehabilitación, para conseguir una recuperación óptima. Es especialmente importante que estas modalidades sean utilizadas en la fase de la reparación indicada y con parámetros adecuados para no causar daño a los tejidos. Para formular un plan efectivo de rehabilitación, se debe evaluar continuamente al paciente y así tomar mejores decisiones sobre su tratamiento. Aunque se pueden dar lineamientos de cómo y cuándo aplicar las técnicas de fisioterapia, cada animal responde de manera distinta y por ende debe ser tratado como un individuo.

Para obtener resultados satisfactorios, la electroterapia debe ser proporcionada por personal calificado, ya sea un veterinario o un fisioterapeuta certificado. Esto es importante en la toma de decisiones con respecto al plan terapéutico, la modalidad de electroterapia que se debe utilizar y los parámetros correctos de la terapia. Sin embargo, también es de suma importancia que sea aplicada de manera correcta para evitar efectos adversos, como pueden ser quemaduras de la piel y de tejidos blandos, daño a ojos y dolor. Aunque existen pocas contraindicaciones para estas terapias, la persona que la realice debe evaluar clínicamente al paciente, de manera de evitar posibles daños a animales jóvenes, enfermos, con infecciones, trombos o neoplasias.

Las terapias de electroestimulación, ultrasonido y láser, son modalidades que pueden ser de mucha utilidad en la rehabilitación de cualquier animal, pero especialmente de caballos deportivos de alto rendimiento, quienes cuentan con restricciones estrictas acerca del uso de fármacos, y son evaluados por un panel veterinario, previo a competir en cualquier competencia de nivel internacional o FEI. Pueden ser utilizadas en lesiones agudas o crónicas, aunque el objetivo de la terapia es diferente y es importante ajustar los parámetros de intensidad y/o frecuencia para casos agudos. Aunque la fisioterapia en el ámbito humano se utiliza ampliamente con resultados convincentes, en medicina veterinaria y especialmente en el área de caballos, aún no se utilizan éstas y otras modalidades fisioterapéuticas tan comúnmente.

Todas las técnicas que se evaluaron en esta revisión cuentan con poca investigación en caballos, y aunque existe mucha literatura en humanos, animales de laboratorio, animales de compañía e *in vitro* en el caso de terapia de láser, los estudios hechos en caballos son deficientes. La modalidad en la que se ha generado menos

conocimiento es la electroestimulación muscular, donde los estudios realizados son virtualmente inexistentes, salvo por algunos casos de estudio observacionales. En otros temas en los que si existe más investigación científica realizada en caballos, como es el caso del láser de baja intensidad para heridas en piel, los resultados son contradictorios. Por otro lado, la calidad de la investigación realizada en torno a estas modalidades fisioterapéuticas es muy pobre; ya sea por falta de casos, falta de grupos control, o falta de parámetros objetivos mensurables.

Utilizando nuevas tecnologías, como son las placas de presión o los sistemas computarizados de evaluación de aires como el Equinosis™ Lameness Locator, se pueden realizar estudios que objetivamente midan la mejoría de un parámetro muy importante en casos ortopédicos: el dolor (y su manifestación clínica que es la claudicación). Es de esta forma que se podrá comprobar la utilidad de estas terapias para caballos, así como estandarizar los parámetros adecuado con los que se debe de proporcionar cada terapia. Solamente mejorando la calidad de la investigación realizada en los temas de electroterapia, se podrá comprobar la utilidad de estas modalidades para la rehabilitación de caballos deportivos. Mientras tanto, la información con la que se cuenta, y el uso extensivo que se les da a estas técnicas sin muchos efectos secundarios, son suficientes para considerar estas terapias dentro de las posibilidades terapéuticas para tratar problemas ortopédicos en caballos, mas sin embargo no está totalmente comprobado que tengan un efecto sobre el resultado final.

Cada día se utiliza más la fisioterapia en la rehabilitación equina, aumentando la demanda de médicos veterinarios y fisioterapeutas capacitados en esta área. Utilizando nuevas tecnologías y promoviendo más investigación científica en el tema, estas terapias

pueden comenzar a utilizarse con mejores resultados y parámetros mejor definidos en caballos deportivos.

7- Anexos

La información proporcionada a continuación fue recaba de libros, artículos, internet y proporcionada por compañías de algunos de estos productos. Sin embargo ninguno de estos protocolos ni parámetros han sido comprobados científicamente, por lo que no se debe hacer uso indiscriminado de esta información. Asimismo, cada paciente y cada lesión son diferentes, y estos parámetros y protocolos se deben utilizar solamente como guía y no como receta de cocina. La fisioterapia, y en específico la electroterapia, es sólo una parte de las técnicas utilizadas para la rehabilitación de caballos deportivos, y siempre se deben considerar todas las opciones terapéuticas para conseguir el mejor resultado y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

7.1- Ejemplos de protocolos de rehabilitación que incluyen electroterapia para uso en caso de cirugías o fracturas (modificado de Schils, n.d.)

