

APLICACIONES CLÍNICAS
DEL BIOMAGNETISMO

Antonio Madroño de la Cal

APLICACIONES CLÍNICAS
DEL BIOMAGNETISMO

BIBLIOTECA DE CIENCIAS, 15

COMITÉ EDITORIAL:

Antonio Ballester Álvarez-Pardiñas
Juan Bernal Carrasco
M.^a Rosa Infante Martínez Pardo
José Luis Huertas Díaz
Agustín Rodríguez González-Elipe
Joaquín Tintoré Subirana
Francisco Abraham de Tomás Barberán

ANTONIO MADROÑERO DE LA CAL

APLICACIONES CLÍNICAS
DEL BIOMAGNETISMO

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

MADRID, 2003

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del *Copyright*, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y su distribución.



© CSIC

© Antonio Madroñero de la Cal

NIPO: 403-03-097-0

ISBN: 84-00-08199-4

Depósito Legal: M-54944-2003

Impreso en España. *Printed in Spain.*

“La historia del mundo viviente puede resumirse como la elaboración de ojos cada vez mas perfectos en un cosmos donde siempre hay algo mas que ver.”

Pierre Teilhard de Chardin
The Phenomenon of man. Harper and Row.
Nueva York, 1959, pg 31

ÍNDICE

PRÓLOGO	11
INTRODUCCIÓN	15
I HISTORIA DE LA APLICACIÓN CLÍNICA DE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS	21
II MECANISMOS DE LA INTERACCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO CON EL ORGANISMO HUMANO	37
III TECNOLOGÍA DE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS PARA UTILIZACIÓN CLÍNICA; LAS PATENTES MÁS SIGNIFICATIVAS	57
IV METODOLOGÍA DE LOS TRATAMIENTOS CLÍNICOS.....	75
V MAGNETOTERAPIA APLICADA AL TRATAMIENTO DEL DOLOR	81
VI TENDENCIAS DE FUTURO.....	85
VII RESEÑAS BILIOGRÁFICAS.....	87
1. Bibliografía distribuida a través de Internet por el National Institutes of Health (EEUU).....	87
2. Bibliografía extraída de la base de datos MEDLINE	95
2.1. <i>Generalidades sobre los efectos terapéuticos de los campos magnéticos</i>	96
2.2. <i>Mecanismos de interacción campo magnético-organismo</i>	99
2.3. <i>Estimulación por la vía de los BMP (Bone Morphogenic Protein)</i>	103
2.4. <i>Estimulación del NGF (Nerve Growth Factor)</i>	105
2.5. <i>Fracturas óseas</i>	114
2.6. <i>Osteoporosis</i>	117
2.7. <i>Problemas de aflojamiento de prótesis en rodilla y cadera</i>	120
2.8. <i>Artritis</i>	121
2.9. <i>Enfermedades articulares</i>	123
2.10. <i>Cartilago</i>	124
2.11. <i>Osteoartritis</i>	126
2.12. <i>Osteocondrosis</i>	129
2.13. <i>Osteonecrosis</i>	130
2.14. <i>Pseudoartrosis</i>	131
2.15. <i>Dañado de la Columna Vertebral</i>	132

2.16.	<i>Hernia discal</i>	136
2.17.	<i>Cicatrización de heridas</i>	136
2.18.	<i>Magnetoforesis y plata coloidal</i>	138
2.19.	<i>Dañado muscular</i>	140
2.20.	<i>Tendonitis y ligamentos</i>	143
2.21.	<i>Torceduras de tobillo</i>	146
2.22.	<i>Esclerosis múltiple</i>	146
2.23.	<i>ELA, Esclerosis lateral amiotrófica, o enfermedad de Lou Gehrig</i>	149
2.24.	<i>Úlceras tróficas</i>	149
2.25.	<i>Neuropatía</i>	151
2.26.	<i>Desórdenes neurológicos</i>	154
2.27.	<i>Neuralgia post-herpética</i>	155
2.28.	<i>Psiquiatría</i>	156
2.29.	<i>Enfermedad de Alzheimer</i>	158
2.30.	<i>Enfermedad de Parkinson</i>	159
2.31.	<i>Desórdenes del sueño</i>	161
2.32.	<i>Depresión</i>	163
2.33.	<i>Dolor de cabeza, migrañas</i>	163
2.34.	<i>Epilepsia</i>	164
2.35.	<i>Apoplejía</i>	166
2.36.	<i>Hepatitis</i>	167
2.37.	<i>Pancreatitis</i>	168
2.38.	<i>Nefrología</i>	168
2.39.	<i>Eritematositis Lupus</i>	169
2.40.	<i>Blefaritis</i>	170
2.41.	<i>Diabetes</i>	170
2.42.	<i>Ginecología</i>	171
2.43.	<i>Endometriosis y endometritis</i>	172
2.44.	<i>Glaucoma</i>	173
2.45.	<i>Tumores</i>	173
2.46.	<i>Cardiovascular/enfermedades coronarias</i>	175
2.47.	<i>Insuficiencia venosa crónica</i>	177
2.48.	<i>Urología</i>	179
2.49.	<i>Tuberculosis</i>	181
2.50.	<i>Bronquitis</i>	182
2.51.	<i>Problemas respiratorios</i>	183
2.52.	<i>Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA)</i>	184
2.53.	<i>Cáncer</i>	184
2.54.	<i>Influencia del campo magnético sobre la bioquímica del cerebro, según la experimentación animal</i>	186
2.55.	<i>Influencia de los campos magnéticos sobre las células madre o troncales</i>	187
2.56.	<i>Odontología</i>	189
2.57.	<i>Alopecia</i>	190
3.	<i>Bibliografía publicada en revistas y publicaciones de habla hispana.</i>	190

PRÓLOGO

La razón de ser de este libro es el presentar de un modo sencillo una información que aparece dispersada en revistas de Medicina, de Electromedicina, de Rehabilitación, de Fisioterapia, de Biología, de Biofísica y de Bioingeniería. Y por si no fuese suficiente dispersión, una gran parte de esta información, que mas o menos coincide con la casi totalidad de lo conocido en relación a unas especialidades clínicas muy interesantes, ha sido publicada casi exclusivamente en revistas científicas del Este de Europa, en publicaciones poco conocidas en nuestros países del ámbito occidental

Hemos tratado de recoger el estado del conocimiento en un lenguaje de casi vademécum para el amplio abanico de profesionales que deben diseñar los tratamientos con campos magnéticos y administrarlos a pacientes aquejados con un muy amplio espectro de dispareas disfunciones, patologías y problemas de salud. Y en consonancia, intentamos describir lo esencial de las prestaciones de la amplia gama de equipamientos comercialmente disponibles en la actualidad.

Pensamos que puede ser beneficioso para la comunidad científica, el que exista un texto de fácil lectura que añada una perspectiva en conjunto de las facetas del biomagnetismo con una visión radicalmente diferente a la que suelen transmitir los medios de comunicación social. Estos, con harta frecuencia son sobreabundantes en una difusa y poco contrastada información acerca de potenciales peligros de los campos magnéticos, de la “polución electromagnética”, que originan las máquinas eléctricas, las líneas de transmisión eléctrica, etc. de nuestro entorno, en cuyo seno se desarrolla nuestra vida cotidiana.

La pertinacia de esta alarma informativa no tiene en cuenta, por ejemplo, que hay mas que indicios de que el esfuerzo económico que se está invirtiendo en estudios sobre si el uso de teléfonos móviles es nocivo para la salud, como potencial elemento coadyudante en la aparición de cánceres, no parece destinado a llegar a resultados concluyentes, pese a las copiosas publicaciones y proyectos de investigación internacionales. Y lo que si está claro es que desde hace mucho tiempo, en los hospitales se vienen usando técnicas terapéuticas basadas en la aplicación de campos magnéticos con excelentes resultados.

Pero es frecuente que al personal clínico, cuando se dispone a iniciar un tratamiento con campos magnéticos, le cueste vencer la desconfianza de un paciente a someterse a tratamientos de este tipo, por el peso de esta información pública des-

afortunada. Y ello después que en 1987 la Federal Drug Administration americana declaraba a estas técnicas aptas para uso terapéutico con financiamiento público, hecho que no suelen airear en los mass media.

Por otra lado, desde el punto de vista de la información científica, existe gran conocimiento acerca de estudios realizados sobre efecto de los campos magnéticos en cultivos de células, y modelos de experimentación animal. Pero estos resultados no son fácilmente trasladables a los tratamientos clínicos, porque el ser humano tiene un cerebro, un sistema nervioso y un sistema inmunológico, muy complejo y distinto al de los seres inferiores.

Por ejemplo, existen en la prensa muchos relatos de zonas enclavadas en los suburbios de ciudades, donde la proximidad líneas de transporte eléctrico de potencia, daba lugar a una epidemiología de problemas sanitarios para los habitantes del entorno. El posterior enterramiento de los cables solventaba el problema al desaparecer las manifestaciones patológicas, satisfaciendo a la opinión pública. Y lo que en realidad se había hecho era incrementar el valor de los campos magnéticos, pues la distancia entre un transeúnte y el cable enterrado era mucho menor que entre el transeúnte y el cable colocado en una línea aérea de gran altura. Es decir, el enterramiento de los cables supone una exacerbación del campo, lo contrario de su anulación.

Desde el punto de vista sociológico, por un lado, está el efecto placebo que esto demuestra, y que por cierto, las autoridades conocen perfectamente. Por otro lado, está el hecho de que debido al carácter mas o menos populista en el que se desenvuelven los sistemas democráticos, suele ser rentable para los poderes el mostrarse revestidos de una apariencia de modernidad progresista mas o menos sintonizada con el verde. Ello es lo que justamente determina el que los poderes no puedan permitirse arrostrar la impopularidad del no reconocimiento de la peligrosidad de ambiental de los campos magnéticos. Esto explica la tibia actitud de las administraciones a potenciar a nivel de comunicación social la asociación de ideas terapia-campo magnético.

Está sucediendo algo similar a lo que sucedió cuando la *vox populi* anatematizó a los usos pacíficos de la energía nuclear. Y por ello, hoy es el día en que a un paciente no se le informa de que ha sido examinado mediante la técnica que la Física bautizó como “resonancia magnética nuclear”; se le dice en cambio que le han hecho una “resonancia magnética”. Todo sea por el sosiego del paciente.

En los países de Extremo Oriente, las cosas se han llevado de distinta manera. En Taiwán los centros de investigación gubernamentales se emplearon a fondo en desarrollar una tecnología electrofisioterapéutica propia, y dado que allí la industria electrónica es más potente que la farmacéutica, disponen y tienen en fase de explotación exploratoria una serie de equipos y sistemas muy interesantes. En Corea del Sur, y sobre todo en China, se viene jugando a ir añadiendo a la clásica camilla de magnetoterapia, toda una serie de aplicadores de energía, como campo magnético o como cualquiera otra forma de energía física.

En Japón incluso se ha invertido el sentido de la propaganda. En una institución nacional muy potente, el Safety Institute, se montó un acumulo de facilidades de investigación para hacer posible la exploración experimental del efecto de los campos magnéticos (intensidades de campo razonables, no altísimos campos magnéti-

cos), poniéndose dichas facilidades a disposición de cualquier equipo de investigación que deseara usarlas. El sistema estaba co-financiado por Mitsubishi y por Tokio Electric Power Co.

Los resultados de las investigaciones específicas, así como de las conclusiones, aparece recogido en publicaciones de gran calidad que han sido puestas en circulación por doquier. A este respecto podemos recomendar la lectura del libro de H. Takebe, T. Siga, M. Kato y E. Masada "*Biological and health effects from exposure to power-line frequency electromagnetic fields. Confirmation of absence of any effects at environmental fields strengths*". El libro fue editado en 2001 por IOS Press, 73 Lime Walk, Headington, Oxford, UK, ISBN 1 58603 105 8.

Intentaremos que el presente texto resulte de fácil manejo para todos aquellos que bajo la perspectiva de iniciarse en la utilización de estas herramientas terapéuticas, busquen una guía documental sencilla, clara y completa, para que les sirva como guía de diseño de tratamientos y de evaluación durante el seguimiento de los procesos reparadores. La potencial utilidad de este texto radica en que hasta el momento están disponibles manuales de magnetoterapia para uso en alguna especialidad concreta, pero sin atender a todas las perspectivas y campos de aplicación, ni a su entroncamiento con el cuerpo de doctrina de la interacción del campo con los organismos vivientes. Por ello hemos puesto un último capítulo con suficientes referencias bibliográficas originales sobre cada una de las aplicaciones más conocidas. Como se dispone hoy de acceso a las bases de datos de Medicina a través de Internet, podemos conseguir en nuestro domicilio los documentos enteros, y, pulsando la opción "otros documentos similares" acceder fácilmente toda la literatura original acerca de cualquier campo de aplicación. Ello permite ampliar la información a medida del interés de cada usuario.

Porque lo que si existe, y abundantemente, es un tremendo ruido informativo que induce a confusión. A este respecto, la información que se suele ofrecer en Internet es un ejemplo paradigmático, con miríadas de documentaciones técnico/comerciales de imanes, de productos y de equipos maravillosos, que aseguran curarlo todo y en todos los casos. Y lo que el potencial usuario responsable, lo que realmente necesita son dos cosas, a) un conocimiento claro de los principios de la interacción del campo magnético con los diferentes órganos y sistemas que constituyen nuestro organismo, pues nadie usará correctamente algo que entiende de modo imperfecto y b) resultados de evaluaciones estadísticas de resultados de ensayos clínicos, que le permitan prever la duración de cada tratamiento así como la probabilidad de éxito frente a cada cuadro clínico concreto.

Personalmente hemos tenido el privilegio de haber sido un espectador de primera fila en el apasionante desarrollo de estas técnicas, dándose la circunstancia de que algún artículo científico nuestro mereció el aparecer incluido en la bibliografía básica que sobre esta temática se ofrece desde el NIH (National Institutes of Health, de los EEUU). Nuestras realizaciones estuvieron limitadas a aportaciones en la comprensión del efecto del campo magnético continuo y del tratamiento de fallos en la consolidación de fracturas óseas. Pero lo más gratificante de nuestra actividad fue el que nos permitió contactar con amigos y compañeros, médicos e investigadores, que nos regalaron con el tesoro de sus puntos de vista, de sus experiencias y de sus resultados.

Y es por ello por lo que nos atrevemos a presentar esta suscita exposición de las posibilidades del Biomagnetismo, deseando contribuir a que cada vez se le use mas y mejor como herramienta terapéutica, y el que cuando en las clínicas o consultorios tienen que escoger una vía terapéutica para un tratamiento concreto, dispongan a priori de criterio suficiente para evaluar las posibilidades de los campos magnéticos en comparación con otras técnicas, conservadoras o no.

No nos hemos ocupado, intencionadamente, pues hay bastantes excelentes textos que lo exponen de forma completa y clara, de las aplicaciones del Biomagnetismo como técnica de diagnosis. Son estas las técnicas que detectan los campos generados in situ por un órgano vivo, tales como la MGC (magnetocardiogramas), la MEG (magnetoencefalografía), la biosusceptometría de hígado, y la MNR (resonancia nuclear magnética). También podrían citarse técnicas consistentes en aplicaciones en las que se utilizan partículas magnéticas para formar imágenes, tales como aplicación de los campos electromagnéticos EMFs en gastroenterología, en Magnetoneumografía, en hipertermia magnética y separación selectiva de células.

Dr Antonio Madroño de la Cal
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Madrid, Octubre de 2002

INTRODUCCIÓN

Si quisiéramos poner un ejemplo paradigmático de un campo del conocimiento multidisciplinar cargado de malentendidos y desconfianzas, pero con indudables perspectivas de futuro, tendríamos que referirnos a la utilización clínica de los campos magnéticos. A ello puede haber contribuido el que para enjuiciar con soltura estos temas se requiere de un amplio y multidisciplinar bagaje de conocimiento, y una capacidad de interacción con prácticamente todos los campos de la Medicina.

Lo que más contiene la generalización de esta técnica es el que pocas veces se disponga de los elementos de juicio para manejarlos adecuadamente, y obtener toda la ventaja de sus posibilidades. Al aprobarse en 1989 por parte de la FDA (Federal Drug Administration) de los EEUU la utilización de los campos magnéticos en prácticas terapéuticas, quedaba marcada para siempre la mayoría de edad de este campo interdisciplinar. Atrás quedaban muchos años de práctica terapéutica en el que los encargados de manejar estas técnicas en el ámbito clínico se sentían un poco inseguros al utilizar estas posibilidades de la ingeniería biomédica. Por la obvia razón de que no se deben utilizar recursos terapéuticos, en tratamientos hospitalarios y/o ambulatorios, a menos que se tenga constancia de que son tratamientos fiables y de eficacia reconocida, para cada problemática y para la circunstancia de cada paciente en concreto. Y esto debe ser así aunque el paciente los acepte de buen grado.

Por otra parte, es de antaño conocido que el uso del magnetismo con fines clínicos ha supuesto la puesta en marcha de potentes y costosas herramientas de diagnóstico, resonancia magnética, magneto-encefalografía, magneto-cardiografía, susceptometría férrica del hígado, etc.. Pero ante las aplicaciones terapéuticas de los campos magnéticos, de fundamentos tan poco conocidos, en cierto modo, el personal clínico suele tomar la misma postura que ante algunas terapias paramédicas. Por ello; con curiosidad y con interés, se suele limitar a mantenerse

informado de los avances y mejoras en este campo, según que van apareciendo en los congresos internacionales, para poner manos a la obra cuando se llegue a poder utilizarlas sin dubitación alguna, con todo el conocimiento suficiente.

La enorme posibilidad de difusión que supone la información a través de Internet, no viene arreglando el problema. Si bien es cierto que hay conocidas direcciones URL en donde las grandes organizaciones difunden reports, actualizaciones, estadísticas de resultados y explicación sobre operatoria con las terapéuticas magnéticas, hay también muchos webs comerciales, que por tratar de vender a toda costa imanes y equipos curacrédulos, no hacen sino sembrar la confusión y la desconfianza. Entre los organismos que apoyan sin vacilación estas herramientas terapéuticas cabe destacar al NIH, el National Institutes of Health, el organismo técnico que asesora al National Health Service, el equivalente a la Seguridad Social en los EEUU.

Podemos mencionar las direcciones

http://www.sciencenews.org/sn_arc99/11_13_99/bob2.htm,

<http://www.garynull.com/Documents/magnets.htm> y la

http://niehs.nih.gov/emfrapid/html/Symposium3/Tissue_Heal.html.

También existen sociedades científicas dedicadas exclusivamente a la promoción de estas herramientas terapéuticas; celebran sus congresos anuales, de los que se publican los correspondientes Proceedins. Desde su web se pueden bajar los trabajos (o sus resúmenes al menos), tal y como se expusieron en sus congresos, y que en su conjunto constituyen la historia pormenorizada del biomagnetismo clínico en los países occidentales. Las sociedades americana y europea se asociaron constituyendo la Bioelectromagnetics Society (BEMS), y puede comunicarse con ellas a través de <http://www.bioelectromagnetics.com>. En el ámbito del Extremo Oriente, el grupo mas conocido es el de la Nippon Medical School; editan por Internet su Journal, que puede consultarse en <http://www.nms.ac.jp/jnms>.

Hablando a grandes rasgos, puede deducirse que, en estos temas, los países del Este de Europa caminaron por la vía de ensanchar la técnica de la electroterapia, para tratamiento ambulatorio, que todos conocemos como la magnetoterapia de las bajas frecuencias. Captaron enseguida que además de las utilizaciones en exclusiva de la magnetoterapia propiamente dicha, resultaba sumamente ven-



Es frecuente observar como unas aves tan sensitivas al campo magnético terrestre, y tan características como son las cigüeñas, anida generación tras generación en antenas de radio y de telefonía. Precisamente donde existen los más altos niveles de campo electromagnético. Como todas las aves migratorias, las cigüeñas son muy sensibles al campo magnético, pues gracias al campo magnético de la tierra se orientan en sus desplazamientos.

El hecho de que estas aves sufran indemnes la contaminación electromagnética justo en la etapa embrionaria, sin acusar daño ni indeseable mutación hereditaria alguna, pudieran sugerirnos que los animales superiores deben temer poco a la aplicación de campos magnéticos producidos por el hombre.

tajoso el sumar una exposición a un campo magnético a la administración según la prescripción habitual, de prácticamente cualquiera de las terapias usuales. Es decir, en los países del Este se jugó siempre a estimular la eficiencia de ya conocidas terapias al administrarlas conjuntamente con la aplicación de un campo magnético terapéutico. Nacieron así las especialidades de Magnetoláser, Magneto-acupuntura, Magnetoforesis, etc. En este contexto oriental, las posibilidades del biomagnetismo en cuanto a uso como técnica sin acompañamiento para reparación de fallos de consolidación ósea, es decir, la Magnetos-teogenia, es poco mencionada en los países del Este.

Por el contrario, en los países occidentales el tema no ha despegado realmente hasta el último cuarto final del siglo XX, por arrastre de los desarrollos para aplicar los PEMF's (pulsed eletromagnetic fields) a retardos de consolidación, no uniones y pseudoartrosis congénitas, habiendo permanecido prácticamente distanciadas la Cirugía Ortopédica y la Fisioterapia.

Pese a la plétora de publicaciones científicas del mas alto nivel (peer papers), acerca de los resultados de aplicación de imanes permanentes y PEMF a los distintos campos de la Medicina, se sigue viendo por parte de un amplio espectro de profesionales de la Medicina al biomagnetismo como la última posibilidad de terapia, como el casi clavo ardiendo, a la que se recurre solo en pacientes muy concretos en los que se ha demostrado que los métodos de la ortopedia conservadora y la cirugía tradicional resultan no exitosos. No parecen advertir que los campos magnéticos se han vuelto indispensables, administrados a partir de una intervención con injerto, en casos de pseudoartrosis congénita o infantil.

No se suele tomar en cuenta cosas tales como que, por ejemplo, los PEMF con su 1 % de fallos en caso de aplicación a injertos en adultos, podrían ser la herramienta casi rutinaria para después de proceder a prácticamente la totalidad de los injertos, como saludable precaución. Por simples razones de economía, aunque las probabilidades de llegar a buen puerto sin esta ayuda sean estimables.

No siempre se toma en cuenta que acortar o asegurar la favorable evolución de un tratamiento habitual, puede ser de interés para el paciente y de ahorro económico para la economía de los sistemas sanitarios.

En el presente trabajo vamos a intentar describir el estado del conocimiento sobre estos temas, aunque con toda la concisión que la inevitable limitación de espacio impone. Para que la descripción sea razonablemente completa intentaremos verlo desde distintos ángulos, desde las distintas especialidades de la

Medicina, y desde la perspectiva de las realizaciones de las industrias del ramo de la Electromedicina, que nos dejan descrito en sus patentes lo que realmente esta claro y las distintas opciones operatorias y de equipamiento existentes.

En el momento actual, en Europa y Norteamérica, la situación parece poderse definir muy brevemente diciendo que una vez que en el reciente pasado se coronó satisfactoriamente la montaña de las reparaciones en el sistema músculo-esquelético, se ha conseguido alcanzar la media falda de la montaña siguiente, del sistema nervioso, avizorándose asimismo el comienzo de la escalada en el monte del sistema inmunológico. En los correspondientes apartados iremos comentando cada una de las posibilidades futuras del biomagnetismo en la clínica.

I. HISTORIA DE LA APLICACIÓN CLÍNICA DE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS

La utilización terapéutica del magnetismo arranca desde el comienzo mismo de la Medicina, pues ya Hipócrates de Cos (c.430 – 360 aC) usó molidos de óxidos de hierro como magnetita y hematitas para controlar e interrumpir hemorragias.

En el primer siglo, Plinio El Viejo (23 - 79 dC) en el volumen 37 de su Enciclopedia describe el tratamiento de quemaduras con piedra imán pulverizada.

San Alberto Magno (1200 - 1280) en su libro “Mineralia” recomendaba una mezcla de leche y magnetita para tratamiento de los edemas.

En 1627 Wilhem Fabricus llamado Hildano (1560 - 1634) documentaba el primer uso de extracción de una pequeña esquirla metálica de un ojo, utilizando un imán natural. No obstante, hasta 1879 no fue aceptada en Inglaterra esta utilización de los imanes. En los EEUU la primera utilización reconocida data de 1886.

Una de las personas que antes empezó a usar los imanes fue el Padre Maximilian Höll (1720 - 1793), un sacerdote jesuita, astrónomo de la Universidad de Viena. En 1774 se lo explicó a un conocido suyo, el médico Franz Anton Mesmer, a quien regaló algunos imanes. Mesmer empezó por aplicarlos a pacientes suyos aquejados de histeria y trastornos de origen psicossomático.

Mesmer conseguía realizar muchas sanaciones que aparentaban ser casi milagros, por medio de lo que hoy llamaríamos hipnosis clínica. Utiliza el magnetismo como coartada para la explicación de sus no fáciles de explicar procedimientos, con la fabulación del “magnetismo animal”. Posteriormente marchó a Paris, donde su teoría fue hostigada. Sus sesiones clínicas llegaron a convertirse en sesiones espiritistas. Los pacientes recibían un baño en agua magnetizada en una bañera ovalada que recibía el nombre de “la tinaja de Mesmer” con la que practicaba una mezcla de hipnotismo, psicoterapia, hidroterapia, y sanación psicossomática.

John Mitchell establecía en Inglaterra en 1740 el uso terapéutico de los imanes artificiales, de los que se comercializan en forma de herradura.

En el siglo XIX ya se puede hablar de verdadero comienzo de la utilización del electromagnetismo en Medicina; Lente (1) utiliza la corriente eléctrica continua “direct current or galvanic current” para resolver fracturas no unidas y Hawtorne (2) utiliza imanes para resolver “supernumerary joints”. Pero ambos valiosos intentos se quedan sin encontrar la resonancia que merecían, como corresponde a los que tanto se adelantan a su tiempo.

Es en la segunda mitad del pasado siglo XX cuando las instrumentaciones ya disponibles permiten la realización de estudios sobre efectos de los campos magnéticos en animales y plantas, naciendo así el biomagnetismo, como cuerpo de doctrina científica (3) (4).

