



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultad de Enfermería y Fisioterapia

Memoria de Trabajo de Fin de Grado

Efectividad de la terapia con campos magnéticos pulsados (PEMF) en la regeneración de tejido en pacientes con lesiones o patologías óseas

Jesús Castiñeira Montoro

Grado de Fisioterapia

Año académico 2018-19

DNI del alumno: 43225605A

Trabajo tutelado por Iosune Salinas Bueno
Departamento de Fisioterapia

Palabras clave del trabajo:

Magnetoterapia, PEMF, Regeneración ósea, Sanación ósea, Lesión ósea

Indice

Resumen.....	Página 2
Palabras clave.....	Página 2
Introducción.....	Página 2
Objetivos.....	Página 4
Estrategia bibliográfica.....	Página 4
Resultados.....	Página 6
Discusión.....	Página 10
Conclusión.....	Página 13
Bibliografía.....	Página 14
Anexos.....	Página 16

Resumen

Este trabajo se basa en varios estudios sobre la eficacia del tratamiento con campos magnéticos en patologías óseas. Para esclarecer y verificar su uso, variables y parámetros se han comparado los resultados de dichos estudios según patología o lesión. Los resultados han concluido que es efectivo, sobretodo en lesiones por fractura con unión tardía o falta de unión en huesos largos y mejorando la sintomatología y regeneración de tejido en osteoartritis, pero no se han observado mejorías en otras patologías tales como osteoporosis o en fracturas de huesos cortos. Se necesita mas investigación en este campo para estandarizar tratamientos, parámetros y conocer sus efectos fisiológicos.

Palabras clave

Magnetoterapia, PEMF, Regeneración ósea, Sanación ósea, Lesión ósea

Introducción

Las lesiones y patologías óseas, junto a la unión tardía y la falta de unión siguen siendo complicaciones intratables después de la reducción quirúrgica y la fijación de las fracturas de huesos largos. El tratamiento quirúrgico generalmente se prefiere en el tratamiento de una falta de unión establecida, especialmente en aquellas fracturas que se acompañan por infección, deformidad, acortamiento o defecto óseo cuyos objetivos son conseguir una rápida y buena consolidación. (10,9) Se estima que entre el 5 y el 10% de todas las fracturas muestran una curación deficiente. Dichas lesiones necesitan un gran tiempo de recuperación, esto afecta a la reinserción laboral, calidad de vida del afectado, aumenta medios sanitarios y con ello costes económicos por parte del usuario y del sistema de salud.

En el tratamiento de estas lesiones hay variabilidad de terapias coadyuvantes, y una de las utilizadas en el ámbito de la lesión ósea es sin duda la magnetoterapia, que durante la historia ha demostrado ser eficaz en el tratamiento de las fracturas no unidas, (7,12) la

cual fue aprobada en 1979 por la FDA (Food and Drug Administration) aunque fue en 1982, cuando Goldberg et al demostraron una tasa de curación total de aproximadamente el 75% en una revisión de 11,000 casos de fallos de consolidación tratados con PEMF (campo electromagnético pulsado). Además se le atribuyen efectos analgésicos, antiinflamatorios, reguladores del metabolismo óseo y no son invasivas, lo que puede tener un futuro prometedor a la hora de tratar dichas patologías aunque su utilización ha sido objeto de controversia por la falta de evidencia científica, estandarización de parámetros y variables.

(7,10) En la curación de las fracturas y problemas óseos, ya sean tratadas quirúrgicamente o por proceso conservador, la osteogénesis, que es un proceso dinámico, que puede verse influido por la estimulación biofísica con fin de regeneración ósea. El hueso consiste en una matriz osteoide sintetizada por los osteoblastos. Durante su recambio, que es un proceso continuo, los osteoclastos (OC) eliminan el hueso viejo y los osteoblastos depositan hueso nuevo. Los OC se derivan de células precursoras de osteoclastos, que maduran hacia OC después de la unión del activador del receptor del factor nuclear kB Ligando (RANKL) a su receptor en la membrana de la célula precursora del OC, activador del receptor del factor nuclear kB (RANK). La osteoprotegerina (OPG) es una forma soluble de RANK y actúa como eliminador de RANKL, lo que inhibe los precursores de OC para que se conviertan en OC maduros. Tanto RANKL como OPG son sintetizados por los osteoblastos. El equilibrio entre la expresión de RANKL y OPG determina si el hueso se forma o se elimina. Se ha descubierto la interacción que resulta de la exposición de campos magnéticos a células osteoblásticas humanas in vitro y el papel que tiene en la regulación de RANKL y OPG para la generación de hueso en la osteogénesis, lo que se podría extrapolar al tratamiento de las lesiones que tienen como problema un fallo en la regeneración de hueso. Por ello la terapia con campos magnéticos es una herramienta que promete grandes resultados en el tratamiento de fracturas óseas, ya que podría disminuir el tiempo de recuperación y aumentar su calidad, pero también podría ser beneficiosa para otro tipo de patologías del mismo ámbito por su acción en la regulación del metabolismo de dicho tejido.