Cirugía/ Fractura (Protocolo General)	0 - 4 semanas	4 - 8 semanas	12-14 semanas	14+ semanas
	Confinamiento en caballeriza o caminar de mano (2x/ día 5 min)	Caminar montado (3x/ semana de 20-30 min)	Trote montado (2x/ semana en 2 sesiones de 2-3 min). Incrementar gradualmente a (3x/semana con 2 sesiones de 10 min)	Trabajo de piso montado de 10 min al paso, 5 min al trote y 2 min al galope
			Hielo 15-20 mins después del trote	
		Caminadora subacuática (3x/ semana 5-20 min); nivel de agua abajo de fractura	Caminadora subacuática (3-4x/ semana 20 min); nivel de agua a rodilla o corvejón y alternando con las sesiones de trote	Caminadora subacuática (2x/ semana 20 min); nivel de agua al abdomen y alternando con el trabajo de piso
	FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros, evaluando imagenología (3x/ semana 20 min) FES en espalda (1x/ 2 semanas 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ semana 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ 2 semanas 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)
	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES
	Plataforma vibratoria (2x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)

Cirugía	0 - 3 semanas	3 - 6 semanas	6 - 8 semanas	8 + semanas	12 + semanas
	Confinamiento en caballeriza	Hidroterapia de agua fría (salada) (2x/ semana 10 min)	Caminadora subacuática (1x día 15 min)	Caminadora (1x/día trotando 2-8 min)	Dar de alta para estar en corral 4-6 semanas; regresar a trabajar gradualmente
	Plataforma vibratoria (1x/ día 15 min)	Caminadora subacuática: remover suturas a los 14 días, a los 21 días comenzar trabajo en agua (2x/ día 10 -15 min); agua al nivel del pecho	Caminadora (1x/ día 10-30 min)	Sacar en corral pequeño	
	FES, quiropraxia o acupuntura en espalda conforme sea necesario	Caminadora: a 5 semanas caminar 10-30 min	Hidroterapia de agua fría (salada) (2x/ semana 10 min)	Caminadora subacuática (3x semana 15 min)	
		Plataforma vibratoria (1x/ día 15 min)			

Cirugía	0 - 4 semanas	4 - 12 semanas	12 semanas
	Caminar de mano (2x/día 5 min)	Caminar de mano (2x/día 10-20mins)	Dar de alta para trabajo montado
	Terapia de láser (clase IV) un total de 13 tx; 3 tx consecutivos; 6 tx un día si y uno no; 4 tx con intervalos de 3- 4 días. (4-9 min dependiendo de superficie de área)	Caminadora subacuática: primera semana 5 min agua a nivel de menudillo; incrementar 1 min/día hasta llegar a 20 min; incrementar nivel de agua por día hasta llegar a abdomen (3-6x/semana)	
	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 20 min) comenzando 2-3 días después de retirar suturas	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 20 min) después de caminadora subacuática	
	Terapia hiperbárica: 1er semana (1x/día 1 hr) 2nda semana (1x/ 2 días 1 hr) 3er semana 2x/ semana 1 hora	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min) si imagenología sale bien	

7.2- Ejemplos de protocolos de rehabilitación que incluyen electroterapia para uso en caso de lesiones de tendón grado 3 (modificado de Schils, n.d.)

Desgarre de tendón (grado 3)	0 - 4 semanas	4 - 8 semanas	8 - 12 semanas	12 - 16 semanas	16+ semanas
	Confinamiento en caballeriza o caminar de mano (3x/ día 5 min)	Caminar de mano (2x/ día 10 min)	Caminar de mano (2x/ día 15 min)	Caminar montado (3x/ semana 20-30 min)	Trote montado (2x/ semana en 2 sesiones de 2-3 min). Incrementar gradualmente a (3x/semana con 2 sesiones de 10 min
					Hielo después de sesiones de trote 15-20 min
		Caminadora subacuática (3x/ semana 5 min); agua al nivel de menudillo	Caminadora subacuática (3x/ semana 5-10 min); agua al nivel de rodilla o corvejón	Caminadora subacuática (3x/ semana 15-20 min); agua al nivel de abdomen	Caminadora subacuática (2-3x/ semana 15-20 min); agua al nivel de abdomen
					Caminadora (2-3x/ semana 1 hr)
					Trote montado, caminadora subacuática y caminadora alternadas cada 3 días
	FES en ambos miembros, evaluando imagenología (3x/ semana 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (2x/ semana 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (2x/ semana 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ semana 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ semana 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min) y reducir ambas a (1x/2 semanas)
	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES
	Plataforma vibratoria (2x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)

Desgarre de tendón (grado 3)	2 - 3 días	0 - 1 semana	1 - 3 semanas	3 - 5 semanas	8 - 10 semanas	10- 12 semanas
	Confinamiento en caballeriza	Hidroterapia de agua fría (salada) (2-3x/ día 10 min)	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 10 min)	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 10 min)	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ semana 10 min)	Dar de alta para trabajar montado
			Caminadora subacuática (2x/día 13-15 min); agua al nivel del pecho	Caminadora subacuática (4-5x/semana 13-15 min)	Caminadora subacuática (3-4x/semana 13-15 min) sin trotar	
		FES en ambos miembros (1x/ día 20 min) FES en espalda (3x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (2x/ semana 20 min) FES en espalda (2x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ semana 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ 2 semanas 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	
		Plataforma vibratoria (1x/ día 15 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 15 min)	Caminadora (1x/día 5-20 min)	reevaluar imagenología para revisar progreso	

Desgarre de tendón (grado 3)	0 - 4 semanas	4 - 8 semanas	8 - 20 semanas	20 semanas
	Caminar de mano (2x/día 5 min)	Caminar de mano (2x/día 10-15 min)	Caminar de mano (2x/día 10-15 min)	Dar de alta para trabajo montado
	Terapia de láser (clase IV) un total de 13 tx; 3 tx consecutivos; 6 tx un día si y uno no; 4 tx con intervalos de 3-4 días. (4-9 min dependiendo de superficie de área)	Terapia de láser (clase IV) (2x/ semana 4-9 min de tx)	Caminadora subacuática: primera semana (3-4x/ semana 5 min) agua a nivel de menudillo; incrementar 1 min/día hasta llegar a 20 min; incrementar nivel de agua por día hasta rodilla/corvejón (3-6x/semana)	
	Terapia hiperbárica: 1er semana (1x/día 1 hr) 2nda semana (1x/ 2 días 1 hr) 3er semana 2x/ semana 1 hora	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 20 min)	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 20 min) después de caminadora subacuática	
	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	

7.3- Ejemplos de protocolos de rehabilitación que incluyen electroterapia para uso en caso de lesiones de tendón grados 1 y 2 (modificado de Schils, n.d.)

