

Xavier Martínez de Espronceda

Sergi Mesas

Joan Riera

Aplicación de corrientes galvánicas en PUNTOS GATILLO MIOFASCIALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Dirigido por el dr Manel Santafé

Grado de Fisioterapia



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Reus

2017

Resumen:

La aplicación de corrientes galvánicas (CG) es cada vez más usual en el ámbito de la fisioterapia produciendo efectos electroquímicos y electrofísicos en el cuerpo humano demostrando eficacia en patologías tendinosas.

El objetivo principal de este estudio ha sido estudiar los efectos de un tratamiento con CG en un tejido muscular patológico y evaluar si esta técnica producía algún tipo de daño al tejido.

Este estudio se realizó en la Facultat de Medicina i Ciències de la Salut de la URV. Se usaron ratones adultos sanos, experimentando el *gastrocnemio* in vivo y el *Levator Auris Longus* (LAL) ex vivo. Se anestesió el ratón con tribromoetanol (TBE) y se le suministró neostigmina (NTG) hasta ver signos colinérgicos. A continuación se aplicaron las CG en los músculos con agujas 0.30x30mm junto al dispositivo Physio Invasiva Prim (protocolo "EPI"). De las agujas estudiamos los elementos Hierro, Cromo y Níquel pre-tratamiento y post-tratamiento con el microscopio electrónico de barrido. También se realizó la técnica azul de metileno. Ambos experimentos fueron para asegurarnos de que el tratamiento no produjera ningún daño en el tejido. Los parámetros utilizados en las CG fueron iguales para ambos músculos; siendo $I=3\text{mA}$, $t=3''$, 3 repeticiones en total y 1 minuto de reposo entre aplicaciones.

Para ver el efecto del tratamiento se realizaron un registro electrofisiológico en el LAL tras 3 y 24 horas para analizar los mEPPs y el potencial de membrana. También se realizó un registro electromiográfico tras 3 y 24 horas, insertando una aguja monopolar en el gastrocnemio para encontrar ruido de placa.

Los resultados demostraron que el tratamiento no daña el tejido además de producir una disminución de áreas con ruido de placa y una normalización de los parámetros estudiados en la electrofisiología.

Podemos decir que las CG son eficaces en tejidos musculares patológicos.

Palabras clave: corriente galvánica, músculo, neostigmina, punto gatillo miofascial, ruido de placa, azul de metileno, electromiografía, electrofisiología, ratones, agujas.

Abstract:

Nowadays, the application of galvanic currents (GC) is common in physiotherapeutic treatments. This technique produces electrochemical and electrophysiological effects in the human body. Its utility has been proved in pathologic tendons.

The aim of this study was to analyse the effects of a treatment with GC in a pathologic muscular tissue and to evaluate whether the GC can make the needles lose properties inside the tissue.

This investigation was done in the Facultat de Medicina i Ciències de la Salut of the URV. The adult mice's muscles that were used for the experiment were: the gastrocnemius *in vivo* and the Levator Auris Longus (LAL) *ex vivo*. The mouse was anesthetized with tribromoethanol (TBE) and then injected with neostigmine (NTG) until it showed cholinergic signs. Then, GC were applied to the muscles with 0.30x30mm needles connected to a Physio Invasiva Prim dispositiu (EPI). After that, we studied the elements Fe, Cr and Ni from the needles with an electronic microscope, pre-treatment and post-treatment. The methylene blue technique was also done. Both experiments were done in order to confirm that the muscular tissue did not suffer any injury because of the treatment. The parameters we took into account for the GC were the same in both muscles: $I=3\text{mA}$, $t=3''$ by doing 3 repetitions with one minute break between each application.

In order to evaluate the treatment's effect, we did an electrophysiological recording in the LAL after 3 and 24 hours by the end of the treatment. The aim was to analyse the mEPPs and the membrane potential. An electromyographical recording was also done in the gastrocnemius by inserting a monopolar needle inside the muscle in order to find endplate noise.

The results showed us that the muscular tissue was not damaged by the treatment and it also showed us a decrement of the areas of endplate noise, as well as normalization of the parameters studied by electrophysiology.

We can now say GCs are an effective treatment in pathological muscular tissues.

Keywords: muscle, neostigmine, trigger point, endplate noise, methylene blue, electromyography, electrophysiology, mice, needles.

1.- INTRODUCCIÓN

La utilización de las corrientes galvánicas como herramienta de tratamiento terapéutico, es cada vez más frecuente. En el ámbito fisioterapéutico, se ha desarrollado en los últimos años tras la creación por el fisioterapeuta José Manuel Sánchez Ibáñez de la técnica Electrolisis Percutanea Intratissular (EPI) (1). Este fisioterapeuta investigó en ese aspecto entre el año 1998 y 2000 para poder encontrar una alternativa a la falta de resultados de los tratamientos “clásicos” de tendinopatía rotuliana. A partir del año 2008 empezó a difundir esta técnica a otros profesionales y se inició las formaciones a nivel de postgrado y de cursos de esta técnica (1).

En la técnica EPI se usan corrientes galvánicas también llamadas corrientes continuas a nivel intratisular. Se trata de una aplicación directamente a nivel del tejido mediante una aguja insertada en el tejido para poder realizar el tratamiento de manera muy localizada. Para asegurar una precisión máxima, favorecer el éxito de la técnica, y disminuir los riesgos por ser una técnica invasiva, se suele realizar con la ayuda de un ecógrafo aunque también se realiza mediante palpación. Como se ha comentado, la transmisión de la corriente a nivel intratisular se realiza mediante agujas y se escoge su calibre según la profundidad que se pretende llegar, estas agujas pueden ser de acupuntura (2, 3) o bien de punción seca (4). La intensidad, el tiempo de aplicación y el número de aplicaciones varían según el tejido diana y los autores.

1.1.- Efectos biológicos de las corrientes galvánicas

Diferentes estudios han evaluado las consecuencias de la aplicación de corriente continua sobre agujas en tejidos para detectar que factores o sustancias podrían vehiculizar sus acciones. En este sentido, Xie y colaboradores (5) evaluaron las consecuencias de la aplicación de las agujas de acupuntura de dos marcas distintas asiáticas para detectar que factores o sustancias podrían vehiculizar sus acciones. Estos autores practicaron técnicas de acupuntura en un modelo de almohadillas de gel en lugar de tejido humano concluyendo que podían quedar residuos de metales presentes en la superficie de la aguja como hierro, cromo y níquel (5).