Por otro lado, el material y el equipo terapéutico necesario es voluminoso y costoso, por lo que se debería barajar la relación coste/efecto de este tratamiento, y sobre todo, si existen otras terapias igual de efectivas y más eficientes.

Objetivos

Objetivo General:

Verificar la efectividad de la magnetoterapia en la regeneración del tejido en lesiones o patologías óseas.

Objetivos secundarios:

- Comprobar que lesión responde mejor al tratamiento con campos magnéticos.
- Observar con que terapia, combinada con magnetoterapia, se obtienen mejores resultados.
- Mostrar cuales parámetros son óptimos para la recuperación del tejido óseo.
- Confirmar si es eficiente el tratamiento con magnetoterapia.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

Principales	Secundarios
Magnetic field therapy	Osteoarthritis
Electromagnetic Field	Humans
Bone regeneration	Analgesia
Bone healing	Inflammation
PEMF	Osteoporosis

Para este estudio se ha buscado en 3 bases de datos: PEDro, PUBMED y CINAHL con un resultado de 20 artículos relacionados con la terapia con campos magnéticos pulsados, donde los criterios de exclusión fueros los siguientes: Que no tratasen sobre veterinaria o estudios realizados en animales, que no tratasen sobre terapia con campos magnéticos o alguna terapia en combinación con ésta y que no fueran aplicados a patologías o lesiones óseas o de cartílago.

PEDro Es una base de datos gratuita basado en la evidencia científica con más de 43.000 ensayos controlados aleatorios, revisiones sistemáticas y guías de práctica clínica sobre Fisioterapia. Esta Base de datos usa su propio sistema de búsqueda bibliográfica que no requiere booleanos ni palabras clave, si no elegir unas pestañas entre las opciones que te ofrece tales cómo temática, región del cuerpo, terapia... En temática (Abstract y título) se ha optado por el término ``Magnetic Field Therapy'' y en subespecialidad por musculoesquelética, con un resultado de 20 artículos, los cuales se han seleccionado 2 de ellos.

PUBMED es una base de datos que comprende mas de 29 millones de citas de literatura biomédica de MEDLINE, revistas de biociencias y libros online. Las citas y los resúmenes de PubMed incluyen los campos de la biomedicina y la salud, que cubren partes de las ciencias de la vida, ciencias del comportamiento, ciencias químicas y bioingeniería. PubMed también brinda acceso a otros sitios web relevantes y enlaces a otros recursos de biología molecular del NCBI.

La búsqueda en dicha base se ha realizado con los siguientes booleanos y palabras clave: ``(Magnetic field therapy AND humans) AND bone regeneration'' con un resultado de 52 artículos, los cuales, 15 de ellos fueron seleccionados para el estudio.

CINAHL (*Cumulative Index to Nursing & Allied Health Literature*) es una base de datos especialmente diseñada para responder a las necesidades de los profesionales de enfermería, fisioterapia y terapia ocupacional, así como otros relacionados. Facilita acceso a prácticamente todas las revistas sobre enfermería, fisioterapia y terapia ocupacional publicadas en inglés, a las publicaciones de la American Nurses' Association y la National League for Nursing, así como revistas procedentes de otras 17 disciplinas relacionadas con la salud.

En esta base se han usado los siguientes booleanos y palabras clave: ``("Magnetic field therapy" AND humans) AND "bone regeneration" AND PEMF'' , encontrando 58 artículos, que descartando los que ya se obtuvieron con otra base de datos, se seleccionaron 3.