Lesión de Tendón (grado 1 y 2)	0 - 2 semanas	2 - 4 semanas	4 - 6 semanas	6 - 8 semanas	8 - 12 + semanas
	Caminar de mano (1x/ día 10-15 min)	Caminar de mano (2x/ día 15 min)	Caminar montado (3x/ semana 20 min)	Trabajo de piso montado; caminar 15-20 min y trotar 2 sesiones de 2-10 min cada 3er día	Trabajo de piso montado; caminar 10 min, trotar 5 min y galopar 2 min cada 3er día
		Caminadora subacuática evaluando primero imagenología (3x/ semana 5 min); agua al nivel de menudillo	Caminadora subacuática (3x/ semana 5-20 min); agua al nivel de rodilla o corvejón	Caminadora subacuática (2-3x/ semana 20 min); agua al nivel de abdomen	Caminadora subacuática (2-3x/ semana 20 min); agua al nivel de abdomen
				Caminadora (cada 3er día 1 hr)	Caminadora (cada 3er día 1 hr)
				Trote montado, caminadora subacuática y caminadora alternadas cada 3 días	Trote montado, caminadora subacuática y caminadora alternadas cada 3 días
	FES en ambos miembros (1x/ día 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ día 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ día 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ semana 20 min) FES en espalda (1x/ 1-2 semanas 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ 2 semanas 20 min) FES en espalda (1x/ 2 semanas 35 min)
	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES	Hielo por 15-20 min después de FES
	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)

Lesión de tendón (grados 1 y 2)	1 - 3 semanas	3 - 6 semanas	6 - 8 semanas	8 + semanas
	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 10 min)	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 10 min)	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ semana 10 min)	Dar de alta para regresar a trabajo normal gradualmente
	FES en ambos miembros (2x/ semana 20 min) FES en espalda (2x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ semana 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	FES en ambos miembros (1x/ 2 semanas 20 min) FES en espalda (1x/ semana 35 min)	
	Caminadora subacuática (2x/día 13-15 min); agua al nivel del pecho	Caminadora subacuática (4-5x/semana 13-15 min)	Caminadora subacuática (3-4x/semana 13-15 min)	
	Plataforma vibratoria (1x/ día 15 min)	Caminadora (1x/día 5-20 min)	Caminadora (1x/día trotando 2-8 min)	

Desgarre de tendón (grado 1)	0 - 4 semanas	4 - 8 semanas	8 semanas
	Caminar de mano (2x/día 10-15 min)	Caminar de mano (2x/día 20 min)	Dar de alta para trabajo montado
	Caminadora subacuática: primera semana (3-4x/ semana 5 min) agua a nivel de menudillo; incrementar 1 min/día hasta llegar a 20 min; incrementar nivel de agua por día hasta llegar a rodilla/corvejón (3-6x/semana)	Caminadora subacuática: agua a nivel de rodilla/corvejón (1x/día 20 min)	
	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 20 min) después de caminadora subacuática	Hidroterapia de agua fría (salada) (1x/ día 20 min) después de caminadora subacuática	
	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	Plataforma vibratoria (1x/ día 20 min)	

7.4- Patologías a las que se puede aplicar la electroterapia en conjunto con otras terapias (modificado de Adair, n.d.)

	Hidro-terapia de agua fría	E-stim *	Terapia hiperbárica	Híper termia	Láser	Terapia de choque	Solario	Ejercicio terapéutico	Placas de vibración	US **	Caminadora subacuática
Artritis				X	X	X		X	?		X
Dolor de espalda		X		X	X	X	X	X		X	
Periostitis de 3er metacarpo	X				X	X			X		X
Bursitis					X					X	
Celulitis	X	X	X								
Cirugía de cólico			X		X incisión						
Lesiones en casco	X								X		
Laminitis aguda	X		X								
Laminitis crónica	X		X						?		
Lesiones de ligamento y tendón	X	X	X		X	X		X	X	X	X
Infección en miembros	X		X								

*E-stim= electroestimulación, ** US= ultrasonido

	Hidro-terapia de agua fría	E-stim *	Terapia hiperbárica	Híper-termia	Láser	Terapia de choque	Solario	Ejercicio terapéutico	Placas de vibración	US **	Camina dora subacuática
Inflamación en miembros	X		X		X						
Atrofia muscular		X						X			X
Desgarre muscular					X			X	?	X	
Enfermedad neurológica		X	X					X			X
Condicionamiento								X	X		X
Recuperación postquirúrgica			X		X			X	?		X
Adhesiones tejido de cicatrización				X		X		X		X	X
Infección en piel	X		X								
Lesiones en babilla					X			X	?		?
Heridas	X		X		X	X				X	