El conocimiento de las interacciones campo/materia viva origina el que el biomagnetismo se introduzca en la Medicina como una serie de técnicas para examen y diagnóstico que aparecen recogidas en libros de texto. Por ejemplo, Erné (5) nos describe la práctica en medicina del magnetoencefalograma, del magnetoretinograma y el magneto-oculograma. Explica como un campo magnético externo afecta al registro de un electrocardiograma. Describe la magnetopneumografía para tratamiento de la acumulación de humos de soldadura en el pecho, así como depósitos en los pulmones de polvo de carbón mineral. También hizo diagnóstico de sobrecargas de hierro en el hígado, y en cualquier zona anatómica en general.

Del mismo modo, Andrä describe en su libro (6) sobre neuromagnetismo el estudio de los campos magnéticos generados en el cerebro y que hacen posible la TMS (transcranial magnetic stimulation). Expone toda una serie de novedosas técnicas como son MRS (magnetic resonance spectroscopy) que usa la resonancia de ^1H , ^{31}P and ^{13}C para las determinaciones de metabolismo local. En oftalmología se usan imanes permanentes para extraer pequeñas virutas que por un accidente se han introducido en el ojo.

Otra posibilidad perfectamente descrita es la MDT (magnetic drugs targeting). Consiste en propiciar la acumulación de una cierta droga con capacidad terapéutica, en una zona anatómica definida. La droga se aglomera (microcapsulas con un diámetro de 300 μm diameter) con la ferromagnética mitomicina C. Después se le guía magnéticamente hasta la zona del tumor.

Posteriormente, Andrä dió cuenta del uso de los campos magnéticos para seguimiento de la movilidad del tracto intestinal.

El paso del uso en diagnóstico a la utilización en terapia tuvo lugar mas lentamente que el paso de la Magnetobiología a las técnicas de diagnóstico. Aunque ya va alcanzando la madurez suficiente como para que en el NIH americano se considere que “biomagnetism for Bone Repair, Nerve Stimulation, Wound Healing, treatment of Osteoarthritis and Magnetoacupuncturere have been clinically tested and are in limited clinical use. The applications for Tissue Regeneration, Immune System Stimulation and Neuroendocrine Modulations offers the potential for developing new clinical treatment but a further knowledge on the dosage is necessary so that its use can be accepted without reserve.”

Los dos campos de la Medicina en los que el impacto del biomagnetismo fue mas destacable es en Neurología (7) y en el tratamiento de problemas musculoesqueléticos, de cuya temática nos ocuparemos en el presente texto.

Los primeros documentos que aparecen en el siglo XX con aplicaciones del magnetismo a la Medicina (8) no son en realidad aplicaciones directas del biomagnetismo, sino utilización de materiales magnéticos en la construcción de transductores que generan un entorno con vibraciones mecánicas, de probada utilidad en problemas de reparación ósea (9)(10).

Estaba recién terminada la Segunda Guerra Mundial cuando Fukada y Yasuda (11) publican un trabajo, que ha pasado a ser emblemático (el galardón científico más apreciado dentro del campo del biomagnetismo es el premio “Fukada” que se otorga anualmente), y que describe “el efecto piezoeléctrico del hueso humano”. Se refiere al tejido óseo *seco*, no *in vivo*.

Aparentemente parecía que el olvido iba a cubrir esta chispa de luz, como ya había sucedido el siglo anterior con el trabajo de Lente ya mencionado (1). Pero 20 años más tarde de la publicación de Fukada y Yasuda (11), dos escuelas americanas, la del Professor Andrew Bassett de la Universidad de Columbia, y la de los doctores Zacharias Friedenberg y Carl Brighton, del Servicio Médico de la USA Navy, retomaron la antorcha de Fukada y Yasuda, y pusieron para siempre en marcha lo que es uno de los grandes campos de la actual Medicina, a pesar de que hay público que todavía suele mirar estas técnicas con un cierto grado de desconfianza. Ello se debe sin duda alguna a lo abundante de la información impropia que han difundido los *mass media* (12) (13) sobre los “indeseables/perniciosos” efectos de los campos electromagnéticos en la salud de los seres humanos (“polución electromagnética”).

El Prof. Bassett realizó unos primeros estudios sobre el metabolismo óseo (14) en donde comprobaba que los esfuerzos mecánicos en el tejido, *in vivo*, daban lugar a un incremento de oxígeno, justificando así lo saludable que para el buen estado de las piezas óseas supone el ejercicio de la marcha. Posteriormente comprobaba que los esfuerzos mecánicos se traducían en la aparición de potenciales eléctricos (15) (16). Más tarde comprobaba (17) que al imponer, con un electrodo y una pila eléctrica, una corriente eléctrica, se daba lugar a la formación de tejido óseo.

Se completaba con ello el modelo de que el ejercicio que supone la marcha, a través de la producción de impulsos eléctricos endógenos, da lugar al crecimiento del tejido óseo, permitiendo esto establecer la hipótesis de que el crecimiento selectivo de tejido óseo, que se conoce por remodelación, está conducido por los impulsos eléctricos endógenos. Esto justifica claramente la habitual práctica ortopédica de reducir al mínimo el periodo de inmovilización, una vez fijada la fractura, para permitir la movilización lo antes posible.

En consecuencia, lo lógico parecía ser el imponer artificialmente unos impulsos eléctricos equivalentes a la marcha, para resolver no uniones uniones con retardo.

El paso siguiente fue pasar a utilizar unos devanados adjuntados a la zona aquejada de un fallo de consolidación. Estos arrollamientos de hilos de cobre estaban recorridos por impulsos de corriente, de forma que se daba lugar a un campo magnético exógeno. La gran aportación fue comprobar que las variaciones de campo magnético se traducían en aparición de impulsos de corriente (18). Con ello nació la técnica no invasiva conocida como “inductive coupling” y que permitía acelerar el proceso de reparación ósea (19), resolviendo incluso no uniones en los grandes huesos del aparato locomotor (20) (21).

El grupo de la Navy comenzó publicando una medida empírica del potencial bioeléctrico que presenta una tibia de conejo *in vivo*. Dicho potencial es más pronunciado en las diáfisis, y más moderado en la epífisis, lo que se corresponde con el nivel de actividad metabólica de las distintas zonas de una pieza ósea (22). Si se realizaba una rotura experimental en la epífisis, se daba lugar a la aparición instantánea

de un pico de potencial bioeléctrico endógeno. Este pico es la respuesta biológica con la que una pieza ósea pone en marcha su proceso de reparación, pues significa la formación de un foco de atracción de iones de calcio, justo en el punto en el que el calcium influx is more necessary to build up a callus.

La consecuencia inmediata fue el desarrollo de la técnica invasiva (23) (24) consistente en colocar unos pequeños electrodos en ambos bordes de una fractura, de forma que entre ambos bordes imponían una corriente continua o galvánica mediante una pila eléctrica que aplicaba un potencial a ambos bordes de la fractura a través de unos electrodos metálicos allí insertados. La técnica fue desarrollada con posterioridad (25) y (26), después de haber explicado que los potenciales eléctricos controlan la tensión de oxígeno (27), que es el responsable del metabolismo del calcio. La generación de los biopotenciales eléctricos quedaba justificada en base a la diferente composición iónica (28) que presentan las sucesivas capas de tejido que constituyen una pieza ósea.

A fin de explicar la generación de potenciales eléctricos por efecto de la marcha, se dió lugar a una generalización de la pseudo piezoelectricidad de Fukada y Yasuda (11) conocida como modelo “streaming potential” (29) (30). Ello consiste en un modelo por el que bolsas de líquido iónico ofrecen una resistencia viscosa a cambiar rápidamente de forma, dando una apariencia reológica al proceso de deformación mecánica de una pieza ósea.

Teniendo en cuenta que son los potenciales eléctricos los que ponen en marcha los procesos osteogénicos cuya finalidad es procurar una reparación ósea, este grupo de investigadores procedieron a colocar la zona anatómica con el fallo de consolidación a tratar, entre las dos placas de un condensador electrostático, de modo que el potencial exógeno del capacitor suplía la insuficiencia del potencial bioeléctrico (31). Como técnica no invasiva clínica que era, recibió el nombre de “capacitive coupling” (32) (33), para ser diferenciada de la aplicación de campos magnéticos, que recibiría la denominación de “inductive coupling”.

El último paso dado por este grupo fue el poner en marcha una técnica de inductive coupling que repite con campo magnético la forma de los impulsos que habían demostrado su eficacia como impulsos eléctricos (34).

Quizás la mejor comparación entre las técnicas de acoplamiento capacitivo e inductivo sea el trabajo de Pilla et al (35), en donde en vez de estudiar la resolución de la fractura, utilizaron la remodelación ósea como índice de respuesta, llegando a la conclusión de que las características del campo magnético no influyen, solo influye el campo eléctrico inducido en los tejidos.

El conocimiento no profundo de cómo los parámetros del campo magnético que se aplica mediante la técnica del acoplamiento inductivo hizo que no se pudiese proceder a una optimización del campo magnético versus el tipo de problema a ser resuelto. Ello ha originado un gran número de descripciones de campos magnéticos diferentes que son producidos por equipos electrónicos específicos para cada caso. Así por ejemplo, pueden ser citados los trabajos de Sharrard (36), Rubin (37), McLeod (38) y (39), Watson (40), de Haas (41), de Heckman (42) y de Lynch (43). El propósito era, ya que no pueden diseñarse los campos magnéticos con sus parámetros optimizados, conseguir una optimización empírica de los campos, sobre de base

de ir seleccionando los tipos de campos con mejores resultados clínicos en ensayos comparativos realizados con grandes grupos de pacientes

Lo que si es cierto es que, dejando aparte el conocimiento profundo de los mecanismos que se ponen en juego, la experiencia clínica de los primeros años registraba un buen porcentaje de resultados positivos, con comodidad para el paciente, acortamiento de tiempos y evitación de complicaciones. Así por ejemplo, en 1992 Gossling et al.(44), enjuiciaron dicha experiencia “de gran valor por ser un intento de síntesis de las diversas revisiones sobre resultados publicados por los diversos grupos”.

El resumen de los resultados bien pudiera ser:

i) Desde el punto de vista de la eficiencia, la utilización de los PEMF no supone una gran ventaja con respecto a las soluciones quirúrgicas (por ejemplo, en tratamientos de no unión en tibia se resuelven favorablemente un 81 % de casos con tratamiento por campos magnéticos, frente a un 82 % en tratamientos por cirugía).

No obstante suele ser mas aconsejable el tratamiento por campos magnéticos por su menor costo y por su menor tiempo de rehabilitación post alta. También cabe destacar, que el 18 % de pacientes no satisfechos por la cirugía tiene peor pronóstico que el 19 % de los no satisfechos con el tratamiento por campos.

ii) Caso de uniones infectadas. El 81 % son satisfactoriamente resueltas con tratamiento por campos electromagnéticos, mientras que las vías quirúrgicas solo resuelven el 69 %.

iii) En fracturas abiertas se resuelven con campos magnéticos un 78 % de los casos, mientras que la cirugía resuelve favorablemente en un 89 %

iv) En fracturas cerradas se resuelven un 85 % con campos magnéticos, mientras que un 79 % ve resuelto bien su problema por vía quirúrgica.

Los resultados son tanto mas alentadores, desde el punto que evidenciaban gran eficacia en pacientes que desde hacía largo tiempo estaban aquejados de retardo de consolidación.

El comentario final a sus conclusiones fue entonces: “En general, el tratamiento mediante PEMF de no uniones ha probado ser mas eficaz que el tratamiento convencional no invasivo, y al menos tan efectivo como los tratamientos quirúrgicos”.

Dados la carestía y las complicaciones potenciales de la cirugía, los PEMF deben ser considerados por ello como una alternativa eficaz. La experiencia fundamenta su papel como un método aconsejable para tratamiento, en especial, de no uniones en fracturas de tibia”.

En el progreso en cuanto al nivel de conocimiento del mecanismo de la interacción campo magnético-tejido vivo, es donde realmente ha estado siempre la clave de todas las mejoras en este tema que iban registrando en años posteriores.

Se publicó en primer lugar el modelo de interacción por actuación del campo magnético sobre los iones, en relación con la membrana celular (45), que no es sino un modelo utilizado previamente para estudios de magnetobiología en trabajos anteriores (46).

En este modelo se supone que la membrana celular está compuesta por biopolímeros orientados, de forma que ambas caras de la membrana presentan una cierta densidad de carga eléctrica.

En la cara intercelular se acumulan los iones Na^+ , estando su cara intracelular tapizada de iones proteínicos A^- . En la zona estable citoplasmática abundan aniones A^- acomplejados por iones K^+ , resultando conjuntos neutros y estables.

De vez en cuando, una molécula de agua golpea a un complejo $\text{A}\cdot\text{K}^+$, pudiendo llegar a producirse la separación brusca de ambos iones. El ión K^+ puede alcanzar la suficiente energía como para traspasar la membrana a través de uno de sus túneles o canales, alcanzando la zona intercelular. Es el conocido efecto de bombeo selectivo de la membrana celular.

El efecto del campo magnético resulta fácil de explicar pues a partir de que se rompe el par $\text{A}\cdot\text{K}^+$, el campo tiende a dirigir el movimiento de ambos iones A^- y K^+ en sentido opuesto.

A este modelo añadió Liboff (47) y (48) el concepto de resonancia ciclotrónica, así llamada por propugnar que las partículas cargadas toman una trayectoria en circunferencia, tal y como tienen lugar en el acelerador de partículas conocido como "ciclotrón". Fue desarrollado en 1931, por Lawrence y Livingston en la Universidad de California en Berkeley. Consiste en hacer saltar a los electrones a trayectorias en circunferencia, cada vez de radio mayor. Como el periodo de un giro es siempre el mismo, cuanto mayor sea la circunferencia, mayor tiene que ser la velocidad de la partícula, de forma que llegan a alcanzarse velocidades próximas a la velocidad de la luz.

Básicamente el modelo de Liboff consiste en admitir que el proceso de interacción es semejante al sencillo ejemplo de una partícula de carga q que se mueve con velocidad v en el seno de un campo magnético con densidad de flujo B . Esta partícula, de acuerdo con fórmula de Laplace, se verá sometida a una fuerza de Lorentz F , que el campo resulta ejercer sobre la partícula.

La fórmula de Laplace impone:

$$F = q (v \wedge B) \quad (\text{donde } F \text{ es la llamada fuerza de Lorentz}) \quad [1]$$

Como la fuerza aplicada es constante en el tiempo, la trayectoria debe ser una curva de las llamadas "cónicas" en geometría (en este caso particular, una circunferencia). Pero, de acuerdo con el principio de la acción-reacción, tiene que generarse una fuerza de inercia de igual intensidad, por lo que podemos escribir, suponiendo que el campo es perpendicular a la dirección del movimiento inicial de la partícula:

$$q v B = (m v^2 / r) \quad [2]$$

o, lo que es igual

$$r = (m/q) (1/B) v \quad [3]$$

siendo r el radio de curvatura de la trayectoria que la partícula recorre, que en este caso es el radio de una circunferencia. Si llamamos f a la frecuencia o número de giros por segundo que la partícula realiza en su movimiento estacionario, tendremos

$$v = (2\pi r) / T = 2\pi r f \quad [4]$$

Substituyendo [4] en [3] obtenemos

$$f = (1/2\pi) (B) (q/m) \quad [5]$$

Es decir, el que la partícula entre en resonancia con el campo va a suponer que se va a colocar en una onda estacionada circular, con un radio definido por [3] y una frecuencia definida por [5]. Nótese que el que la resonancia se establezca depende *solamente* de la densidad de flujo magnético B, y de la relación q/m de la partícula.

Pensando ahora en los iones que pueden existir en el medio celular, podemos aplicar sus correspondientes valores en [5]. Los resultados se muestran en la siguiente tabla, habiendo utilizado como valor del campo magnético una cifra de 5.10^{-5} Teslas (o 0.5 gauss) muy semejante al valor del campo magnético natural terrestre.

Tabla 1.- Frecuencia de resonancia ciclotrónica de algunos iones

Ión y peso atómico	Masa (10^{-26} kg)	Carga (10^{-19} coul)	(q/m) en (coul/kg 10^7)	f(s ⁻¹)
H⁺ 1.008	0.166	1.6018	9.649	767.1
OH⁻	2.8238	1.6018	0.567	45.1
(OH₃)⁺	3.1558	1.6018	0.507	40.3
O²⁻ 16	2.6578	3.2036	1.205	95.8
C⁻ 35.46	5.8904	1.6018	0.272	21.6
P⁵⁻ 19.00	3.2558	8.009	2.460	195.6
(PO₄)³⁻	13.8870	4.8054	0.346	27.5
Li⁺ 6.94	1.1528	1.6018	1.389	110.4
Na⁺ 22.997	3.8201	1.6018	0.419	33.3
K⁺ 39.096	6.4943	1.6018	0.247	19.6
Rb²⁺ 85.48	14.1993	3.2036	0.226	17.9
Mg²⁺ 24.32	4.0399	3.2036	0.793	63.0
Ca²⁺ 40.08	6.6578	3.2036	0.481	38.2
Sr²⁺ 87.63	14.5565	3.2026	0.220	17.5
Ba²⁺ 137.36	22.8173	3.2036	0.140	11.1
Fe²⁺ 55.85	9.2774	3.2036	0.345	27.4
Zn²⁺ 65.38	10.8605	3.2036	0.295	23.4

Los valores resultan por demás ilustrativos. Por un lado los iones hidratados resuenan a frecuencias más bajas que los iones sin hidratación (el P nos da un buen ejemplo), y como los iones raramente se encuentran sin hidratar, resulta lógico el que sea en el rango de las bajas frecuencias en donde los campos magnéticos disfrutan de la máxima eficacia.

Por otra parte, estos simples valores numéricos nos dan una explicación de la sinergia entre frecuencias, cuando son utilizadas simultáneamente. Un gran ejemplo

es la famosa terna de 38.2 hz, 27.5 hz y 95.1 hz, que componen la dosis ideal para la estimulación ósea. La primera de las frecuencias activa el metabolismo del Ca, la segunda el del P [a través del $(\text{PO}_4)^{3-}$], y la tercera (correspondiente al ión OH^-) ayuda a mantener la basicidad del medio, tan conveniente para la precipitación del fosfato tricálcico.

Un poco por ver los límites del modelo, podemos utilizar la ecuación [5] para calcular la frecuencia de resonancia del electrón libre, es decir, de un “ión” de relación $(q/m) = 1.7589 \cdot 10^{11}$ coul/kg. Obtenemos un valor $f = 1.398$ Mhz, lo que equivale a decir que nos situamos en el rango de las microondas, allí donde la experiencia demuestra que la cesión de energía a la materia es indiscriminada. Lo que concuerda con lo que dice este modelo que supone que en el caso del electrón libre estaríamos fuera de toda selectividad.

Merece la pena detenernos en el aspecto de la importancia de la hidratación de los iones. Lo lógico sería realizar los cálculos de la tabla con iones hidratados, lo que supone que, al haberlos dotados de mas masa, su relación carga/masa es menor, lo que se traduce en una reducción de la frecuencia de giro para un campo magnético dado. Por ejemplo, la frecuencia de un ión Na^+ , por el hecho de pasar a ser considerada hidratada, pasa de tener una frecuencia de giro de 33.3 hz, pasa a corresponderle 18.6 hz, considerando que el campo es de 0.5 gauss.

A pesar de esto, no es desechable la circunstancia de que los iones puedan jugar su papel en correspondencia con su estado de “limpios” o “desnudos” en ciertos compartimentos de la célula que suponen transporte de carga en el núcleo o en la mitocondria así como en las membranas del plasma. Por ello cada valor de la frecuencia de la tabla debería ser desdoblado en no hidratado, mono-hidratado y hidratado-doble.

Este desdoblarse las frecuencias de resonancia en armónicos es congruente con la conclusión de los experimentos de Blackman et al. (49), realizadas con total independencia de los trabajos de Libboff. Blackman estudió el papel en la interacción entre el campo magnético y el eflujo de iones de calcio en células de cerebro de pollo cultivadas in vitro. Sus experimentos confirmaron que el eflujo de calcio dependía fuertemente de la intensidad del campo magnético terrestre local, observando que la máxima salida de iones Ca^{2+} se producía con la conjunción del campo magnético terrestre y un campo exógeno alterno de 0.38 gauss de intensidad y 15 hz de frecuencia. Cuando estos números se duplican a 0.76 y 30 hz respectivamente, se vuelve a maximizar el eflujo de Ca^{2+} .

Estos resultados sugieren la existencia de una serie de “ventanas” de interacción campo-tejido, que son congruentes con el campo magnético continuo natural de la Tierra B_0 de frecuencias:

$$f_n = (2n+1) k B_0 \quad [6]$$

La lógica generalización fue la de poner a prueba este modelo o idea para probar la interacción con moléculas mas complejas que los simples iones. Nos referimos a moléculas tan complejas como algunas de las hormonas que intervienen en los procesos osteogénicos. Así por ejemplo, Luben (50) (51) estudió el efecto de la hormona paratiroidea (PHT) cuyo efecto es la estimulación de la actividad osteoclástica.

Trabajaron en un cultivo de hueso de cráneo de ratón (*mouse calvarie*) en régimen de pérdida de calcio debido a la presencia de PHT. Bastaba con la sola aplicación de los campos electromagnéticos pulsados PEMF, para que cesara la pérdida de masa ósea, en señal de que la acción de la PHT había sido inhibida.

De un modo similar, Fitzsimmons (52) (53) entrevió que la exposición a PEMF incrementaba la formación del factor de crecimiento II similar a la insulina y su transferencia al interior de la célula. Además de este incremento en el factor similar a la insulina, se incrementa el traspaso de calcio a través de la membrana, activando a las proteínas del interior celular.

La literatura técnica acerca de la regulación de la osteogénesis mediante la aplicación de campos magnéticos que actúan sobre los factores de crecimiento, es muy abundante (54) (55) (56) (57). Lo que si parece claro es que de nuevo parecen tener las mayores posibilidades de actuación de los campos de baja frecuencia, según McLeod et al (58) y de baja intensidad, según Aaron et al. (59). Aunque la evaluación completa de estas requerirá en el futuro de un completo conocimiento del papel que juegan los factores de crecimiento en la transducción de esos estímulos físico-biológicos, pues sin ello no es fácil evaluar los mecanismos de acción de los campos magnéticos.

Lo que si parece razonablemente establecido es que la mejor efectividad se consigue con una mezcla de campo alterno y campo continuo DC, tal y como comentábamos anteriormente a partir de los resultados de Blackman (49).

De modo similar Ryaby (60) utiliza un campo senoidal de 76.6 hz e intensidad 400 mgauss mezclado con un continuo de una intensidad de 200 mgauss. Con este campo el método consigue aceptables resultados (61% de casos favorablemente resueltos con una población de pacientes con fallos de la más diversa índole) en pacientes a los que solamente se administra diariamente durante 30 minutos el tratamiento. Como término de comparación con otros tipos de campos, pueden verse, por ejemplo, los ya citados trabajos de Bassett, donde se da cuenta de 80% de resultados favorables con administración de campos magnéticos durante 9 meses de tratamiento máximo, pero con aplicación de campos diaria durante 10 horas (5.2 meses de promedio). En estos casos la población de pacientes está constreñida a fracturas en tibia.

Anteriormente habían sido utilizada una mezcla de campos alternos senoidales (algunos khz e intensidad de hasta 2.5 gauss) mas un campo continuo de hasta 2.5 gauss por Guillen y Madroño (61). Las frecuencias habían sido elegidas como las frecuencias de campo que mas incrementaban el biopotencial endógeno, *in vivo* en tibias de conejo.

El efecto favorable del campo magnético continuo, aislado, sin campo alterno, para la estimulación de la formación de callo óseo en resolución de fracturas, ha sido previsto por Madroño (62).

Utilizando estas frecuencias medias con campo continuo los resultados fueron excelentes (63). De hecho el factor primordial para determinar las probabilidades de éxito de un tratamiento domiciliario como estos, es el nivel de colaboración que el paciente presta al someterse mas o menos a las indicaciones que se le dan para la correcta utilización domiciliaria del equipo. No todos los pacientes están realmente convencidos, cuando inician su tratamiento domiciliario, de que el método va a resul-

tarles efectivo, y con frecuencia acusan en su actitud posiciones claramente depresivas, posiblemente por tratarse de pacientes a los que una pseudoartrosis les mantiene desde hace tiempo alejados de su situación habitual. Esta faceta del tratamiento, que resulta de gran importancia, no suele ser contemplada en los trabajos donde se dan cuenta de análisis de resultados de estudios efectuados con gran número de pacientes, pero sin haber contabilizado la actitud personal inicial de cada uno.

Evaluaciones estadísticas de resultados de tratamiento en grandes grupos de pacientes han sido publicados por Meskens (64), Hinsemkamp (65), de Haas (66), Freedman (67), Stein (68) y Krempen (69), y Randoll (70) para el caso concreto de tratamientos de osteoporosis. No es fácil comparar unos con otros ya que no solamente están realizados con grupos de pacientes sensiblemente diferentes, sino que no hay coincidencia en lo que se refiere a las definiciones de los fallos a tratar y sus distintos niveles de morbilidad o discapacitación.

Como final vamos a hacer una simple mención de artículos que eran revisiones del estado del arte. A finales de los años 80 se daba por mayor de edad a la técnica (71) que había sido aprobada por la FDA en 1979 (72), extendiéndose su aplicación a otros campos de la Medicina (73). En los países del entorno de la Unión Soviética se focalizaron los esfuerzos en simultanear los CMs con otra forma de energía (láser, ultrasonido, etc) y en aplicarlos a un amplio espectro de tratamientos. La visión desde el ámbito de Rusia la tenemos en (74) (75) y (76), y desde la República Checa en (77).

