

## Electromagnetismo: aplicaciones clínicas en aparato musculoesquelético

P. DÍAZ BORREGO, JM. FERNÁNDEZ TORRICO y J. PÉREZ CASTILLA

Servicio de Rehabilitación. Hospital Universitario Virgen Macarena. Sevilla.

**Resumen.**—*Introducción:* La acción de los campos electromagnéticos, sobre los organismos vivos, está en investigación desde hace décadas. En nuestro trabajo hemos pretendido reunir la información existente en la literatura científica sobre la eficacia del electromagnetismo en sus diferentes indicaciones en el aparato locomotor para poder identificar las que probablemente sean más efectivas y realizar un mejor uso en la práctica clínica diaria.

**Búsqueda bibliográfica:** La búsqueda se realizó a través de Medline, Pubmed y The Cochrane Library, restringida al período de 1985-2001, sin límites en el idioma. Se revisaron 68 artículos que fueron evaluados mediante la clasificación de los niveles de calidad de la evidencia científica, según la propuesta de la Agencia de Evaluación de la Tecnología Médica del Servicio Catalán de la Salud.

**Resultados:** Se observa una importante eficacia sobre los retrasos de consolidación, pseudartrosis, fracturas de reciente producción y osteotomías, en trabajos con una evidencia científica alta. Encontramos una probable eficacia de los campos electromagnéticos sobre la prevención de la osteoporosis y la mejora del dolor en la artritis, en trabajos con un nivel de evidencia media. En el resto de las patologías no se encuentran un número suficiente de ensayos de buena calidad para realizar conclusiones fiables.

**Palabras clave:** *Rehabilitación. Campos electromagnéticos.*

### ELECTROMAGNETISM: CLINICAL APPLICATIONS IN MUSCULOSKELETAL APPARATUS

**Summary.**—*Introduction:* The electromagnetic field (EF) action on live organisms has been under investigation for decades. In our study, we aim to gather the information existing in the scientific literature on the efficacy of electromagnetism in its different indications in the locomotor

apparatus to be able to identify those which are probably more effective and make better use of them in the daily clinical practice.

**Bibliographic search:** The search was performed with Medline, Pubmed and The Cochrane Library, restricted to the period of 1985-2001, within language limitations. A total of 68 articles were reviewed and were evaluated by the classification of the scientific evidence quality levels, according to that proposed in the Medical Technology Assessment Agency of the Catalan Health Care Service.

**Results:** Significant efficacy is observed on the delays of consolidation, pseudoarthrosis, recently produced fractures and osteotomies, in works with high scientific evidence.

We find a probable efficacy of the electromagnetic fields on the prevention of osteoporosis and the improvement of pain in arthritis in studies with middle evidence level.

In the rest of the diseases, a sufficient number of trials having good quality was not found to make reliable conclusions.

**Key words:** *Rehabilitation. Electromagnetic fields.*

### INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La acción de los campos electromagnéticos (CE), sobre los organismos vivos, está en investigación desde hace décadas. Su historia en el uso médico se remonta a antes de Cristo<sup>1</sup>. En 1820, Oested descubre la relación entre magnetismo y electricidad. A partir de entonces, Ampere, Faraday y Maxwell entre otros autores, desarrollarán el electromagnetismo (EM) que actualmente conocemos y comenzarán a desarrollarse de sus múltiples aplicaciones<sup>2</sup>.

En nuestro trabajo se ha pretendido reunir la información existente en la literatura científica sobre la eficacia del electromagnetismo en sus diferentes indicaciones en el aparato locomotor para poder

Trabajo recibido el 29-V-02. Aceptado el 30-I-03.

identificar las que probablemente sean más efectivas y realizar un mejor uso en la práctica clínica diaria.

## BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

La búsqueda se realizó a través de Medline, Pubmed y The Cochrane Library, restringida al período de 1985-2001. Las palabras claves usadas en combinación fueron: *electromagnetic fields, electromagnetic therapy, ulcers, pain, arthritis, tendinitis, osteonecrosis, vertebral fusion, prótesis, nonunions, delayed fractures, pseudarthrosis, fresh fractures*. No establecimos límites en el idioma.