*E-stim= electroestimulación, ** US= ultrasonido

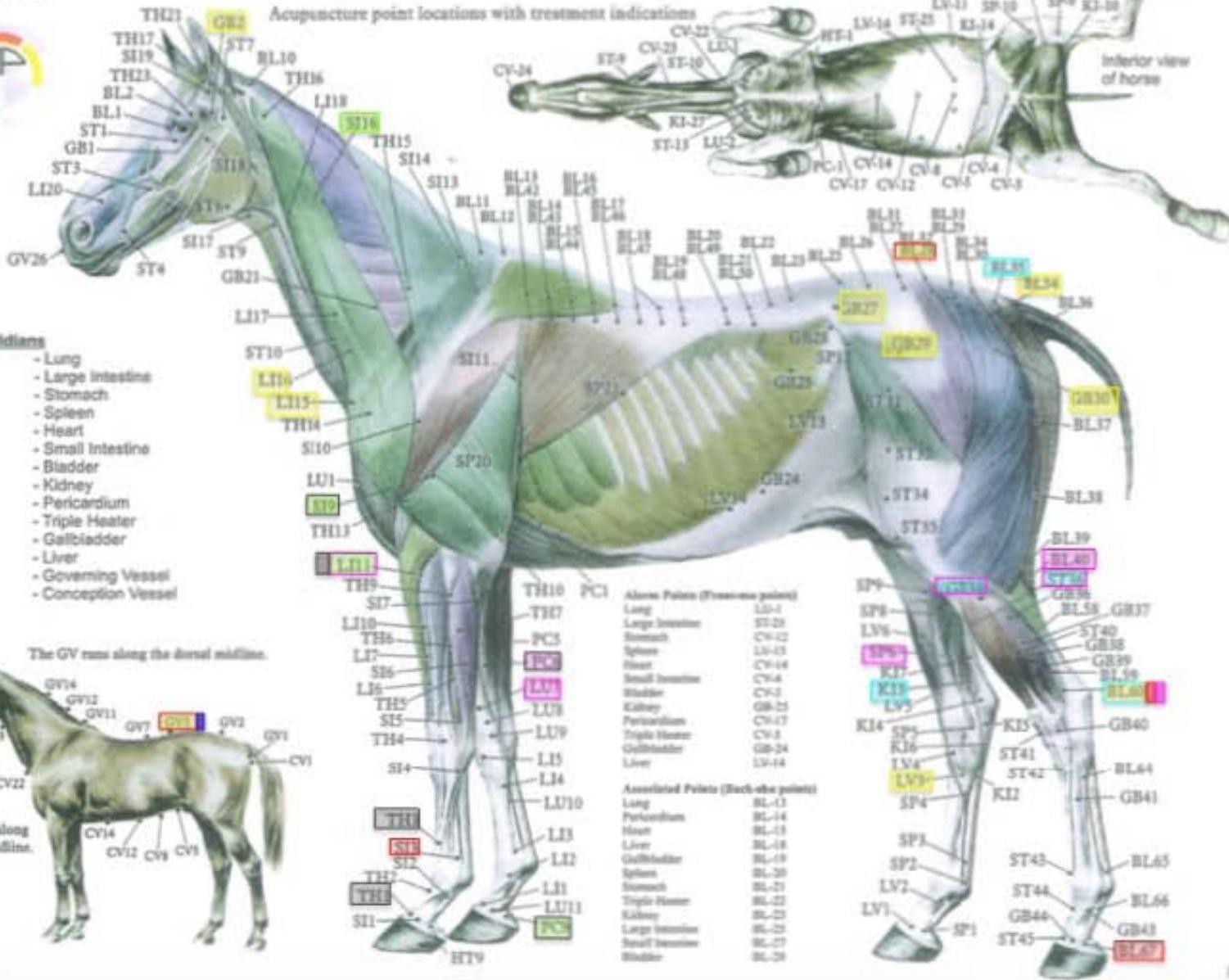
7.5- Protocolo de rehabilitación con terapia de láser de utilidad en caballos (modificado de Laserex Technologies, n.d.)

Región/ Condición	Puntos a tratar	Dosis (J/cm ²)	Tratamientos / semana	Tratamientos totales
Cadera	GV3, BL28, BL54, GB30, GB29, LV3, BL60, GB2, GB 27, LI16, LI15	5 J	1-2	10-12
Corvejón	BL35, GB34, BL60, ST36, KI3	5 J	1-2	10-15
Espalda	SI3, BL60, BL67, GV3, BL28	5 J	1-2	1-3
Síndrome Navicular	SI16, SI9, LI 11, TH3, PC9	5 J	2	5-10
Heridas	Alrededor y sobre la herida (debe haber un pequeño espacio de algunos milímetros- entre el cabezal y la herida)	5 J	Diario	Variable
Dolor	LI11, PC6, ST36, SP6, BL40, GB34, BL60, LU7	3 J	3-4	7-10
Laminitis	TH1, PC9, SI9, LI11, TH3, TH1, PC9, PC6	3 J	3-7	7-14
Tendinitis	GV3, GM34, LIV3	4 J	Diario	14-28

* Estos protocolos deben ser utilizados con el cuadro de puntos de acupuntura proporcionado a continuación

** Esta información fue proporcionada por la compañía Laserex y es la que es proporcionada al comprar su máquina (Laser 3000)

TRANSPOSITIONAL HORSE ACUPUNCTURE POINTS



Meridians

- LU - Lung
- LI - Large Intestine
- ST - Stomach
- SP - Spleen
- HT - Heart
- SI - Small Intestine
- BL - Bladder
- KI - Kidney
- PC - Pericardium
- TH - Triple Heater
- GB - Gallbladder
- LV - Liver
- GV - Governing Vessel
- CV - Conception Vessel

Alarm Points (Fireless points)

- Lung LU-1
- Large Intestine ST-28
- Stomach CV-12
- Spleen LI-13
- Heart CV-14
- Small Intestine CV-4
- Bladder BL-23
- Kidney GB-23
- Pericardium CV-17
- Triple Heater CV-1
- Gallbladder GB-24
- Liver LV-14

Associated Points (Each-aka points)

- Lung BL-13
- Pericardium BL-14
- Heart BL-15
- Liver BL-18
- Gallbladder BL-19
- Spleen BL-20
- Stomach BL-21
- Triple Heater BL-22
- Kidney BL-23
- Large Intestine BL-25
- Small Intestine BL-27
- Bladder BL-29

7.6 - Parámetros útiles para el uso de electroterapia en caballos

	TENS	
Tiempo	15- 20 min etapas iniciales	hasta 1 hora posteriormente
Frecuencia	100-130 Hz (mecanismo de puerta de entrada)	2-8 Hz (mecanismo de liberación de opiáceos endógenos)
Duración de Pulso	100 μ s	200-250 μ s (para puntos de acupuntura)
Intensidad	La intensidad que el caballo tolere (observar comportamiento) sin alcanzar a producir contracciones musculares.	