BIBLIOGRAFÍA

- 1) LENTE, F. D. Cases of ununited fractures treated by electricity. *New York Journal of Medicine* 1850;5:317 – 319
- 2) HAWTORNE, E. On the causes and treatment of pseudoarthrosis and specially that form of it sometimes called supernumerary joints. *Amer. Jour. Med.* Vol 1841;1:121 – 156
- 3) MARET G., KIEPENHEUER J., y BOCCARA N. (Editores). “Biophysical effects of steady magnetic fields”. Springer Verlag, Berlin (1986)
- 4) BLANK M., y FINDL E. (Editores). *Mechanistic Approaches to the Interactions of Electric and Electromagnetic Fields with Living Systems*. Plenum Press, New York (1987)
- 5) ERNÉ S N., HAHLBOHM H D. y LÜBBIG H. (Editores). “Biomagnetism”. Editorial Walter de Gruyter, Berlin, Alemania 1981
- 6) Andrä W. y Nowak, H. (Editores). “Magnetism in Medicine”. Wiley-VCH New York, USA.1998
- 7) PRIDMORE S., KHAN U A., REID P. y GEORGE MS. Transcranial Magnetic Stimulation in Depression: an overview. *German Journal of Psychiatry* 2001; 4 : 43 – 50

- 8) Frank HARRY NEWTON. Magnetic Vibrating Therapeutic Appliance. Patent Number US 2,279,906 (14th April 1942)
- 9) SEKIGUCHI, T. and HIRAYAMA T. Assessment of fracture healing by vibration. *Acta Orthop. Scand.* 1979; 50 :391 – 398
- 10) GOODSHIP, A. E. and KENWRIGHT, J. “The influence of induced micromovement upon the healing of experimental tibial fractures” *J. Bone Joint Surgery* vol 67 (British) (1985) pag 650 – 655
- 11) FUKADA, E. and YASUDA, I. “On the piezo-electric effect in bone” *Jour. Phys. Soc. Japan* vol 12 (1957) pag 11 – 58
- 12) MACKLIS, R. M. “Magnetic healing, quackery, and the debate about the health effects of the electromagnetic fields” *Ann. Int. Med.* vol 118 (1993) pag 376 – 383
- 13) PETROWICZ, O. “Aktueller Stand der Risikodiskussion niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder und hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung” *Biomedizinische Technik* vol 42 (1997) pag 103 – 114
- 14) BASSET, C.A.L. and HERMANN, I. “Influence of oxygen concentration and mechanical factors on differentiation of connective tissues in vitro” *Nature*, vol 190 (1961) pag 460 – 461
- 15) BASSET, C. A. L. y BECKER R. O. “Generation of electric potentials by bone in response to mechanical stress” *Science*, vol 137 (1962) pag 1063 – 1064
- 16) BASSET, C. A. L. “Electrical effects in bone” *Scientific American* vol 213 (1965) pag 18 – 28
- 17) BASSET, C. A. L.; PAWLUK, R. J. and BECKER, R. O. “Effects of electric currents on bone formation in vivo” *Nature*, vol 204 (1964) pag 652 – 653
- 18) BASSETT, C. A. L.; PAWLUK, R. J. and PILLAR, A. A. *Science* vol 184 (1974) pag 575 - 577
- 19) BASSETT, C. A. L.; PAWLUK, R. J. and PILLAR, A. A. “Acceleration of fracture repair by electromagnetic field. A surgical non invasive method” *Annals of New York Academy of Sciences* vol 236 (1974) pag 242 - 262
- 20) BASSETT, C. A. L.; MITCHELL, S. N. and GASTON, S. R. “Treatment of ununited tibial diaphyseal fractures with pulsing electromagnetic fields” *J. Bone and Joint Surgery*, vol 63 (American) (1981) pag 511 - 523
- 21) BASSETT, C. A. L. and PAWLUK, R. J. “Non invasive methods for stimulating osteogenesis” *J. Biomedical Materials Research*, vol 9 (1975) pag 371 - 374
- 22) FRIEDELBERG, Z. B. and BRIGHON, C. T. “Bioelectrical potentials in bone” *Journal Bone Joint Surgery* vol 48 (American) (1966) pag 915 – 918
- 23) FRIEDENBERG, Z. B.; ROBERTS, P. G.; DIDIZIAN, N. H. and BRIGHON, C. T. “Stimulation of fracture healing by direct current in the rabbit fibula” *J. Bone Joint Surg.* Vol 53 (Amer) (1971) pag 1400 – 1408

- 24) BRIGTHON, C. T.; FRIEDENBERG, Z. B.; MITCHELL, E. I. and BOOTH, R. E. "Treatment of nonunion with constant direct current"
Clin. Orthop., vol 124 (1977) pag 106 – 123
- 25) BRIGTHON, C. T.; FRIEDENBERG, Z. B.; BLACK, J. et al. "Electrically induced osteogenesis: relationship between charge, current density, and amount of bone formed".
- 26) BRIGTHON, C. T. "Current concepts review: the treatment of non-unions with electricity"
J. bone Joint Surgery vol 63 (Amer) (1981) pag 847 859
- 27) BRIGTHON, C. T. and FRIEDENBERG, Z. B. "Electrical stimulation and oxygen tension"
Ann. New. York. Acad. Sci. Vol 238 (1974) pag 314 – 320
- 28) BRIGTHON, C. T. "Bioelectrical effects on bone and cartilage"
Clin. Orthop. Vol 124 (1997) pag 2 – 4
- 29) PIENKOWSKI D. and POLLACK, S. R. "The origin of stress-generated potentials in fluid-saturated bone"
J. Orthop. res. Vol 1 (1983) pag 20 – 41
- 30) CHAKKALAKAL, D. "Mechanoelectric transduction in bone"
J. Mater. Res. Vol 4 (1989) pag 1034 – 1046
- 31) BRIGTHON, C. T. and POLLACK, S. R. "Treatment of recalcitrant non-union with a capacitively coupled electrical field"
J. Bone Surgery vol 67 (American) (1985) pag 577 - 585
- 32) RIJAL, K. P.; KASHIMOTO, O. and SAKURAI, M. "Effect of capacitively coupled electric fields on an experimental model of delayed union of fracture"
J. Orthop. Res. vol 12 (1994) pag 262 - 267
- 33) SCOTT, G. and KING, J. B. "A prospective, double-blind trial of electrical capacitive coupling in the treatment of non-union of long bones"
J. Bone Joint Surgery vol 76 (American) (1994) pag 820 - 826
- 34) POLLACK, S.; BRIGHTON, C. T.; GRIFFITH, N. J. and PIENKOWSKI, D. "Electromagnetic method and apparatus for healing living tissue"
Patent US5014699
- 35) PILLA, A. A. and MUEHSAM, D. S. "Pulsing and static magnetic field therapeutics: from mechanisms to clinical applications". Capítulo incluido en: M. McLean, S. Engstrom and R. Holcomb (Editores). "Potential therapeutics applications of magnetic fields". Vanderbilt University Press, 2001
- 36) SHARRARD, W. J. W.; SUTCLIFFE, M. L.; ROBSON, M. J. and MACEACHERN, A. G. "The treatment of fibrous nonunions of fractures by pulsing electromagnetic stimulations"
J. Bone Joint Surgery. vol 64 (British) (1982) pag 189 - 198
- 37) RUBIN, C. T.; MC LEOD, K. J., LANYON, L. E. "Prevention of osteoporosis by pulsed electromagnetic fields"
J. Bone Joint Surgery vol 71 (American) (1989) pag 411 - 417
- 38) MC LEOD, K. J. and RUBIN, C. T. "Frequency specific modulation of bone adaptation by induced electric fields"
J. Theor. Biol. Vol 145 (1990) pag 385 - 396

- 39) MC LEOD, K. J. and RUBIN, C. T. "The effect of low - frequency electrical fields on osteogenesis"
J. Bone Joint Surgery vol 74 (American) (1992) pag 920 - 929
- 40) WATSON, J.; and DOWNES, E. M. "The application of pulsed fields to the stimulation of bone healing in humans"
Japan Jour. Apply Phys vol 17 (1978) pag 215 - 218
- 41) DE HAAS, W. G.; LAZAROVICI, M. A. and MORRISON D. M. "The effect of low frequency magnetic fields on the healing of the osteotomized rabbit radius"
Clin. Orthop. Vol 145 (1979) pag 245 - 251
- 42) HECKMAN, J. D.; INGRAM, A. J.; LLOYD R. D. et al. "Nonunion treatment with pulsed electromagnetic fields"
Clinical Orthopaedics vol 161 (1981) pag 58 - 66
- 43) LYNCH, A.F. and MAC AULEY P. "Treatment of bone nonunion by electromagnetic therapy". IJMS, vol 154 (1985) pag 153 - 155
- 44) GROSSLING, H. R; BERNSTEIN, R. A. and ABBOTT, J. "Treatment of ununited tibial fractures: a comparison of surgery and pulsed electromagnetic fields"
Orthopaedics, vol 15 n° 6 (1992) pag 711 - 719
- 45) FARNDAL, R. W.; MAROUDAS, A. and MARSLAND, T. P. "Effect of low-amplitude pulsed magnetic fields on cellular ion transport"
Bioelectromagnetics, vol 8 (1987) pag 119 - 125
- 46) DEL MORAL, A. and AZANZA, M. J. "Model for the effect of static magnetic field on isolated neurons"
J. Magnetism and Magnetic Materials vol 114 (1992) pag 240 - 242
- 47) LIBBOFF A. R. "Electric field ion cyclotron resonance"
Bioelectromagnetics vol 18 (1997) pag 85 - 87
- 48) LIBOFF, A. R. and MCLEOD, B. R. "Kinetic of channelized membrane ions in magnetic fields"
Bioelectromagnetics vol 9 (1988) pag 39 - 51
- 49) BLACKMAN, C. F.; BENANE, S. G.; RABINOWITZ, J. R. et al. "A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium ions from brain tissue in vitro"
Bioelectromagnetics, vol 6 (1985) pag 327 - 337
- 50) LUBEN, R. A.; CAIN, C. D.; CHEN, M. C.; ROSEN, M. D. and ADLEY, W. R. "Effects of electromagnetic stimuli on bone cells in vitro: inhibition of responses to parathyroid hormone by low-energy, low frequency fields"
Proc. Natl. Acad. Sci. vol 79 (1982) pag 4180 - 4189
- 51) CAIN, C. D. and LUBEN R. A. "Pulsed electromagnetic field modifies cAMP metabolism and ornithine decarboxylase activity in primary bone cells"
In: *International Conference on Electric and Magnetic Fields in Medicine and Biology*. Conf. Publ. N° 257. Institute of Electrical Engineers. London and New York (1985) pag 9 - 13
- 52) FITZSIMMONS R. J. and BAYLINK, D. J. "Growth factors and electromagnetic fields in bone"
Clin. Plastic. Surgery. vol 21 (1994) pag 401 - 406

- 53) FITZSIMMONS R. J. and BAYLINK, D. J. "The role of insulin - like growth factor in magnetic field regulation of bone formation"
Bioelectrochem. Bioenerg. vol 35 (1994) pag 87 - 91
- 54) NAGAI, M. and OTA, M. "Pulsating electromagnetic field stimulates mRNA expression of bone morphogenetic protein-2 and -4"
Journal Dental research vol 73 (1994) pag 1601 - 1605
- 55) SAHINOGLU, T.; BHATT, B.; GULLETT, L. et al. "Pulsed electromagnetic fields induce osteogenesis and unregulate bone morphogenetic protein-2 and-4 mRNA in rat osteoblast in vivo".
Trans. Orthop. Res. Soc. vol 21 (1996) pag 204 - 209
- 56) ZHUANG, H.; WANG, W.; SELDES, R. M. et al. "Electrical stimulation induces the level of FGF-B1 mRNA in osteoblastic cells by a mechanism involving calcium/calmodulin pathway"
Biochem. Biophys. Res. Comm. vol 237 (1997) pag 225 - 229
- 57) AARON, R. K., CIOMBOR, D. and JONES, A. R. "Bone induction by decalcified bone matrix and mRNA of TGFb and IGF-1 are increased by ELF field stimulation"
Trans. Orthop. Res. Soc. vol 22 (1997) pag 548 - 554
- 58) MC LEOD, K. J.; LEE R. C. and EHRLICH, H. P. "Frequency dependence of electric field modulation of protein synthesis in fibroblasts"
Science vol 236 (1987) pag 1465 - 1469
- 59) AARON, R. K., CIOMBOR, D. and JOLLY, G. "Stimulation of experimental endochondral ossification by low-energy pulsing electromagnetic field"
J. Bone Miner. Res. Vol 4 (1989) pag 227 - 233
- 60) RYABY, J. T. "Clinical effects of electromagnetic and electric fields on fracture healing"
Clin. Orthop. and Rel. Res. N° 355 (1998) pag 205 - 215
- 61) P. GUILLÉN GARCÍA and A. MADROÑERO DE LA CAL. "Enhancement of bone healing by an exogenous magnetic field and the magnetic vaccine"
J. Biomed. Eng. vol 7 (1985) pag 157 a 160
- 62) A. MADROÑERO. "Influence of magnetic fields on calcium salts crystal formation: an explanation of the "pulsed electromagnetic field" technique for bone healing"
J. Biomed. Eng. vol 12 (1990) pag 410 - 414
- 63) GUILLEN, P; MADRIGAL, J. M; MADROÑERO, A.; PITILLAS, J. I.; GALVEZ, J. M.; and LLOPIS, J. Rev. Esp. De Cirug. Osteoarticular vol 20 (1985) pag 257 - 279
- 64) MESKENS, M.; STUYCK, J., and MULLER, J. C. "Treatment of delayed union and non union of the tibia by pulsed electromagnetic fields. A retrospective follow up"
Bull. Hosp. Jt. Dis. vol 48 (1988) pag 170 - 175
- 65) HINSENKAMP, M.; RYABY, J. and BURNBY, F. "Treatment of nonunion by pulsing electromagnetic field: european multicenter study of 308 cases"
Reconstr. Surg. Traumatol. vol 19 (1985) pag 147

- 66) DE HAAS, W. G; BEAUPRE, A.; CAMERON, H. and ENGLISH, E. "The Canadian experience with pulsed electromagnetic fields in the treatment of ununited tibial fractures"
Clin. Orthop. vol 208 (1986) pag 50 - 55
- 67) FREDMAN, L. S. "Pulsating electromagnetic fields in the treatment of delayed and nonunion of fractures: results from a district general hospital"
Injury vol 16 (1985) pag 315 - 323
- 68) STEIN, G. A. and ANZEL S. H. "A review of delayed union of open tibia fractures treated with external fixation and pulsing electromagnetic fields"
Orthopaedics vol 7 (1984) pag 428 - 436
- 69) KREMPEN, J. F. and SILVER R. A. "External electromagnetic fields in the treatment of non-unions bones. A three year experience in private practice"
Orthop. Rev. vol 10 (1981) pag 33 - 39
- 70) RANDOLL, U. G. "Elektromagnetische Felder bei der Behandlung der Osteoporose"
Therapeuticon vol 6 (1992) pag 144 – 150
- 71) C. A. BASSETT. "Fundamental and practical aspects of therapeutic uses of pulsed electromagnetics fields"
Crit Rev Biomed Eng vol 17 n° 5, 1989, pag 451 – 529
- 72) C. A. BASSETT et al. «Pulsing Electromagnetic Field Treatment in ununited fractures and failed arthrodeses»
JAMA, vol 247 n° 5, February 5, 1982, pag 623 – 628
- 73) C. A. BASSETT. "Beneficial effects of electromagnetic fields"
Jour of cell Biochem, vol 51 n° 4, April 1993, pag 387 – 393
- 74) ULASHCHIK. "Theoretical and practical aspects of general magnetotherapy"
Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury, vol 5, Sept-Oct 2001, pag 3 – 8
- 75) V. I. KOVALCHUCK et al. "Use of extremely low frequency magnetic fields in clinical practice"
Fizicheskaja Meditzina vol 4, n° 1 – 2, 1994, pag 87
- 76) A. ZASLAVSKY et al. "A low frequency impulse apparatus for physical therapy "Infita"
Med Tehk vol 5, 1994, pag 39-41
- 77) J. JERABEK. "Pulsed magnetotherapy in Czechoslovakia. A review"
Rev. Environment Health, vol 10, n° 2 April-June 1994, pag 127-134

II. MECANISMOS DE LA INTERACCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO CON EL ORGANISMO HUMANO

Ya se han comentado en la introducción histórica de esta obra el modelo ciclotrónico y el de traspaso de la membrana celular por iones ayudados por la fuerza de Lorentz, de forma que se intensifica el movimiento browniano que tendrían sin el campo magnético. También estaba vigente el punto de vista de que el campo magnético generaba corrientes en el tejido vivo, que eran las que en realidad tenían la capacidad biorreparadora. Con toda su aparente disparidad, estas teorías sirvieron de pauta para iniciar el inacabable camino del esclarecimiento del mecanismo de la interacción entre el tejido viviente y los campos magnéticos.

Conviene pensar que en este tema habrá siempre aparentes modelos y teorías, sin que en modo alguno supongan el que una desautoriza o substituye a otra. Igual sucede en cualquier otro capítulo de interacción física entre energía y materia. Si por ejemplo estudiáramos la interacción del calor con un sólido policristalino (semejante, en cierto modo, a un tejido pluricelular como son los seres vivos) nos encontraríamos con diferentes “modelos” o “teorías”, que iríamos llamando, dilatación elástica, cambios de fase, formación de tensiones internas por dilataciones diferenciales, oxidación superficial, ablandamiento, fusión, evaporación, etc. Ninguna es más válida que otra.

En la presente exposición vamos a ir siguiendo algunos trabajos que completan y extienden las tres teorías de partida, que finalmente, acaban resumiéndose o sintetizándose en la actual IPR (Ion Paramagnetic Resonance), donde nos encontramos con la grata sorpresa de que coinciden las investigaciones de rusos y estadounidenses. Lo más admirable de estos modernos puntos de vista es que engarzan la acción sobre iones aislados, con el efecto por la vía de actuación sobre los factores de crecimiento.

El modelo de las corrientes eléctricas como elemento vector de la acción biológica (1), tuvo el atractivo de que permitía hacer un modelo informático de las corrientes y entornos de los huesos, y optimizarlos mediante el uso de potentes softwares. Realmente no resolvió ninguna duda importante, y el transcurrir del conocimiento ha etiquetado *a los bioelectropotenciales óseos como un efecto secundario del metabolismo óseo, no como la causa desencadenante de la reparación o remodelación.*

El modelo de la resonancia ciclotrónica sirvió de partida a Jacobson (2) para explicar un hecho experimental, la eficacia de campos magnéticos alternos, del orden de millonésimas del campo magnético terrestre. Para ello supone que los genes, y ácidos nucleicos absorben la energía del campo magnético según un mecanismo cuántico. Estos mecanismos son la reorientación del momento angular de los leptones y bariones que influyen sobre los dominios magnéticos moleculares. Según Jacobson, los oncogenes colocados en inmersión en agua son susceptibles a presentar este proceso cuántico de absorción de energía.

Ya hemos relatado en el capítulo de referencia a las patentes en que consistieron las realizaciones experimentales de estas ideas, con aplicadores tipo piscina y tipo bobina de Helmholtz. La experiencia clínica parece mostrar que estos tan débiles campos resultan de alguna eficiencia en problemas de degeneración neurológica, como tratamientos de Alzheimer y Parkinson, pero no en caso de daños neuropáticos.

Por este camino de las polarizaciones, mas que de partículas, de iones de calcio, fueron las aportaciones de la escuela rusa de Lednev (3), en las que establece que el poder activador de los iones depende de su grado de polarización de su vibración como efecto de su exposición a un campo magnético. El hecho de que los resultados de las experimentaciones impusieran que tenían que darse las condiciones de campo continuo y campo magnético superpuestos, y que el valor de la frecuencia del campo alterno dependiera del ión (4) le permitió sentar las bases del modelo IPR. Hablando muy en breve es algo similar a lo que rige la resonancia magnética nuclear, que tanto se usa para obtener imágenes radiográficas. Se necesita *que haya un campo continuo que oriente los momentos de los átomos, y un campo alterno, de frecuencia sintonizada con un determinado tipo de átomos, que los haga entrar en resonancia.*

Ampliando las aplicaciones del IPR con el ión calcio (5) lograron explicar hechos alejados de la Medicina, como es por ejemplo el geotropismo o tendencia al crecimiento con el tallo orientado de acuerdo con las líneas de fuerza del campo gravitatorio (ellos lo llaman “respuesta gravitropica”) del lino.

Estas líneas van a hacer olvidar los modelos electroquímicos, que, por otra parte, estaban trabajando sobre hipótesis dispares. Aplicando la termodinámica de los procesos irreversibles, Lielmezs y cols (6) desarrollaron un modelo matemático para describir la difusión de los electrolitos en solución bajo la influencia de un campo magnético externo aplicado. El efecto es que el campo cambia el coeficiente de difusión, lo que equivale a decir que exponer a un campo equivale a incrementar la densidad de los iones orgánicos.

Quizás por ello puede ser aconsejable la ingesta de disoluciones salinas, debidamente ponderadas, como la conocida comercialmente como Nutriflow® de la firma Ecoflow Ltd, Saltash, Cornwall, England. Fue formulada por el Dr V Voclavek, autor de “Magnotherapy-the pHacts”, y consiste en una dosis diaria de una disolución en agua del contenido de una bolsita de 6 gr de:

Designación del compuesto químico	Porcentaje en peso
Carbonato potásico	29'87
Sacarosa	24'72

Designación del compuesto químico	Porcentaje en peso
Acido tartárico	16'67
Cloruro sódico	13'56
Carbonato cálcico	8'32
Sulfato magnésico	4'952
Acido ascórbico (Vitamina C)	1'00
Colorante natural de Naranja	0'50
Extracto de gengibre	0'416
Oxido de selenio y sodio	0'00071
Ioduro potásico	0'00061

La mejor forma de administrar a diario este fármaco en tratamientos hospitalarios es cuando el paciente lleva por lo menos 45 minutos de aplicación de campos magnéticos. Para obtener una máxima eficacia debe administrarse a partir de la segunda o tercera semana de tratamiento con campos.

Por otra parte, Lielmezs y cols (7) estudiaron el proceso de difusión de algunos sacáridos a través de una membrana porosa bajo aplicación de un campo magnético externo. El paso a través de la membrana se observaba con un sistema de interferometría láser bifocal de Rayleigh. Comprobaron así que el campo magnético reduce la difusividad de los siguientes sacáridos: sacarosa, xylosa, maltosa y rafinosa en un porcentaje de 3 al 10% a 25 °C

Por otra parte Otter y cols (8) determinaban que la interacción del campo magnético y los iones no se produce por el paso a través de la membrana, sino por resonancia dentro del recinto interior de la célula.

Pero volvamos al modelo de IPR, que tan ampliamente nos es conocido a través de la escuela de Blackman, primero por sus investigaciones a nivel fundamental y, sobre todo, por haber construido un interesante modelo y guiado el conocimiento sobre la interacción campo sobre los nervios in vivo (9) (10) (11) (12) (13) (14) y (15).

En (9) dan cuenta de una investigación con cultivo de cerebro de pollo, al que someten a un campo continuo y a otro alterno simultáneos, con los que producen una emisión de iones de calcio. Esta emisión se produce cuando los campos continuo y alterno son perpendiculares, pero no cuando son paralelos.

En (10) dan cuenta de experimentos realizados con cultivos de células PC-12, en un caldo con factor de crecimiento que determina el crecimiento de neuritas. El objeto era determinar si el efecto sobre la formación de neuritas se debía al propio campo magnético o era por el campo eléctrico que en el entorno de las células se forma. Resultó que el factor activo era el campo magnético.

Desde siempre es conocido el efecto de los campos magnéticos sobre los átomos e iones. A principios del Siglo XX se le daba al holandés Lorentz un premio Nobel por explicar el porqué un campo magnético desdoblaba las rayas de los espectros. Bajo esa óptica desarrollaron (11) un modelo IPR según el cual la resonancia se produce cuando en el seno de un campo magnético constante se añade un campo alter-

no que actúa sobre los iones muy en función de su masa, algo parecido en cierto modo a la resonancia nuclear magnética.

Tomaron como parámetro la NO (neurite outgrowth) de las neuritas de células PC-12. La primera serie fueron mediciones del NO en células expuestas en un campo alterno de 45 Hz con intensidad que se escogía entre 77 a 468 miligauss, mientras que el campo continuo tenía una intensidad de 366 mgauss. En el segundo caso, el campo alterno iba de 7.9 a 21 con 45 Hz, mientras que el continuo iba a 20 mgauss. Finalmente, se usaron de 78 a 181 mgauss con 25 Hz y un continuo de 203 mgauss.

En todos los casos se observó que el máximo de NO se producía en las condiciones que preveía el modelo IPR.

En (12) se comprueba que el modelo IPR admite todas las variantes de estado de los iones que varíen su relación carga/masa, de modo que explica perfectamente los experimentos biológicos.

En (13) se da cuenta de la realización de experimentos similares pero contrarios a los descritos en (10). Esta vez se habían colocado los campos magnéticos continuo y alterno paralelos, de forma que se podía conseguir la extinción. Se observó que las frecuencias con las que se conseguía seguían una regla de armónicos, de acuerdo con las predicciones del modelo IPR.

En (14) se muestran los resultados de múltiples experimentos con los que se barrían un amplio margen de frecuencias, de intensidades de campo magnético y de diferencia entre poner los campos alterno y continuo perpendiculares. Los resultados no fueron totalmente fáciles de explicar, pues si bien en la mayoría de los casos se cumplen con rigor las previsiones del modelo IPR, hay frecuencias para las que deja de cumplirse, sobre todo en lo que se refiere a la perpendicularidad/paralelismo de los campos alterno y continuo.

Como resumen de la aportación que supone el modelo IPR es, por una parte, el poner en escena la posibilidad del juego con las diferencias de orientación entre los campos magnéticos continuo y alterno. En los primeros años de esta técnica, *las corrientes y frecuencias se mezclaban en un único devanado, por lo que obligadamente sucedía que todas las componentes de campo estaban integradas en la perpendicular a las espiras.*

La otra gran aportación es el tema de los armónicos. En el modelo primitivo de la resonancia ciclotrónica, para un ión salía una frecuencia, y solo una, de resonancia. O sea, de absorción de energía del campo magnético exógeno. En el modelo IPR, la condición de resonancia se establece para una frecuencia y sus múltiplos, de acuerdo con los resultados experimentales de Blackman, ya comentados.