La aplicación de las corrientes galvánicas a nivel intratisular se basa en los fenómenos electroquímicos de electrolisis y electroforesis. El cuerpo humano está compuesto por más de 80% de agua y electrolitos lo que permite un comportamiento similar a una disolución de cloruro de sodio (NaCl) al aplicarle una corriente galvánica (1). La técnica EPI produce una reacción química tanto de NaCl como de H₂O (1, 2, 3). La electrolisis es un fenómeno electroquímico conocido desde antiguo que consiste en el uso de un electrodo que funciona como cátodo, por el que circula una corriente continua hacia un electrodo negativo (ánodo). Esto genera la formación de hidróxido de sodio (NaOH), también conocido como sosa cáustica que se encuentra localizada en el cátodo, además de una liberación de hidrogeno (H₂). En el

caso de la EPI, la aguja insertada en el tejido actúa como cátodo y un referente externo, usualmente agarrado por el paciente, actúa como ánodo.

Parece ser que la producción de sosa cáustica tiene efectos biológicos sobre los tejidos, como una destrucción de este de forma atermal (sin incremento de temperatura) que favorecerá la formación de tejido nuevo gracias a la respuesta inflamatoria local (2, 3, 6). También parece que la producción de sosa cáustica a nivel del cátodo produce un aumento del pH y un aumento de la presión parcial de oxígeno, de tal forma que permite la facilitación de la fagocitosis y una activación celular (7).

Además de la acción química de la sosa, la EPI también produce un efecto electrofísico consistente en una migración de iones que provoca una activación de mecanismos analgésicos endógenos y respuestas vasculares. (1)

1.2.- Uso terapéutico de las corrientes galvánicas

Las corrientes galvánicas se usan en fisioterapia esencialmente en dos tipos de tejidos: músculo y tendones. Las lesiones musculares son uno de los principales problemas en que afectan a los deportistas ya que pueden llegar a constituir entre 10-55% de todas las lesiones deportivas (8). Un estudio reciente realizado en músculo de rata lesionado con el miotóxico notexina demostró que el tratamiento con EPI era antiinflamatorio y provocaba un aumento de la circulación local en la zona lesionada (2). Además, estos autores evaluaron la presencia de moléculas bioactivas en el área tratada y hallaron que los factores inflamatorios provocados por la acción de la notexina como por ejemplo el TNF- α y el IL-1 β disminuyeron después del uso de la EPI. Por otro lado detectaron una activación de proteínas anti-inflamatorias como la PPAR- γ , VEGF y VEGFR-1.

Uno de los usos más habituales de las corrientes galvánicas en el ámbito de la fisioterapia es en patologías tendinosas. Los tratamientos convencionales no suelen tener un resultado óptimo, y esto se debe principalmente a una mala interpretación de la lesión. Históricamente se pensaba que había una inflamación del tendón (tendinitis) aunque varios estudios recientes demuestran que esta patología no se debe a una inflamación, sino a una degeneración del tendón (tendinosis) que como afirman diversos autores, el tendón “sufre roturas microscópicas, infiltraciones de fibroblastos, hipervascularización y desorganización de la fibras de colágeno” (9, 10).

En 2014, Abat y colaboradores (7) realizaron un estudio con ratas en el que se valoraba el tratamiento con EPI para una tendinopatía rotuliana producida por colagenasa tipo I. Los resultados de este estudio mostraron una inhibición de la expresión en moléculas pro-inflamatorias (TNF- α e IL-1 β). El tratamiento con EPI también provocó una sobreexpresión de ciertas proteínas anti-inflamatorias (citocromo C, Smac/Diablo, VEGF, VEGFR-2 y PPAR- γ). En otros estudios realizados en pacientes tratando patologías en tendones de Aquiles de

también se observó que el tratamiento con EPI es satisfactorio (3). En otro estudio realizado en epicondialgias crónicas, no sólo demostraron la eficacia del tratamiento si no que evidenciaron que es un tratamiento más económico comparado a los casos quirúrgicos (11).

Las corrientes galvánicas también se han usado en el tratamiento de los puntos gatillo miofasciales (ver el apartado siguiente).

1.3. Síndrome de dolor Miofascial (SDM)

El SDM consiste en un amplio abanico de signos y síntomas debido a una disfunción muscular asociada a una sensibilización central con un característico dolor referido a cierta distancia anatómica del origen (12). Es una enfermedad con una alta prevalencia, por ejemplo, sobre un tercio de los pacientes que acuden al médico o fisioterapeuta con dolores musculares obtienen ese diagnóstico (13). Travell y Simons's lo definieron como una condición causada por una zona hiperirritable llamada punto gatillo miofascial (PGM), palpable con la característica de un nódulo en una banda tensa de un músculo o fascia (14,15). Al estimular mecánicamente este nódulo puede aparecer un dolor local y/o referido, además de respuesta de espasmo local (REL) (16). La REL es una contracción rápida de la banda tensa del músculo tras estimular el PGM. Es un signo característico del PGM y permite confirmar el diagnóstico, aunque no forma parte de los criterios esenciales ya que, su obtención puede ser complicada en algunas ocasiones (17).

Simon's postuló una hipótesis etiopatogénica en la cual hay un aumento de la liberación de las vesículas sinápticas de manera espontánea. Esto puede ser registrado intracelularmente como potenciales pequeños que desarrollan una despolarización insuficiente para crear un potencial de acción y una contracción muscular, pero si responsables de generar un nódulo de contracción (Simon's). El conjunto de estos nódulos pueden llegar a provocar una isquemia mecánica y secundariamente una crisis energética. Estas células trabajando en situación de crisis energética liberan protones y mediadores pro-inflamatorios de bradiquinina u otras sustancias nociceptivas (18).

La neurotransmisión espontánea elevada comentada anteriormente puede registrarse eletromiográficamente como un "ruido de placa". La presencia de este ruido en una zona localizada de un músculo nos permite diagnosticar la presencia de una placa motora alterada, pero también valorar y cuantificar los PGM en un músculo. Los primeros en haber detectado la presencia de un ruido de placa fueron Hong y Simon's al cambiar los parámetros de amplificación del electromiógrafo. Estos autores, estudiando PGM y registrando las espigas detectaron unos potenciales de baja amplitud continuos entre las espigas que estaban descritos como el reflejo de la neurotransmisión espontánea de los contactos sinápticos neuromusculares (19). Se adoptó el término de *locus activo*, para definir este punto muscular con presencia de una actividad eléctrica espontánea (AEE). Estudios electrofisiológicos

mostraron la presencia de AEE en los locus activos de animales (ratones) y humanos con SDM. La AEE consiste en ruido de placa (5-50 μ V) y ocasionalmente con intermitentes espigas (80 μ V), se observó también una mayor frecuencia de AEE en zonas con PGM (20). Debido a esto, Simon's indicó que la AEE está causada por una liberación excesiva de ACh (14).