	NMES	
Frecuencia	20- 100 Hz	entre mayor sea la frecuencia, más rápido se fatigan los músculos
Duración de Pulso	200-400 μ s	
Ciclo pulsátil	2-3 segundos	se puede alargar cuando se utilizan frecuencias altas o para músculos denervados que requieren más tiempo de descanso
Intensidad	subir paulatinamente la intensidad hasta lograr producir una contracción muscular sin causar dolor	

	Láser		
Equipo de seguridad	Peligrosos a exposición directa. Requieren protección para ojos	Peligrosos a exposición directa e indirecta (reflejos). Requieren protección para ojos	
Potencia	Clase 3b	Clase 4 * Precaución: estos pueden causar quemaduras por lo que la dosis debe ser menor	
Dosis	8-12 J/cm ² por zona (clase 3b)	5-10 J/cm ² por zona (clase 4)	0.5-1 J/cm ² en puntos de acupuntura
Longitud de onda (penetración)	HeNe = 632.8 nm penetración de menos de 0.5 cm	GaAlAs = 820 nm penetración de alrededor de 2 cm	GaAs = 904 nm penetración de alrededor de 2 cm

	Ultrasonido		
Frecuencia	0.75 MHz (para obtener penetración de hasta 7 cm) *Los equipos comerciales generalmente no tienen esta frecuencia disponible	1 MHz (para obtener penetración de hasta 4 cm)	3 MHz (para obtener penetración de hasta 2.5 cm) * Precaución: a esta frecuencia se incrementa rápidamente la temperatura de los tejidos superficiales. Es importante disminuir el ciclo pulsátil
Ciclo pulsátil	Continuo	50 %	20 %
Intensidad	De entre 1-3 W/cm ²	Para condiciones agudas se deben utilizar intensidades bajas, para no intensificar la respuesta inflamatoria	para poder subir la intensidad sin generar demasiado calor, se debe disminuir el ciclo pulsátil
Tiempo	Depende del área a tratar, pero generalmente de 5-10 min por sección.		

8- Bibliografía

Allen RJ. 2006. Physical agents used in the management of chronic pain by physical therapists. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America* 17(2):315–345. [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16616270>

Anon 2001. National Economic Cost of Equine Lameness , Colic, and Equine Protozoal Myeloencephalitis (EPM) in the United States, USDA [online] http://www.aphis.usda.gov/animal_health/nahms/equine/downloads/equine98/Equine98_is_EconCost.pdf.

Anon 2007. American National Standard for Safe Use of Lasers,” American National Standard-Laser Institute of America, [online] https://www.lia.org/PDF/Z136_1_s.pdf.

Anon, 2013. “FEI Eventing Final Statistics Report 2004-2013,.” <http://www.fei.org>.

Anon 2014a “Federacion Equestre Internacional,” [online] <http://www.fei.org>. (accesado el 12 de enero 2015)

Anon 2014b “FEI Veterinary Regulations 2014,” [online] https://www.fei.org/sites/default/files/2014_Veterinary_Regulations_clean.pdf.

Barrey E, Desliens F, Poirel D, Biau S, Lemarie S, Rivero JLL, Langlois B. 2010. Early evaluation of dressage ability in different breeds. *Equine Veterinary Journal* 34(S34):319–324. [online] <http://doi.wiley.com/10.1111/j.2042-3306.2002.tb05440.x>

Bathe AP. 2011. Lameness in the Three Day Event Horse. 2ª edición. En: Ross MW, Dyson SJ (eds.). *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*, Elsevier,[online] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781416060697001176>

Baxter DG, McDonough SM. 2007 Principles of Electrotherapy in Veterinary Physiotherapy. En: McGowan CM, Goff L, Stubbs NC. (eds.), *Animal Physiotherapy: Assesment, Treatment and Rehabilitation of Animals*. Blackwell Publishing, , [online] <http://dx.doi.org/10.1002/9780470751183.ch8>.

Bergh A. 2006. Tesis: Defocused CO2 Laser Irradiation in the Rehabilitation of Horses An Experimental and Clinical Study, Swedish University of Agricultural Sciences. Faculty of Veterinary Medicine. Uppsala, Suecia.

Bergh A. 2014. Physical Treatment of the Equine Athlete. En: Equine Sports Medicine and Surgery. ciudad, país Elsevier, [online]
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780702047718000648>

Bergh A, Nyman G, Lundeberg T, Drevemo S. 2005. Effect of defocused CO2 laser on equine skin, subcutis and fetlock joint temperature. *Equine and Comparative Exercise Physiology*. 2(1):61–69.

Bergh A, Nyman G, Lundeberg T, Drevemo S. 2006. Effect of Defocused CO2 Laser on Equine Tissue Perfusion. *Acta veterinaria Scandinavica* 47(1):33–42.

Bigard A. 1993. Effects of surface electro stimulation on the structure and metabolic properties in monkey skeletal muscle. *Med Sci Sports Exer* (25):355.