Se revisaron 68 artículos. Incluimos en el análisis todos los artículos cuyo contenido se centraba en aspectos relacionados con la aplicación de los CE para la resolución de las diferentes patologías musculoesqueléticas. Los artículos fueron evaluados

mediante la clasificación de los niveles de calidad de la evidencia científica, según la propuesta de la Agencia de Evaluación de la Tecnología Médica del Servicio Catalán de la Salud (tabla 1).

## ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### Efectos de los campos electromagnéticos sobre la consolidación ósea

Se encontraron veinticinco artículos que hacían referencia a este tema, los resultados los dividimos en dos apartados.

**TABLA 1.** Clasificación de los niveles de calidad de la evidencia científica, según la propuesta de la Agencia de Evaluación de la Tecnología Médica del Servicio Catalán de Salud

Nivel de evidencia	Calidad de la evidencia*	Diseño del estudio	Condiciones de rigor científico
I	Buena	Metaanálisis de ensayos controlados y aleatorizados (ECA)	Homogeneidad Diferentes técnicas de análisis Metarregresión Megaanálisis Calidad del estudio
II	Buena	ECA de muestra grande	Evaluación del poder estadístico Multicéntrico Calidad del estudio
III	Buena-regular	ECA de muestra pequeña	Evaluación del poder estadístico Calidad del estudio
IV	Buena-regular	Ensayo prospectivo controlado no aleatorizado (EPCna)	Multicéntrico Controles coincidentes en el tiempo Calidad del estudio
V	Regular	EPCna	Controles históricos Calidad del estudio
VI	Regular	Estudio de cohorte	Multicéntrico Apareamiento Calidad del estudio
VII	Regular	Estudio de casos y controles	Multicéntrico Calidad del estudio
VIII	Baja	Series clínicas, estudios descriptivos, registros, conferencias...	Multicéntrico
IX	Baja	Anécdotas, casos únicos	Descripción detallada

\* *Buena*: adecuada evidencia científica para recomendar o desaconsejar la técnica. *Regular*: cierta evidencia científica para recomendar o desaconsejar la técnica. *Baja*: insuficiente evidencia científica para recomendar o desaconsejar la técnica.  
Tomada de Conejero Casares<sup>3</sup>.

### *Retrasos de consolidación y pseudartrosis*

Revisamos diecisiete artículos divididos en seis ensayos randomizados y controlados, cinco artículos sobre casos aislados o grupo de casos, cuatro revisiones y una editorial<sup>2-20</sup>.

La frecuencia con la que se producen los fallos de consolidación se estiman en el 5-10% según Ryaby<sup>4</sup> y en el 3% de todas las fracturas de huesos largos según Trock<sup>2</sup>.

En todos los artículos revisados se encuentran resultados estimuladores estadísticamente significativos de la unión ósea en retrasos de consolidación e incluso en pseudartrosis. Según Gossling et al<sup>5</sup>, la tasa de éxito de los CE sobre la unión ósea está alrededor del 81%. Este porcentaje se asemeja mucho al que posee la cirugía en esta patología, que alcanza el 82%.

La evidencia de efectividad de los CE en comparación a la cirugía no es concluyente. Habría que distinguir entre el porcentaje al que se refiere la cirugía que correspondería a primeras intervenciones, mientras que cuando se habla de los campos electromagnéticos serían pacientes con múltiples intervenciones previas.

Los estudios recogidos sobre pseudofracturas congénitas, son escasos<sup>6-8</sup>. En los trabajos realizados por Sharrard<sup>8</sup> e Ito et al<sup>6</sup> se propone a los CE como un eficaz coadyudante de la cirugía en estos pacientes, proporcionando a largo plazo una disminución del acortamiento previsto del hueso. La asociación de la cirugía y los campos electromagnéticos, cuando el pronóstico es bueno o moderado, proporcionaría un éxito de más del 70%, mientras que sobre lesiones de pobre pronóstico el éxito sería menor del 30%.

### *Osteotomías y fracturas de reciente producción*

Se recogieron trece artículos distribuidos en una editorial, tres revisiones, dos ensayos sobre animales y seis ensayos clínicos randomizados y controlados<sup>1,2,10,11,20-28</sup>.

En todos los artículos revisados, excepto en el de Eyres et al<sup>21</sup> se describe un importante efecto osteogénico en el foco de fractura. En el trabajo de Eyres<sup>21</sup>, se demuestra únicamente un efecto enlentecedor de la pérdida de masa ósea.