2. OBJETIVOS

El **objetivo general** de este estudio es valorar los efectos de la aplicación de corrientes galvánicas sobre músculo sano y sobre la neurotransmisión neuromuscular.

Objetivos específicos:

1.- Descartar reacciones adversas por la inserción de agujas junto a corrientes galvánicas en tejido muscular:

1.A. Evaluar la pérdida de metales de las agujas por acción de las corrientes galvánicas.

1.B. Detectar la aparición de lesiones musculares por acción de las corrientes galvánicas.

2.- Evaluar la acción de las corrientes galvánicas en la neurotransmisión:

2.A. Analizar las modificaciones de las corrientes galvánicas sobre la liberación espontánea del neurotransmisor.

2.B. Analizar las modificaciones de las corrientes galvánicas sobre el ruido de placa.

3.- MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Obtención de la muestra

El estudio se hizo en la facultad de Medicina y Ciencias de la Salud de la URV. Para llevarlo a cabo se usaron ratones adultos machos de 30 a 40 días. Los ratones fueron cuidados de acuerdo con las orientaciones del consejo de la comunidad Europea, directiva del consejo del 24 de noviembre de 1986 (86/609/CEE) por el tratamiento humano de animales en laboratorio. Este estudio ha sido aprobado por el comité de ética de la Universidad Rovira i Virgili.

3.2. Muestras

Para anestesiarse a estos ratones se les inyectó tribromoetanol (TBE al 2%; 0'15ml/10g de peso corporal) vía intraperitoneal. La jeringuilla con el TBE permaneció conectada por una vía intraperitoneal para ir suministrando TBE siempre que fuese necesario prolongar la sedación del animal. Cuando el ratón ya se encontraba dormido, se le dejó en decúbito prono (DC/P) sobre una plancha de corcho y se le fijaron las extremidades y la cola al corcho con celo. Se le rasuró la cabeza y el área de los gastrocnemios derecho e izquierdo para facilitar futuros procedimientos en estas áreas. Se le inyectó 50 µl de neostigmina (NTG; 0'1mg/kg de peso del animal) por vía subcutánea. Pasados 30 minutos, la NTG actuó provocando un síndrome colinérgico (el ratón tiene temblores en todo el cuerpo) lo que demostró una correcta administración de la NTG.

En este estudio se utilizaron dos músculos de ratón: el gastrocnemio y el *levator auris longus* (LAL). El gastrocnemio se experimentó *in vivo* en cambio, el LAL se experimentó *ex vivo* (se sacrifica el animal por exanguinación una vez anestesiado). El músculo LAL es subcutáneo y de poco grosor (solo tiene una única capa de fibras musculares).

3.3. Aplicación de corrientes galvánicas

Como ya se ha explicado anteriormente, a los ratones previamente sedados se les inyectó NTG. Para saber los efectos de las corrientes galvánicas se utilizó un dispositivo Physio Invasiva Prim (EPI) y se siguieron protocolos diferentes para cada modelo muscular.

Músculo LAL: Se colocó el animal como se ha comentado antes (DC/P sobre un corcho y cola y patas con celo). Se insertó el electrodo positivo o de referencia mediante una aguja subcutáneamente a nivel torácico y el electrodo negativo o activo también con una aguja subcutáneamente en el área del LAL. La intensidad utilizada fue de 3mA, con un tiempo de 3 segundos. Se realizaron 3 repeticiones con 1 minuto de reposo entre aplicación y aplicación.

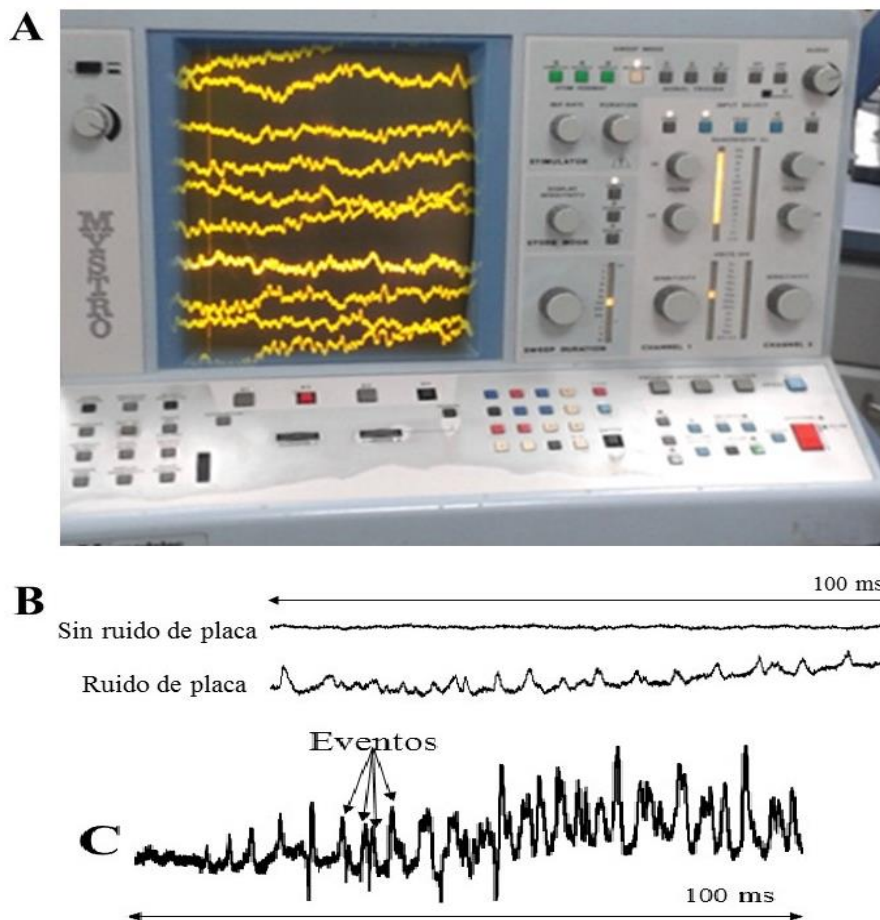


Figura 1: Registro de ruido de placa. A: Electromiógrafo utilizado para el registro. B: Se pueden observar 2 registros donde el primero es un registro donde no existe ruido de placa y en el segundo sí que existe sonido de placa. C: Registro muy amplificado en el que se pueden observar los eventos y permite contabilizar la frecuencia del ruido de placa.