Lo curioso, es que mediante el transcurso de procesos matemáticos verdaderamente muy distintos, ambas vías, la resonancia ciclotrónica y el modelo IPR, *llegan a un idéntico valor para el cálculo de la frecuencia fundamental de resonancia del calcio.* La gran ventaja del modelo IPR es que nos quita la dicotomía mental que durante pasados años suponía el trabajar con el sólo modelo ciclotrónico y recibir por la bibliografía la información de que distintas frecuencias producían los mismos benéficos efectos. Por lo que el lector a veces caía en la tentación subconsciente de pensar que todo el biomagnetismo tomaba la apariencia de un cierto efecto placebo.

La continuación de este modelo fue la aplicación al tema de la sinergia de los campos con los factores de crecimiento, en el refuerzo de su acción reparadora. Lo cual era lógico, porque si ambos tratamientos son técnicas reparadoras, lo esperable es que tengan un nexo común. Los vamos a comentar siguiendo el orden Factor de Crecimiento del Nervio NGF (Nerve Growth Factor), Proteínas Morfogenéticas del Hueso BMP (Bone Morphogenic Proteins), y Factor de Crecimiento Fibroblástico FGF (Fibroblast Growth Factor).

La experimentación se inició en células nerviosas de la glándula adrenal de ratas, cuyo examen es fácil porque se colorean muy bien con cromo, hasta el punto que se las suele denominar “cromofinicas”, y con las que se venía estudiando desde hacía tiempo el efecto de los NGF. Con estas células Drucker-Colin et al (16) comprobaron que la exposición a campos magnéticos, producía en las células cromofinicas, el mismo tipo de evolución que el cultivo en un medio al que se había incorporado un NGF del tipo de la noradrenalina.

En células de ganglio dorsal de embriones de pollo (17), se había comprobado anteriormente en un cultivo con 50/100 ng/ml de NGF, que solo con campo de baja frecuencia o con NGF por separado, el crecimiento de neuritas era mas acusado que el que se producía en células de control. Cuando se simultaneaban ambos factores, el crecimiento era aun mas pronunciado.

Aparecen, no obstante, tenues diferencias en la morfología de los crecimientos. En células cromofinicas se observó (18) que la aplicación de solamente NGF originaba la formación proyecciones citoplasmáticas, que en su extremo distal mostraban crecimiento de conos. La exposición a ELF MF (extremely low frequency magnetic fields) originaban mas prolongadas extensiones neuríticas, así como la prevalencia de filamentos intermedios entre las componentes del citoesqueleto.

En este juego de la sinergia de campos y factores Shah et al. (15) comprobaban como para un campo de frecuencia 2hz e intensidad 0.3 mT (3 gauss), se cumple la condición de anulación que había descrito Beckman (14), como ya habíamos comentado anteriormente. La existencia del campo, inhibía el efecto del factor de crecimiento.

El nexo entre los efectos del campo magnético y los factores de crecimiento, no podía ser otro que el ión Ca^{2+} , que tan importante papel juega en las diferenciaciones celulares en las que toma parte el NGF. Se tomaron (19) cultivos de células cromofinicas de glándula adrenal, a las que se sometía a ELF MF y/o NGF. Cuando al cultivo de las células se añadía un bloqueante como es la nifedipina (que impide el paso de los iones Ca^{2+}) simultáneamente a la aplicación de los campos, la diferenciación no tenía lugar. Por el contrario, cuando en vez de campos se estimulaba con NGF, el bloqueante no tenía efecto. Además, se observó que durante la exposición a campos, la adición de agonistas incrementaban el porcentaje de células diferenciadas y la longitud de las neuritas crecidas. Esto permite establecer que el mecanismo es el paso de los iones por los canales Ca^{2+} de la membrana celular.

La investigación ha traspasado el estadio de estudios biológicos en cultivos celulares. En (20) se describen los resultados de unos ensayos consistentes en efectuar transecciones en el nervio ciático medio, y se las expuso a PEMF durante 4h/día, dejando también animales sin exposición al campo como control. La actividad del

NGF fue evaluada en segmentos de 5 mm, proximal y distal, comparandose con un segmento tomado de la pierna en la que no se había producido la transección. La actividad del NGF fue evaluada mediante un ensayo de sensoriabilidad neuronal en DRG de pollo.

En los nervios que no había habido transección, en zonas distal proximal y contralateral, se notaba una disminución de la actividad. Si había habido transección, entre las 6 y las 24 horas aparecía un incremento de la actividad NGF en contralateral, pero no en ipsilateral. Esto parece indicar que los PEMF promueven la regeneración nerviosa prolongando la primera etapa en la que decrece el NGF.

El resumen de todos estos conocimientos es que la mejor baza para la actuación clínica es la aplicación del factor de crecimiento como ya se viene empezando a hacer de forma habitual, pero conjuntandola con un campo de baja frecuencia, o incluso con imanes permanentes.

Algo muy similar podríamos decir de los estudios sobre la BMP. Bodamyali y cols (21), examinaron el efecto de los PEMF en la osteogénesis *in vitro* durante la formación de nódulos de hueso y sobre la expresión en mRNA de proteínas morfogenéticas 2 y 4 mediante la reacción en cadena de polimerasa por transcripción inversa (RT-PCR) en cultivo de osteoblastos de cráneo humano. Con respecto a células de control, se observó que la exposición a PEMF estimulaba la formación de un 39 % más de nódulos óseos, con un incremento en longitud del 70%. Este efecto parecía ser proporcional a la duración en la aplicación de PEMF. Simultáneamente se produce una transcripción en BMP-2 y 4 mRNA.

Por su parte, Yajima et al. (22) hicieron un seguimiento de la influencia de los PEMF sobre la expresión genética de la proteína morfogenética ósea BMP-1 en células osteoblastos humanas, a través de la transcripción de la cadena de polimerasa. Las células fueron expuestas de modo continuo durante 1, 6, 12, 24 o 48 horas. El efecto es claramente el incremento de la mRNA, siendo máxima la estimulación para un tiempo de tratamiento de 12 horas. Estos resultados pueden explicar la estimulación que los PEMF hacen en las células osteoblasticas *in vivo*.

No falta quien hace la síntesis de estas ideas, entre la relación campo magnético con factores de crecimiento locales y la vieja imagen de la piezoelectricidad ósea como estimulación de la osteogénesis durante la marcha. Zhenh et al. (23) hicieron una revisión de 25 trabajos básicos sobre el tema de la influencia de los PEMF y de las sollicitaciones mecánicas en la inducción de la osteogénesis en las células. Dicha interrelación no está completamente clara, aunque parece haberse podido ver que ambos tipos de estímulo, mecánico y magnético, producen algunos factores óseos locales, como la prostaglandina E2 (PGE2), los factores similares a la insulina (IGF-II), la proteína morfogenética ósea (BMP) y el factor de transformación del crecimiento β (TGF- β); todos estos factores juegan un importante papel en la remodelación ósea.

Y pasamos, por último, a ocuparnos de la relación entre campos magnéticos y el factor FGF, por su faceta de gran interés debido a su capacidad de regeneración del cartílago.

Liu y cols (24) estudiaron el efecto de los PEMF sobre la composición y estructura molecular del cartílago proteoglicano en embriones de pollo de 16 días de incubación, a los que se exponía a PEMF 3h/día durante 2 días. En los explantes se obser-

vó que no había variación en el contenido en DNA, pero había una elevación en el contenido en GSM (glicosaminoglicano). Los GSM formados bajo PEMF eran indistinguibles de los formados sin campo, en los embriones control. Un examen de embriones etiquetados con sulfato 35S demostraron que los PEMF impedían la degradación de los GSM preexistentes, formándose nuevos GSM. Parece esto establecer que los PEMF no afectan la estructura molecular de los GSM.

Esta capacidad para formar cartílago puede llegar a ser incluso inconveniente, pensando en algún tipo de aplicaciones, como por ejemplo, la unión de piezas de la espina dorsal. Guizzardi et al. (25) estudiaron en modelos de ratas la influencia de los PEMF en la formación de callo durante la fusión de vértebras, estudiando la evolución de artrodesis postero-lateral en la zona lumbar de la columna vertebral. Para ello procedían a una decorticación y retirada del cartílago articular, aplicándose a continuación el campo magnético. Se mantenía un grupo de control a las que no se aplicaban PEMF. Las ratas eran sacrificadas entre 4 y 8 semanas después, comprobándose que en las sometidas a PEMF la formación del callo comenzaba justo de el primer momento. Por el contrario, en los animales que no habían sido expuestos a los PEMF, la formación del callo tenía lugar a partir de la 8ª semana, teniendo el callo una naturaleza mayoritariamente cartilaginosa. Este resultado explica la ausencia de buenos resultados en muchos casos de fusiones de vértebras por procedimientos quirúrgicos convencionales.

Pero no se trata de que los campos tengan una tendencia innata a decantarse por la activación selectiva de tejido óseo, o de tejido cartilaginoso. Aarón et al. (26) llevaron a cabo estudios in vitro donde comprobaron que el campo promovía la síntesis de moléculas de la matriz extracelular, además de estimular la osificación endocondral. Es decir los PEMF la síntesis del cartílago y la subsiguiente calcificación endocondral. Los estudios histomorfométricos mostraban que la maduración de las trabéculas óseas resultaba asimismo estimulada por la aplicación de los PEMF.

Este puede ser el mecanismo que justifica la utilización clínica de los campos en problemas de reparación de fracturas y fijación de placas.

Hay mas pruebas de que los campos estimulan la formación de un cartílago sin alteraciones. Norton (27) estudió cultivos de condrocitos expuestos a PEMF. En unos casos se aplicaban los PEMF después de un crecimiento sin exposición al campo, mientras que en otro, por exposición desde el momento inicial, todo el crecimiento tenía lugar bajo campo. Los ensayos del primer caso simulaban una no unión atrófica, y los segundos una no unión hipertrófica. En ambos grupos se midió la influencia del campo aplicado sobre la proliferación y diferenciación celular.

Resultó que los cultivos de crecimiento activado mostraban un rápido crecimiento en la actividad lisozomática, en la producción de hialuronatos y DNA. Aparecía también una disminución del contenido de glicosoaminoglicanos. Los PEMF disminuían la síntesis de los glicosoaminoglicanos, si bien este aspecto era abolido por la quitotriosa, un inhibidor específico de la lisozima. Otro tipo de inhibidores, como la cicloeximida, no tenían esta capacidad. *La conclusión es que los PEMF actúan sobre la lisozima de la matriz, produciendo así un cartílago correcto.*

La pista sobre como actuar para derivar el efecto de los campos magnéticos hacia la estimulación de hueso o de cartílago, nos viene en cuanto examinamos el efecto

de sustancias añadidas mientras tiene lugar la exposición. Sakai y cols (28) estudiaron el efecto de los PEMF sobre la proliferación celular y síntesis de los glicosaminoglicanos (GAG) en una serie de experimentos sobre el crecimiento de cartílago en costillas de conejo y cultivo de células humanas de cartílago articular.

El campo aplicado lo era en paquetes de 76 mseg de duración, compuestos de pulsos de 230 microsegundos. Estos paquetes se repetían con una frecuencia de 6.4 hz. La intensidad en pico del campo era de 0.4 mT, y se aplicaba con unas bobinas de Helmholtz. La síntesis del DNA y del GAG se medían por ³H timidina y por incorporación a ácido sulfúrico ³⁵S. El efecto sobre células tratadas con lidocaina, adriamicina e irradiación eran evaluados con un test de dormación de colonias.

La estimulación era durante 5 días, con dos variantes, a) exposición continua y b) periodos de aplicación de 12h/días con otras 12 de reposo. En el caso a) aparecía proliferación celular y síntesis del GAG. En el caso b) era mas intensa la proliferación celular pero la síntesis de GAG no tenía lugar.

El mas eficaz de los agentes de tratamiento en cuanto al incremento de los efectos de los PEMF, era la lidocaina. La conclusión era que el campo mas eficaz era el aplicado con intermitencia de 12 horas, y que la estimulación tiene lugar en el núcleo, no a través de la membrana.

Estas ideas pasaron del laboratorio a la tecnología y a la industria y, de hecho, hay patentes (29) en las que se indica como un campo PEMF aplicado a una zona en la que se suministró FGF sirve para determinar y estimular la formación de tejido cartilaginoso.

Sin darnos cuenta, hemos pasado de los campos de baja o extremadamente baja frecuencia, a los de frecuencia media o impulsos. Es decir, hemos pasado de la resonancia atómica o molecular, del modelo ciclotrónico o IPR, al metabolismo de las reacciones químicas. Hemos entrado con ello en el ámbito de lo que se designa como Magnetoquímica.

La teoría de las reacciones químicas se enmarca, en su concepción clásica, como un choque entre moléculas de reactantes para producir la reordenación de átomos que suponen la formación de productos de reacción. Normalmente, la cinética de la reacción se acelera propiciando estos choques, aumentando su frecuencia, o incrementando la energía cinética de las moléculas reactantes, a fin de que porten la energía suficiente como para puedan permitirse el gasto de energía que supone la formación de los productos de la reacción.

Por ello el incremento de temperatura es el camino habitual para poner en marcha una reacción, recibiendo esta vía el nombre de termoquímica. Pero también podemos actuar haciendo que los reactantes absorban energía que les llega en forma de energía radiante o de energía en forma de campo. Así nacieron la *sonoquímica* (estimulación con ultrasonidos), y la *láser-química*, por ejemplo. Y es evidente que la utilización en fisioterapia del láser y los ultrasonidos no son sino una trasferencia de estas posibilidades.

Del mismo modo podríamos hablar de la *magnetoquímica*, o *arte de aprovechar los campos magnéticos para realizar ventajosamente en su seno las reacciones químicas que nos interesen*, ahorrando la energía que supone la tradicional activación química por calentamiento indiscriminado. La característica fundamental de la mag-

netoquímica es que funciona mas o menos sobre moléculas o iones que cumplen la condición de resonar con el campo, dependiendo del momento magnético de las moléculas reactantes. Es pues una activación mas selectiva que la termoquímica.

En los foros de la Química Física hay una amplia bibliografía sobre estas técnicas, de un gran interés industrial. En Europa hay grupos científicos muy fuertes en este tema, sobre todo en Alemania e Inglaterra. Una excelente revisión sobre estos temas puede encontrarse en la ref (30), que acaba diciendo: “In this review we have tried to give an adequate and clearly structured, comprehensive representation of the present scope of the field of magnetokinetics, whereby we have attempted to put equal weights on both the theoretical and the experimental point of view”

La magnetocinética es una herramienta de uso en la ingeniería química, cuyas ventajas quedan recogidas en patentes. Así por ejemplo, en (31) se describe como se puede controlar una reacción química variando la susceptibilidad a la reacción química mediante la aplicación de un *gradiente de campo magnético*. Si el gradiente de campo que se aplica es positivo, la reacción resulta acelerada. Si el gradiente que se aplica es negativo la reacción resulta aminorada.

Sin duda esta es la explicación del porqué el campo que produce el polo norte de un imán ejerce un efecto calmante, mientras que el campo del polo sur ejerce un efecto estimulador. Mas tarde volveremos sobre este tema.

Hay incluso patentes al respecto. Por ejemplo, Reinpell (32) nos describe como se puede influenciar la velocidad de las reacciones químicas, orientando las moléculas de los reactantes mediante campos eléctricos/magnéticos antes de llegar a la reacción o, incluso, ya en la reacción. Es decir, magnetizando a los reactantes, inmediatamente antes de que lleguen al reactor, o cuando ya están en él. Conviene destacar que parece como si nos acabasen de describir las bases de la “estimulación capacitiva” y “la estimulación inductiva”, que veníamos describiendo antes.

Lo primero que hay que entender es que cuando un campo magnético actúa sobre nuestro organismo, lo está haciendo sobre un conjunto de sustancias, entre las que el agua es mayoría absoluta. Y tendemos a pensar que, por aquello de que está etiquetada como inodora, incolora e insípida, es una sustancia simple, inerte e insípida.

Y nada mas lejos de la realidad. La combinación oxígeno-hidrógeno existe con diversas estructuras moleculares, la de H_2O que corresponde al agua común, la de H_2O_2 que corresponde al peróxido de hidrógeno, y la de trióxido H_2O_3 , que solo es estable a bajas temperaturas.

El mito de su estabilidad química es, justamente eso, un mito. Por una parte, su momento eléctrico polar (el centro de sus cargas negativas O^{2-} y el de su carga positiva H^+ están distanciados, por lo que la molécula tiene un carácter de “no neutra”) y su elevada constante dieléctrica ($\epsilon = 80$ frente al $\epsilon = 1$ del vacío) el agua es un formidable disolvente; por ello el agua estrictamente pura es un producto de laboratorio.

Y también es un mito lo de su estabilidad química, esperable a tenor de su sencillez. Realmente, una proporción de moléculas de agua está desintegrándose e integrándose continuamente, y la relación entre el número de moléculas disociadas y las moléculas inafectadas, definida como pH, nos dan una medida del grado de acidez o basicidad.

Las reacciones de asociación-disgregación (42) son: $\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^-$, $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- = 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{H}_9\text{O}_4^+ + \text{H}_7\text{O}_4^- = 8\text{H}_2\text{O}$. Es decir, el agua es un punto de equilibrio metaestable, límite entre la acidez y la alcalinidad entre iones compuestos de oxígeno e hidrógeno.

Esta forma de ver las cosas nos explica, además, el importante efecto de los campos magnéticos sobre la acidez del medio fisiológico, comprobado experimentalmente porque se traduce en un incremento de la velocidad de corrosión de los implantes metálicos insertados en un ser humano vivo.

Está perfectamente comprobado que la exposición a un campo magnético de una placa, no insertada en un ser humano, sino simplemente inmersa en un electrolito de salinidad similar a la del medio humano interno, acusa la exposición a un campo magnético incrementando su velocidad de corrosión (43).

Normalmente, cuando se realiza un ensayo de este tipo se observa una corrosión inicial (la intensidad de la corrosión se mide fácilmente según la práctica electroquímica), hasta que se forma una finísima cama de óxido, capa que justamente va actuando de barrera de pasivación. Al cabo de un tiempo la corriente acaba por anularse, y la pieza se ha “autopasivado”.

Por ello son tan seguras las prótesis metálicas, en lo que se refiere a resistencia a la corrosión química generalizada; otro tema son las corrosiones por concentración de esfuerzos, por fatiga, etc.

Pues bien, si el recipiente con el electrolito salino donde realizamos el experimento, se envuelve con unas espiras recorridas por una corriente, se comprueba, no solo que la corrosión inicial es mayor, sino que sigue creciendo hasta el infinito, sin presentar el proceso de la autopasivación (43). Y estamos en un medio inorgánico mineral, no biológico.

Conviene aquí recordar que todos los aceros derivados del famoso 18/8 son “inoxidables” en medio débilmente ácido. Un acero de este tipo sumergido en un medio alcalino no tiene nada de inoxidable. Es decir, aplicar un campo magnético a un ambiente acuoso, equivale a alcalinizar el medio. Es como si pudiera decirse que la “magnetoquímica” es un buen ejemplo de la magnetoquímica, ya comentada.

Esta comprobación desestima otras interpretaciones anteriores que achacaban este efecto *non grato* sobre los implantes insertados en un miembro, a que el campo magnético produce una subida del metabolismo, y ello originaba un incremento en el potencial bioeléctrico del hueso, que a su vez incrementaba la corrosión metálica. Pero ello no era muy sostenible, dado que las aleaciones que se utilizan en las prótesis se autopasivan en poco tiempo con una capa de óxido muy coherente, de forma que sin campo magnético se autoprotege de forma automática contra cualquier corrosión química generalizada incluso aunque esta corrosión estuviese inducida por potenciales eléctricos más altos que el biopotencial óseo.

No debe tomarse esto como un hecho que debería desaconsejar el uso de la magnetoterapia en pacientes con prótesis metálicas insertadas (44). El enemigo del acortamiento de la vida útil de las prótesis no es la corrosión generalizada, sino otros tipos de corrosión localizada, antes mencionados. Por otra parte la velocidad de corrosión propiciada por el campo magnético tardaría muchos años en disolver una prótesis, produciendo entre tanto visibles problemas de metalosis.

Tomemos pues la explicación del aumento de la corrosión por la exposición al campo magnético es pues una prueba clara de que la existencia del campo exógeno produce un cambio en el pH, que va a tener, por otro lado, una clara actuación en otros aspectos biológicos.

A partir de este punto, adquieren explicación las palabras de Null (40) “Hay muchas personas con un estado de salud deficiente debido a su mal equilibrado estado acidez/alcalinidad. El estado ácido supone una cierta actividad patogénica asociada a menor conductividad eléctrica y una hypoxia (insuficiente nivel de oxígeno). Esta leve acidemia (exceso de acidez en el medio) expulsa fuera de la célula una cierta cantidad de calcio, originando procesos inflamatorios.

Esta acidez se corrige aplicando el polo sur de un imán. Este efecto se produce por el mecanismo de que los vasos sanguíneos introducen y extraen de zonas intensas del campo magnético generado por los imanes, a las complejas moléculas que componen el flujo sanguíneo, de forma que para cada molécula del torrente sanguíneo supone una subida y bajada de la intensidad del campo. Es como si un tren en un túnel se acercase a un punto en medio de su trayectoria donde hay un fuerte emisor acústico; a partir del momento en que se rebaja la zona ruidosa, la señal de ruido desciende.

Esta variación en el campo ambiental local, se traduce en una sacudida tracción-compresión sobre los agregados de biomonómeros, que se fragmentan parcialmente. Ello permite absorber hidrogeniones del medio para neutralizar los radicales libres que aparecen consecuencia de las roturas de puentes. Y por tanto supone un incremento en la alcalinidad”. Mas tarde explicaremos el porque del polo sur, y no del polo norte.

La magnetocinética nos da la clave de porque los imanes permanentes actúan sobre el dolor. Hay un amplio uso de la aplicación de imanes en magnetoacupuntura y magnetoauriculopuntura según la cual el campo norte produce relajación, mientras que el campo sur genera una estimulación, *pero sin que sea del común el conocimiento del porqué*. Este uso a ciegas es el que ha determinado que el uso de los imanes sea considerado *vox populi* como un tema propio de medicinas marginales o alternativas, que se toleran porque son inocuos y funcionan como efecto placebo. El carácter de campo estático les resta credibilidad, ya que en todo en lo que venimos dando cuenta, las frecuencias del campo resultan un aspecto esencial.

El tema del tratamiento del dolor mediante la aplicación de imanes permanentes del mas diverso tipo está ampliamente recogido en la literatura (39), con descripciones de las presentaciones comerciales, plantillas para magnetoreflexoterapia, envolturas, colchonetas, almohadillas, colchas, gargantillas, pulseras, etc. Lo presentan como una prolongación de la magnetoacupuntura, pero con unas presentaciones que no van a permitir una colocación exacta de los imanes; tal y como sería aceptable si prácticamente cualquier distribución fuese buena.

En Estados Unidos no están regulados los imanes permanentes para uso terapéutico. Si lo están en Japón, donde se exige que sobre la piel del enfermo, los imanes produzcan un campo de 500 gauss. Como término de comparación podemos decir que, por ejemplo, los imanes que se utilizan en el hogar para adherir una nota de papel en la puerta de la nevera, suelen tener un campo de unos 200 gauss.

Excepto en pacientes con obesidad mórbida, en los que es difícil que el campo de los imanes llegue hasta donde se requiere, se obtienen resultados, siempre que previamente se tenga claro el como y donde han de ser colocados los imanes. Pero esta información también está publicada, a partir de los estudios de bastantes equipos de investigadores, entre los que cabe destacar (33) (34) y (35) al grupo del Holcomb Medical Research Institute en la Universidad de Vanderbilt, en Tennessee, EEUU.

La idea básica es que la capacidad de los imanes permanentes para calmar o resolver el dolor se basa en *lo mas o menos pronunciado del gradiente de su campo*.

El concepto físico de gradiente no es sino la rapidez de la variación con el espacio o la distancia. En términos de campo gravitatorio, el gradiente de la superficie de una carretera es la forma correcta para describir lo mas o menos pronunciado de su pendiente. Un terreno llano tiene un gradiente gravitatorio cero, una cuesta ascendente tiene un gradiente gravitatorio positivo, y una cuesta descendente tiene un gradiente gravitatorio negativo. El gradiente de una cuesta suave se representa por un número bajo (positivo o negativo, según corresponda), y a una cuesta empinada le corresponde, como gradiente, una cifra alta (también positiva o negativa).

Los gradientes de campo magnético con imanes se logran fácilmente en la práctica asociando o agrupando pequeños imanes. Es muy fácil de entender imaginando un plano conformado por un mosaico de pequeñas teselas de geometría cuadrada, que en realidad son idénticos imanes permanentes. Si todas las teselas son imanes con la cara norte al exterior, la superficie equipotencial (la gráfica tridimensional del valor del campo en función de la distancia en el plano horizontal x-y) será un casi plano (mas próximo a un plano cuanto mas pequeñas sean las teselas) horizontal, con pequeños hundimientos en los vértices de las teselas. Si todas estuvieran colocadas con su cara sur al exterior, la situación sería idéntica, pero con la superficie equipotencial poseyendo un valor negativo.

Si ahora imaginamos un mosaico en ajedrezado, es decir, con polaridades norte-sur alternativas de modo similar a como se suceden los blancos y los negros en el tablero de ajedrez, la superficie equipotencial saltaría de una cara a la otra, tomando la forma de protuberancias en altorrelieve y en bajorrelieve. Estaríamos con un sistema que produce un campo de capacidad terapéutica incrementada.

Obviamente la superficie dependería del valor de imanación de las teselas, de su geometría (cuadrada, rectangular, exagonal, triangular, etc) y de si están adosada una a otra o si entre ellas hay una llaga neutra, por ejemplo.

Nos encontramos así con la imagen que se necesita para utilizar adecuadamente a los imanes en los tratamientos. Lo más frecuente es trabajar a 4 o a 5 puntos, es decir, con 4 o 5 imanes colocados con una configuración o colocación como:

N	S	N	N
S	N		S
		N	N

A la luz de estas ideas es posible entender algo tan fascinante como es el hecho, avalado por la práctica de la magnetopuntura, de que un polo norte tenga el efecto fisiológico opuesto al de un polo sur, siendo realmente lo mismo, aunque con senti-

do opuesto. Si suponemos que la piel es una superficie equipotencial plana, al adjuntarle un imán, se le produce una protuberancia en relieve o en bajorrelieve, es decir, una zona con gradiente positivo o negativo. Es decir, incrementamos o subimos la potencialidad de las reacciones químicas.