Resultados

Estudio	Autor	Año	Tipo de estudio	Resultados
(7) Bone Composition and Healing Open Electromagnetic and Biomechanical Problem.	Biggane, Peter et.al.	2016	Revisión sistemática	El PEMF puede mejorar o dificultar la osteoclastogénesis (crecimiento óseo) dependiendo de la magnitud. Un PEMF más alto (12.2 $\mu\text{V} / \text{cm}$) suprime la OPG, lo que resulta en osteoclastogénesis. El PEMF inferior (4.8 $\mu\text{V} / \text{cm}$) suprime el M-CSF, que es necesario para unirse a los osteoblastos junto con RANKL para que la vía de la osteoclastogénesis continúe. A 45 Hz, PEMF comienza a inhibir la formación de osteoclastos, lo que resulta en una disminución de los marcadores genéricos de osteoclastos. Esto se deduce de la observación anterior de que PEMF solo es efectivo en humanos dentro de un rango de 1-50 Hz. A 7 Hz, PEMF estimula la diferenciación de osteoclastos, una actividad que resulta en marcadores genéricos de osteoclastos altamente expresados .
(9) Healing in the new millenium: Bone stimulators. An overview of where we've been and where we may be heading.	Cook, Jeremy J. et.al.	2014	Revisión sistemática	Aumenta la sanación del hueso y del cartilago, aunque necesita mas estudios de alta calidad. Aumenta la condrogénesis. Disminuye el dolor, degeneración del cartilago y aumenta el rango en OA. En artritis disminuye la inflamación a 5Hz-25Hz 3-5 veces a la semana. Osteoporosis poca evidencia.
(8) Comparison of Low-Intensity Pulsed Ultrasound and Pulsed Electromagnetic Field Treatments on OPG and RANKL Expression in Human Osteoblast-like Cells.	Borsje, Manon A. et.al.	2010	Ensayo clínico. Se cultivaron células Saos-2 similares a osteoblastos humanos en matraces de cultivo de tejidos pequeños para el experimento PEMF y en placas de cultivo de seis pocillos para el experimento LIPUS. Las células se sembraron a 5×10^5 células por matraz / placa y se cultivaron hasta que se alcanzó una confluencia del 80% en Dubeccos Modification of Eagles Medium (DMEM) w / o phenol red (Gibco, Paisley, Scotland) suplementado con 10% de suero fetal bovino (FBS) y 1% de penicilina / estreptomycin (ambos de Invitrogen bv, Breda, The Netherlands) en una incubadora humidificada a 37°C y 5% de CO_2 . Para	LIPUS Y PEMF afectan sobre RANKL y OPG en osteoblastos lo que reduce la osteoclastogénesis al inicio del tratamiento con LIPUS y a la octava hora de PEMF lo que es indicativo de reducción de osteolisis.

			evitar los efectos del suero fresco en la inducción de genes, se utilizó medio con FBS al 1% 2 días antes de comenzar el experimento.	
(10) Early application of pulsed electromagnetic field in the treatment of postoperative delayed union of long-bone fractures.	Qiu, Xu-sheng et.al.	2013	prospective randomized controlled study. 58 pacientes con fracturas con una unión retardada de entre 16 semanas y 6 meses, se dividieron aleatoriamente en dos grupos y se sometieron a una aplicación temprana de PEMF o tratamiento placebo.	Grupo 1: tiempo de recuperación entre 4,8 y 2,3 meses. Tasa de unión 77,4%. Grupo 2: Tiempo de recuperación entre 4,4 y 1,6 meses. Tasa de unión 48,1%. Conclusiones: La aplicación temprana del tratamiento con PEMF promueve la curación de fracturas y conduce a una tasa de unión significativamente mayor en comparación con el tratamiento simulado. A pesar de que la tasa de éxito final en este estudio no fue superior a la medida en otros ensayos de PEMF, se muestra que los pacientes se beneficiaron de un menor tiempo de sufrimiento general entre la fractura y la reparación.
(1) Electromagnetic bone growth stimulation in patients with femoral neck fractures treated with screws.	C, Faldini et.al.	2010	Ensayo clínico aleatorio con doble ciego. 77 pacientes con fracturas de cuello de fémur fijadas quirúrgicamente con cánulas aleatorizados en 2 grupos: El primero con PEMF 8h/día, el segundo con PEMF placebo.	La curación por fractura se logró en el 94% de los pacientes que cumplían con los requisitos activos en comparación con el 69% del grupo placebo. El porcentaje de osteonecrosis fue mayor en el grupo de placebo, pero no alcanza significación estadística (37% frente a 49%). La evaluación del dolor evidenció niveles significativamente más bajos en el grupo activo compatible en comparación con el grupo de placebo en todas las visitas. Los resultados muestran que el PEMF mejora el proceso de curación en las fracturas, limita complicaciones y reduce el dolor, redundando todo ello en una mejora en la calidad de vida del paciente. La estimulación representa un apoyo importante a la cirugía. Por otra parte se espera que aumente los costos médicos.
(4) The effects of pulsed electromagnetic field in the treatment of knee osteoarthritis: A randomized, placebo-controlled trial.	Ay, Saime et.al.	2009	Randomized controlled placebo trial. 55 pacientes en estudio de 3 semanas, 15 sesiones de 20 min en OA grados 2 y 3 incluidos.	Probablemente alivia el dolor sin resultados estadísticamente significativos. El 54% de los paciente afirma tener rigidez mañanera entre 30 y 50 min. En la encuesta Lequesne observan mejoras. Conclusión: Parece mejorar el dolor y mejora relacionada con la activación de receptores condrocitos transformando el factor de crecimiento, que forma un papel importante en la regeneración de cartílago.
(3) Electromagnetic field stimulation for treating delayed union or non-union of long bone fractures in adults.	Griffin, Xavier L et.al.	2011	Revisión sistemática	Esta revisión destaca las limitaciones de la evidencia disponible sobre la estimulación del campo electromagnético en el tratamiento actual de la unión retardada y la no unión de las fracturas de huesos largos. La evidencia limitada sugiere que es probable que la estimulación del campo electromagnético sea leve y que ofrezca beneficios físicos, pero aún no es concluyente e insuficiente para informar la práctica actual.
(19) Electromagnetic stimulation as coadjuvant in the healing of diaphyseal femoral fractures.	Alfredo Martinez-Rondanelli et.al.	2014	Randomized controlled trial. 63 pacientes de cualquier sexo, edad entre 18 y 60 años, con una fractura cerrada en la diáfisis femoral o una fractura abierta secundaria a una bala de baja velocidad. 32 pacientes con PEMF señales sinusoidales de baja frecuencia (5-105 Hz) y campos magnéticos entre	Los pacientes fueron expuestos a un campo electromagnético en comparación con el grupo placebo. En la semana 12, las uniones se lograron en un 75% frente al 58% (p = 0,1), y en la semana 18, las uniones se lograron en un 94% frente al 80% (p = 0,15). Una curación más rápida se traduce en un apoyo temprano, una función mejorada y una independencia, que luego puede facilitar el regreso al trabajo y las actividades diarias con las repercusiones sociales, psicológicas y económicas que esto trae consigo.