Boswell RP, Mitchell RD, Ober TR, Benoit P, Miller CB, Dyson SJ. 2011. Lameness in the Show Hunter and Show Jumper, 2ª edición. En: Ross M, Dyson SJ. (eds.) *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. St. Louis, Missouri, EUA: Elsevier.

Bromiley MW. 2000. Physical Therapy in Equine Veterinary Medicine : Useful or Useless ?. *Proceedings of the American Association of Equine Practitioners*, 46: 94–97.

Bromiley MW. 2007. *Equine Injury, Therapy and Rehabilitation*, 3ª edición. Blackwell Publishing.

Buchner HHF, Schildboeck U. 2006. Physiotherapy applied to the horse: a review. *Equine Veterinary Journal*, 38(6):574–580. [online] <http://doi.wiley.com/10.2746/042516406X153247>

Calatrava IR, Valenzuela JMS, Gómez-Villamandos RJ, Redondo JI, Gómez-Villamandos JC, Jurado IA. 1997 Histological and clinical responses of articular cartilage to low-level laser therapy: Experimental study. *Lasers in Medical Science* 12(2):117–121. [online] <http://link.springer.com/10.1007/BF02763980>.

Cho H, Lim S, Kim S, Kim Y, Kang S, Choi S, Cho Y, Bae C. 2004. Effect of Low-level Laser Therapy on Osteoarthropathy in Rabbit, *In Vivo*, 18,:585–592.

Clemente F, Barron K. 1993. The influence of muscle contractions on the degree of microvascular perfusion in rat skeletal muscle followin transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *Journal of Orthopedics and Sports Physical Therapy*, 17:177.

De Miranda Moraes J, Guerreiro Braga de Silva AM, Arrais de Alencar Mota AL, de Pino Albuquerque Maranhao R, Ferro de Godoy R. 2009a. Treatment of Acute Pain and Healing of Wounds with Therapeutic Ultrasound in Horses. *Proceedings of the 11th International Congress of the World Equine Veterinary Association, Guarujá, Brazil*.

De Miranda Moraes J, Guerreiro Braga de Silva AM, Bezerra Ximenes FH, Arrais de Alencar Mota AL, de Pino Albuquerque Maranhao R, Ferro de Godoy R. 2009b Therapeutic Ultrasound As Treatment in Equine Wounds. *Proceedings of the 11th International Congress of the World Equine Veterinary Association, Guarujá, Brazil*.

Do Nascimento PM, Pinheiro ALB, Salgado MAC, Ramalho LMP. 2004. A preliminary report on the effect of laser therapy on the healing of cutaneous surgical wounds as a consequence of an inversely proportional relationship between wavelength and intensity: histological study in rats. *Photomedicine and laser surgery* 22(6):513–8. [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15684753>.

Demir H, Menku P, Kirnap M, Calis M, Ikizceli I. 2004. Comparison of the effects of laser, ultrasound, and combined laser + ultrasound treatments in experimental tendon healing. *Lasers in surgery and medicine* 35(1):84–89 [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15278933> (Accessed 7 May 2014).

Domínguez-Carrillo LG. 2001. Comparación de la Electroestimulación transcutánea vs Laser de Bajo Nivel en la Analgesia de Pacientes con Gonartrosis. *Cirugía y Cirujanos* 69(1):13–17.

Dreeben-Irimia O. 2011. Development of the Physical Therapy Profession. 2ª edición. En: Introduction to Physical Therapy for Physical Therapist Assistants, Jones and Bartlet Learning. Primero poner autores, luego título y luego ciudad, país y editorial.

Dyson SJ. 2000. Lameness and Poor Performance in the Sports Horse : Dressage , Show Jumping and Horse Trials (Eventing). *Proceedings of the American Association of Equine Practitioners*. 308–315.

Fretz PB, Li Z. 1992. Low energy laser irradiation treatment for second intention wound healing in horses. *The Canadian veterinary journal. La revue vétérinaire canadienne*, 33(10):650–3. [online] <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1481396&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.

Gorza L, Gundersen K, Lomo T. 1988. Slow to fast transformation of denervated soleus muscles by chronic high-frequency stimulation in the rat. *Journal of physiology* 402:627.

Hodgson DR, Mckeever KH, McGowan CM. 2014. The Athletic Horse, 2º edición. Elsevier.

Hopkins JT, McLoda TA, Seegmiller JG Baxter DG.. 2004. Low-Level Laser Therapy Facilitates Superficial Wound Healing in Humans: A Triple-Blind, Sham-Controlled Study. *Journal of athletic training* 39(3):223–229. [online] <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=522143&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.

Jann HW, Bartels K, Ritchey JW, Payton M, Bennett JM. 2012. Equine wound healing: influence of low level laser therapy on an equine metacarpal wound healing model. *Photonics and Lasers in Medicine* 1(2):117–122. [online] <http://www.degruyter.com/view/j/plm.2012.1.issue-2/plm-2012-0004/plm-2012-0004.xml> (Accessed 30 April 2014).

Kanaya F, Tajima T. 1992. Effect of electro stimulation on denervated muscle. *Clin Orthop*. 283.

Kernell D, Eerbeek O, Verhey B. 1987. Effects of physiological amounts of high and low-rate chronic stimulation on fast-twitch muscle of the cat hindlimb. *Journal of Neurophysiology* 58:598.

Kold SE, Dyson SJ. 2011. Lameness in the Dressage Horse. 2ª edición. En: Ross MW, Dyson SJ. (eds.) *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. Elsevier. [online] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781416060697001164> (Accessed 12 November 2014).

Levine D, Millis DL, Mynatt T. 2001. Effects of 3.3-MHz ultrasound on caudal thigh muscle temperature in dogs. *Veterinary Surgery* 30(2):170–174. [online] <http://doi.wiley.com/10.1053/jvet.2001.21390> (Accessed 7 May 2014).