En la ya citada referencia (33) se hace una revisión de resultados publicados de estudios de imanes correctamente aplicados a problemas de dolor. Quedan con ello lejos, las tentaciones de utilizar montajes comerciales con imanes, cuyo único efecto era el placebo, como por ejemplo los “collares magnéticos” (41).

No supone la magnetocinética el establecimiento de una dicotomía entre efectos del campo continuo y el campo alterno, antes bien, al explicarnos el efecto del campo continuo natural terrestre (36) y (37), nos olvidamos de la complejidad que realmente tiene el campo magnético natural que impregna nuestra biosfera (38).

Nada hay mas complejo ni mas desconocido que el campo magnético terrestre, por mas que el hombre de la calle lo imagine algo estático y paralelo a la piel de la Tierra, inmutable como las montañas o los océanos. Por ejemplo, en 1922 el almirantazgo británico publicó que el Norte magnético estaba a 71° N, y 96° W, mientras que en 1962 los canadienses lo situaban en $75^{\circ}1'$ N y $100^{\circ}8'$ W

Un 94 % del campo está generado en la Tierra, mientras que el 6% restante lo generan los cinturones de partículas cargadas que rodean a nuestro planeta.

En cualquier punto de la Tierra, el campo tiene una declinación, o ángulo con el plano vertical en el que situaríamos el meridiano que pasa por ese punto; suele ser de unos 15° .

También tiene una inclinación debida al doblado de las líneas de fuerza del campo, que salen de un polo y se subsumen en el otro. En consecuencia, en los polos magnéticos el campo es vertical (ángulo de inclinación = 90°), mientras que en el ecuador el campo es horizontal (ángulo de inclinación = 0°).

Por ejemplo, en Cambridge, Massachussets, el campo terrestre vale $5'8 \cdot 10^{-5}$ T, con un ángulo de inclinación de 75° , es decir, la componente horizontal es de $1'75 \cdot 10^{-5}$ T, mientras que la componente vertical es de $5'5 \cdot 10^{-5}$ T. Si el campo terrestre no fuese tan complejo (por ejemplo en zonas como el océano Indico hay un campo como si por allí se encontrase un pequeño polo magnético, de los llamados polos periféricos) la simple medición del campo terrestre serviría para determinar las coordenadas geográficas de cualquier lugar.

No hay ninguna teoría medianamente aceptable para explicar la existencia de este magnetismo. La vieja idea del magma interno de hierro fundido, falla en cuanto a que fuese un potente imán, porque a las temperaturas a las que tiene que estar (cada km de profundidad supone una subida de temperatura de 30°) cualquier material ha sobrepasado su temperatura de Curie, y no es ferromagnético. El que los metales fundidos sean corrientes que generan el campo (modelo magnetohidrodinámico) no explica la existencia de polos periféricos ni la variación secular (el magnetismo disminuye un 5% cada siglo) ni la deriva permanente de la declinación (en España varía unos 7 minutos por año).

Por otra parte, el campo producido por las cargas eléctricas del espacio, curiosamente, nos aporta un campo constituido por impulsos mas o menos periódicos, y con variaciones cíclicas que mucho tienen que ver con los biorritmos.

A 100 – 120 km de altura, el medio, que hasta los estudios con satélites artificiales se suponía rigurosamente vacío, es muy rico en iones (mas de 180.000 por cm^3). La radiación solar hace variar esta densidad de iones, lo que equivale a cambiar la circulación del cinturón de partículas, y por tanto la intensidad de la corriente equivalente, por lo que se traduce en la variación de campo magnético del día a la noche.

A lo largo del día hay una variación de la declinación, hacia el este por la mañana y hacia el oeste por la tarde, de unos 7° ; se debe a algo así como la marea de la magnetosfera.

También se aprecia una variación a lo largo de cada mes de unos 4 – 8 nanoteslas de diferencia entre los días mas calmados y los días mas agitados. Del mismo modo puede apreciarse una variación de influjo lunar con un periodo de 24 horas y 50 minutos.

Muy importante son los fenómenos de choque de la magnetosfera, situada a 500 – 1000 km, contra el viento solar, dando lugar a una onda de choque. Esta onda genera un “ruido magnético”, picos de unos 6 nanoteslas, que nos llega en forma de impulsos que se suman al resto de las componentes, mas o menos reposadas.

En resumen, el campo total natural es, principalmente, el campo generado en el interior de nuestro globo terráqueo, que determina los efectos del campo continuo, con sus lentas variaciones que coinciden con los biorritmos, que impulsan con los metabolismos. Por su parte, los tenues y vibrantes campos que se originan en el cielo lejano inciden sobre el cerebro, al generar el ruido de fondo de baja frecuencia que los biólogos habían encontrado en el laboratorio, y que debería ser sumado a un campo continuo, tal y como comentábamos anteriormente, al referir los resultados y el modelo IPR de Lednev (3) y Blackman (11), así como las intuitivas y no muy justificables predicciones de Jacobson (2), que hacía unos cálculos basados en unas hipótesis astrofísicas. El hecho de la coincidencia numérica no demuestra la certeza de lo postulado; ya que los números no son cosa de los dioses.

Los seres vivos de ese planeta llamado Tierra viven pues sintonizados con el campo magnético, de origen un tanto incierto, pero constituido con las componentes necesarias para mantener la vida. O bien, también podríamos pensar que la vida se desarrolló y conformó a tenor de la estructura dinámica de la magnetosfera.

Lo más bello que nos proporciona el biomagnetismo, mucho mas después de haberlo pasado por la prueba de fuego de la terapéutica, es la síntesis de distintos campos del conocimiento que posibilita. Cuando estamos aplicando campos muy débiles en procesos neurodegenerativos como en las enfermedades como las de Alzheimer y Parkinson, estamos intensificando la componente del campo natural con que nos regalan las cargas del lejano espacio; gracias a que el giro de la Tierra es equivalente a que nuestro planeta estuviese quieto y las partículas de la alta atmósfera girasen en derredor nuestro como un enjambre de partículas corriendo por el interior de una gigantesca tubería o espira conductora, algo así como una miríada de electrones orbitando en torno a ese misterioso núcleo (con momento magnético propio, como los núcleos de los átomos), que llamamos el planeta Tierra.

El paralelismo con el núcleo atómico envuelto en una nube de electrones en movimiento orbital, es evidente. Y hace cierto el viejo aforismo de que “como es lo

grande, así es lo pequeño”.

Cuando explicamos como el campo continuo activa localmente los metabolismos, estamos utilizando la magnetoquímica, y mas concretamente, la magnetocinética. Cuando los antiguos, por ejemplo, calcinaban piedra caliza para transformarla en cal viva, estaban usando la termoquímica, es decir, aumentando el movimiento browniano de forma que las colisiones entre moléculas son mas frecuentes. La Humanidad ha tardado muchos siglos en descubrir la magnetoquímica, que más inteligentemente, tiende a poner paralelos a los momentos de los iones, de forma que las colisiones tienen mas probabilidades de dar lugar a esta reorganización atómico-molecular que conocemos como reacción química. Es decir estamos ante la herramienta activadora por excelencia, que actúa sin el indeseable incremento de temperatura de la termoquímica que tan poco gusta a nuestro organismo, para el que el sobrecalentamiento es un síntoma de alarma. La Vida entera no es sino la abundancia privilegiada de unas reacciones químicas que sin el concurso del campo magnético serían muy poco probables y escasas. El planeta Tierra, el único con Vida demostrada, es el único planeta de nuestro sistema solar que tiene campo magnético permanente en el seno de oxígeno libre, que alguien extrajo de los compuestos minerales donde inicialmente estuvo.

La reseña del desarrollo del biomagnetismo, que por reciente no puede ser etiquetado como “historia” empieza con un mal entendido. Lo primero fue que la corriente impuesta con artificiales generadores, propiciaba el crecimiento óseo. Después se vió que el campo magnético era estimulador, y mucho mas cómodo, por su carácter de “no invasivo”, y se acuñó el término “inductive coupling”. Es decir, ponemos unos impulsos magnéticos de campo, que por una inducción similar a la que tiene lugar en una dínamo, generan una bioelectricidad. Y es el efecto de deposición galvánica de estas corrientes, el que incrementa los depósitos cálcicos.

Ahora sabemos que no es así. El campo magnético es la causa, y la bioelectricidad es el efecto. El metabolismo desequilibra localmente el pH, y ello nos convierte en una pila viviente. Y la descarga de la pila mediante corrientes bioeléctricas se llama Vida. Así hay que entender el biomagnetismo, como un conocimiento esencial para entender lo esencial de la vida.

La teoría del IPR, nos dice que parecemos una cuerda vibrante, que a la postre no es sino una selección de posibilidades de vibración; eliminando todo lo que no sea una frecuencia fundamental y todos sus armónicos. Una frecuencia privilegiada no es sino un máximo relativo de posibilidades de vibración. Y cada músico tiene derecho a trabajar con su armónico favorito que mejor sintonice con su oído, que mas conozca, sin que esta ordenada sucesión de ventanas suponga un caos. Todo lo contrario, no es sino la expresión de que cuando los números se usan en la comprensión de la Naturaleza, la armonía del resultado casi seguro resulta ser piedra de toque de su veracidad. Las utopías, los buenos deseos o los espejismos, rara vez resultan ser expresables en números

Y esta forma de poner una luminaria mas en la terapéutica, no ha hecho sino comenzar. Sólo ha caminado lo suficiente como para desvelarnos las claves del juego. Que el futuro sea todo lo fructífero que la Humanidad merece.

La Ciencia está, una vez mas, reconociendo como herramienta de estudio a algo

que se ha mostrado como terapéutico. Quizás la única constante física universal sea la comprobación de que hay un valioso premio adicional a cada búsqueda de ayudas para la salud; la oportunidad de vislumbrar nuevas facetas de la realidad, que no distingue entre materia mineral y materia viva.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) CHEN I I. Y SAHA S. Analysis of the current distribution in bone produced by pulsed electro-magnetic field stimulation of bone. *Biomater Artif Cells Artif Organs*, 1987-88; 15:737-744.
- 2) JACOBSON J. I. A theoretical look at genes as magneto-targets. *Indian J. Theor. Phys.* 1992; 40 (3):161-186.
- 3) LEDNEV V. V. Bioeffects of weak combined, static and alternating magnetic fields. *Biofizika* 1996; 41 (1): 224 – 232.
- 4) LEDNEV V. V., SREBNITSKAYA L. K., IL'YASOVA E. N., ROZHDESTVENSKAYA Z. E., KLIMOV A. A. y TIRAS KH. P. Magnetic parametric resonance in biosystems. Experimental verification of the theoretical predictions with the use of regenerative planarians *dugesia tigrina* as a test-system. *Biofizika* 1996;41(4): 815 – 825.
- 5) BELOVA N. A. y LEDNEV V. V. Dependence of gravitropic response in flax stem segments on the frequency and amplitude of weak combined magnetic fields. *Biofizika* 2000; 45 (6): 1108 – 1111.
- 6) LIELMEZS J. y MUSBALLY G. M. Effect of external magnetic field on difusión of electrolytes in solution. *Electrochimica Acta* 1972;17:1609 – 1613.
- 7) LIELMEZS J., ATWAL V. y ALEMAN H. Magnetic field effect on free diffusion of selected saccharides in aqueous solution through on inert porous membrane". *Journal of the Electrochemical Society* 1990; 137 (12): 3809 – 3814.
- 8) OTTER M. W; MCLEOD K. J; RUBIN C. T. Effects of electromagnetic fields in experimental fracture repair. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1998;355 Suppl: S90-104.
- 9) BLACKMAN C. F., BENANE S. G., HOUSE D. E. y ELLIOTT D. J. Importance of alignment between local DC magnetic field and an oscillating magnetic field in responses of brain tissue in vitro and in vivo. *Bioelectromagnetics* 1990;11 (2): 159 – 167.
- 10) BLACKMAN C. F., BENANE S. G. y HOUSE D. E. Evidence for direct effect of magnetic fields on neurite outgrowth. *Faseb Journal* 1993;7 (9): 801 – 806.
- 11) BLACKMAN C. F. y cols. Empirical test of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with PC-12 cells. *Bioelectromagnetics* 1994;15

- (3): 239 – 260.
- 12) BLANCHARD J. P. y BLACKMAN C. F. Clarification and application of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with biological systems. *Bioelectromagnetics*, 1994; 15 (3):217 – 238.
 - 13) BLACKMAN C. F., BLANCHARD J. P., BENANE S. G. y HOUSE D. E. The ion parametric resonance model predicts magnetic field parameters that affect nerve cells. *Faseb Journal* 1995; 9 (7):547 – 551.
 - 14) BLACKMAN C. F., BLANCHARD J. P., BENANE S. G. y HOUSE D. E. Effect of AC and DC magnetic field orientation on nerve cells. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1996; 220 (3): 807 – 811.
 - 15) SHAH J. P. y cols. Growth and differentiation of PC6 cells: the effects of pulsed electromagnetic fields (PEMF). *Bioelectromagnetics* 2001;22 (4): 267-71.
 - 16) DRUCKER-COLIN R., VERDUGO-DIAZ L., MENDEZ M., CARRILLO-RUIZ J., MORGADO-VALLE C, HERNANDEZ-CRUZ A. Y CORKIDI G. Comparison between low frequency magnetic field stimulation and nerve growth factor treatment of cultured chromaffin cells, on neurite growth, noradrenaline release, excitable properties, and grafting in nigrostriatal lesioned rats. *Molecular and Cellular Neurosciences*, 1994; 5 (6): 485-498.
 - 17) SUBRAMANIAN M., SUTTON C. H., GREENEBAUM B. y SISKEN B. F. “Interaction of electromagnetic fields and nerve growth factor on nerve regeneration in vitro”. Trabajo publicado en: Brighthon, Carl T, Pollack, Solomon R (editores). “Electromagnetics Medicine and Biology” Publicado por San Francisco Press, 1991, pag 145-151.
 - 18) FERIA-VELASCO A., CASTILLO-MEDINA S., VERDUGO-DIAZ L., CASTELLANOS E., OROZCO-SUAREZ S., SANCHEZ-GOMEZ C., y DRUCKER-COLIN R. Neuronal differentiation of chromaffin cells in vitro, induced by extremely low frequency magnetic fields or nerve growth factor: a histological and ultrastructural comparative study. *Journal of Neuroscience Research* 1998; 53 (5): 569-582.
 - 19) MORGADO-VALLE C., VERDUGO-DIAZ L., GARCIA D. E., MORALES-OROZCO CH. y ; DRUCKER-COLIN R. The role of voltage-gated Ca²⁺ channels in neurite growth of cultured chromaffin cells induced by extremely low frequency (ELF) magnetic field stimulation. *Cell and Tissue Research* 1998; 291 (2): pag 217-230.
 - 20) LONGO F. M., YANG T., HAMILTON S., HYDE J. F., WALKER J., JENNES L., STACH R., SISKEN B. F. Electromagnetic fields influence NGF activity and levels following sciatic nerve transection. *Journal of Neuroscience Research* 1999, 55 (2):230-237.
 - 21) BODAMYALI T. y cols. Pulsed electromagnetic fields simultaneously induce osteogenesis and upregulate transcription of bone morphogenetic proteins 2 and 4 in rat osteoblasts in vitro. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 1998, 250 (2):458-461.
 - 22) YAJIMA A. y cols. Effect of pulsing electromagnetic fields on gene expression of bone morphogenetic proteins in cultured human osteoblastic cell line. *Journal*

- of Hard Tissue Biology 2000;9 (2): 63-66.
- 23) ZHENG L. y cols. The mechanism of bone formation promoted by mechano-electrical environments-current studies on local bone factors. *Shengwu Yixue Gongchengxue Zazhi* 2000;17 (2): 218-222.
 - 24) LIU H. ABBOTT J. y BEE J. A. Pulsed electromagnetic fields influence hyaline cartilage extracellular matrix composition without affecting molecular structure. *Osteoarthritis and Cartilage* 1996; 4 (1): 63-76.
 - 25) GUIZZARDI S., DI SILVESTRE M., GOVONI P., STROCCHI R. y SCANDROGLIO R. Effects of pulsing electromagnetic fields (PEMF) on the course of vertebral fusion callus. A histological study. *Acta Bio-Médica de l' Ateneo Parmense* 1990; 61 (5-6): 227-235.
 - 26) AARON R. K., CIOMBOR D. M. y JOLLY G. Stimulation of experimental endochondral ossification by low-energy pulsing electromagnetic fields. *Journal of Bone and Mineral Research* 1989; 4 (2); 227-233.
 - 27) NORTON L. A. Effects of a pulsed electromagnetic field on a mixed chondroblastic tissue culture. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1982; (167): 280-290.
 - 28) SAKAI A., SUZUKI K., NAKAMURA T., NORIMURA T. y TSUCHIYA T. Effects of pulsing electromagnetic fields on cultured cartilage cells. *International Orthopaedics* 1991;15 (4); 341-346.
 - 29) R. MARKOLL. Electromagnetically stimulating cartilage tissue. Patente DE19846685
 - 30) STEINER U. E. y ULRICH T. Magnetic effects in chemical kinetics and related phenomena. *Chemical Review* 1989;(89):51-147.
 - 31) WAKAYAMA N. Method for controlling chemical reaction. Patente JP192132
 - 32) REIMPELL O. Process for influencing the rate of chemical reactions. Patente DE4334192 (1994)
 - 33) MCLEAN M., ENGSTRÖM S. y HOLCOMB R. H. Static magnetic fields for the treatment of pain. *Epilepsy and Behaviour* 2001; (2): s74 – s80
 - 34) SEGAL N. A., HUSTON J., FUCHS H., HOLCOMB R. y MACLEAN M. J. Efficacy of a static magnetic device against knee pain associated with inflammatory arthritis. *Journal of Clinical Rheumatology* 1999; 5 (5): 302 – 305
 - 35) SEGAL N. A., TODA Y., HOUSTON J., SAEKI Y., SHIMIZU M., FUCHS H., SHIMAOKA Y., HOLCOMB R. y MCLEAN M. 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 – 1460.
 - 36) MADROÑERO A. Influence of magnetic fields on calcium salts crystal formation: an explanation of the “pulsed electromagnetic field” technique for bone healing. *J. Biomed. Eng.* 1990;12 : 410 – 414
 - 37) GUILLÉN GARCÍA P. y MADROÑERO DE LA CAL A. Enhancement of bone healing by an exogenous magnetic field and the magnetic vaccine. *J. Biomed. Eng.* 1985; 7:157 a 160
 - 38) LUIS DE MIGUEL. Geomagnetismo. Editorial Instituto Geográfico Nacional (1980). ISBN 84 – 500 – 3985 -1

- 39) OWEN L. Pain-free with magnet therapy. Editado por Prima Health (Roseville, CA 95661), 2000. ISBN 0 7615 2086 4
- 40) NULL G. Healing with magnets. Editorial Carroll and Graft Publishers, New York, 1998. ISBN 0 7867 0530 2
- 41) HONG C. Z., LIN J. C., BENDER L. F., SCHAEFFER J. N., MELTZER R. J. Y CAUSIN P. Magnetic necklace: its therapeutic effectiveness on neck and shoulder pain. *Arch. Phys. Med. Rehabil*, 1982;63: 462 – 466
- 42) PETRIANOV I. V. La substancia mas extraordinaria en el mundo. Editorial MIR, Moscú, 1980. ISBN 5 03 001721 6
- 43) CHAMOUN E K., LEMONS J. E., BUCHANAN R. A. y LUCAS L. C. The effect of electromagnetic bone stimulation of biocorrosion behaviour of Cobalt-Cromium-Molybdenum alloys. 6th Annual Meeting of the Bragg Society, October 1986, Utrech, The Netherlands
- 44) MADROÑERO A., PITILLAS I. y MANSO F. J. Pulsed electromagnetic field treatment failure in radius non-united fracture healing. *Journal of Biomedical Engineering* 1998;10:463 – 466.

III. TECNOLOGÍA DE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS PARA UTILIZACIÓN CLÍNICA; LAS PATENTES MAS SIGNIFICATIVAS

Con independencia de la información científica que aparece contenida en la literatura clínica y biofísica, principalmente en prestigiosas revistas de Ortopedia, conviene también asomarse a este campo del conocimiento desde la perspectiva de la bioingeniería. En estos temas tan interdisciplinarios, donde tan poco fácil es encontrar trabajos con una discusión completa de los detalles de la interacción campo magnético-tejido vivo, es de un gran interés el examen de las patentes de los equipos electrónicos generadores de corrientes y los adjuntos aplicadores, cabezales o transductores, tal y como han ido apareciendo publicadas para proteger los derechos legales de las firmas y entidades que efectuaron esfuerzos de investigación y de difusión de estas técnicas. Entendemos por aplicadores o transductores a las bobinas o devanados de hilo metálico que, al ser alimentadas por adecuadas corrientes, generan un campo magnético al que se expone la zona anatómica del paciente con la afección que desea tratarse.

Se da la casualidad de que las patentes de esta temática de la bioingeniería suelen tener un contenido conceptual mucho mas elevado de lo habitual en otros temas de ingeniería. Se debe ello a que muchas de estas patentes son mas que el habitual simple documento con el que un ingeniero describe un utensilio o equipo, sin dar una justificación científica de su funcionamiento, con el solo objeto de proteger sus derechos, demostrando que en su creatividad y desarrollo hubo originalidad.

En el caso de los equipos desarrollados para utilización clínica de los PEMF aparecen como autores, no ingenieros profesionales de la fabricación, sino la mayoría de los investigadores que intervinieron directamente en los estudios de las investigaciones recogidas en la literatura, los que abrieron realmente estos caminos, y cuyos nombres llenan las listas bibliográficas del biomagnetismo clínico. Y ello hace que en la exposición de estas patentes aparezca un contenido de gran valor, mas de lo estrictamente necesario para entender la utilización en la clínica de uno de estos equipos.

Se puede decir que la aplicación clínica del biomagnetismo alcanza su madurez cuando los investigadores mas relevantes del momento se dan cuenta que hay que dar a conocer con que parámetros las energías electromagnéticas resultan terapéuticas,

sin poder causar daño personal. De otra forma, las regulaciones americanas de la FDA no hubiesen autorizado el uso del biomagnetismo en la clínica.

Para coordinar los esfuerzos dispersos en este sentido, fundaron en USA la SPRBM (Society for Physical Regulation in Biology and Medicine) que inicialmente se llamaba BRAG Society. Posteriormente se forman la Biomagnetics Society (BEMS) y su réplica europea, la EBEA (European Bioelectromagnetics Association), que cooperan en la edición conjunta de la newsletter "Bioelectromagnetics", fácilmente alcanzable en <http://www.bioelectromagnetics.com>. También comparten la edición de la revista del mismo nombre editada por John Willey.

Los mismos nombres de los miembros de estas organizaciones científicas, son los que aparecen como los autores de las mayoría de las patentes.

Vamos a intentar una reseña ordenada de las mas representativas, ya que su abundancia nos impide una exposición exhaustiva. El texto completo de las mismas puede obtenerse de <http://www.espacenet.com>. Para mayor facilidad de exposición, vamos a agrupar las patentes en cuatro categorías. La primera la forman las patentes que ponen su énfasis en el tipo de campo magnético, frecuencias, forma de los pulsos, etc, así como los detalles esenciales constructivos de los equipos que producen tales campos y que constituyen el objeto de la patente, explicando el porqué son estas características las que hace terapéutico a los campos magnéticos que allí se describen.

En los documentos de la segunda categoría usan uno de los estilos literarios aceptados en la redacción de patentes, la descripción del método. Se describe la forma de uso de los equipos y aplicadores, explicando la ejecutoria en base a un modelo teórico biomagnético, que permite además hacer comprensible y atractivo al método descrito.

Incluimos en el tercer rango a mas modestas patentes cuya sola intención es describir un aplicador específico para utilizaciones concretas. Prácticamente pueden alimentarse con cualquier tipo de generador comercial, por lo que normalmente ponen poca atención en describir al generador eléctrico mas aconsejable para su alimentación. El objetivo es maximizar la comodidad del paciente durante su uso.

Por último, nos referimos al conjunto de las patentes que exponen generadores y aplicadores, gracias a los cuales se pueden conjuntar la aplicación de varias formas de energía a la vez, con el fin de conseguir una mayor eficacia terapéutica. Por ejemplo, produciendo y aplicando simultáneamente campo magnético, y campo eléctrico o ultrasonidos.

Dentro de las patentes del primer grupo conviene destacar una de las primeras, la de Pollak et al. (1), que presentan un pequeño generador portátil que produce una señal de 0 a 5 volts constituida por impulsos elementales de 2 a 10 microsegundos. Pueden tener forma de onda cuadrada simétrica, de onda senoidal simétrica, y de impulso triangular. Estos impulsos van empaquetados en periodos de 1 a 10 milisegundos, y entre estos paquetes, hay periodos de silencio total, que duran de 60 a 65 milisegundos.

Con estas señales eléctricas se activan unas bobinas con distinta geometría, dos discos paralelos, una bobina cilíndrica, una bobina de Helmholtz, etc, que se aplican a la zona a tratar.

Menos conocida es la de Kraus (2) que describe un equipo de electrónica del estado sólido convencional que genera una corriente con forma de onda sinusoidal de 2 a 30 hz con la que se alimenta una bobina. Se generaba así un campo magnético en completo acuerdo con el controvertido modelo de Klaus y Lechner para estimulación del crecimiento del tejido óseo. Dicho modelo aparece perfectamente claro a nivel de ensayos de laboratorio con osteones de perro (3). No obstante estos campos no parecían muy eficientes en estudios con perros vivos (4), si bien en la literatura hay constancia de buenos resultados clínicos, sobre todo en cadera (5).

Más imaginativa era la patente de Ostrow y Tannenbaum (6) donde muestran un generador que produce una frecuencia alta modulada por una frecuencia baja. Esta señal se aplica a un conjunto de bobinas colocadas en cascada rodeando la zona a tratar, de forma y modo que de una a otra, por pares de bobinas opuestas, se genera un campo magnético transversal al hueso. Este campo, por pasar la corriente de una pareja de espiras a la pareja siguiente, resulta ser un campo giratorio, siendo esta característica del campo magnético muy favorable para sus efectos terapéuticos.