Se observa un probable efecto estimulador de los campos electromagnéticos sobre la unión ósea. Según el artículo de Hannouche et al<sup>22</sup> el éxito de unión sobre fracturas recientes alcanzaría del 64 al 87%.

Recogemos un dato interesante en el trabajo de Grace et al<sup>23</sup>, donde se observaba que la eficacia de la terapia se concentraba únicamente en las fases de inflamación y proliferación. Mientras que la estimulación prolongada a otras fases de la

consolidación ósea provocaba efectos perjudiciales, retrasando la unión ósea, debido a la producción de un crecimiento anormal del cartílago de crecimiento del foco de fractura.

El nivel de evidencia científica de los trabajos recogidos en este apartado era principalmente II. La calidad de la evidencia se considera buena. Basándonos en nuestros resultados podemos afirmar que los campos electromagnéticos presentan una importante eficacia sobre los retrasos de consolidación, pseudartrosis, fracturas de reciente producción y osteotomías.

Sería de gran interés realizar futuros ensayos en los que se pudiera comparar de forma fiable la eficacia de los campos electromagnéticos con respecto a la cirugía en los casos de retrasos de consolidación y pseudofracturas, debido a la escasa información sobre este tema.

En el caso de la pseudartrosis congénita, no obtenemos datos suficientes para llegar a una conclusión firme sobre la efectividad de los CE. Creemos que esta sería otra línea de investigación a seguir muy interesante.

### *Efectos sobre la osteoporosis*

Revisamos quince artículos en esta sección. En siete de los ocho ensayos que se habían realizado sobre animales<sup>29-36</sup>, se evidenciaba una eficacia estadísticamente significativa sobre la reducción de la pérdida de masa ósea, con la excepción del trabajo de Takayama et al<sup>29</sup>. Basándonos en estos resultados podríamos afirmar la existencia de un probable efecto preventivo de la osteoporosis en animales.

En los ensayos clínicos sobre humanos<sup>21,37-39</sup> recogímos un efecto estimulador estadísticamente significativo de la densidad ósea durante el periodo de estimulación con los campos electromagnéticos. Una vez que cesaba el tratamiento se producía una disminución progresiva del mineral óseo, con una tasa de descenso igual a la existente antes de aplicar el tratamiento. A partir de estos datos podríamos hablar de un probable efecto preventivo de la pérdida ósea.

Los diferentes autores revisados planteaban la posibilidad del uso de una dosis de mantenimiento para evitar la pérdida de la masa ósea alcanzada previamente, aunque dicha dosis está aún en estudio.

El nivel de evidencia científica era de III. La calidad de la evidencia se considera de buena a regular. Por lo que afirmamos encontrar una probable eficacia de los campos electromagnéticos sobre la prevención de la osteoporosis. Se han encontrado efectos beneficiosos tanto en animales como en humanos, aunque el número de trabajos sobre estos últimos han sido menos

numerosos. Sería importante seguir investigando sobre este tema.

#### Efectos sobre prótesis cementadas aflojadas

Se encontraron tres artículos que hacían referencia a esta aplicación. En todos los artículos que revisamos se describían efectos beneficiosos sobre el dolor y la función articular<sup>11,40,41</sup>.

Se plantea el uso de los campos electromagnéticos en este proceso debido a la similitud histológica entre el tejido fibroso y el fibrocartílago que se forma en las interface de la prótesis cementadas aflojadas y el que aparece en los retrasos de consolidación adquiridas<sup>40</sup>.

En el trabajo de Kennedy et al<sup>40</sup>, se alcanzaba una eficacia del 53 % sobre la mejora del balance articular con una reducción significativa del dolor. Este porcentaje era algo más reducido que el descrito por autores anteriores a él, como Ascherl et al y Rispoli et al (69,5 y 76 % respectivamente). Aunque en ningún caso se producía un reanclaje de la prótesis al hueso, se apreciaba una estabilización de la misma por un mecanismo aún desconocido.

Los campos electromagnéticos podrían ser una buena opción para retrasar la revisión quirúrgica, aunque habría que tener en cuenta que el efecto producido bajo esta terapia estaría limitado al período de exposición, desapareciendo de forma progresiva posteriormente. Por ello, sería necesario una dosis de mantenimiento para mantener su efecto<sup>41</sup>.