			0.5–2.0 mT (18 semanas de tto). 31 Pacientes con placebo.	
(13) Carpal scaphoid non-union treatment: a retrospective trial comparing simple retrograde percutaneous screw fixation versus percutaneous screw fixation plus pulsed electromagnetic fields (Physiostim).	Pereira, Alexis et.al.	2017	Estudio retrospectivo Dieciocho pacientes con "carpal scaphoid non-union". Nueve pacientes tratados con cirugía "percutaneous screw fixation" y tratamiento de campo de pulsos electromagnéticos. Nueve pacientes tratados con cirugía "percutaneous screw fixation" simple.	No se ha demostrado la necesidad de añadir el tratamiento de campo de pulsos electromagnéticos a la intervención realizada teniendo a la variación de los porcentajes de los resultados a 0 mostrando el mismo resultado si se distingue entre los dos tipos de lesiones.
(12) Effect on Clinical Outcome and Growth Factor Synthesis With Adjunctive Use of Pulsed Electromagnetic Fields for Fifth Metatarsal Nonunion Fracture.	Streit, Adam et.al.	2016	Double-Blind Randomized Study. 8 pacientes a los que se les había diagnosticado una fractura tardía o sin unión del quinto metatarsiano, que no mostraron signos visibles de curación progresiva durante un mínimo de 3 meses de duración, y entre las edades de 18 y 75 años años. Grupo 1: 3 pacientes tratados con cirugía y PEMF placebo. Grupo 2: 5 pacientes tratados quirúrgicamente y expuestos a 10 horas de PEMF/día.	Todas las fracturas se curaron en ambos grupos de tratamiento. El tiempo hasta la unión radiográfica fue de 14.7 (rango de 6 a 21) semanas y 8.9 (rango de 6 a 16) semanas para los grupos 1 y 2, respectivamente. El uso complementario de PEMF para las no uniones de quinta metatarsiano produjo un aumento significativo en el factor de crecimiento placentario local. PEMF también produjo tendencias hacia niveles más altos de otros factores y un tiempo más rápido para la unión radiográfica en comparación con los controles no estimulados.
(6) Effects of pulsed electromagnetic field on healing mandibular fracture: A preliminary clinical study.	Abdelrahim, Adham et.al.	2011	Estudio clínico. 12 pacientes con fractura mandibular interdental, con suficiente oclusión dental para permitir MMF, sin infección, que han elegido intervención cerrada y que no tienen problemas que afecten a la mandíbula. Grupo A: 6 pacientes, tratamiento con PEMF 2h/día 12 días después de la operación y de la retirada del MMF a las 2 semanas. 200 nanosegundos de pulso con subida de 8 nanosegundos a 72Hz. Grupo B: 6 Pacientes operados con MMF retirado a las 4 semanas.	En este estudio no se han encontrado grandes diferencias entre los dos grupos. PEMF parece aliviar algo de dolor y puede ser beneficioso para las fracturas con tratamiento conservador, ya que reduce la osteoclasis.
(20) Low frequency pulsed	Ganesan, Kalaivani		Revisión sistemática	PEMF tiene el potencial para regenerar el tejido lesionado por estimulación de la matriz y la síntesis de componentes y