Procedencia: Archivo de imágenes de la Unidad de Histología y Neurología de la URV.

3.4. Cloruro de metiltionina

También conocida como azul de metileno, es la técnica de tinción utilizada con el músculo LAL para descartar posibles lesiones debidas a las corrientes galvánicas. Es un colorante de tipo básico usado para tinciones histológicas. El azul de metileno se encuentra en una solución acuosa al 1%.

Una vez extraído el LAL, éste se colocó en una placa de Petri y fue fijado con agujas entomológicas. Se sumergió en la solución de azul de metileno. Pasados 3 minutos, se tiró la solución manteniendo solo la muestra en la placa y acto seguido se llenó con agua de grifo, se removió la placa y se arrojó el agua. Se esperó 3 minutos a que la muestra se secara. Después de que ya estuviera deshidratada y montada con resina epóxida, la muestra ya estaba lista para ser observada con un microscopio Nikon ECLIPSE TE2000-U

3.5. Estudio de la composición de las agujas:

Para este experimento se usaron agujas 0,30x30mm Physio Invasiva de 0,30x30mm. Estas agujas son estériles y de un solo uso, y la elección de su utilización básicamente fue porque es la recomendada por usuarios que usan el dispositivo Physio Invasiva Prim (el utilizado para nuestro estudio con CG).

Las agujas fueron estudiadas con el equipo de microscopia electrónica de barrido FEI Quanta 600 del Servicio Científico Técnico de la Universidad Rovira i Virgili. La magnificación de trabajo fue de 2000X, ocasionalmente se trabajó a 110X. Se realizó microanálisis por difusión de RX con un Oxford Instruments, Inca, asociado al microscopio electrónico de barrido FEI Quanta 600.

Se analizaron tres elementos que están presentes en las agujas, como son el Cromo (Cr), Hierro (Fe) y el Níquel (Ni). Las situaciones en las que se realizó el análisis fueron agujas nuevas manipuladas con guantes y agujas utilizadas en la aplicación de CG.

3.6. Electrofisiología de registro intracelular

Una vez disecado el músculo LAL y colocado en una placa de Petri sumergido en Ringer oxigenándose, se colocó en una camarilla de registro de 1.5ml. Estos experimentos se realizaron a una temperatura constante de 26°C y humedad relativa del 50%.

Los registros se realizaron empalando las fibras musculares con electrodos de boro-silicato llenos de 3M de KCl y con una resistencia punta de 20-40MΩ. Estos microelectrodos estaban conectados a un amplificador (Tecktronics, AMS02, Oregon, USA) que es capaz de amplificar la señal hasta 10 veces. El amplificador iba conectado a un sistema informático de registro para digitalizar, guardar y analizar las señales (Digidata 1322A Interface, Axon Instruments Inc., Weatherford, TX, USA). Se monitorizó el potencial de membrana mediante un multivoltímetro conectado al electrodo de registro. Se utilizó un electrodo distante de Ag-AgCl como referencia, conectado a la solución de baño a través de un puente de agar (agar 3'5% en NaCl 137 mM). Se utilizó el software AxoScope 10.2 (Axon Instruments Inc.), para la adquisición y el análisis de datos. Se seleccionaron únicamente las fibras con potenciales de membrana menores a -50 milivoltios (mV) y después utilizamos los resultados de las fibras que no variasen más de 5 mv durante el registro.

El procedimiento de registro fue el siguiente: una vez empalada una fibra muscular había que asegurarse de que su potencial de membrana fuera menor a -50mV. Verificamos que había eventos mEPPs y si estos tenían un tiempo de subida de 1ms. Después se grabaron todos los eventos que aparecieron a lo largo de un minuto. Así se analizó el número de eventos que ocurrieron durante un minuto y la amplitud promedio de los eventos expresado en mV.

Se calculó la amplitud media por fibra. La frecuencia con la que los mEPPs aparecieron fue evaluada en periodos de un minuto. El programa utilizado para la adquisición y el análisis de los datos fue el AxoScope 10.0 (Axon Instruments). Los parámetros analizados fueron la frecuencia y la amplitud.

3.7. Electromiografía

Una vez ya se habían aplicado las corrientes galvánicas al músculo gastrocnemio, se procedió a hacer el registro electromiográfico con un equipo Medelec Synergy (ver figura 1). El gastrocnemio se dividió en 12 áreas imaginarias, y se insertó una aguja monopolar para registrar las diferentes áreas (ver figura 2). Sabemos cuándo hay ruido de placa cuando se escucha un ruido parecido al de las olas del mar. Al encontrar ruido de placa, se guardaba el registro y se observaba como la línea base formaba una irregularidad a consecuencia de la alteración de la liberación espontánea de acetilcolina en sinapsis.

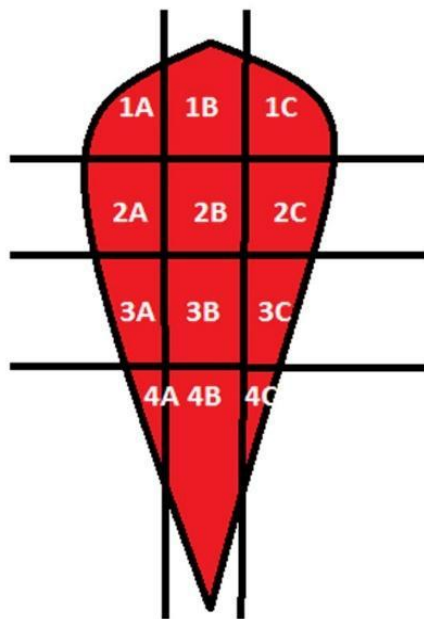


Figura 2: división del musculo gastrocnemio en 12 áreas imaginarias para registrarlas y buscar ruido de placa. En cada una de estas áreas se inserta la aguja monopolar suavemente, moviéndola poco a poco realizando pequeñas rotaciones para dañar lo mínimo posible el músculo. Procedencia: Archivo de imágenes de la Unidad de Histología y Neurología de la URV.

3.8. Análisis estadístico

Los valores se expresan en media $\pm$ SEM. Se definió el cambio porcentual como: $[\text{valor final dividido por el valor control}] \times 100$. Cuando se evaluaron las diferencias entre dos grupos, se utilizó la prueba t de Student. Las diferencias se consideraron significativas a $P < 0,05$.

4. RESULTADOS

4.1 Composición de las agujas

Hemos analizado los componentes presentes en las agujas como son el Cr (cromo), Fe (hierro) y Ni (níquel) antes y después de la aplicación de CG. Para esto se usó el microscopio de barrido. En la figura 3 podemos observar que los valores post-tratamiento son similares a los del pre-tratamiento, es decir que la variación de estos elementos entre antes y después de la aplicación de las corrientes es casi inexistente (menor del 3%).