Aún siendo el nivel de evidencia de los artículos recogidos de II, el escaso número de artículos encontrados, no nos permite realizar conclusiones finales de calidad. Sería necesario mayor investigación sobre este tema.

#### Efectos sobre la fusión vertebral

Debido al probable efecto beneficioso sobre la aceleración de la consolidación ósea en fracturas recientes, se aplica sobre la columna vertebral tras su intervención para favorecer la fusión vertebral.

Las características de cada uno de los ocho trabajos que se han revisado son muy dispares<sup>10,11,42-47</sup>. Se observa una importante eficacia sobre la formación ósea y aceleración de la fusión vertebral, con el consiguiente aumento de la consistencia del callo óseo en todos los trabajos excepto en el de Kahanovitz et al<sup>42</sup>. Además, no encontraban efecto alguno sobre los segmentos no operados.

Los CE parecen reducir la incidencia de pseudartrosis, de dolor y de nuevas reintervenciones tras la primera cirugía<sup>43</sup>.

Aunque el nivel de evidencia de los artículos encontrados era III. No podemos realizar conclusiones fiables debido a que el número de trabajos es escaso y a las diferencias entre ellos que hacen muy difícil su comparación.

#### Efectos sobre la osteonecrosis de la cabeza femoral

Los artículos que hemos revisado hacen referencia principalmente a la osteonecrosis femoral en el adulto<sup>2,10,11,48-51</sup>. De los siete trabajos recogidos, sólo en dos se trataba dicho proceso en la infancia.

En la enfermedad de Perthes<sup>48,49</sup>, los autores revisados concluyen que los campos no deberían ser ofertados como tratamiento de esta patología ya que los resultados encontrados sobre su eficacia no han sido significativos.

En todos los artículos revisados se describe una probable eficacia en la prevención de la evolución hacia el colapso de la cabeza femoral en la osteonecrosis del adulto cuando se compara con los resultados obtenidos con el tratamiento conservador. Observaban una mejora significativa de los síntomas y signos reduciéndose, por ello, la necesidad de artroplastia temprana.

La afectación cefálica menor o igual del 50 % indicaría el uso de los campos electromagnéticos como primer tratamiento. Debido a que en el primer estadio de la osteonecrosis es donde se recoge la mayor eficacia de este tratamiento, según LLuch BC et al<sup>50</sup>. Mientras que no se observan efectos beneficiosos con dicho tratamiento en la fase postcolapso.

El nivel de evidencia de los trabajos encontrados era IV. La calidad de la evidencia era regular. Debido a estos resultados y al escaso número de trabajos que se obtuvieron no podemos realizar conclusiones fiables. Sería preciso mayor investigación sobre este tema.

#### Efectos sobre el dolor

Los resultados obtenidos de los veintiún artículos revisados sobre este aspecto van a ser distribuidos de la siguiente forma:

##### Artritis

Los trece artículos recogidos sobre la artritis hacían referencia principalmente a la patología de rodilla<sup>2,10,34,52-62</sup>. Once de ellos describían resultados beneficiosos de los CE sobre los síntomas dolorosos y sólo dos ensayos randomizados y controlados<sup>51,56</sup> no encontraban resultados estadísticamente significativo.

A partir de estos datos observamos una probable eficacia del tratamiento sobre los síntomas dolorosos derivados de la artritis (incluida la artritis reumatoide) y sobre la movilidad de la articulación. Según Sadlonova y Korpas<sup>52</sup> debido a la reducción del edema y la mejora del dolor se produce una mejora de la función de la articulación, retrasándose de esta forma la necesidad de recambio protésico.

El mecanismo por el que los campos electromagnéticos producen estos efectos es discutido. Una de las teorías hace responsable de dicho efecto a la influencia de esta técnica sobre la síntesis de glicosaminoglicanos. Al aumentar su concentración en el cartílago mejoraría la transmisión del estrés al hueso, se produciría una mejor absorción de este estrés y así se reduciría el dolor<sup>53</sup>.