electromagnetic field: A viable alternative therapy for arthritis.	et.al.	2009		regular la osteogénesis, además de aliviar el dolor y la inflamación
(14) Effects of magnetic field therapy after taping application on pain and function of patients with knee osteoarthritis.	Park, Sang-Hyuck et.al.	2017	Randomized controlled trial. 30 pacientes por asignación aleatoria; Dividido en dos grupos experimentales; El grupo experimental 1: Aplicación de cinta no elástica en el lado medial de la rodilla tras fisioterapia general seguida de 15 minutos de aplicación de campo magnético. En el grupo experimental 2, mismo procedimiento pero se aplica cinta elástica. Grupo control 10 pacientes que reciben 15 minutos de fisioterapia, aplicación de una compresa caliente y 20 minutos de terapia de corriente interferencial.	Todos los grupos mostraron cambios significativos, el más destacable es la diferencia en la mejora de los grupos experimentales (con tape y PEMF) con respecto al tercero (sin tape ni PEMF). Entre los grupos experimentales no hay diferencia significativa.
(11) Effects of Pulsed Electromagnetic Fields on Postmenopausal Osteoporosis	Zhu, Siyi et.al.	2017	Revisión sistemática.	Dados los vacíos entre el mecanismo fisiológico y los efectos terapéuticos heterogéneos de los PEMF, se necesita una investigación básica que incluya condiciones de exposición mejor definidas. Solo después de eso, la aplicación de PEMFs para el tratamiento de PMOP puede ser reconocida como segura y eficiente.
(5) Pulsed electromagnetic fields for the treatment of tibial delayed unions and nonunions	A., Assiotis et.al.	2012	Prospective clinical study/review. 44 personas, 17 mujeres y 27 hombres. Edades entre 31,2 y 58 años .	Demostando un éxito 77,3% de resultados en los diferentes tipos de fracturas, asegura una mayor probabilidad de curación a mayor duración del uso de PEMF pero sin mostrar una evidencia estadística considerable. Muestra como tampoco hay relación entre las variables de edad, uso de tabaco, diabetes, tibia afectada, tipo de fractura o tipo de tratamiento inicial.
(2) Effect of pulsed electromagnetic fields on human osteoblast cultures.	Barnaba, Simona et.al.	2013	Se aislaron células osteoblásticas primarias de cabezas femorales obtenidas de sujetos sanos, se realizaron tres digestiones secuenciales de 20, 40 y 60 minutos. Se realizaron dos cultivos distintos: expuesto a PEMF y el otro no, se incubaron por separado en incubadoras diferentes.	Los osteoblastos expuestos mostraron una tasa de proliferación aumentada en comparación con las células de control sin tratar, hablamos de una diferencia estadísticamente significativa: después de 7 y 10 días de exposición el grupo de PEMF mostró un aumento de 1,8%, 29% y 55.5% después de 72 horas, 7 y 10 días. Así también la actividad específica en un 1%, 20% y 58% después de 72 horas, 7 y 10 días respectivamente. Los distintos tipos de CEM podrían influir de manera diferente en el mecanismo molecular de estimulación de células óseas. La estimulación con PEMF, aceleró la proliferación y diferenciación celular, mientras que en el otro grupo se produjo una disminución del crecimiento tanto de la tasa de proliferación como en la diferenciación celular.
(16) Pulsed magnetic therapy increases osteogenic differentiation of Mesenchymal Stem cells	Tocco, Ilaria et.al.	2016	Ensayo clínico. Células in vitro ADSC (adipose derived stem cells) de pacientes sanos de entre 35 y 58 años obtenidas de abdominoplastia.	ELF PEMF no tienen ningún efecto en la diferenciación de ADSC. Por otro lado, TMR ha demostrado una mejora de la recuperación por un aumento de la vascularización y movilización celular. Se aplica a las seed cells en entornos de ingeniería de tejidos, proporcionando nuevos conocimientos y parámetros para aplicaciones clínicas dirigidas a la curación

			Grupo experimental con PEMF y control sin PEMF.	ósea. Se necesitan estudios más detallados para comprender la relación entre los efectos biológicos y frecuencias PEMF, duración del pulso y modulación del pulso.
(17) The clinical and radiological outcome of pulsed electromagnetic field treatment for acute scaphoid fractures	Göttgens, K. W. A. et.al.	2012	RANDOMISED DOUBLE-BLIND PLACEBO-CONTROLLED MULTICENTRE TRIAL. N=53 pacientes mayores de 18 años con una fractura unilateral del escafoides, tipo A1, A2, B1, B2 y B3, según la Clasificación de Herbert. N=24 En grupo A con PEMF 24h al día con una frecuencia de 15Hz. N=29 en grupo B con placebo.	No se han encontrado diferencias entre la fuerza, movilidad y tiempo de unión entre los grupos A y B. La conclusión es que añadir PEMF a un tratamiento conservador de escafoides no ofrece beneficios en la aceleración ni unión.
(15) The effects of low-intensity pulsed ultrasound and pulsed electromagnetic fields bone growth stimulation in acute fractures	Hannema, P. F.W. et.al.	2014	Revisión sistemática y metaanálisis	El tiempo necesario para la unión ósea se ha visto recortado significativamente en pacientes tratados, sin haber diferencias significativas entre los dos grupos. la evidencia actual de los ensayos aleatorios es insuficiente para concluir un beneficio de la estimulación del crecimiento óseo de LIPUS o PEMF para reducir la incidencia de no unión cuando se usa para el tratamiento de fracturas agudas. Con respecto al tiempo para la unión radiológica, encontramos resultados significativos que sugieren que el uso de PEMF o LIPUS en las fracturas agudas puede ser beneficioso, en las fracturas tratadas de manera no operativa. El uso de la estimulación del crecimiento óseo puede acelerar el tiempo hasta la unión radiológica en aproximadamente 20-27 días.
(18) Efficacy of low frequency pulsed subsensory threshold electrical stimulation vs placebo on pain and physical function in people with knee osteoarthritis	Negm, A. et.al.	2013	Revisión sistemática	Los resultados sugieren que PEMF en menos de 100Hz es efectivo para mejorar la funcionalidad pero no el dolor en adultos con OA cegados al tratamiento. No hay una gran evidencia ya que los estudios son limitados. PEMF escasos efectos adversos tales como erupciones en la piel pero mas estudios son necesarios para confirmar los hallazgos de este estudio.