Bastante diferente es la patente de Holcomb (7) Consiste en un sencillo generador de baja frecuencia en el que se regula la duración del impulso de corriente y el espaciado entre cada impulso y el siguiente, alimentándose con él un aplicador constituido por ferrofluidos, es decir, por líquidos con partículas ferrosas en suspensión. Se muestra en la patente una información sobre que frecuencia es la más conveniente para cada problema clínico.

Más sencillo es el sistema de Jalinous (8) en la que a la única bobina situada en el aplicador, se hacen llegar dos frecuencias, una alta y otra baja. La baja abre o bloquea la salida de la corriente del generador, por lo que la frecuencia alta, activa la bobina en la parte del tiempo en el que la baja frecuencia deja el paso libre. Es decir el campo magnético es una sucesión de paquetes de pulsos de campo espaciados regularmente en el tiempo.

De una gran facilidad es el equipo descrito por Drolet y Gaétan (9), consistente en un circuito de descarga de un condensador a través de una resistencia, produciéndose la carga a través de otra resistencia. Regulando el valor de ambas resistencias se controla la duración del pulso de corriente y el espacio entre pulsos. La señal se amplifica y se lleva a una de entre varias espiras. Cada una de ellas representa un aplicador para rodilla, pié, cintura, etc.

Pasamos a comentar ahora las patentes del segundo grupo, donde lo más significativo es el método de aplicación del tratamiento.

Vamos a comenzar por las aportaciones de Jacobson, que tienen de esencial el poner en juego unos campos magnéticos muy débiles, del orden de los 10^{-20} gauss (el campo magnético terrestre es de 0.35 - 0.40 gauss). En una primera patente (10) se presenta una piscina de unos tres metros de diámetro donde el paciente se mueve o se coloca en una piscina (posición decúbito, prono, nadando, etc). Se aprovecha la geometría cilíndrica de la piscina para envolverla con dos devanados que, en conjunto, constituyen una bobina de Helmholtz. Las frecuencias que se imponen son siempre inferiores a 100 hz.

Los valores tan bajos del campo a aplicar se calculan suponiendo que se le va a suministrar al paciente una energía magnética igual en valor a la energía que supone

su masa. Se usa $mc^2 = Bvlq$, donde m es la masa del paciente, c la velocidad de la luz, B la densidad de flujo magnético del campo exógeno que se superpone artificialmente al campo terrestre, q es la carga eléctrica que supone contiene el cuerpo del paciente, l es la longitud de camino eléctrico que el cuerpo del paciente supone, y v es su velocidad de desplazamiento, que es asimilada a la velocidad de desplazamiento de nuestro planeta en su órbita celeste.

En una patente posterior (11), Jacobson emplea como aplicador una pequeña bobina de Helmholtz, donde el paciente introduce la zona a tratar, que suele ser del aparato locomotor. Las intensidades de campo y las frecuencias, suelen ser semejantes al caso de la patente anterior.

Quizás convenga comentar aquí que las bobinas de Helmholtz, tan usadas en biomagnetismo, no son sino dos devanados circulares e idénticos que se montan paralelos y perfectamente alineados. Por tener un radio igual a la separación entre ambos devanados, se cumple que en el centro de la espira el campo es todo lo uniforme que puede conseguirse con una arquitectura sencilla.

Mayor resonancia han tenido las patentes de Liboff (12). Su idea básica es colocar una serie de bobinas de forma que el campo magnético total (suma del campo producido por las diversas bobinas) se mantenga siempre orientado de acuerdo con el eje del hueso donde se aplica.

La idea base es aplicar el campo exógeno como una serie o secuencia de etapas o escalones que se eligen de acuerdo con un sólo parámetro, la relación campo magnético/frecuencia del mismo. Se varían la intensidad y la frecuencia al pasar al escalón siguiente, pero manteniendo la relación intensidad/frecuencia, estando esta relación sacada de la fórmula del ciclotrón aplicada al ión de calcio:

$$f_c / B = q / (2\pi m)$$

donde f_c es la frecuencia del campo aplicado, B es la densidad de flujo del campo, q es la carga de cualquier ión, y m es su masa. Dicha fórmula indica la condición para que un ión absorba energía del campo magnético donde está sumergida, y se ponga a oscilar armónicamente. El modelo teórico está descrito en A. R. Liboff "Geomagnetic cyclotron resonance in living cells" *Journal of Biological Physics*, vol 13 (1985).

Como se trata de emplear el campo magnético para potenciar la formación de tejido óseo, se ajusta todo al ión calcio. El tratamiento consiste en una serie de escalones o niveles de campo aplicados que suponen, desde el punto de vista de la fórmula del ciclotrón, mantenerse en $5 \cdot 10^5 < q/m < 100 \cdot 10^6$. Se mantiene siempre a B por debajo de 5 gauss. Un valor típico es 16 hz y 0.209 gauss.

Una extrapolación del modelo de Liboff es la patente de Baylink (13), publicada el mismo año. La diferencia estriba en que la relación intensidad/frecuencia se establece no teniendo en cuenta las características del ión calcio, sino considerando el factor II de crecimiento tipo insulina, el factor de crecimiento β , y el FGF fibroblast growth factor.

La misma idea es aplicada por Markoll para regeneración del cartílago (14), que muestra un equipo simple, monocanal de baja frecuencia, que proporciona una onda cuadrada de 1 - 30 hz y una intensidad de 10 - 20 Gauss. Simultáneamente al campo

magnético, aplica un tratamiento con Fibroblast Growth Factor, de forma que el campo potencia el efecto del fármaco.

Las últimas tendencias van sobre la idea de activar diversos devanados cuyos campos se superponen precisamente en el espacio en el que se produce la exposición de la zona anatómica a tratar (6). Es representativa de esta familia, la patente (15) que pivota sobre dos ideas básicas, a) la utilización simultánea de devanados independientes, alimentados cada uno a una frecuencia, y b) la consecución de un campo terapéutico dotado de un gradiente muy pronunciado. Es justo lo contrario de los equipos convencionales de magnetoterapia, que disponen de un único y grande aplicador tubular y trabajan en cada sesión de tratamiento con una única frecuencia.

La justificación es clara. Los equipos de las primeras patentes iban con la filosofía de mezclar una gran cantidad de componentes de corriente en una forma de corriente sofisticada, de impulsos mas o menos agrupados. Esta corriente compleja recorría el único devanado, dando un campo sofisticado de igual manera, pues el campo es proporcional a la intensidad que recorre la espira.

Frente a esto la arquitectura de varios devanados con una orientación espacial específica para cada uno, hace posible el que las distintas componentes se sumen con un cierto ángulo, lo cual se ha demostrado mas ventajoso.

Además existe la posibilidad de procurar una superposición de campos originados con distintas frecuencias. Como cada una de las frecuencias tiene un efecto terapéutico propio, el solapamiento puede y debe dar lugar a una sinergia. Al igual que en un medicamento se incorporan unos fármacos secundarios escogidos en concordancia con el fármaco genérico.

Pero la gran ventaja de los distintos devanados con corrientes merece esto una detención explicativa. Cuando, por ejemplo, a un paciente se le recomiendan cosas tan sencillas como son los baños alternados, se está jugando a aprovechar el principio de acción y reacción. La aplicación del calor es mas vasodilatadora si vino precedida de un enfriamiento, y viceversa.

Del mismo modo, si en un punto estamos aplicando un campo con polaridad norte, su efectividad crecerá si en el entorno conseguimos aplicar otro campo con polaridad sur, de efecto contrario. Es, por ejemplo, la regla de oro de aplicación de imanes en problemas álgicos muy localizados; se les aplica agrupados y con polaridades contrarias, pues de este modo son mas eficaces que cuando se les aplica aislados.

Hablando con generalidad esto puede extractarse diciendo que la efectividad de un campo, mas que de su intensidad o frecuencia (el campo continuo es terapéutico) depende de lo pronunciado que sea su gradiente, es decir, su variación con la distancia.

Es por ello por lo que en (15) se muestra como mas conveniente el trabajar con diversos devanados, que se introducen unos dentro de otros de forma similar a como se apila el conjunto de figuras que constituyen las muñecas rusas. Como cada devanado produce un campo con polaridad distinta, el campo es una serie de segmentos circulares alternados norte-sur-norte, etc. es la situación ideal para procurar el máximo gradiente.

Vamos a explicarlo con el aplicados mas sencillo, el magnetopuntor.

Consta de un magneto-puntor y de un disco perforado magnético.

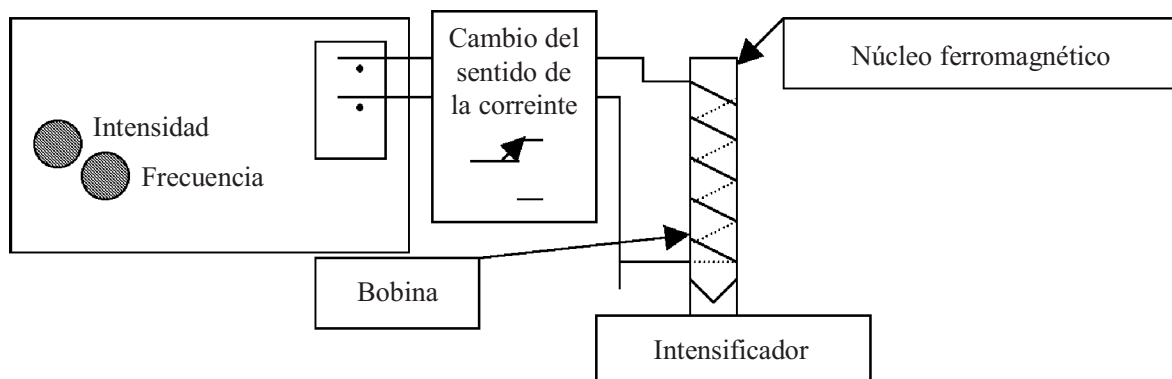


Fig 1.- Esquema del magnetopuntor

Un magnetopuntor es como un lapicero en el que la mina que apunta es una barra puntiaguda de material ferromagnético, que está envuelta en una bobina activada por el equipo electrónico. Para cada utilización, la punta se coloca sobre el punto de acupuntura donde queremos aplicar el tratamiento.

La pieza clave es el intensificador. Puede ser i) un doble disco ferromagnético imanado, con un orificio en el centro, o ii) una bobina plana, montada sobre un disco de material diamagnético o paramagnético, con un orificio central.

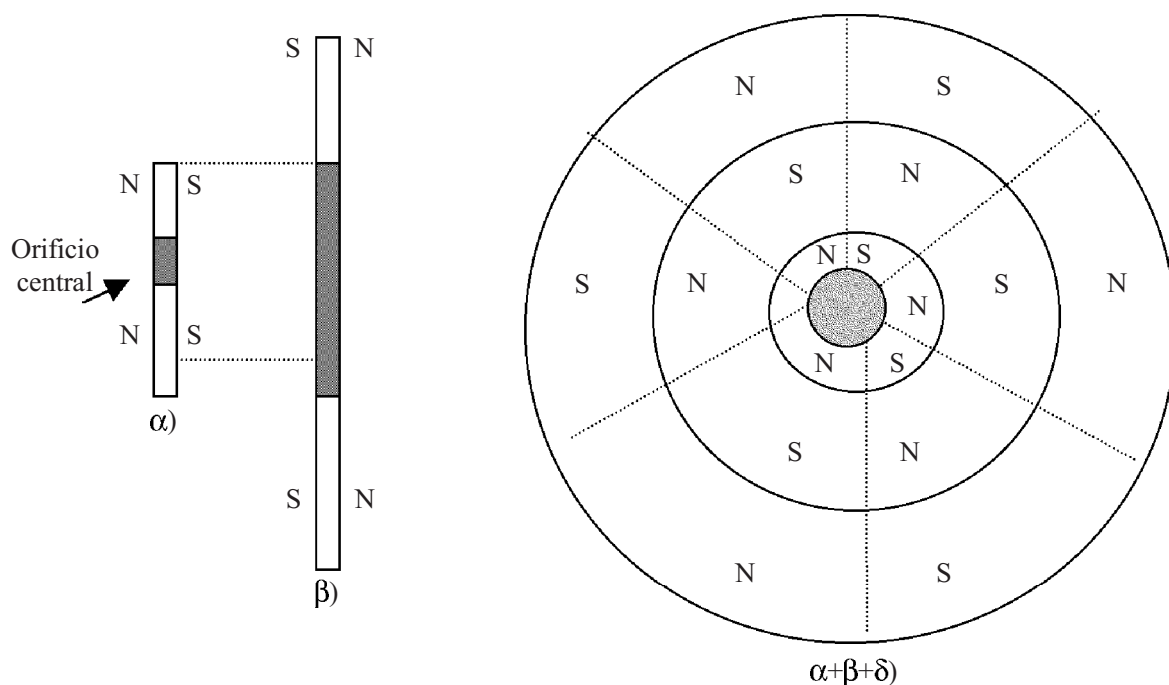


Fig 2.- Tres posibles discos intensificadores

El disco perforado α tiene una cara norte y otra cara sur. El disco β tiene una cara mitad norte y mitad sur. El disco perforado δ tiene 3 polos norte y 3 polos sur en cada una de sus caras

Pueden utilizarse tres combinaciones, α , $\alpha+\beta$ y $\alpha+\beta+\delta$

El disco de material ferromagnético o ferrimagnético, con una geometría similar a una moneda de 1 euro, con su disco central de níquel y banda exterior de aleación de cobre. Por la forma en que ha sido imanado por, una cara presenta un campo magnético con polaridad Norte, y la otra con polaridad Sur.

Por el orificio central del disco α , se introduce la punta del puntor (la “mina” del lapicero).

El tema de la polaridad es importante. Sabido es, en Imanoterapia, que el polo Norte de un imán ejerce un efecto, calmante o “dispersor” de la energía bioeléctrica. Por el contrario, el polo Sur, ejerce un efecto estimulador de la energía bioeléctrica, que en el lenguaje de los acupuntores se dice que es un efecto de “crecer la energía vital en el punto”.

Es decir, que cuando busquemos con el puntor producir un efecto calmante, elegiremos un sentido de corriente tal que el extremo de “la mina” presente una polaridad Norte. Y usaremos el intensificador α de modo que su cara Sur esté en contacto con la piel.

Con ello estamos buscando el efecto de acción y reacción que antes explicábamos con el manejo de la inmersión en agua caliente y fría.

Del mismo modo, para producir un efecto estimulador, haremos que el sentido de la corriente imanadora que el equipo genera convierta al extremo del puntor en un punto de polaridad Sur. Le rodearemos entonces con un disco α de modo que sea su cara Norte la que se ponga en contacto con la piel.

Como paso siguiente podemos insertar el disco α dentro del disco β , de forma que resulte una doble corona circular, presentando por ambas caras una polaridad diferente, N para la corona interior y S para la periférica, o al contrario.

El último paso es rodear exteriormente a la corona β con la δ , de forma que la asociación pasa a ser $\alpha + \beta + \delta$. El disco δ presenta siempre un número par de polos, según fuera el número de polos de la cabeza imanadora. Lo mas corriente es trabajar con discos δ de 6 polos.

Conviene apuntar que los discos α , β y δ tienen como único requisito ser imanes permanentes, es decir pueden ser de naturaleza metálica (material de hierro, cobalto, etc) o cerámico (ferrita bária, óxidos complejos, etc). En el caso de materiales que no sean eléctricamente conductores, el conjunto de una o dos coronas circulares gana eficacia terapéutica si la cara que se pone en contacto con la piel va recubierta de una fina lámina de cobre, plata, o cualquier otro material conductor.

Nos queda por decir es que en vez de utilizar discos imanados con los polos magnéticos situados en varios puntos, formando la sucesión de imanes permanentes α , $\alpha+\beta$ ó $\alpha+\beta+\delta$, podemos utilizar una pequeña bobina, constituida por espiras agrupadas en un disco (con orificio central como en el caso del disco α) de material amagnético (plástico, cerámico, etc) con los hilos metálicos devanados en su periferia. El devanado va excitado desde otra salida del equipo electrónico de modo que podemos jugar con las polaridades del puntor y del intensificador. Pero cuando el intensificador es una bobina podemos jugar también con la frecuencia con la que va a ser activada.

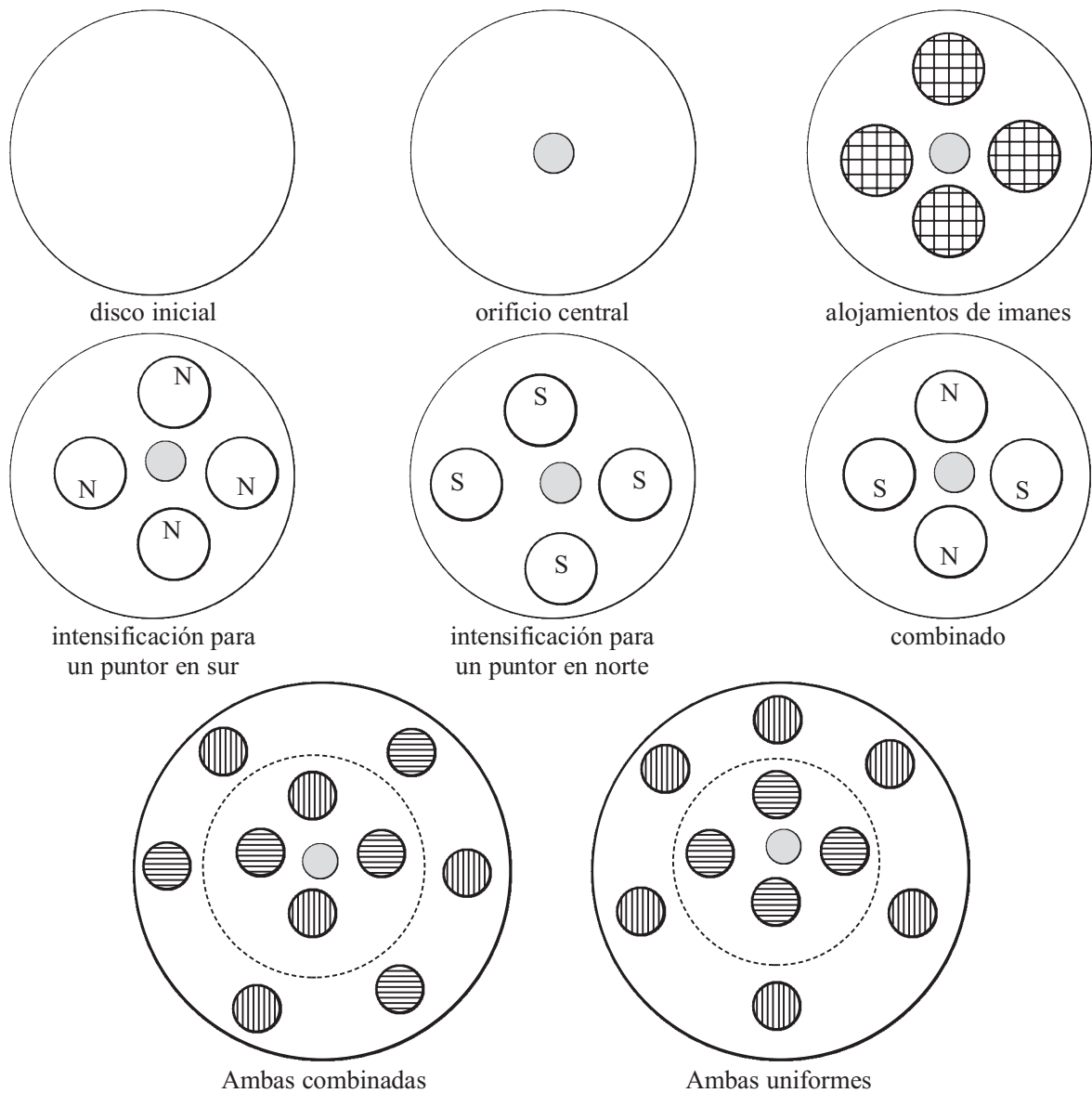
Finalmente conviene comentar que pueden construirse fácilmente estos discos utilizando discos de caucho flexible cargado con polvo de ferrita, de forma que reúnen conjuntamente el ser discos imanables, como si fuesen de material metálico

habitual para imanes permanentes, y a la vez, lo suficientemente flexibles como para adaptarse a la curvatura de cualquier zona anatómica sobre la que deban trabajar.

Estos discos también pueden construirse como piezas flexibles y aprovechando los pequeños imanes, en forma de lenteja de ferrita imantada, que se expenden en el comercio del ramo para magnetopuntura. Se usan habitualmente adheridos sobre la piel para tratamientos del dolor.

Basta para ello disponer un disco flexible de caucho o plástico, en donde se practican unos orificios donde se alojan los pequeños imanes, dispuestos en una, dos o tres carreras.

Normalmente los imanes se fijan a su alojamiento con adhesivo, y la secuencia de sus polaridades puede ser N,N,N,... o S,S, S,S,...o S,N,S,N,...según convenga.



Dos configuraciones de entre las posibles para un intensificador de pequeños imanes implementados (ambos rayados indican o polo norte o polo sur)

Fig 3.- Discos flexibles

El paso siguiente es, por ejemplo, agrupar una gavilla de puntores paralelos (alimentación en serie) en un mismo cabezal. Según hagamos las conexiones de alimentación, podemos obtener las configuraciones χ , ϵ ó ϕ , según se indica en Fig 4.

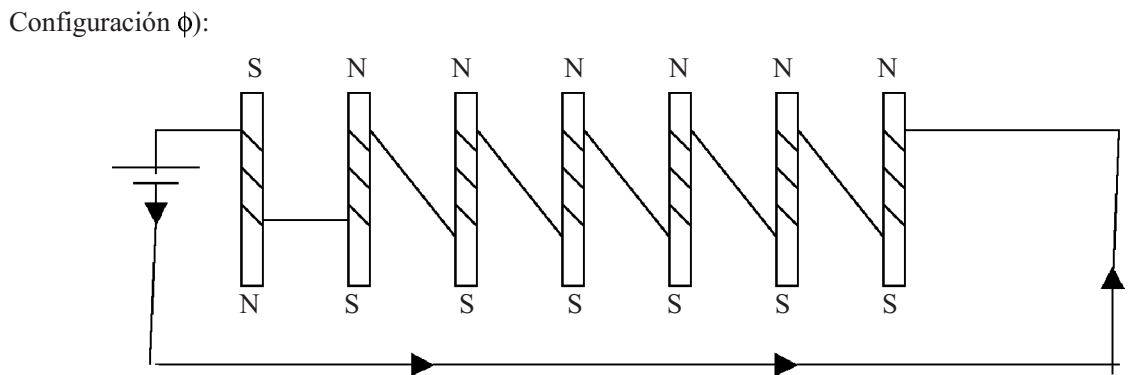
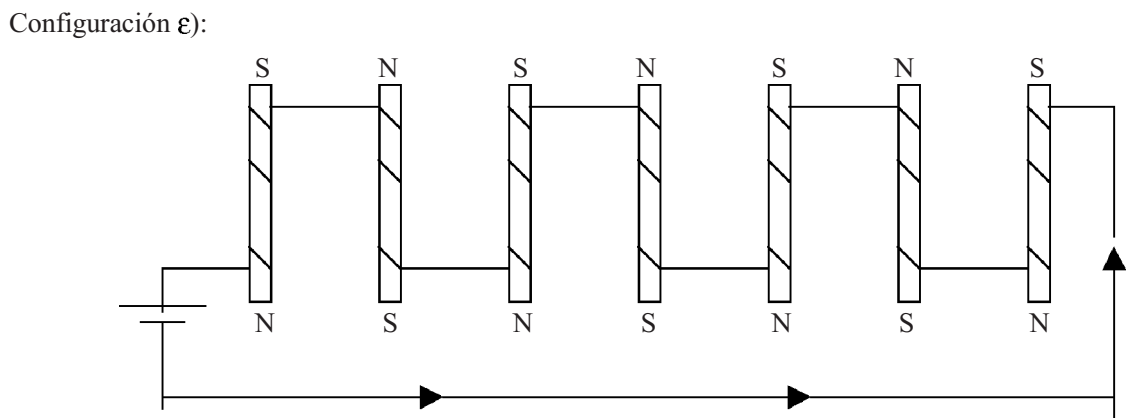
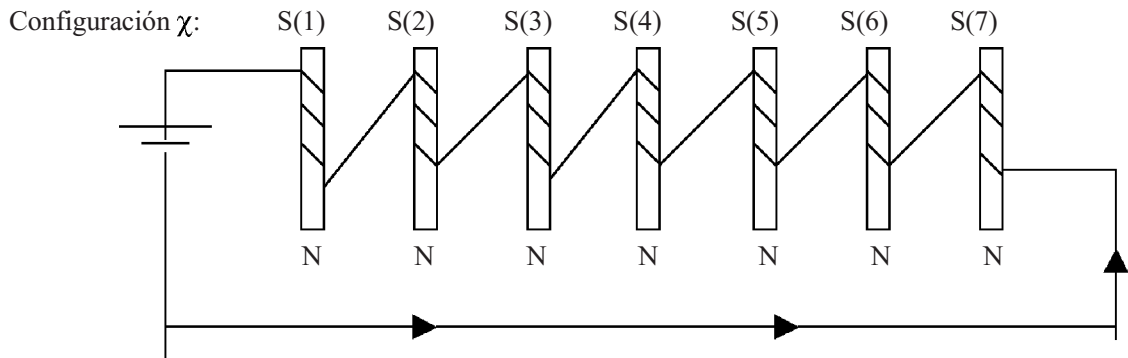


Fig. 4.- Algunas formas de conexión

Supongamos ahora que la alimentación y colocación de los elementos en el cabezal es como se indica en la fig 5, donde para mayor simplificación hemos supuesto que alimentamos con corriente continua.