El nivel de evidencia científica era de III. La calidad de la evidencia se considera de buena a regular. A partir de estos resultados podríamos hablar de una probable eficacia de los CE sobre los síntomas de la artritis, principalmente sobre del dolor.

#### *Tendinitis*

Hemos recogido tres artículos sobre el tema<sup>63-65</sup>. En los tres trabajos se ha observado eficacia de esta técnica sobre la inflamación y los síntomas que se asocian a ella. La disminución del edema provocada con este tratamiento conllevaría la mejora del dolor y de la movilidad de la articulación, según Binder et al<sup>63</sup>. Estos resultados habría que confirmarlos con nuevos ensayos debido a que se han revisado un escaso número de trabajos, aún presentando estos un nivel de evidencia II.

#### *Puntos gatillo*

Los cinco artículos que se han recogido hacían referencia a la disminución del dolor en los puntos gatillo de la fibromialgia y del síndrome postpolio mediante la aplicación de los campos electromagnéticos<sup>2,10,52,54,66</sup>.

Los resultados fueron estadísticamente significativos en los dos ensayos clínicos revisados, encontrándose una disminución significativa del dolor en los puntos gatillo a los que se les aplicaba campos electromagnéticos estáticos.

No podemos realizar conclusiones fiables debido al escaso número de trabajos sobre este proceso.

#### *Dolor plantar*

En nuestra búsqueda sólo encontramos una revisión de ensayos clínicos randomizados y controlados<sup>67</sup> en la

que no se evidenciaba efectividad sobre el dolor a este nivel. El nivel de evidencia de este trabajo era II. Aunque la calidad de evidencia era buena, se requiere mayor evidencia científica para realizar una conclusión firme.

#### *Dolor muscular*

Revisamos dos trabajos<sup>68,69</sup>, un ensayo clínico randomizado y controlado y un ensayo clínico sin randomizar.

Se observó eficacia del tratamiento sobre el dolor derivado de contracturas e inflamación muscular. Al igual que en los apartados anteriores no se pueden proporcionar conclusiones ya que se han encontrado pocos trabajos.

### CONCLUSIÓN

Los campos electromagnéticos se han usado desde hace siglos para diferentes patologías. Sin embargo, la evidencia científica de sus efectos no se ha comenzado a desarrollar hasta hace muy poco. Los estudios realizados sobre ellos muestran una gran eficacia sobre los defectos óseos y efectos beneficiosos sobre la osteoporosis y procesos dolorosos, principalmente en el caso de la artritis de rodilla. Aún así, existen numerosos interrogantes sobre los efectos en otras patologías del aparato locomotor. Parece haber existido un escaso interés, por lo que no es fácil encontrar trabajos sobre estos procesos. Sería conveniente fomentar la investigación en esta área, principalmente en el caso de la osteonecrosis de la cabeza femoral, la fusión vertebral posquirúrgica y las prótesis aflojadas debido a las importantes beneficios que podrían alcanzarse en estos pacientes en caso de resultados significativos.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Otter MW, McLeod KJ, Rubin CT. Effects of electromagnetic fields in experimental fracture repair. *Clin Orthop* 1998;355:90-104.
2. Trock DH. Electromagnetic fields and magnets: investigational treatment for musculoskeletal disorders. *Rheum Dis Clin of North Am* 2000;26:51-62.
3. Conejero Casares JA. Meta-análisis. *Rehabilitación (Madr)* 2001;35:373-82.
4. Ryaby JT. Clinical effects of electromagnetic and electric fields on fracture healing. *Clin Orthop* 1998;355(suppl): 205-15.
5. Gossling HR, Bernstein RA, Abbott J. Treatment of ununited tibial fractures: a comparison of surgery and pulsed