Discusión

En la práctica clínica podemos extrapolar que in vitro, las células osteoblásticas humanas se ven afectadas por PEMF dependiendo las variables y parámetros aplicados. (7) Según Biggane, Peter et.al., para conseguir un aumento en la diferenciación celular y osteoclastogénesis, se opta por potencias de PEMF altas (12,2 microV/cm) y

frecuencias bajas (7Hz), aunque LIPUS requiere de un menor tiempo de tratamiento para el mismo beneficio. (16) Tocco, Ilaria et.al. demuestra que no tienen efecto en la diferenciación en ADSC pero que puede afectar a la vascularización y movilización celular. Parece ser que el uso de PEMF y LIPUS actúa satisfactoriamente sobre células osteoblásticas aisladas en potencias bajas.

En el caso más práctico, el de las fracturas de huesos largos, donde se han encontrado más estudios y evidencia, se ha observado que la mayoría de dichos estudios demuestran que hay diferencias significativas en la aceleración y consolidación de las fracturas y las no uniones. (10) Qiu, Xu-sheng et.al. habla sobre una diferencia de 77,4% frente a 48,1% de tasa de consolidación, (1) C, Faldini et.al. de un 94% frente un 69% de tasa de consolidación, (19) Alfredo Martinez-Rondanelli et.al. de 94% vs 80% a la semana 18 del tratamiento con PEMF de señales sinusoidales de baja frecuencia (5-105 Hz) y campos magnéticos entre 0.5–2.0 mT y (5) A., Assiotis et.al. un 77,3% tasa de sanación radiográfica. Además de éste éxito en la regeneración ósea, (15) PEMF también muestra efectos analgésicos, lo que puede ayudar a acelerar el protocolo de rehabilitación incluso 20-27 días y disminuir el discomfort del paciente. En este tipo de lesiones, (10, 1, 19, 5, 15) PEMF parece funcionar bastante bien, sobretodo en una exposición temprana, ya que se observa una tasa de 77,3% - 94% de consolidación frente a 48,1% - 80% mediante baja frecuencia y ha disminuido el tiempo general de tratamiento al acelerar la consolidación y el tiempo de apoyo.

En las fracturas de escafoides, (17,13) los estudios han demostrado que no hay diferencias en el tratamiento con PEMF, han concluido que no es necesario su uso en este tipo de patologías y que hace falta más investigación en este campo.

Respecto a las fracturas mandibulares, (6) tampoco se ha demostrado mucho más beneficio que una ligera analgesia. Quizá los parámetros (200 nanosegundos de pulso con subida de 8 nanosegundos a 72Hz) o el tiempo de tratamiento que se han utilizado no sean los más adecuados para este tipo de hueso. Para justificar lo anterior se necesitarían más estudios y unos parámetros estandarizados.

En relación a OA, (4) la evidencia indica que PEMF parece tener efecto en la estimulación de la matriz, la síntesis de componentes relacionada con la activación de receptores condrocitos transformando el factor de crecimiento, que forma un papel

importante en la regeneración de cartílago (Condrogénesis), aumento de rango y regular la osteogénesis, (9) además de aliviar el dolor y la inflamación a 5Hz-25Hz 3-5 veces a la semana. (14) La aplicación de tape elástico y rígido puede ayudar levemente al aumento de rango y disminución de dolor, por lo que puede ser una terapia interesante a combinar con PEMF, aunque la escasez de estudios sobre terapias combinadas con campos magnéticos limita bastante el tratamiento conjunto en OA. (4,20,14,) PEMF parece ser ligeramente útil en este tipo de patologías para mitigar la sintomatología y en la regeneración del tejido lesionado a bajas frecuencias aunque existe controversia, ya que hay estudios de bastante peso (18) que sugieren que sólo mejora la funcionalidad ligeramente bajo tratamiento de menos de 100 Hz. Es necesaria mas investigación en este caso para poder tener una respuesta válida.