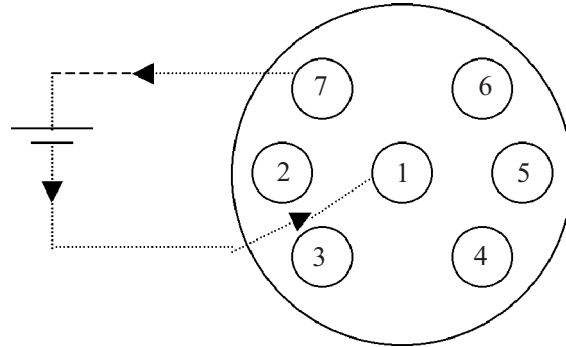


Fig 5. Arquitectura de un cabezal

Llevando ahora las tres configuraciones de la figura 4 a la figura 5, nos salen (suponiendo que hay un inversor del sentido de la corriente), las tres configuraciones de cabezal que se indican en la Fig. 6

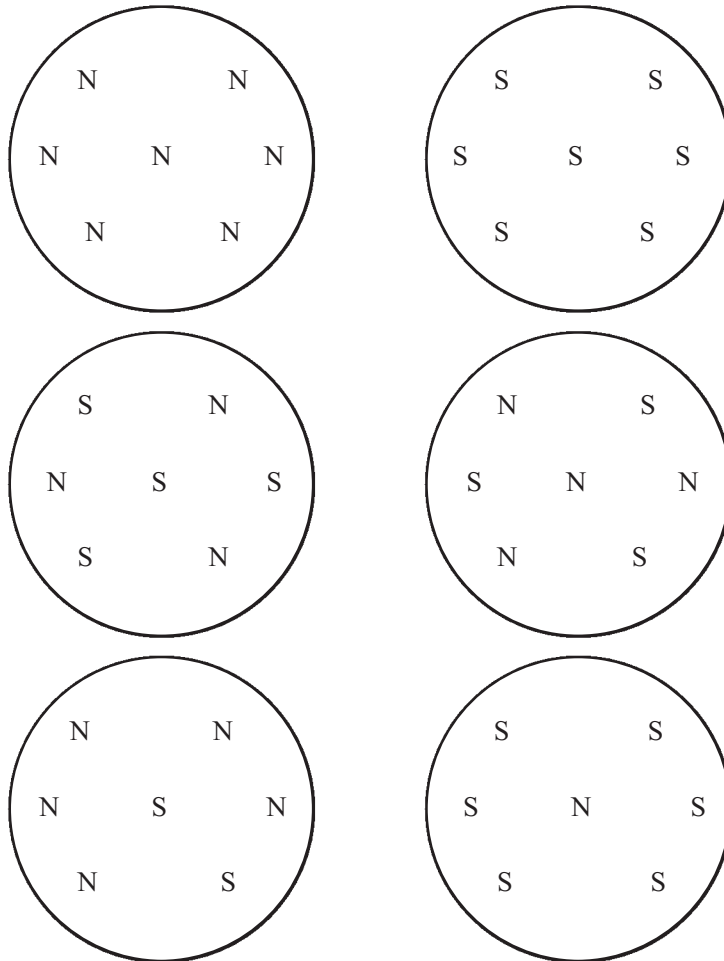


Fig 6. Polaridades magnéticas que aparecen en los cabezales

Es evidente que, en vez de la fuente de corriente continua, el cabezal puede estar alimentado con una alterna de baja frecuencia. Si se deseara trabajar con, por ejemplo, tres frecuencias, podríamos hacer conexiones tales y como las que se muestran en la figura 7.

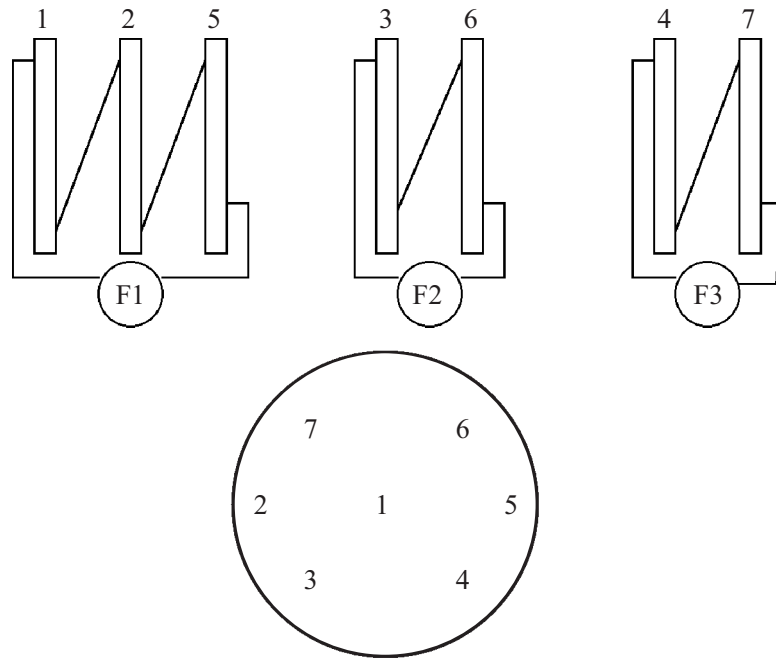
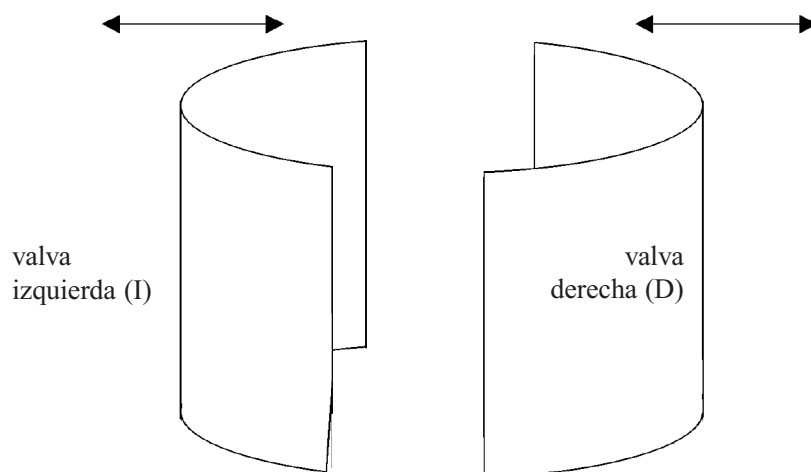


Fig.7. Cabezal con tres frecuencias

Puede haber otras muchas formas de aprovechar el uso de solamente tres frecuencias distintas. Por ejemplo, se puede hacer un aplicador cómodo de usar para situaciones de tratamiento del miembro inferior en situaciones en las que hay colocado un fijador externo. En tales circunstancias, un aplicador cilíndrico, dividido en dos valvas o mitades, tales y como se indica en la Fig. 8, puede resultar de uso cómodo.



En proyección sobre el plano horizontal se muestra la ubicación de las seis espiras, indicando la suma de los campos magnéticos que producen.

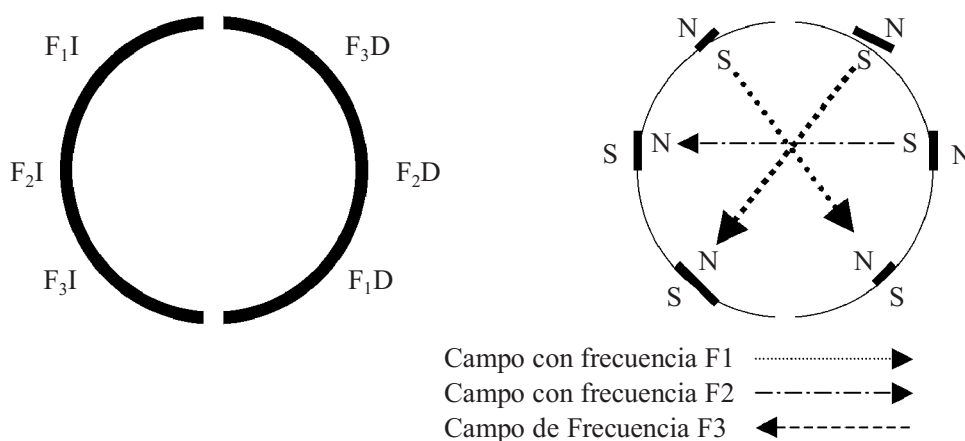


Fig. 8. Disposición de un aplicador (dos valvas) con 3 campos ortogales al eje

Puede verse fácilmente que el campo que produce cada una de estas espiras se suma con el que produce la espira opuesta, situada en la otra valva, de forma que en el interior del aplicador hay tres campos magnéticos que se suman vectorialmente. Y cada uno con su frecuencia.

Por otra parte, lo mas importante es que el número de combinaciones que puede hacerse con los posibles distintos aplicadores, da un amplio juego. Por ejemplo, podemos añadir otro aplicador consistente en una almohadilla fina, moldeable, portador del devanado por su periferia, y provisto de un orificio que, por su tamaño, permita justo el paso de cualquiera de los cabezales que hemos descrito anteriormente.

La combinación del cabezal y las almohadillas puede ser en dos maneras. Podemos introducir el cabezal en la almohadilla, de forma que el conjunto trabaja de forma similar al puntor con su disco intensificador, o podemos ponerlos de forma que se crucen de forma perpendicular, tal y como se indica esquemáticamente en la figura 9.

Como resumen podríamos decir que magnetopuntura, magnetoanalgesia, magnetosteogenia y magnetoterapia son un mismo concepto, designado en orden a la amplitud de la zona anatómica destinada al tratamiento, es decir, con campos de aplicación de tamaño creciente.

El último comentario de este segundo grupo de patentes es para referir intentos de solución al problema básico de la aplicación terapéutica de los campos magnéticos, el de poder escoger previamente a cada tratamiento la frecuencia mas adecuada para solución de cada afección.

A este respecto cabe decir que hay que hacer tres grupos de casuísticas, como mas tarde explicaremos, Magnetosteogenia con frecuencias medias, antiálgico con frecuencias bajas y procesos degenerativos neuronales. En párrafos siguientes comentaremos estas informaciones.

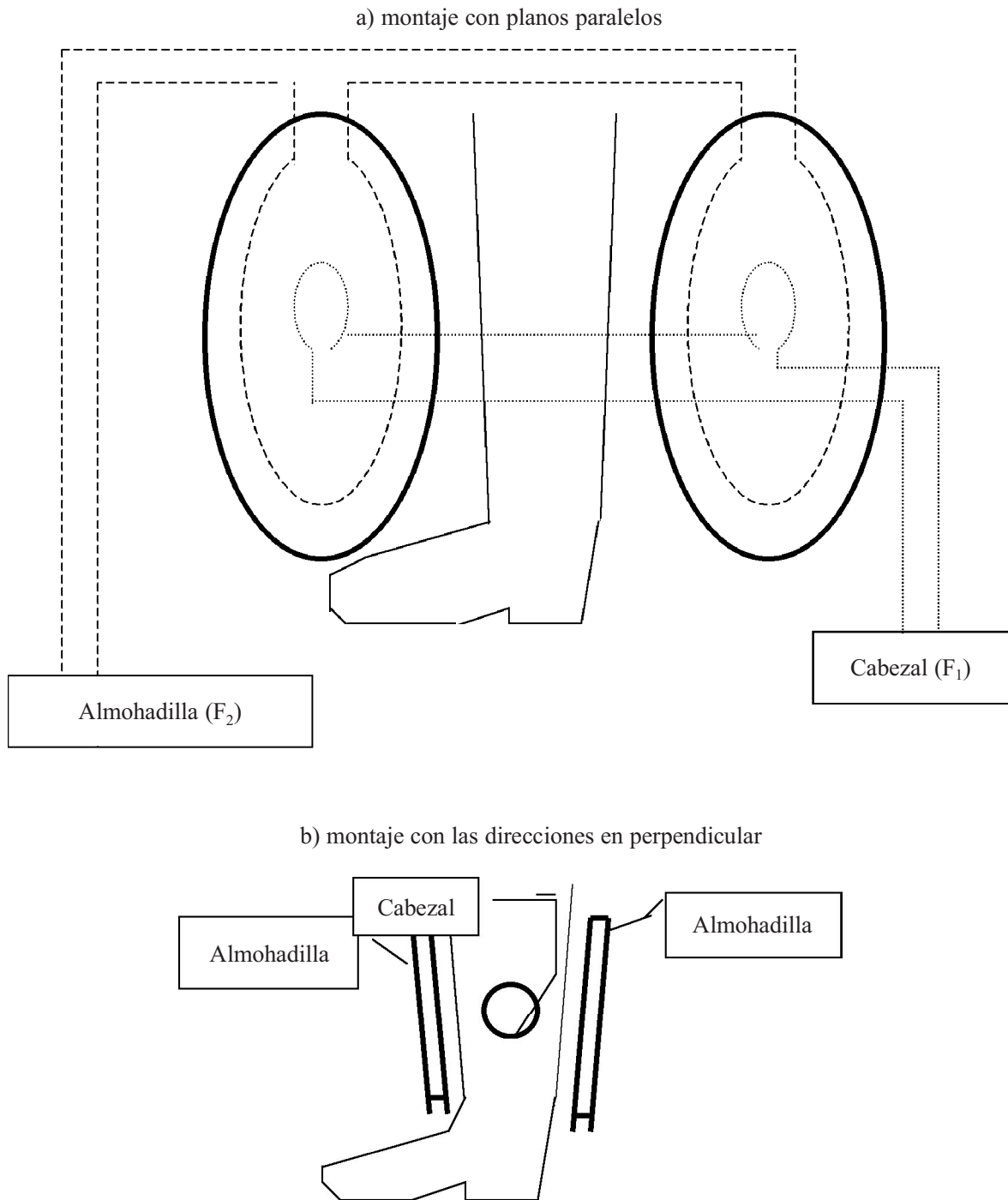


Fig 9. Montaje con dos aplicadores diferentes

Algunos casos ha habido en que se han preconizado las frecuencias del propio organismo, como es en las aportaciones de Jacobson y Walpole (16). En la anteriormente comentada aportación de Jacobson, que calculaba las frecuencias en base a la resonancia de unidades químicas básicas como el ADN. En lo expuesto por Walpole su sugiere tratar cualquier dolencia o problema con las frecuencias de las ondas cerebrales básicas, ya que si con ellas el cerebro genera la producción de la sustancias

que controlan la química interna del organismo, pueden ser las mejores frecuencias para el campo.

En la patente de Walpole se construye un generador de muy pequeño tamaño, capaz de crear tensiones con las frecuencias en las bandas de las ondas cerebrales (Delta de hasta 3 hz, Theta de 3 a 6 hz, Beta de 12 a 30 hz, Gamma de 30 a 60 hz y Lambda de 60 a 200 hz).

Suponen que aplicando estas frecuencias sobre prácticamente cualquier punto del cuerpo (un punto o articulación del aparato locomotor) resulta terapéutico, ya que esas frecuencias son las que el cerebro utiliza para incitar la producción de hormonas y antígenos que resuelven naturalmente los problemas.

A fin de facilitar la aplicación del equipo lo construyen miniaturizado, alimentado por una pila de reloj de pulsera. Queda envuelto este minúsculo generador en unas espiras de hilo. El conjunto de aplica de modo semejante a como se sujeta un reloj a la muñeca, con las correillas.

Pasamos a citar de pasada algunas de las mas conocidas dentro del amplio tercer grupo de las patentes que describen aplicadores, cómodos, fácilmente utilizables, sin entrar a discutir las frecuencias de trabajo ni los fundamentos de la actuación de los campos que producen.

Como ejemplo representativo citaremos la patente de Edwards (17), en la que se muestran unos aplicadores a modo de espiral plana, en cuyo centro se encuentra un minúsculo generador alimentado por una pila de reloj. Lo mejor es que el conjunto forma como un parche, plástico y conformable, que se aplica a cualquier punto del aparato locomotor, muñeca, tobillo, puente del pié, y por su adaptabilidad y mantenimiento de la forma, queda colocado y se mantiene aplicando el tratamiento.

Con la misma filosofía aparecen redactadas las patentes (18) a (24), cuya lectura suele resultar curiosa. La de Blackwell (18) muestra unos devanados con núcleo ferromagnético flexible, resultando un adminículo muy moldeable. Pescatore (19) muestra unos aplicadores muy moldeables de acuerdo con la forma de las zonas donde se usan. Buscando precisamente, la moldeabilidad del aplicador, Tepper (20) describe unos arrollamientos en espiral. Este mismo autor (24) describe unos arrollamientos también en espiral pero triangulares, para actuar en zona cervical y dorsal.

También es frecuente encontrar descritos sencillos devanados, que se incluyen en la ortesis de yeso (cast) con que se fija la fractura de un paciente. Su misión es permanecer implimentados durante el tiempo que el paciente permanece enyesado, siendo desechados cuando el yeso es retirado. De este tipo podemos citar como muy representaiva la patente de Talish (25) y (26).

Aparecen también publicadas patentes que no son sino una silla o sillón muy adaptados a la condiciones físicas del paciente que toma el tratamiento, ya que en estos muebles existen elementos elementos de comodidad, reposamanos, apoyacabezas, etc, que procuran al usuario una sensación de confort, y llevan incluidas en asientos, respaldo, apoyos, etc las bobinas de los aplicadores. El paciente se acomoda en la poltrona y no tiene que colocarse los aplicadores. En este sentido pueden citarse la de Tepper y Mc Dertmond (27) y la de Markoll (28). En la primera de ellas se muestra una silla con respaldo y brazos, en donde se han acomodado diversos

devanados, de forma que el paciente toma su sesión sin más que sentarse. En la segunda, destinada a tratamiento de problemas en la mandíbula, se montan una serie de espiras en un collarín, de modo que se genera el campo con las espiras más adecuadamente ubicadas, más cerca del fallo a tratar.

Finalmente, en el cuarto grupo de sistemas para aplicar simultáneamente energía bajo diversos campos podemos citar a Giangregorio (29) que muestra un equipo capaz de suministrar al paciente campo eléctrico y campo magnético, y a Ostow (30), que muestra un sistema portátil capaz de proporcionar al paciente, simultáneamente, magnetoterapia, iontoforesis y TENS.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Patente US005014699
Solomon R. POLLACK, Carl T. BRIGTHON, David PIENKOWSKI y Neil J. GRIFFITH. "Electromagnetic method and apparatus for healing living tissue"
- 2) Patente US005192263A
Werner KRAUS. "Electromedical apparatus for generating low-frequency magnetic fields"
- 3) STUHLER T., KAISER G., MEFFERT O. y STRADE D. "The influence of low frequency DC (system Klaus - Lechner) on bone growth"
Arch. Orthop. Trauma Surg. Vol 91, nº 4, (Jul 1978) pag 297 - 303
- 4) BLÜMLEIN H., MCDANIEL J., ZIEGLER W., AND PERREN S. M.
"Modification of the pseudoarthrosis healing process by alternating magnetic fields in vivo"
Langenbecks Arch. Chir. 1976 Suppl. Pp 181 - 285
- 5) WIENDL H.J. and STRIGL M. "Clinical experiences in supplementary treatment of pseudoarthroses using electromagnetic potentials"
Fortschr. Med. Vol 96 nº 5 (Febr 1978) pag 231 - 236
- 6) Patente WO0078267A2
Alvin OSTROW y JOSEPH TANNENBAUM. "PEMF biophysical stimulation field generator device and method"
- 7) Patente US006280376
Robert R. HOLCOMB. "Electromagnetic therapeutic treatment device and methods of using same"
- 8) Patente US005718662A
Reza JALINOUS. "Apparatus for the magnetic stimulation of cells or tissue"
- 9) Patente EP 0048451A1
Roland A. DROLET and CHARIAND GAÉTAN. "Electro-magnetic therapeutic system and method"

- 10) Patente US006004257A
Jerry I. JACOBSON. "Method for ameliorating the aging process and the effects thereof utilizing electromagnetic energy"
- 11) Patente US006099459A
Jerry I. JACOBSON. "Magnetic field generating device and method of generating and applying a magnetic field for treatment of specified conditions"
- 12) Patente US005267939A
Abraham R. LIBOFF, Bruce R. MCLEOD y Stephen D. SMITH. "Techniques for controlling osteoporosis using non-invasive magnetic fields"
Puede verse también en Patente US005123898A.
"Method and apparatus for controlling tissue growth with an applied fluctuating magnetic field"
- 13) Patente WO 93/00131
David BAYLINK. "Magnetic stimulation of increased growth factor production"
- 14) Patente DE19846685
Richard MARKOLL. "Electromagnetically stimulating cartilage tissue"
- 15) Patente P200201159
A. MADROÑO. "Dispositivo de campos magnéticos múltiples para magnetoterapia y magnetoacupuntura"
- 16) Patente EP00390844
Stephen JOHN WALPOLE. "Magnetic field generator for therapeutic purposes"
- 17) Patente WO 95/27533
Jeffrey D. EDWARDS. "Orthotic devices incorporating pulsed electromagnetic field therapy"
- 18) Patentes US006186941B1, US006174276B1, US005951459A, US005997464A y US006179772B1
Lyman L. BLACKWELL. "Magnetic coil for pulsed electromagnetic field"
- 19) Patente US004501265
Eugene A. PESCATORE. "Applicator head for electromagnetic treatment of an afflicted body region"
- 20) Patente US006261221B1
John C. TEPPER. "Flexible coil pulsed electromagnetic field (PEMF) stimulation therapy system"
- 21) Patente US005314401A
John C. TEPPER. "Conformable PEMF transducer"
- 22) Patente WO 99/44685
John C. TEPPER. "Pulsed electromagnetic field (PEMF) stimulation therapy system with bi-phasic coil"
- 23) Patente US006024691
John C. TEPPER. "Cervical collar with integrated electrical circuitry for electromagnetic field therapy"
- 24) Patentes US005401233A and US005195941A)
John H. ERICKSON and John C. TEPPER. "Contoured triangular transducer system for PEMF therapy"

- 25) PatenteUS004550714
Roger J. TALISH y Victor F. BANKO. "Electromagnetic coil insert for an orthopedic cast or the like"
- 26) Patente US004574809
Roger J. TALISH, William E. PARR and Steven J. ZAVROS. "Portable non-invasive electromagnetic therapy equipment"
- 27) Patente WO0007665
John C. TEPPER y Kathy MCDERMOTT. "PEMF treatment for Osteoporosis and Tissue Growth stimulation"
- 28) Patente WO 99/55420
Richard MARKOLL. "An apparatus for the treatment of disorders of tissue and/or the joints"
- 29) Patente WO 95/07729
Saverio GIANGREGORIO. "Device for stimulating the natural defenses of a person or of any cellular system"
- 30) Patente WO 94/13357
Alvin S. OSTROW. "Magnetotherapy apparatus".

IV. METODOLOGÍA DE LOS TRATAMIENTOS CLÍNICOS

En el presente texto vamos solamente a tratar de incorporar al uso habitual en la clínica para la administración de campos terapéuticos, las orientaciones prácticas previsibles a tenor de lo expuesto en los dos capítulos anteriores, a fin de procurar una máxima eficiencia.

Para diseñar un tratamiento, la primera información que hay que tener en cuenta es la tipología de las afecciones cuyo tratamiento pudiera presentar algún tipo de contraindicación. Vamos a enumerarlas, clasificándolas en tres niveles: afecciones con contraindicación casi absoluta (impedimento total a no ser que se disponga de información fehaciente de que la aplicación de un campo muy específico para un caso muy específico está bajo control en cuanto a sus efectos), con contraindicaciones relativas (administración restringida en algunas circunstancias) y administración del campo tomando determinadas precauciones durante las sesiones del tratamiento.

Podemos considerar que las contraindicaciones casi absolutas son:

- ◆ *embarazo*.- En general, no hay constancia de la nocividad de los tratamientos con campo magnético en el terreno clínico, pero no se conoce el resultado de un trabajo exhaustivo en el que se haya probado, para todas las frecuencias, la inocuidad. Sin embargo, y teniendo en cuenta algún resultado de estudios en animales, conviene evitar la administración de sesiones de campo en la banda de frecuencias entre 20 y 120 hertz. Lo razonable es que si hubiera que trabajar en esa banda incómoda, se tome la precaución de que el campo no llegue al abdomen. Una pantalla mas que suficiente puede ser una “alfombra” de caucho con carga de ferrita en polvo, o una tela tupida de hilo metálico de acero.
- ◆ *marcapasos, pequeños equipos implantados para el control del dolor, dispensadores de insulina o defibriladores*.- La aplicación del campo podría dañarlos en algún caso, y dejar al paciente, súbitamente, sin su función.
- ◆ *miastenia gravis*.- Podría agravarse, en las primeras sesiones, la flojedad de la musculatura.
- ◆ *procesos con malignidad*, incluso en remisión.-Hay controversias sobre si los campos pueden activar proceso maligno. No obstante, la posibilidad de uso de

equipos multi-devanado y multifrecuencia, permite trabajar destinando una frecuencia a controlar la malignidad.

- ◆ *tuberculosis o enfermedades víricas agudas*, la respuesta de los macrófagos pudiera experimentar algún amortiguamiento, lo que a lo mejor originaría algún reavivamiento del proceso.
- ◆ *hipertiroidismo, glándula adrenal, hipotálamo y disfunciones de la pituitaria/hipófisis*, porque pudieran resultar sobreestimuladas y originar un agotamiento glandular.
- ◆ *psicosis*, en los casos en los que hay administración de fármacos cuya acción, estimulada por el campo magnético, pudiera reducir significativamente la presión sanguínea.
- ◆ *amputaciones*, pues no se deben aplicar campos magnéticos para estimular la formación del muñón.

Los casos de contraindicaciones relativas serían:

- ◆ *enfermedades neurológicas con manifestaciones epilépticas*. Si el equipo disponible solamente puede proporcionar campos modulados de componente elemental tanto senoidal como por impulsos, pudieran actuar como iniciadores de un proceso epiléptico, si da la casualidad que su agrupamiento se ajusta a la frecuencia de la manifestación epiléptica.
- ◆ *enfermedades micóticas sistémicas severas*, ya que pueden presentar una inflamación temporal.
- ◆ *arterioesclerosis orgánica severa*, el efecto de los campos en la sangre, puede dar lugar a una hipotensión significativa.
- ◆ *menstruación excesiva*, pues un tratamiento en zona pélvica podría incrementar el flujo menstrual.

Se requiere algún cuidado especial en la aplicación de campos a pacientes con tendencia a la hipotensión o con tensión subida, que al final de las primeras sesiones sufran algún grado de mareo, vértigo o desmayo. Estos efectos desaparecen en media hora, y suelen dejar de presentarse a partir de la quinta sesión.