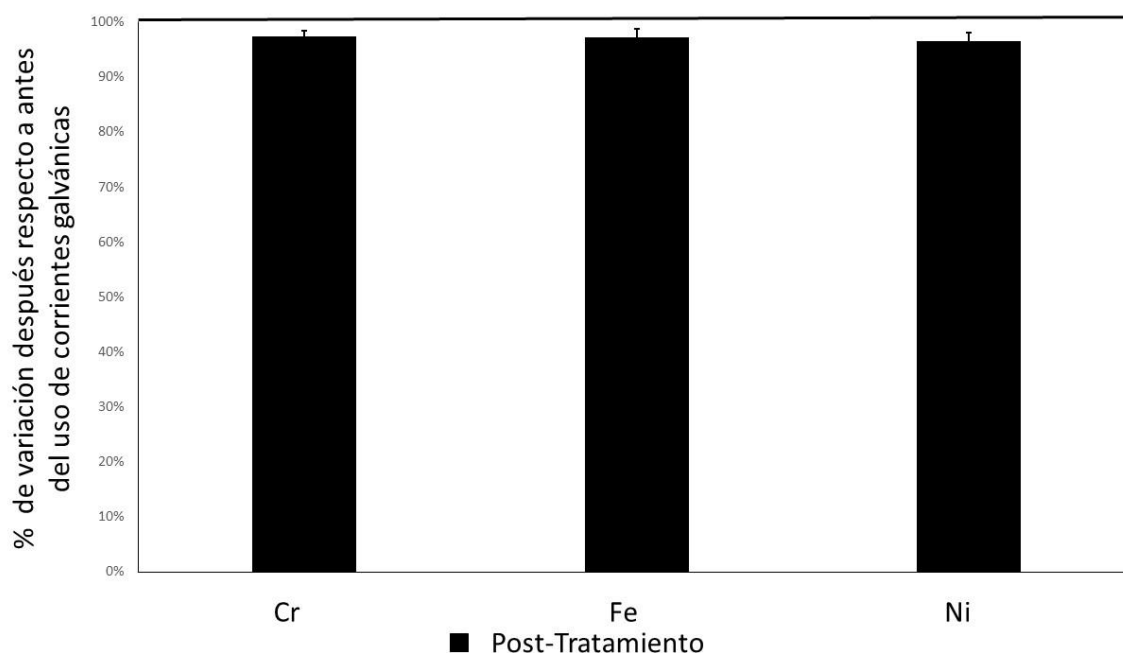


Figura 3. Composición de las agujas. En el eje de ordenadas se representan los porcentajes de los elementos. En el eje de abscisas se representan los elementos (Cr, Fe, Ni) y el momento (post-tratamiento) figuras de color negro).

La línea horizontal representa los valores pre-tratamiento.

Valores expresados en % promedio $\pm$ SEM. N=22 agujas. $P>0,05$ en todos los casos

4.2.-Azul de metileno

A los 30 minutos de aplicar las corrientes galvánicas observamos el músculo normal y sin cambios. Cuando se analizan los músculos tratados 24h después tampoco observamos ninguna reacción inflamatoria (ver un ejemplo en la figura 4), lo que nos permite afirmar que estas no producen lesiones en el músculo.

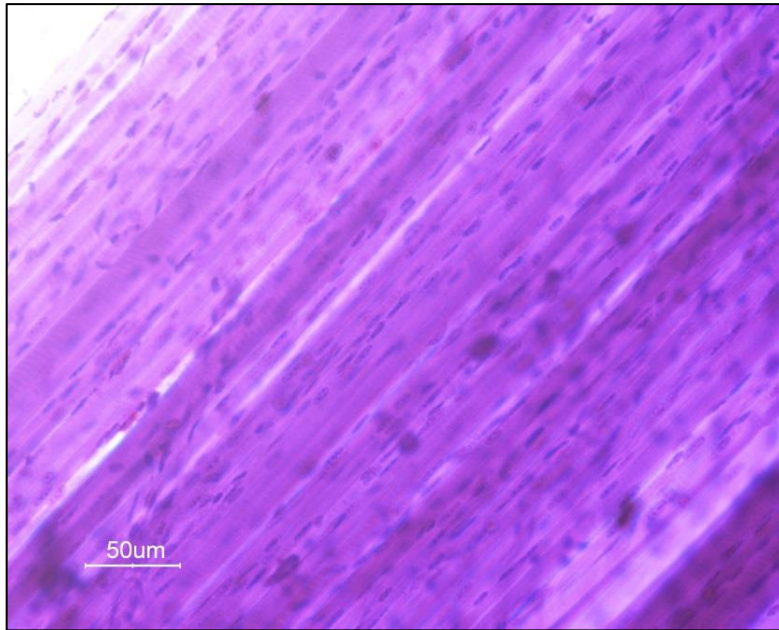


Figura 4. Azul de metileno.

24 horas después de la aplicación de corrientes galvánicas no se observa ningún cambio en el musculo ni reacción inflamatoria alguna. Los diminutos discos morados son las habituales células cebadas del músculo LAL.

4.3 Resultados electrofisiología

En la figura 5 A se muestra la frecuencia de aparición de mEPPs, la X_n (amplitud de mEPPs) y el V_m (potencial de membrana) del grupo control y del grupo tratado con corrientes galvánicas (CG) después de inyectar neostigmina (NTG+EPI) 3 horas después de la aplicación de las CG. Como se puede ver en la gráfica, los valores obtenidos en el grupo NTG+EPI 3 horas después de las corrientes son similares a los del grupo control, es decir se ha retornado a los valores iniciales.

En la figura 5 B se muestran los resultados en comparación con el grupo tratado con NTG. Se puede ver como realmente hay una disminución de la frecuencia de mEPPs y que se mantiene por lo menos durante 24 horas.