El papel que juega PEMF en la (11) osteoporosis post menopáusica sigue siendo desconocido por el déficit de estudios en humanos relacionados con esta patología. Aunque teóricamente in vitro de excelentes resultados, los parámetros son varios y hasta que no exista evidencia suficiente para contrastar y datos estandarizados de PEMF sobre este campo, no será fiable y eficiente su uso en humanos.

Por otro lado, si mezclamos los estudios y los organizamos por intensidades y parámetros (frecuencia y tiempo de exposición a los campos mayoritariamente), la mayoría (8,7,9,1,19,12) hablan de resultados a dosis altas, con sesiones alrededor de 8 y 10 horas al día con un dispositivo de campos magnéticos pulsados portátil y frecuencias relativamente bajas informan de mayor rango de beneficio y tasa de unión a excepción de un estudio (17) en escafoides que aplica 24 horas de PEMF a 15 Hz, y los pocos estudios (4,6,18) que utilizaron frecuencias altas (más cercanas a 100 Hz) o tiempos mas escasos (entre 10 minutos – 2 horas al día) no remarcan ningún provecho notable.

Definitivamente PEMF parece tener un claro efecto positivo en lesiones cómo fracturas de huesos largos y en patologías como OA y una escasez de efectos adversos. Los parámetros y variables aún no están claros, pero se han obtenido mejores resultados con frecuencias bajas (5hz-50Hz aprox.) y largos tiempos de exposición a los campos (hasta 8-10h al día) por lo que podemos concluir que a mayor tiempo de tratamiento mayor es la estimulación y el efecto terapéutico y todo apunta a que suelen ser mas efectivos en huesos largos que en planos o pequeños. Además del efecto regenerador, se han

atribuido aumento de rango, ligeros efectos analgésicos e antiinflamatorios, sobretodo en OA.

La escasez de bibliografía en el campo del PEMF sobre humanos y la falta de consenso en parámetros y variables han limitado bastante los resultados de este trabajo, sobretodo en lesiones como fractura de escafoides, mandibulares y huesos pequeños, y patologías de desmineralización ósea como la osteoporosis, por lo que se llega a la conclusión de que se necesitan mas estudios en este campo para averiguar la eficacia de esté método y con que terapia se ve sinergizada.

Hay varios estudios que sugieren que con LIPUS se obtienen resultados cercanos a los de PEMF, ya que no hay diferencias significativas en beneficios, lo cual, podría llevarnos a pensar que LIPUS sea una solución mas eficiente para el tratamiento de patologías óseas, por su bajo impacto económico comparado con el equipo necesario para aplicar magnetoterapia, y el reducido tiempo de tratamiento (20 minutos de LIPUS es prácticamente igual a 8 horas de PEMF), por no hablar del espacio y mantenimiento requerido para la maquinaria necesaria, lo cual nos lleva a la pregunta de si un plan de tratamiento con LIPUS podría generar mas provecho que el que ofrece la magnetoterapia actualmente.

Conclusiones

El tratamiento temprano con PEMF en lesiones por fractura de huesos largos ha reducido la tasa de no unión significativamente y ha disminuido el tiempo general de tratamiento al acelerar la consolidación y el tiempo de apoyo aunque en patologías como osteoporosis es necesaria mas evidencia científica para verificar los beneficios. En fracturas mandibulares y de escafoides parece no haber beneficio con las variables propuestas, por lo que se necesitaría mas investigación en huesos pequeños. PEMF también ha demostrado efectos analgésicos, antiinflamatorios y de aumento en la funcionalidad articular gracias a estos, sobretodo en patologías como OA. Los parámetros varían según los estudios, sobretodo la frecuencia y el tiempo de exposición a los campos magnéticos, pero según los resultados a mayor tiempo de tratamiento mayor es la estimulación y el efecto terapéutico en fracturas no consolidadas y OA.

Quedan demostrados los beneficios con PEMF en baja frecuencia, aunque no existe mucha diferencia versus la terapia con LIPUS. Se necesitarían mas estudios para estandarizar las variables y los parámetros en el tratamiento con PEMF y posteriormente una comparación con tratamiento con LIPUS, ya que no existen significantes diferencias entre los resultados, lo que significa que quizás un plan de rehabilitación con LIPUS sería mas rentable y se requeriría menos tiempo de exposición a terapia.