Lirani-galvão AP, Jorgetti V, Lopes O. 2006. Comparative Study of How Low-Level Laser Therapy and Low-Intensity Pulsed Ultrasound Affect Bone Repair in Rats. *Photomedicine and laser surgery* 24(6):735–740.

Low J, Reed A, Ward A, Robertson V. 2006. *Electrotherapy Explained: Principles and practice*. 4ª edición. Butterworth Heinmann.

Maher O, Snyder J. 2011. Occupation-related Lameness Conditions: Jumping/Eventing/Dressage. 6ª edición. En: Baxter GM, (ed.) Adams and Stashak's Lameness in Horses,

Maiti SK, Kumar N, Singh GR, Hoque M, Singh R. 2006. "Ultrasound therapy in tendinous injury healing in goats. *Journal of veterinary medicine. A, Physiology, pathology, clinical medicine* 53(5:249–58. [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16737515> (

Marcos RL, Arnold G, Magnenet V, Rahouadj R, Magdalou J, Lopes-Martins RÁB. 2014. Biomechanical and biochemical protective effect of low-level laser therapy for Achilles tendinitis. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 29:272–85. [online] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751616113002993>

Martinez Morillo M, Pastor Vega JM, Sendra Portero F. 1998. Láser. En: Manual de Medicina Física. Madrid, España: Elsevier.

Mcgowan CM, Goff L, Stubbs NC. 2007. Animal Physiotherapy: Assesment, Treatment and Rehabilitation of Animals. Oxford, Inglaterra: Blackwell Publishing.

Mcgowan CM, Stubbs NC, Jull G 2007. Equine physiotherapy: a comparative view of the science underlying the profession. *Equine Veterinary Journal* 39(1):90–94. [online] <http://doi.wiley.com/10.2746/042516407X163245> (Accessed 7 May 2014).

Meershoek LS, Schamhardt HC, Roepstorff L, Johnston C. 2001. Forelimb tendon loading during jump landings and the influence of fence height. *Equine Veterinary Journal* 33(S33):6–10, [online] <http://doi.wiley.com/10.1111/j.2042-3306.2001.tb05349.x>

Mercado MC, Alberto J, Liñeiro G, Lightowler H. 2002. Asociación de electroanalgesia (tens) y ultrasonoterapia en el tratamiento de lesiones inflamatorias del m. longissimus dorsi en el equino. *Revista Científica*, 12(2:127–132.

Millis DL. 2005. Physical Therapy Techniques II. *Proceedings of the Proceeding of the NAVC North American Veterinary Conference*, Orlando, Florida,.

Millis DL, Francis D, Adamson C. 2005. Emerging modalities in veterinary rehabilitation. *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice* 35(6):1335–55.[online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16260316>

Millis D, Levine D. 2014. *Canine Rehabilitation and Physical Therapy*. 2ª edición. Elsevier.

Mlacnik E, Bockstahler BA, Müller M, Tetrick MA, Nap RC, Zentek J. 2006. Effect of caloric restriction and moderate or intense physiotherapy program for treatment of lameness in overweight dogs with osteoarthritis. *JAVMA* 229(11):1756–1760.

Montgomery L, Elliott SB, Adair HS. 2013. Muscle and tendon heating rates with therapeutic ultrasound in horses. *Veterinary surgery* 42(3):243–249, [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23373839>

Murray JK, Singer ER, Morgan KL, Proudman CJ, French NP. 2006a. The risk of a horse-and-rider partnership falling on the cross-country phase of eventing competitions. *Equine veterinary journal* 38(2):158–63, [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16536386>

Murray RC, Dyson SJ, Tranquille C, Adams V. 2006b. Association of type of sport and performance level with anatomical site of orthopaedic injury diagnosis. *Equine Veterinary Journal* 38(S36):411–416. [online] <http://doi.wiley.com/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05578.x> (Accessed 19 May 2014).

Mustonen L, Hongisto S, Hongisto A, Vodnev AA. 2008. Racing Horse Treatment by Means of Laser Therapy: 5 years of practical experience in south-east Finland. *Proceedings of the European Medical Laser Association Congress, Helsinki*.

Niebaum K. 2013. Rehabilitation Physical Modalities. En: Zink MC, Van Dyke JB. (eds.), *Canine Sports Medicine and Rehabilitation*. West Sussex, Inglaterra: John Wiley y Sons, Inc. [online] <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118783443>

Petermann U. 2011. Comparison of Pre- and Post-treatment Pain Scores of Twenty One Horses with Laminitis Treated with Acupoint and Topical Low Level Impulse Laser Therapy. *American Journal of Traditional Chinese Veterinary Medicine* 6(1).

Petersen SL, Botes C, Olivier A, Guthrie AJ. 1999. The effect of low level laser therapy (LLL) on wound healing in horses. *Equine veterinary journal* 31(3):228–31 [online] Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10402136>

Porter M. 2005. Equine rehabilitation therapy for joint disease. *The Veterinary clinics of North America. Equine practice* 21(3):599–607 [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16297723> (Accessed 29 April 2014).

Porter M. 2008. Rehabilitation Therapy. 6ª edición. En: Robinson EN, Sprayberry KA, Wilson MR. (eds.) *Current Therapy in Equine Medicine*. St. Louis, Missouri: Elsevier.

Porter M. 1998. *The New Equine Sports Therapy*. Turner TA (ed.). Eclipse Press.

Prentice WE, Quillen W, Underwood F. 2011. *Therapeutic Modalities in Rehabilitation*, 4ª edición. Prentice WE. McGraw-Hill Companies, Inc.