- electromagnetic fields (PEMF). *Orthopedics* 1992;15:711-9.
6. Ito H, Shirai Y, Gembun Y. A case of congenital pseudarthrosis of the tibia treated with pulsing electromagnetic fields. 17-year follow-up. *JNippon Med Sch* 2000; 67:198-201.
  7. Bassett CA, Schink-Askan M. Longterm pulsed electromagnetic field results in congenital pseudoarthrosis. *Calcif Tissue Int* 1991;49:216-20.
  8. Sharrard W J Treatment of congenital and infantile pseudarthrosis of the tibia with pulsing electromagnetic fields. *Orthop Clin North Am* 1984;15:143-62.
  9. Hinsenkamp M. Influence of physical factors on osseous consolidation. *Bull Mem Acad R Med Belg* 1996;151: 517-26.
  10. Vallbona C, Richards T. Evolution of magnetic therapy from alternative to traditional medicine. *Physic Med and Rehab Clin of North Am* 1999;10:729-53.
  11. Berjano Coquillat P. Aplicaciones de los campos magnéticos en medicina. 1996;196:63-5.
  12. Godley D R. Nonunited carpal scaphoid fracture in a child: treatment with pulsed electromagnetic field stimulation. *Orthopedics* 1997;20:718-9.
  13. Martínez Escudero C, Capellas Sans L, Tinoco Gonzalez J. Magnetoterapia en retardos de consolidación. *Rehabilitación (Madr)* 2001;35:312-3.
  14. Holmes GB. Treatment of delayed unions and nonunions of the proximal fifth metatarsal with pulsed electromagnetic fields. *Foot Ankle Int* 1994;15:552-6.
  15. Ito H, Shirai Y. The efficacy of ununited tibial fracture treatment using pulsing fields: relation to biological activity on nonunions bone ends. *JNippon Med Sch* 2001;68: 149-53.
  16. Sharrard W JW. A double-blind trial of pulsed electromagnetic fields for delayed union of tibial fractures. *J Bone and Surgery* 1990;72B:347-55.
  17. Brighton CT, Shaman P, Heppenstall RB, Esterhai J, Pollack SR, Friedenberg ZB. Tibial non-union treated with direct current, capacitive coupling or bone graft. *Clin Orthop* 1995;321:223-34.
  18. Adams BD, Fykman GK, Taleisnik J. Treatment of scaphoid non-union with casting and pulsed electromagnetic fields: A study continuation. *J Hand Surg* 1992;17A: 910-4.
  19. Borsalino G, Bagnacani M, Bettati. Electrical stimulation of human femoral intertrochanteric osteotomies: double blind study. *Clin Orthop* 1998;237:256-63.
  20. Aaron RK, Ciombor DM, Jbly G. Stimulation of experimental endochondral ossification by low energy pulsing electromagnetic fields. *J Bone Min Res* 1989;4:227-33.
  21. Eyles KS, Saleh M, Kanis JA. Effect of pulsed electromagnetic fields on bone formation and bone loss during limb lengthening. *Bone* 1996;18:505-9.
  22. Hannouche D, Petite H, Sedel L. Current trends in the enhancement of fracture healing. *L Bone Jnt Surgery* 2201;83B:157-64.
  23. Grace KL, Revell W J, Brookes M. The effects of pulsed electromagnetism on fresh fracture healing: Osteochon-
  - dral repair in the rat femoral groove. *Orthopedics* 1998;21:297-302.