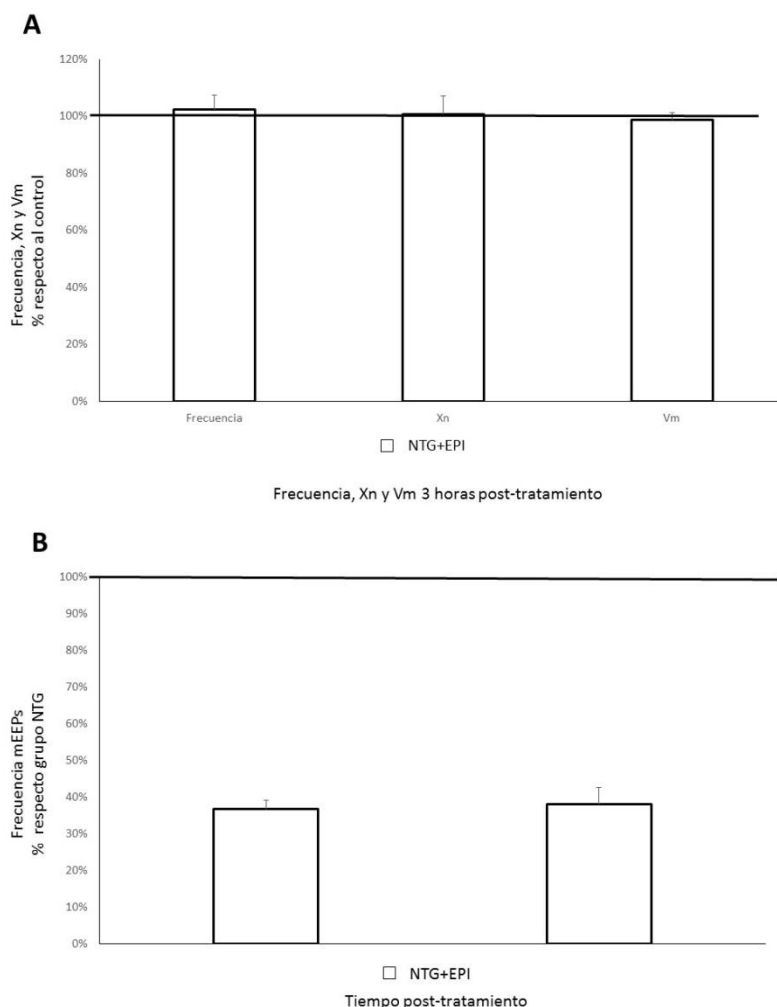


Figura 5. Eletrofisiología de registro intracelular. **A:** registro electrofisiológico del grupo NTG+CG respecto al control. El eje de ordenadas representa el porcentaje de los valores del grupo NTG+EPI. El eje de abscisas representa la frecuencia de la aparición de mEPPs, Xn (amplitud de los mEPPs) y Vm (potencial de membrana) del grupo control y del grupo NTG+CG después de 3 horas. La línea horizontal negra representa los valores control. N=28. $P > 0.05$ en los dos casos. **B:** El eje de ordenadas representa el porcentaje del grupo NTG+EPI. En el eje de abscisas se observa el tiempo post-tratamiento (3 horas y 24 horas). La línea horizontal negra representa los valores NTG. N/3h=62 N/24h=34. $P < 0.05$ en los dos casos.

4.4 Resultados del registro electromiográfico:

En la figura 6 se muestran los resultados obtenidos en gastrocnemios tratados con neostigmina y posteriormente tratados con CG. Se puede ver que no hay variación alguna ($P > 0,05$). Se puede ver como el grupo tratado con neostigmina y luego con corrientes galvánicas (NTG+EPI), presenta una disminución del número de áreas con ruido de placa a medida que pasa el tiempo, y va alcanzando valores similares al control (ver figura 6 A.I). Al lado se puede observar el aumento del número de áreas con ruido de placa que provoca la NTG a medida que pasa el tiempo (figura 6 A.II)

En cambio, en la frecuencia de eventos se observa que los valores tienen un ligero aumento después de 3 horas y después de 24 horas respecto al control (figura 6 B).

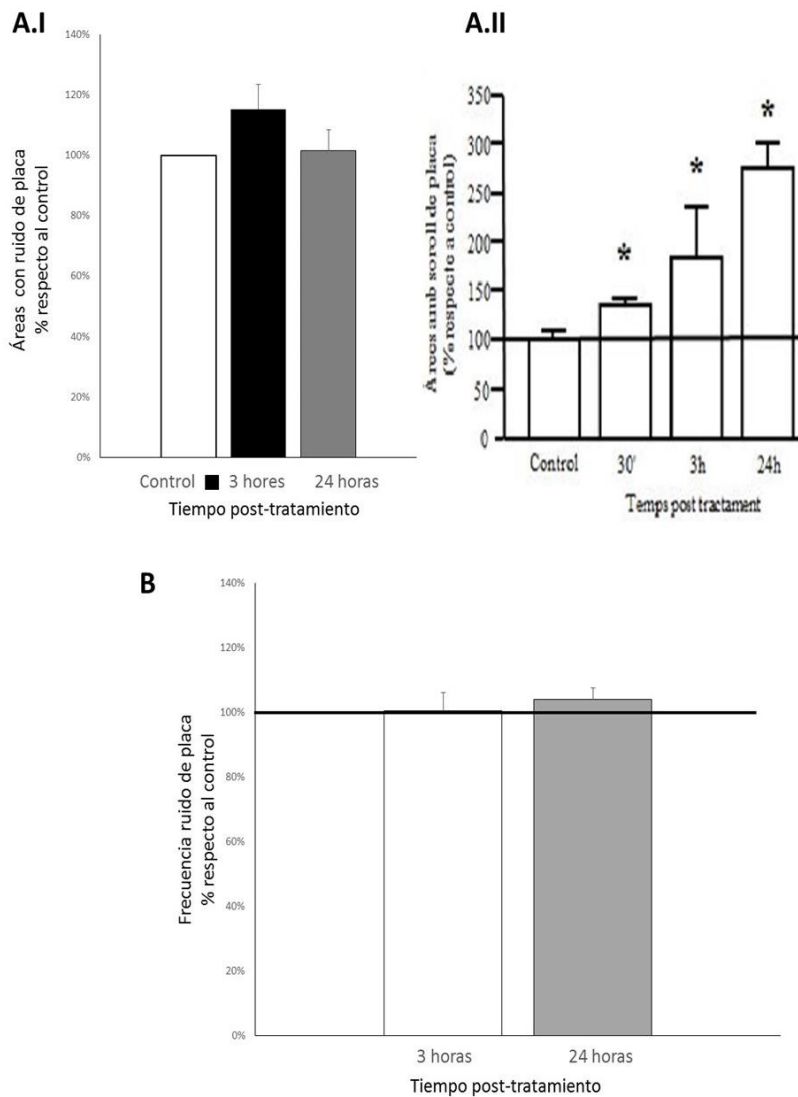


Figura 6. Registro electromiográfico del grupo NTG+EPI respecto al control. El eje de ordenadas representa el porcentaje de los valores experimentales y del valor control. El eje de abscisas representa las horas transcurridas después del tratamiento (3 horas, 24 horas). La línea horizontal negra representa los valores control. **A.I:** Número de áreas con ruido de placa NTG+EPI. $P > 0.05$ en todos los casos. $N = 8$ animales. **A.II:** Número de áreas con ruido de placa NTG. $* P < 0.05$. $N = 8$ animales. **B:** Frecuencia de ruido de placa expresada en Hertz (Hz) de cada ruido de placa. $P > 0.05$ en todos los casos. $N = 8$ animales.