Reddy GK. 2003. Comparison of the photostimulatory effects of visible He-Ne and infrared Ga-As lasers on healing impaired diabetic rat wounds. *Lasers in surgery and medicine* 33(5):344–51, [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14677162>

Reis AGMS, Parizotto NA, Baccarin RYA. 2009. Birefringence Analyses of Therapeutic Ultrasound Effects on Induced Tendinitis in Horses. *Proceedings of the 11th International Congress of the World Equine Veterinary Association, Guarujá, Brazil*.

Rose S, Draper DO, Schulthies SS, Durrant E. 1996. The Stretching Window Part Two: Rate of Thermal Decay in Deep Muscle Following 1-MHz Ultrasound. *Journal of athletic training* 31:139–143.

Saini NS, Roy KS, Bansal PS, Singh B, Simran PS. 2002. A Preliminary Study on the Effect of Ultrasound Therapy on the Healing of Surgically Severed Achilles Tendons in Five Dogs. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 49(6):321–328. [online] <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1439-0442.2002.00441.x>

Sawaya S. 2007. Physical and alternative therapies in the management. *Veterinary Focus* 17(3):37–42.

Sawaya S, Combet D, Chanoit G, Thiébault J, Levine D, DJ M-L. 2008. Assessment of impulse duration thresholds for electrical muscle stimulation (chronaxy) in dogs. *American Journal of Veterinary Res* 69:1305–1309.

Schils S. (n.d.) Boots on the Ground : Rehabilitation Protocols Utilized by Rehabilitation Facilities.

Schils S. 2009. Review of Electrotherapy Devices for Use in Veterinary Medicine. *Proceedings of the American Association of Equine Practitioners, Las Vegas, Nevada*.

Schoen AM. 2000. Equine Acupuncture : Incorporation into Lameness Diagnosis and Treatment. *Proceedings of the American Association of Equine Practitioners*.

Sharifi D, Kazemi D, Latifi H. 2009. Evaluation of Tensile Strength of the Superficial Digital Flexor Tendon in Horses Subjected to Transcutaneous Electrical Neural Stimulation Therapeutic Regimen. *American Journal of Applied Sciences* 6(5):816–819, [online] <http://www.thescipub.com/abstract/?doi=ajassp.2009.816.819>.

Sharifi D, Kazemi D, Rassouli A, Shams G. 2007. Effect of transcutaneous electrical stimulation on the hydroxyproline content in severed superficial digital flexor tendon in horses. *J Fac Vet Med Univ Teh*, (24), [online] http://198.55.49.74/en/VEWSSID/J_pdf/84720070209.pdf

Sharifi D, Kazemi D, Veshkini A. 2008. Ultrasonographic Evaluation of Transcutaneous Electrical Neural Stimulation on the Repair of Severed Superficial Digital Flexor Tendon in Horses. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences* 3(3):73–77, [online] <http://www.thescipub.com/abstract/?doi=ajavsp.2008.73.77>.

Sharifi D, Nadjafpour A, Latifi H. 2009. Evaluation of Low Level Laser (LLL) Effect on the Tensile Strength of the Superficial Digital Flexor Tendon. *Proceedings of the 11th International Congress of the World Equine Veterinary Association*.

Singer ER, Barnes J, Saxby F, Murray JK. 2008. Injuries in the event horse: training versus competition. *Veterinary journal* (London, England: 1997) 175(1): 76–81, [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17204438>

Singer ER, Saxby F, French NP. 2003. A retrospective case-control study of horse falls in the sport of horse trials and three-day eventing. *Equine veterinary journal* 35(2):139–145 [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12638789>.

Singh KI, Sobti VK, Roy KS. 1997. Gross and histomorphological effects of therapeutic ultrasound (1 Watt/cm²) in experimental acute traumatic arthritis in donkeys. *Journal of Equine Veterinary Science*, 17(3), pp. 150–155, [online] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080697803073>

Spalding V. 2010. Returning the horse to work - rehabilitation technique. *Proceedings of the British Equine Veterinary Association, Birmingham, UK*.

Sutton A, Watson T. 2011. Electrophysical Agents in Physiotherapy. 2ª edición. En Ross MW, Dyson SJ. (eds.). *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*, St. Louis, Missouri, EUA: Elsevier,.

Van Dyke JB. 2011. What Is Veterinary Rehabilitation? *Southern European Veterinary Conference, Barcelona, Spain, IVIS*.

Veenman P. 2006. Animal physiotherapy. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 10(4):317–327, [online]
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360859206000362> (Accessed 29 April 2014).

Watson T. 2002. Current concepts in electrotherapy. *Haemophilia*, 8(3):413–418, [online]
<http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2516.2002.00613.x>

Watson T. 2008. *Electrotherapy: Evidence-Based Practice*. 12ª edición. Elsevier.

Whitfield C, Jann H, Bartels K. 2010. The Effect of Low Level Laser Therapy on the Healing of Equine Bilateral Distal Hindlimb Wounds. *Large animal wound Management* 7–9, [online] [http://50.56.21.188/files/uploads/1/file/Jann_Efficacy of 3LT on Healing Equine Bilateral Distal Hindlimb Wounds_Veterinary Wound Management Society_Jann Only_Winter 2011.pdf](http://50.56.21.188/files/uploads/1/file/Jann_Efficacy%20of%203LT%20on%20Healing%20Equine%20Bilateral%20Distal%20Hindlimb%20Wounds_Veterinary%20Wound%20Management%20Society_Jann%20Only_Winter%202011.pdf)

Williams H. 1998. The value of continuous electrical muscle stimulation using a completely implantable system in the preservation of muscle function following motor nerve injury and repair: an experimental study. *Microsurgery* 17:589.