  24. Satter Syed A, Islam MS, Rabbani KS, Talukder MS. Pulsed electromagnetic fields for the treatment of bone fractures. *Bangladesh Med Res Counc Bull* 1999;25:6-10.
  25. Hanft JR, Goggin JP, Landsman A, Surprenant M. The role of combined magnetic field bone growth stimulation as an adjunct in the treatment of neuroarthropathy/Charcot joint: an expanded pilot study. *J Foot Ankle Surg* 1998;37:510-5.
  26. Mammi GI, Rocchi R, Cadossi R, Massari L, Traina GC. The electrical stimulation of tibial osteotomies. *Clin Orthop* 1993;288:246-53.
  27. Capanna R, Donati D, Masetti C, Manfrini M, Panozzo A, Cadossi R, et al. Effect of electromagnetic fields on patients undergoing massive bone graft following bone tumor resection. A double blind study. *Clin Orthop* 1994;306:213-21.
  28. Pienkowski D, Pollack SR, Brighton CT, Griffith NJ. Low power electromagnetic stimulation of osteotomized rabbit fibulae. A randomised, blinded study. *J Bone Jnt Surg Am* 1994;76:489-501.
  29. Takayama K, Nomura H, Tanaka J, Zborowski M, Harasaki H, Jacobs GB, et al. Effect of a pulsing electromagnetic field on metabolically derived osteoporosis in rats: A pilot study. *ASAIO Trans* 1990;36:M426-8.
  30. Bilotta TW, Zati A, Gnudi S, Figus E, Giardino R, Fini M, et al. Electromagnetic fields in the treatment of postmenopausal osteoporosis: an experimental study conducted by densitometric, dry ash weight and metabolic analysis of bone tissue. *Chir Organi Mov* 1994;79:309-13.
  31. Zati A, Gnudi S, Mongiorgi R, Giardino R, Fini M, Valdrell G, et al. Effects of pulsed magnetic fields in the therapy of osteoporosis induced by ovariectomy in the rat. *Boll Soc Ital Biol Sper* 1993;69:469-75.
  32. McLeod KJ, Rubin CT. The effect of low frequency electrical fields on osteogenesis. *J Bone and Jnt Surgery* 1992;74A:920-9.
  33. Li M. Electrical stimulation in the treatment of osteoporosis in sciatic denervated rat tibia. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 1992;30:458-60,508.
  34. Rubin CT, McLeod KJ, Lanyon LE. Prevention of osteoporosis by pulsed electromagnetic fields. *J Bone Jnt Surg Am* 1989;71:411-7.
  35. Mishima S. The effect of long-term pulsing electromagnetic field stimulation on experimental osteoporosis of rats. *JUOEH* 1988;10:31-45.
  36. Brighton CT, Tadduni GT, Pollack SR. Treatment of sciatic denervation disuse osteoporosis in the rat tibia with capacitively couple electrical stimulation dose response and duty cycle. *J Bone and Jnt Surg* 1985;67A: 1022-8.
  37. Garland DE, Adkins RH, Matsuno, Stewart CA. The effect of pulsed electromagnetic fields on osteoporosis at the knee in individuals with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 1999;22:239-45.
  38. Tabrah FL, Ross P, Hoffmeier M, Gilbert F. Clinical report on long-term bone density after short-term EMF application. *Bioelectromagnetics* 1998;19:75-8.