Bibliografía

1. C F, M C, D L, E B, E C, S G. Electromagnetic bone growth stimulation in patients with femoral neck fractures treated with screws: Prospective randomized double-blind study. *Curr Orthop Pract* [Internet]. 2010;21(3):282–7. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/o/cochrane/clcentral/articles/335/CN-00803335/frame.html>
2. Barnaba S, Papalia R, Ruzzini L, Sgambato A, Maffulli N, Denaro V. Effect of pulsed electromagnetic fields on human osteoblast cultures. *Physiother Res Int*. 2013;18(2):109–14.
3. Griffin XL, Costa ML, Parsons N, Smith N. Electromagnetic field stimulation for treating delayed union or non-union of long bone fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2011;(4).
4. Ay S, Evcik D. The effects of pulsed electromagnetic fields in the treatment of knee osteoarthritis: A randomized, placebo-controlled trial. *Rheumatol Int*. 2009;29(6):663–6.
5. A. A, N.P. S, B.E. C. Pulsed electromagnetic fields for the treatment of tibial delayed unions and nonunions. A prospective clinical study and review of the literature. *J Orthop Surg Res* [Internet]. 2012;7:24. Available from: <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L366355541%5Cnhttp://sfx.library.uu.nl/utrecht?sid=EMBASE&issn=1749799X&id=doi:&atitle=Pulsed+electromagnetic+fields+for+the+treatment+of+tibial+delayed+unions+and+nonunions.+A+prosp>

6. Abdelrahim A, Hassanein HR, Dahaba M. Effect of pulsed electromagnetic field on healing of mandibular fracture: A preliminary clinical study. *J Oral Maxillofac Surg* [Internet]. 2011;69(6):1708–17. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2010.10.013>
7. Biggane P, Jackson X, Nazarian A. Bone composition and healing: Open electromagnetic and biomechanical problems. *Proc Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc EMBS*. 2016;2016-Octob:6026–9.
8. Borsje MA, Ren Y, De Haan-Visser HW, Kuijerd R. Comparison of low-intensity pulsed ultrasound and pulsed electromagnetic field treatments on OPG and RANKL expression in human osteoblast-like cells. *Angle Orthod*. 2010;80(3):498–503.
9. Cook JJ, Summers NJ, Cook EA. Healing in the New Millennium: Bone Stimulators. *Clin Podiatr Med Surg*. 2014;32(1):45–59.
10. Qiu X, Qiu Y, Wang Y, Xiong J, Chen Y, Wang J, et al. Early application of pulsed electromagnetic field in the treatment of postoperative delayed union of long-bone fractures: a prospective randomized controlled study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2013;14(1).
11. Zhu S, He H, Zhang C, Wang H, Gao C, Yu X, et al. Effects of pulsed electromagnetic fields on postmenopausal osteoporosis. *Bioelectromagnetics*. 2017;38(6):406–24.
12. Streit A, Watson BC, Granata JD, Philbin TM, Lin HN, O'Connor JP, et al. Effect on Clinical Outcome and Growth Factor Synthesis with Adjunctive Use of Pulsed Electromagnetic Fields for Fifth Metatarsal Nonunion Fracture: A Double-Blind Randomized Study. *Foot Ankle Int*. 2016;37(9):919–23.
13. Pereira A, Hidalgo Díaz JJ, Saur M, Salazar Botero S, Facca S, Liverneaux P. Carpal scaphoid non-union treatment: a retrospective trial comparing simple retrograde percutaneous screw fixation versus percutaneous screw fixation plus pulsed electromagnetic fields (Physiostim®). *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2017;27(4):521–5.

14. Park S-H, Park Y-H, Lee J-H. Effects of magnetic field therapy after taping application on pain and function of patients with knee osteoarthritis. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(9):1548–51.
15. Hannemann PFW, Mommers EHH, Schots JPM, Brink PRG, Poeze M. The effects of low-intensity pulsed ultrasound and pulsed electromagnetic fields bone growth stimulation in acute fractures: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2014;134(8):1093–106.
16. Tocco I, Gardin C, Piattelli A, Zavan B, Menarin M, Ferroni L, et al. Pulsed magnetic therapy increases osteogenic differentiation of mesenchymal stem cells only if they are pre-committed. *Life Sci [Internet].* 2016;152:44–51. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lfs.2016.03.020>
17. Göttgens KWA, Hannemann PFW, Kolkman KA, van Wely BJ, Poeze M, Werre AJ, et al. The clinical and radiological outcome of pulsed electromagnetic field treatment for acute scaphoid fractures. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94-B(10):1403–8.
18. Negm A, Lorbergs A, MacIntyre NJ. Efficacy of low frequency pulsed subsensory threshold electrical stimulation vs placebo on pain and physical function in people with knee osteoarthritis: Systematic review with meta-analysis. *Osteoarthr Cartil [Internet].* 2013;21(9):1281–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joca.2013.06.015>
19. Valle U. Martinez-Rondanelli2014. 2014;45:67–71.
20. Ganesan K, Gengadharan AC, Balachandran C, Manohar BM, Puvanakrishnan R. Low frequency pulsed electromagnetic field-A viable alternative therapy for arthritis. *Indian J Exp Biol.* 2009;47(12):939–48.

Anexos