5. DISCUSIÓN

Los objetivos de este estudio han sido averiguar, descartando si la introducción de agujas junto con CG podía provocar algún tipo de lesión, si las corrientes galvánicas podrían ser útiles en el tratamiento de puntos gatillo miofasciales. Para esto hemos realizado la técnica azul de metileno y estudiado la composición de las agujas antes y después del tratamiento, demostrando que las CG no provocan ninguna lesión en el tejido muscular. Además también hemos analizado la acción de las CG en la neurotransmisión mediante registros electrofisiológicos y electromiográficos, obteniendo unos resultados óptimos.

5.1 Composición de las agujas:

En los experimentos con las agujas, mediante el uso del microscopio electrónico hemos analizado las sustancias hierro (Fe), cromo (Cr) y níquel (Ni). No encontramos una cantidad de residuos de metales significativos tras la aplicación de la técnica “EPI” en el ratón. Se realizaron estos experimentos dado que existe un estudio previo que valoró la posible existencia de estos residuos, y comentó tener una cierta precaución ya que concluyó que las agujas dejaban residuos y podían provocar consecuencias en el cuerpo, como puede ser una dermatitis (5). Creemos que con nuestros resultados obtenidos la pérdida se demuestra que la pérdida de metal es despreciable. Los otros autores utilizaron una técnica y un material distinto, ya que usaron agujas de acupuntura y nosotros agujas de punción seca junto con corrientes galvánicas. Esto puede ser un punto importante que influye en que los resultados obtenidos sean diferentes entre nuestro estudio y el de los otros autores.

5.2 Azul de metileno

No observamos ningún tipo de lesión después de aplicar corrientes galvánicas. En un trabajo anterior a este, utilizan ratas con lesión muscular inducida con notexina como modelo de lesión muscular. Estos autores describen que el tratamiento con CG no produjo ningún tipo de lesión en el tejido muscular, sino todo lo contrario, activó una revascularización del área

dañada del tejido muscular, ayudando a su regeneración (2). En nuestros experimentos el objetivo no era observar una regeneración muscular tras la aplicación de CG ya que hemos trabajado en un músculo sano. La técnica de azul de metileno se aplicó con la finalidad de estudiar si las CG provocaban algún tipo de lesión en el tejido muscular. Como se ha dicho anteriormente, los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de CG no provoca ningún daño en el tejido.

5.3: Registro electrofisiológico intracelular

Con el estudio electrofisiológico intracelular se quería averiguar la modificación de la neurotransmisión espontánea por la acción de las corrientes galvánicas. Por otro lado la NTG induce un incremento en la liberación espontánea de ACh. Este registro lo que nos permite es poder apreciar los mEPPs, que son potenciales de placa en miniatura. Estos se deben a la liberación espontánea de cantidades discretas de acetilcolina (21). Por lo tanto mediante esta técnica analizamos la frecuencia de aparición de mEPPs, la X_n (la amplitud de los mEPPs) y el V_m (el potencial de membrana) para observar el efecto de las CG.

Interpretamos los resultados obtenidos como positivos, ya que se vio como tras 3h y 24h de la aplicación de las CG a un ratón con NTG que tal y como hemos visto en los resultados, la frecuencia y amplitud de los mEPPs disminuían al igual que también lo hacía el potencial de membrana. Es decir, se consigue una normalización de los parámetros evaluados. Por lo tanto, podemos afirmar que la aplicación de las CG revierte el efecto de la NTG, sustancia causante de PGM.

5.4: Registro electromiográfico.

En este estudio se creó un modelo animal con el SDM gracias a la inyección de NTG. Posteriormente, se utilizaron las CG como tratamiento de esta patología i se realizó un estudio electromiográfico. El registro electromiográfico nos sirve para encontrar ruido de placa en el músculo analizado, en este caso el gastrocnemio. Según algunos autores, este ruido de placa nos indica la existencia de un PGM (22). De esta forma, el registro electromiográfico fue

importante para nuestro estudio, pudiendo comparar los valores obtenidos en los diferentes grupos. Como bien se puede observar en los resultados, más concretamente en la figura 6, el grupo tratado con CG tiene unos valores similares a los del grupo control. Esto lo interpretamos de forma que las CG tienen un efecto positivo en el músculo lesionado, invirtiendo el efecto de la NTG y consiguiendo unos resultados satisfactorios.

El estudio “An experimental study of muscular injury repair in a mouse model of notexin-induced lesion with EPI® technique” obtiene unos resultados óptimos del tratamiento con las CG en un musculo lesionado, concluyendo que las CG parecen ser un tratamiento eficaz para tejidos musculares patológicos (2).

En nuestro estudio y en el mencionado anteriormente, existen muchas diferencias metodológicas. Se han usado protocolos distintos, y podemos destacar que ellos han utilizado otra sustancia lesiva o que el tiempo de aplicación no ha sido el mismo. Pero a pesar de estas diferencias, el resultado que hemos obtenido es también positivo y al igual que ellos, nos parece razonable afirmar que tras nuestros resultados, el uso de CG como tratamiento para un tejido muscular patológico es un tratamiento útil.

6. LIMITACIONES

Este estudio tiene ciertas limitaciones. El estudio está hecho en un modelo animal, esto nos da una orientación de los resultados del tratamiento con CG pero no nos da el suficiente conocimiento para saber los efectos exactos en humanos.

Por otro lado en nuestros experimentos los parámetros utilizados siempre han sido $I=3mA$, $t=3s$, 3 repeticiones y 1 minuto entre aplicaciones. Este paradigma de estímulo usado ha sido en base a que son los utilizados en las formaciones regladas de esta técnica, aunque realmente no sabemos si son demasiado elevados o bien insuficientes, ya que cabe la posibilidad de que otros valores sean más beneficiosos.

7. LINEAS FUTURAS

La aplicación de CG en humanos tiene mayoritariamente referencias bibliográficas en

tejidos tendinosos, sobre todo en caso de tendinosis, a pesar de que el dolor miofascial es una patología común en el tratamiento de los fisioterapeutas. Resultaría entonces interesante valorar los cambios tanto a nivel intracelular como extracelular en humanos, para dar una cierta evidencia de esta técnica en músculos. Por otro lado sería muy interesante comparar el tratamiento de PGM, entre punción seca (técnica más aplicada hoy en día) y CG, y valorar en pacientes reales las variaciones entre esas dos técnicas sobre el dolor post punción.