39. Tabrah F, Hoffmeier M, Gilbert F, Batkin S, Bassett CAL. Bone density changes in osteoporosis-prone women exposed to pulsed electromagnetic fields (PEMFs). *J Bone Miner Res* 1990;5:437-42.
40. Kennedy WF, Roberts CG, Zuege RC, Dicus WT. Use of pulsed electromagnetic fields in treatment of loosened cemented hip prostheses. *Clin Orthop* 1993;286:198-205.
41. Konrad K, Sevic K, Foldes F, Piroska E, Molnar E. Therapy with pulsed electromagnetic fields in aseptic loosening of total hip prostheses: A prospective study. *Clin Rheumatol* 1996;15:325-8.
42. Kahanovitz N, Arnoczky SP, Nemzek J, Shores A. The effect of electromagnetic pulsing on posterior lumbar spinal fusions in dogs. *Spine* 1994;19:705-9.
43. Glazer PA, Heilmann MR, Lotz JC, Bradford DS. Use of electromagnetic fields in a spinal fusion. A rabbit model. *Spine* 1997;22:2351-6.
44. Kane W J. Direct current electrical bone growth stimulation for spinal fusion. *Spine* 1988;13:363-5.
45. Nerubay J, Margarit B, Bubis JJ, Tadmor A, Katzenelson A. Stimulation of bone formation by electrical current on spinal fusion. *Spine* 1986;11:167-9.
46. Simmons JW. Treatment of failed posterior lumbar interbody fusion (PLIF) of the spine with pulsing electromagnetic fields. *Clin Orthop* 1985;183:127-32.
47. Mooney V. A randomised double-blind prospective study of the efficacy of pulsed electromagnetic fields for interbody lumbar fusions. *Spine* 1990;15:708-12.
48. Harrison MH, Bassett CA. Use of pulsed electromagnetic fields in Perthes disease: Report of a pilot study. *J Pediatr Orthop* 1984;4:579-84.
49. Harrison MH, Bassett CA. The result of a double-blind trial of pulsed electromagnetic frequency in the treatment of Perthes disease. *J Pediatr Orthop* 1997;17:264-5.
50. Lluch BC, García-Andrade DG, Muñoz FL, López-Durán Stern L. Usefulness of electromagnetic fields in the treatment of hip avascular necrosis: a prospective study of 30 cases. *Rev Clin Esp* 1996;196:67-74.
51. Hofmann S, Mazieres B. Osteonecrosis: natural course and conservative therapy. *Orthopade* 2000;29:403-10.
52. Sadlonova J, Korpas J. Personal experience in the use of magnetotherapy in diseases of the musculoskeletal system. *Bratisl Lek Listy* 1999;100:678-81.
53. Trock DH, Bollet AJ, Markoll R. The effect of pulsed electromagnetic fields in the treatment of osteoarthritis of the knee and cervical spine. Report of randomised, double-blind, placebo controlled trials. *J Rheumatol* 1994;21:1903-11.
54. Vallbona C, Hazlewood CF, Jurida G. Response of pain to static magnetic fields in postpolio patients: a double-blind pilot study. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;78:1200-3.
55. Hong CZ, Lin JC, Bender LF, Schaeffer JN, Meltzer RJ, Causin P. Magnetic necklace: its therapeutic effectiveness on neck and shoulder pain. *Arch Phys Med Rehabil* 1982;63:462-6.
56. Leclair R, Bourgouin J. Electromagnetic treatment of shoulder periarthritis: a randomized controlled trial of the efficiency and tolerance of magnetotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 1991;72:284-7.
57. Weintraub MI. Magnetotherapy: A new intervention? *Arch Phys Med Rehabil* 1998;79:470.
58. Jacobson J, Gorman R, Yamanashi WS, Saxena BB, Clayton L. Low-amplitude, extremely low frequency magnetic fields for the treatment of osteoarthritic knees: a double-blind clinical study. *Altern Ther Health Med* 2001;7:54-64.
59. Segal NA, Toda Y, Huston J, Saeki Y, Shimizu M, Fuchs H, et al. Two configurations of static magnetic fields for treating rheumatoid arthritis of the knee: A double-blind clinical trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:1453-60.
60. Trock DH, Bollet AJ, Dyer RH, Fielding LP, Miner WK, Markoll R. A double-blind trial of the clinical effects of pulsed electromagnetic fields in osteoarthritis. *J Rheumatol* 1993;20:456-60.
61. Zizic TM, Hoffman KC, Holt PA, Hungerford DS, O'Dell JR, Jacobs MA, et al. The treatment of osteoarthritis of the knee with pulsed electrical stimulation. *J Rheumatol* 1995;22:1757-61.
62. Hulme J, Robinson V, DeBie, Wells G, Judd M, Tugwell P. Electromagnetic fields for the treatment of osteoarthritis (Cochrane Review). The Cochrane Library, Issue 1. 2002
63. Binder A, Parr G, Hazleman B, Fitton-Jackson S. Pulsed electromagnetic field therapy of persistent rotator cuff tendonitis. A double-blind controlled assessment. *Lancet* 1984;1(8379):695-8.
64. Lee EW, Maffulli N, Li CK. Pulsed magnetic and electromagnetic fields in experimental Achilles tendonitis in the rat: A prospective randomized study. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;78:399-404.
65. Nindl G, Balcavage W X, Vesper DN, Swez JA, Wetzel BJ, Chamberlain JK, et al. Experiments showing that electromagnetic fields can be used to treat inflammatory diseases. *Biomed Sci Instrum* 2000;36:7-13.
66. Alfano AP, Taylor AG, Foresman PA, Dunkl PR, McConnell GC, Conaway MR, et al. Static magnetic fields for treatment of fibromyalgia: a randomised controlled trial. *J Altern Complement Med* 2001;7:53-64.
67. Crawford F, Atkins D, Edwards J. Interventions for treating plantar heel pain (Cochrane Review). The Cochrane Library, Issue 3. ISSN:1464-780X. 2001
68. Zhang J, Clement D, Taunton J. The efficacy of Farablock, an electromagnetic shield, in attenuating delayed-onset muscle soreness. *Clin J Sport Med* 2000;10:15-21.
69. Capodaglio P, Vicenzi G. Efficacy of a chair with magnets in the prevention of musculo-skeletal disorders caused by prolonged sitting. *G Ital Med Lav Ergon* 2000;22:332-6.

## Correspondencia:

Paola Díaz Borrego  
Servicio de Rehabilitación  
Hospital Universitario Virgen Macarena  
0000 Sevilla