8. CONCLUSIONES

Tras la realización de este estudio hemos podido sacar las siguientes conclusiones:

1. La inserción de agujas junto con corrientes galvánicas no provoca reacciones adversas:
 - A. Se ha demostrado que las agujas no dejan una cantidad relevante de residuos metales en el tejido muscular tras las aplicaciones de las CG.
 - B. Con la técnica de azul de metileno se ha podido observar que tras la aplicación de CG no se provoca ninguna lesión en el tejido muscular.
2. Respecto a la neurotransmisión:
 - A. Tras el uso de las CG se puede observar en el registro electrofisiológico que actúa sobre la neurotransmisión espontánea, provocando una normalización de la frecuencia, amplitud de mEPPs y el potencial de membrana.
 - B. Tras el registro electromiográfico en el músculo tratado, se ha podido observar una disminución del número de áreas con ruido de placa y que alcanzó valores similares a los controles.

Conclusión final: la aplicación de CG parece ser un tratamiento eficaz en tejidos musculares patológicos en un modelo animal.

9. BIBLIOGRAFIA:

- 1) Sánchez JM, Valera F, Minaya F, Vallés SL, Estrela JM, García P et al. Mecanismos moleculares de la electrólisis percutánea intratisular. En: Valera F, Minaya F, editores. Fisioterapia invasiva. Barcelona: Elsevier; 2013. P. 187-201.
- 2) Abat F, Valles S-L, Gelber P-E, Polidori F, Jorda A, García-Herreros S, et al. An experimental study of muscular injury repair in a mouse model of notexin-induced lesion with EPI® technique. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. 2015;7:7.
- 3) Silva RMV da, Costa L de S, Coldibeli E da S, Fernandes M do RS, Meyer PF, Ronzio OA. Effects of Microelectrólisis Percutaneous (MEP ®) on pain and functionality in patients with calcaneal tendinopathy. mtprehabjournal. 2014 Aug 18;12(0):188.
- 4) Padrón Benítez A, Rojas Mederos S. Estudio comparativo de la electrolisis percutánea a baja y alta intensidad en la tendinopatía rotuliana. Análisis funcional y estructural. Revista Fisioterapia Invasiva. :10–7.
- 5) Xie YM, Xu S, Zhang CS, Xue CC. Examination of surface conditions and other physical properties of commonly used stainless steel acupuncture needles. Acupuncture in Medicine. 2014 Apr 1;32(2):146–54.
- 6) Robertson GSM, Wemyss-Holden SA, Dennison AR, Hall PDL, Baxter P, Maddern GJ. Experimental study of electrolysis-induced hepatic necrosis. Br J Surg. 1998 Sep 1;85(9):1212–6.
- 7) González FA, Valles SL, Ghertner PEG, Polidori F, Stitik TP, Herreros SG, et al. Mecanismos moleculares de reparación mediante la técnica Electrólisis Percutánea

Intratisular en la tendinosis rotuliana. Revista española de cirugía ortopédica y traumatología. 2014;58(4):201–5.

8) Huard J, Lu A, Mu X, Guo P, Li Y. Muscle injuries and repair: What's new on the horizon! Cells, tissues, organs, Cells, tissues, organs. 2016 Nov 1;202(3–4):227–36.

9) Jobe FW, Ciccotti MG. Lateral and medial epicondylitis of the elbow. J Am Acad Orthop Surg. 1994;2:1-8.

10) Bishai SK, Plancher KD. The Basic Science of Lateral Epicondylosis: Update for the Future. Techniques in Orthopaedics. Lippencott Williams & Wilkins, Inc 21(4):250-255.

11) Minaya Muñoz F, Valera Garrido F, Sánchez Ibáñez JM, Medina i Mirapeix F. Estudio de coste-efectividad de la electrólisis percutánea intratisular (EPI®) en las epicondilalgias. Fisioterapia. :208–15.

12) Mense S, Simons DG, Russell IJ. Muscle pain. Understanding its nature, diagnosis, and treatment. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins; 2001.

13) Rickards LD. The effectiveness of non-invasive treatments for active myofascial trigger point pain: A systematic review of the literature. International Journal of Osteopathic Medicine. 2006 Dec 1;9(4):120–36.

14) Simons DG, Travell JG, Simons LS. 2nd ed. In: Travell & Simons' myofascial pain and dysfunction: the trigger point manual, vol. 1. Baltimore: Williams & Wilkins; 1999.

15) Travell JG, Simons DG. In: Myofascial pain and dysfunction: the trigger point manual: the upper extremities, vol. 1. Baltimore: Williams & Wilkins; 1983.

- 16) Ge H-Y, Fernández-de-las-Peñas C, Yue S-W. Myofascial trigger points: spontaneous electrical activity and its consequences for pain induction and propagation. *Chin Med*. 2011 Mar 25;6:13.
- 17) Martínez Cuenca JM, Pecos Martín D. Criterios diagnósticos y características clínicas de los puntos gatillo miofasciales. *Fisioterapia*. :65–8.
- 18) Gerwin RD, Dommerholt J, Shah JP. An expansion of Simons' integrated hypothesis of trigger point formation. *Curr Pain Headache Rep*. 2004 Dec;8(6):468–75.
- 19) Kimura, Jun. *Electrodiagnosis in diseases of nerve and muscle: principles and practice*. Jun Kimura. Edition 3. Chapter 13: Techniques to assess muscle function. pp307-325. Oxford University press. 2001.
- 20) Chen JT, Chung KC, Hou CR, Kuan TS, Chen SM, Hong CZ. Inhibitory effect of dry needling on the spontaneous electrical activity recorded from myofascial trigger spots of rabbit skeletal muscle. *Am J Phys Med Rehabil*. 2001 Oct;80(10):729–35.
- 21) Rosato MD. Estudio electrofisiológico y farmacológico de la transmisión sináptica en la unión neuromuscular de rata durante el desarrollo [tesis a Internet]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires; 2000 [citada 05/06/2017]. 158 p. Disponible a: http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3277_RosatoSiri.pdf
- 22) Kuan T-S, Hsieh Y-L, Chen S-M, Chen J-T, Yen W-C, Hong C-Z. The myofascial trigger point region: correlation between the degree of irritability and the prevalence of endplate noise. *Am J Phys Med Rehabil*. 2007 Mar;86(3):183-9.