Conviene, además, recordar unas reglas prácticas muy sencillas:

- a) Los aplicadores deberán estar tan próximos al cuerpo como sea posible, sobre la zona anatómica a tratar. Los grandes aplicadores convencionales suponen un campo con poca diferencia en intensidad de unos puntos a otros su interior, con un tipo de gradiente bajo, que no controlamos.
- b) Para tratamientos de fracturas con osteoporosis muy desarrolladas (síndrome de Südeck), además de tratar la zona afectada, conviene aplicar campo en otras zonas de la extremidad distal, donde la osteoporosis esté asentada.
- c) En problemas del miembro superior, en especial en “codo de tenista” y en “hombro rígido” las dosis deben administrarse con una exposición simultánea en la espina dorsal.

- d) En casos de pacientes con una excesiva velocidad de sedimentación de hematocritos, las dosis que en pacientes sin este problema funcionan perfectamente, podrían producirle incluso exacerbar de infecciones/reacciones reumáticas internas. Por ello hay que aplicar dosis con baja intensidad y muy cuidadas, acompañadas de tratamientos auxiliares en régimen ambulatorio, que atiendan a anular los problemas de infecciones potenciales.

Pasando al tema de los tipos de tratamiento, vamos a presentarlos, desde el punto de vista de su aplicación, en dos rangos, tratamiento domiciliario y tratamiento ambulatorio. Desde el punto de vista del tipo de campo terapéutico se puede hablar de campo continuo, de frecuencias muy bajas (< 50 hz), de frecuencias bajas ($50 \text{ hz} < f < 200 \text{ hz}$), de frecuencias medias ($200 \text{ hz} < f < 1000 \text{ hz}$) y frecuencias altas ($1000 \text{ hz} < f < 10.000 \text{ hz}$).

Como regla general, y de acuerdo con las bases sentadas por Blackman, cuanto mas alta sea la frecuencia, mas intenso deberá ser el campo. También como regla general, el campo continuo, *per se*, es útil como amortiguador del dolor en caso de neuropatías, y suele ser el acompañante inseparable (en mayor o menor proporción, según los casos) del campo alterno que corresponda en cada caso.

El campo alterno es desparalizador, el tren de ondas rectangulares es incrementador del metabolismo local, los impulsos muy cortos y espaciados son especialmente adecuados para los problemas de dolor (por ejemplo, en la espina dorsal), y los impulsos asociados en paquetes se deben usar cuando hay fallos funcionales con problema algícos asociados/achacables a falta de irrigación o , así como cuando los PEMF se usan como preventivos, por ejemplo, inmediatamente de un acto quirúrgico de realizar un injerto, para evitar posibles fallos.

Desde el punto de vista de manejo del paciente, podemos hablar de tratamientos ambulatorios y de tratamientos domiciliarios. Tratamiento domiciliario es aquel que el paciente se administra en su domicilio, en sesiones que suelen ocupar el tiempo de su sueño y siguiendo las indicaciones de uso del equipo generador de campo. Estas indicaciones permitirán ir adecuando la exposición a la evolución del proceso reparador. Por tratamiento ambulatorio se entiende tratamientos con sesiones de 20, 30 ó 45 minutos de duración, con un número de sesiones entre 10 y 30. Suelen ir a veces combinadas con otras técnicas de Rehabilitación o Fisioterapia.

En la literatura clínica hay múltiples relato de ensayos clínicos y sus resultados, de algunos tipos de tratamientos (1) (2) y (3). Algunos de ellos, se presentan incluso como grandes tablas comparativas de prácticamente todas las revisiones publicadas, de fácil obtención en texto completo como una fácil descarga de Internet (4) (5). Pero todas ellas corresponden a tratamientos efectuados con equipos de una cierta antigüedad que trabajan con un aplicador monodevanado, sin usar, por ejemplo, la posibilidad de los devanados múltiples con orientación diferenciada.

La gran ventaja del tratamiento domiciliario es que el paciente, cuyo domicilio puede estar ubicado muy lejos de la clínica donde se le trata, permanece durante todo el tiempo inmerso en su entorno social y familiar, lo cual puede ser muy deseable, y con un mínimo costo.

Se administran con frecuencias altas, y normalmente, con onda sinusoidal. Son prácticamente indispensables en problemas con necrosis, y altamente aconsejables

cuando hay osteoporosis. Cuando se utilizan de un modo preventivo, pueden ser simples equipos, de señal monocorde e invariable, que no necesitan cambio/ajuste de los parámetros de la exposición a lo largo del tratamiento.

El factor primordial que mas condiciona la probabilidad de éxito de un tratamiento es el grado de cooperación que se consiga en el paciente, sobre todo de cara a los tratamientos de administración domiciliaria. Es frecuente que en el tratamiento de resoluciones de fallos de consolidación ósea con prolongado tiempo de no éxito desde la fractura, después de un doloroso tiempo con intervenciones quirúrgicas para retirar/cambiar, material de osteosíntesis, fijadores externos, etc, el paciente se encuentre en estado anímico de desesperanza/depresión mas o menos acusada. Suele entonces no cooperar, no se administra a si mismo realmente las dosis prescritas para tratamiento domiciliario, y sin que lo confiese en las posteriores revisiones a las que indefectiblemente tiene que someterse. Su tratamiento por PEMF se suspende entonces, y se etiqueta como “no exitoso”.

En nuestra opinión, resultaría indispensable para estos casos, el disponer en el equipo con que el paciente va a tomar sus tratamientos de un contador de horas de funcionamiento, oculto en el interior del aparato y *sin que el paciente usuario conozca su existencia*. De este modo, durante las revisiones periódicas a las que se somete al paciente, puede comprobarse si realmente el paciente está tomando los tratamientos correctamente, sin mas que proceder a leer el registro de las horas de funcionamiento.

La pieza clave es la explicación que se le da, al inicio del tratamiento de cómo funciona y como debe usarlo durante el tratamiento domiciliario con PEMF. Muy escuetamente podría decirse que:

- 1) Resulta aconsejable hacerle ver que existen varios tipos de modelos disponibles para usar, analógico, digital, programable, etc., y que se le dispensa el mas acomodado a sus particularidades personales. Es contraproducente el que el paciente pudiera pensar que se le ofrece un equipo cualquiera.
- 2) Tiene que saber que el tratamiento puede durar hasta unos pocos meses, pero que es muy frecuente que antes de que se pueda visualizar y comprobar a nivel radiológico el comienzo de la soldadura, el paciente advierta un claro alivio en el cuadro de molestias.
- 3) Los pacientes con alta velocidad de sedimentación de eritrocitos precisan prolongado tratamiento por campos magnéticos, pero en cualquier caso, la soldadura final es satisfactoria.
- 4) En caso de problemas adicionales, se acompañará al tratamiento domiciliario con unas sesiones de tratamientos ambulatorios *ad hoc*.
- 5) El tratamiento mediante PEMF debe ser regular e ininterrumpido hasta que la osteorreparación esté completa (obviamente no se considera la remodelación final). Interrumpir un tratamiento antes del final, atendiendo al cansancio o sobreesfuerzo que pueda suponer para el fatigado paciente, y pensando que una vez empezado el proceso reparador, va a continuar sin las exposiciones al campo magnético, mas que imprudentemente arriesgado, es verdaderamente temerario.

- 6) Los tratamientos mas prolongados suelen ser las fisuras de stress y enfermedad de Legg-Perthes-Calve.

Pasando ahora a los tratamientos ambulatorios, se puede decir que se administran con rango de frecuencias muy bajas y bajas, en sesiones de 20 minutos, que pueden llegar a ser 45 en muy concretos casos. Normalmente son unas veinte sesiones por tratamiento, aunque en la sesión 7/8 ya se suele ver si el tratamiento funciona o que no es muy eficaz.

Sin que pueda decirse con toda generalidad, suelen ser eficaz el dividir el tiempo de sesión diario, en dos sesiones de mañana y tarde. Por ejemplo, mejor que una sesión de 20 minutos diarios son dos sesiones mañana/tarde de 10 minutos cada una.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) BASSETT C. A. L. Fundamental and practical aspects of therapeutic uses of pulsed electromagnetic fields (PEMF's). Crit. Rev. Biomed. Eng. 1989; 17: 451-529
- 2) GROSSLING H R., BERNSTEIN R A. y ABBOTT J. "Treatment of ununited tibial fractures: A comparison of surgery and pulsed electromagnetic fields" Orthopaedics, vol 16, 1992, pag 711 – 717
- 3) HINSENKAMP M., RYABY J. P. y BURNY F. "Treatment of non-union by pulsing electromagnetic field: European Multicenter study of 308 cases" Reconstruction Surgery & Traumatology 1985;19: 147 – 156.
- 4) <http://www.cms.gov/coverage/download/8b3-j.pdf>
Centers for Medicare and Medical Services
7500 Security Boulevard
Baltimore
MD 21244 – 1850
USA
- 5) http://www.niehs.nih.gov/emfrapid/html/Symposium3/Tissue_Heal.html

V. MAGNETOTERAPIA APLICADA AL TRATAMIENTO DEL DOLOR

Aunque en el apartado anterior se ha expuesto la información suficiente para este tema, hemos juzgado aconsejable dedicarle un apartado completo, debido que es justamente lo último que se ha entendido y desarrollado, dentro del amplio tema de la aplicación de los campos magnéticos.

De cara a una metodología para esta aplicación, un esquema básico podrían ser las siguientes pocas líneas.

De cara a definir las estrategias básicas, conviene diferenciar entre a) tratamientos de dolor nociceptivo, determinados por un problema fisiológico activo (dolor producido por osteoporosis, por ejemplo), b) problemas fisiológicos sin complicaciones (no unión de fragmentos óseos, sin complicaciones adicionales de necrosis, infecciones, etc., por ejemplo) c) tratamiento de un dolor neuropático, d) tratamiento del dolor en caso de inadecuación del nivel de umbral del dolor, e) tratamiento de dolor producido por problemas de segundo orden, como edemas y/o infecciones, y f) tratamiento con conjuntos de imanes permanentes.

Obviamente dar una descripción de los tratamientos para todas las posibles casuísticas, en sus diversos niveles, y con los diferentes grados de complicación, desborda con mucho la posible extensión de este texto. Aquí solo vamos a mencionar sucintamente:

- ◆ a) Olvidándonos del tratamiento del dolor en exclusiva, se trata el origen o causa en principal (con tratamiento domiciliario, por ejemplo), pasando a considerar al tratamiento ambulatorio como una ayuda.
- ◆ b) Suelen funcionar los trenes monocordes (sin agrupamiento) de ondas rectangulares, que estimulan los metabolismos locales. Son recomendables frecuencias bajas o medias. Es muy aconsejable el actuar con varios devanados de diferentes frecuencias
- ◆ c) Como en el caso anterior, pero añadiendo impulsos breves y espaciados (“burst”). Son especialmente interesantes en problemas álgicos de la espina dorsal.
- ◆ d) Los mejores campos suelen ser como en el caso b), pero en forma de semiondas agrupados en paquetes, con tiempos de reposo apreciables entre cada paquete y el siguiente. Puede aumentar la eficiencia el hecho de que

cada paquete venga con polaridad opuesta al anterior. Por ejemplo, la secuencia sería 1º un paquete con la corriente en sentido positivo, 2º un paquete con sentido negativo, 3º un paquete positivo, y así sucesivamente. Obviamente, al invertir el sentido de la corriente que activa los devanados que constituyen los aplicadores, estamos cambiando alternativamente el sentido del campo magnético que aplicamos al paciente durante la exposición.

- ◆ e) Frecuencias bajas/medias, con dos sesiones (mañana y tarde) durante el tratamiento. La existencia de una infección ha de tratarse, con muy bajas frecuencias si es vírica, y con bajas si es patógena.
- f) hay que desconfiar de artilugios tales como colchas, colchones, muñequeras, etc con los imanes insertados, ya que no traen garantizada la idónea disposición de los imanes. Conviene construir aplicadores a medida de cada paciente. Las dos reglas de oro son colocar los imanes en mosaico, y procurar en algunos casos que en vez de mosaico haya filas de imanes con polaridades alternativas. La “regla del pulgar” es que un polo Sur estimula y un polo Norte mitiga, atenúa.

Las dos grandes reglas que personalizan a una elevada proporción de los tratamientos del dolor son:

- I) Cuando se trata de tratar un punto ó zona con dolor en un miembro, se debe exponer , además de la zona a tratar y a la vez de ella, a la zona de la columna vertebral a nivel de las glándulas suprarrenales (miembro inferior) o de las cervicales (miembro superior).
- II) El campo continuo es el deseable (no indispensable) acompañante del campo alterno en la mayoría de los casos. Pero es muy interesante el que se aplique el campo continuo de forma que su dirección sea perpendicular al campo alterno. Por ejemplo, el campo alterno en dirección anteroposterior, con el campo continuo en dirección interno-externo.
 - Para la consecución de estas dos premisas conviene poder trabajar con un equipo que disponga de aplicadores múltiples y separables, para jugar a estos direccionamientos elegidos a voluntad en cada caso.
 - No conviene sobrepasarse en los tiempos de aplicación del campo, las exposiciones excesivamente largas suben rápidamente el nivel de la molestia del paciente.

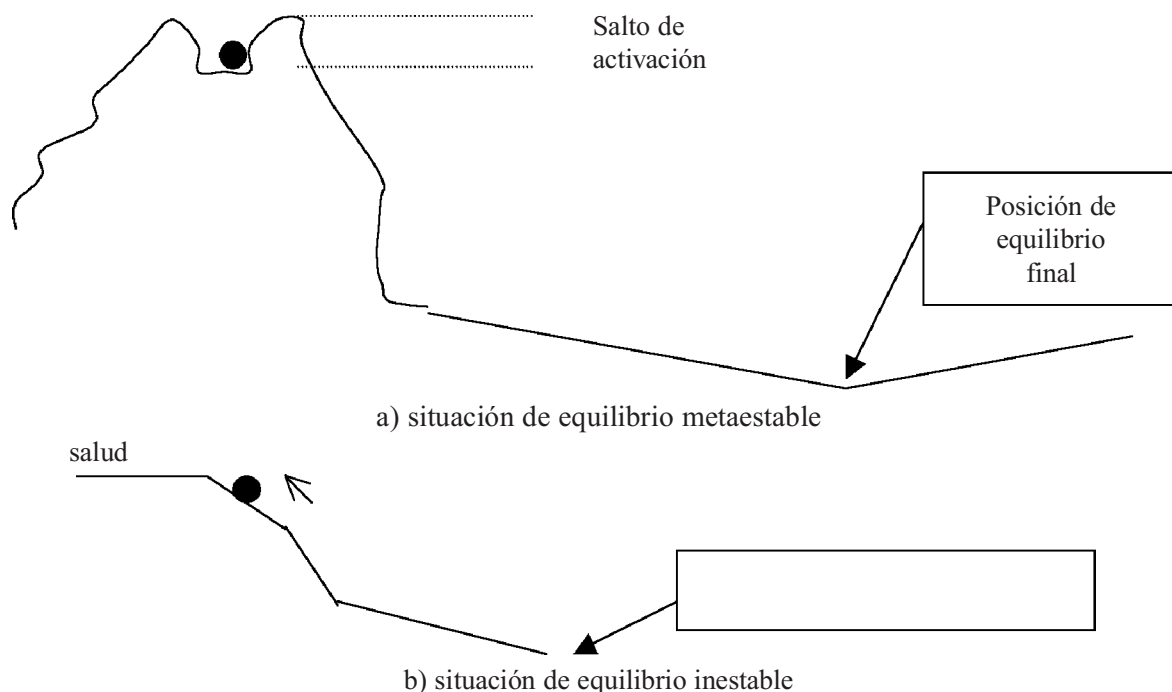
Las presentes ideas, aunque descritas desde la perspectiva del aparato locomotor y del tratamiento del dolor, son aplicables a todo el ámbito de utilización de los campos magnéticos, en su versión de tratamiento o de ayuda a otros tratamientos, úlceras tróficas, nefrología, glaucoma, odontología, cicatrización de heridas, esclerosis múltiple, migrañas, diabetes, etc, tal y como en el Capítulo 7 del presente texto se describe.

Y por último, vamos a añadir un leve comentario con respecto al criterio de elección para aplicar campos, continuos o de baja frecuencia, con polaridad Norte o Sur.

Tradicionalmente, en los textos que describen como usar los pequeños imanes permanentes en casos de tratamiento del dolor, se dice que “el polo Norte ejerce un efecto calmante, dispersor de energía, mientras que el polo Sur ejerce un efecto estimulante, energizante”.

Estamos ante un típico ejemplo de un concepto que parece prisionero del contradictorio lenguaje con el que se expresa, de forma que el lenguaje puede influir mucho en la calidad de percepción de la idea.

Quizás la forma más rápida de explicarlo sea decir que la aplicación del polo Sur resuelve situaciones metaestables, mientras que la actuación del polo Norte resuelve situaciones inestables. El concepto es bien simple, si lo explicamos con el ejemplo del camino de caída de una bola que rueda



Desde el punto de vista físico, en el caso de la metaestabilidad, la indispensable aportación inicial al sistema, es solo por la cuantía del salto desencadenante. Una vez puesta la bola en movimiento, las fuerzas naturales del entorno la llevan hacia su punto de equilibrio.

Por en contrario, en el caso del equilibrio inestable, la aportación de energía al sistema ha de ser continua.

El polo Norte pone en marcha los mecanismos de recuperación, en especial el sistema inmunológico. Es decir el Norte es estimulador de las defensas y, desde el momento que lo aplicamos a una dolencia, induce un mejoramiento. Es decir, es un estimulante de las recuperaciones y un calmante de la malignidad; un "amortiguador de procesos indeseables" por lo que difunde la potencialidad de la recuperación.

Por su parte el polo Sur parece que estimula un órgano débil, permitiéndole salir del estancamiento, haciendo evolucionar al conjunto hacia una situación de favorable estabilidad. Los signos externos que de su actuación se advierten son, por ejemplo, que la señal de dolor que partía de un nervio, remite en cuanto se trata una neuropatía. Es decir, parece como si hubiésemos aplicado un calmante.

El efecto inmediato de la aplicación de un polo Sur es el disminuir los efectos colaterales indeseables que acompañan en la dolencia al problema principal. Por lo

tanto, aplicar el polo Sur puede ser consolar el padecimiento y estado de ánimo del paciente. Que, como consecuencia, pone en marcha los mecanismos de recuperación. Es lo que en alguna literatura no muy científica se denomina un “estimulador de la energía vital”.

En consecuencia, lo que hay que pensar en cada caso cuando se piensa en diseñar un tratamiento, no es que sea mas o menos agudo, o si es en tal o cual órgano. Si, por ejemplo, el dolor se debe a un proceso infeccioso patógeno, el polo Norte incrementaría la eficiencia de los leucocitos; y al mejorar la infección, el dolor se atenúa.

Pero supongamos que estamos ante el dolor en una articulación por efecto de una medicación con cortisona. Lo doloroso del movimiento ha producido anquilosamiento.

La aplicación de un campo con el polo Sur, que origina una aminoración del dolor, abre paso a que el paciente vaya moviendo la zona. El anquilosamiento remite. El polo Sur ha actuado como un vivificador de la articulación.

A título de resumen diríamos que no conviene aplicar las mismas dosis para dolencias crónicas que para los mismos tipos de dolencias presentadas como un problema agudo. En ese incesante registro de tratamientos con éxito y dolencias con que el terapeuta construye su criterio y experiencia, deben estar separadas las casuísticas crónicas y agudas. Normalmente los casos agudos se controlan mejor con polo Sur, y los casos crónicos con polo Norte.

Suele haber además mas de un camino para llegar a buen fin. Supongamos, como otro ejemplo que tenemos que tratar una repentina y aguda ciática. Se debe a una alteración del nervio en una zona concreta. Si se aplica el polo Norte, se potencia la producción del factor de crecimiento de los nervios. En consecuencia, se produce la rápida restauración de la vaina del nervio, que al repararse, deja de generar una señal dolorosa.

Es difícil explicar estas simples normas de la elección Norte/Sur sin que no parezca una manipulación del lenguaje que hace confusa una idea sencilla. Puede parecer como si a un niño al que tratamos de explicarle el viejo dilema del bien y el mal, se le dijese que ser bueno es hacer el bien o luchar contra el mal, mientras que ser malo es hacer el mal o fastidiar a los que intentan hacer el bien, el niño se encontraría confuso. Él preferiría oír algo tan diáfano como que ser bueno es hacer el bien, mientras que ser malo es hacer el mal.

Y lo evidente es que, en el caso de los polos Norte y Sur, no hay malo. Los dos son buenos. El Norte hace el bien y el Sur aminora el mal.

Finalmente, y con vistas a un posible uso de campos alternos conviene decir que, con intensidades muy bajas, suelen actuar favorablemente en la primera fase de “salto de activación” justo antes de aplicar un campo terapéutico de impulsos de baja frecuencia con polaridad Norte o Sur.

Como campo terapéutico per se, podríamos decir que el campo alterno funciona terapéuticamente cuando las dos vías (mejoramiento del bien y aminoración del mal) son posibles a la misma frecuencia. Si así no fuese, debe evitarse a todo trance el uso del campo alterno.

El uso de los campos alternos puro, sin componente de campo continuo, deberá intentarse solamente en casos muy específicos.

VI. TENDENCIAS DE FUTURO

Siempre resulta una osadía el realizar predicciones de futuros desarrollos, sobre todo en temas tan multidisciplinarios como es el biomagnetismo clínico. Por ello vamos aquí a limitarnos a exponer los temas que ya están aflorando, aunque con muy poca materialización bibliográfica, pero que están emergentes y que se les necesita, por su potencialidad para cubrir algunas deficiencias existentes en este campo.

Lo primero de todo, lo esperable, es llegar a la aplicación extensiva de los campos magnéticos, en nuestro entorno de países occidentales, en algunos temas en los que los países de la Europa del Este tomaron la delantera. En Occidente estos usos están creciendo mas despacio porque los pacientes están mas habituados a tratamientos medicamentosos. El freno para la ampliación de la Magnetoterapia en sustitución de tratamientos convencionales puede tener en algunos casos bastante de tradición o cultura clínicos.

En especial, la aplicación de campos magnéticos para problemas articulares y del aparato locomotor en tratamiento domiciliario está bastante bien establecida, debido a la capacidad industrial de la microelectrónica para fabricar pequeños y económicos equipos capaces de suministrar dosis programadas, adecuadas a un amplio espectro de tratamientos.

Es interesante la perspectiva de pensar en una dosis personalizada, como extensión o generalización de lo que se conoce como Espectroscopia de Impedancia (BIA “Bioelectric Impedance Análisis”, véase, por ejemplo, <http://www.nlm.nih.gov/pubs/cbm/bioelimp.htm>), y que está perfectamente aceptada por el NIH. Se trata de una técnica no invasiva de evaluación cuantitativa para diagnosis. Consiste en la medición de la impedancia de los tejidos, es decir, medición de la impedancia eléctrica en un amplio rango de frecuencias. Se asocia después la evolución de este espectro de medidas, al cambio tisular que va teniendo lugar en el organismo de un paciente. Similar a, por ejemplo, al cambio en la relación tejido adiposo/tejido muscular que monitoriza el seguimiento de una dieta.

Abre esto la posibilidad de medir la impedancia bioeléctrica en un miembro dañado, y compararla con la impedancia de la zona equivalente en el otro miembro intacto; la diferencia entre ambos puede dar una interesante indicación sobre las frecuencias de campo magnético a aplicar en la exposición de cada día.

El camino ha sido desbrozado ya por Salkind (véase por ejemplo, la referencia 2.34.2 del capítulo siguiente). Realizaron un cefalomagnetograma de pacientes aque-

gados de apoplejía. Las frecuencias del espectro del cefalomagnetograma de cada paciente se llevaban a un generador programable, que las traducía en los campos magnéticos que constituían la exposición terapéutica al campo magnético. Por cierto, con unos resultados excelentes.

El mayor avance pudiera ser, con casi toda probabilidad, todo el posible aprovechamiento del conocimiento que hoy tenemos acerca del efecto del campo magnético sobre la glándula pineal, el órgano magnetorreceptor del organismo por excelencia. Hoy en día hay una amplia bibliografía acerca de cómo los campos magnéticos mejoran la función de la glándula pineal, corrigiendo con ello problemas como la enfermedad de Parkinson, la de Alzheimer o la arterioesclerosis múltiple. Ampliando esta técnica a otras glándulas pondría mejorarse el manejo de la bioquímica del organismo.

Pudiera eso ser la madurez de la asociación entre la farmacología y el biomagnetismo, hasta ahora solamente dibujada por la probada capacidad de intensificación del efecto de los fármacos en su administración asociada a exposiciones a campo magnético, que de *per se* y sin necesidad de mayores conocimientos que los actuales, debería usarse más en el futuro.

Quizás lo más sutil que quede por entender sea esa dualidad metabolismo químico-activación eléctrica, que planea sobre la actual visión global de la interacción campo-organismo. En un principio parece que la acción del campo continuo es mayoritariamente metabólica y que la del campo alterno es “eléctrica”, activadora. Pero el deslinde no es nada fácil, y un ejemplo paradigmático es el cerebro, con su casi imposibilidad de separación del cerebro “químico” del cerebro “eléctrico”.

En cualquier caso, en lo que ya se ha convertido el biomagnetismo, y va a seguir profundizando en este sentido, es en una muy valiosa herramienta que puede ayudarnos a comprender los mecanismos que rigen nuestros procesos biológicos. Es decir, que puede ayudarnos a conocer un poco mejor a ese complejo universo que constituye cada uno de los seres humanos.

VII. RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

Es de gran interés el disponer de una bibliografía clasificada por temas, a fin de poder disponer de las fuentes originales, sobre todo dadas las facilidades existentes en universidades, hospitales y colegios profesionales para acceder por Internet a los textos completos.

Aquí se presenta la bibliografía agrupada en tres bloques, la bibliografía que diseña el NIH, la bibliografía que puede extraerse de la base de datos MEDLINE, y la bibliografía publicada en revistas y publicaciones de habla hispana.

1. Bibliografía distribuida a través de Internet por el National Institutes of Health (EEUU)

A) BIBLIOGRAFIA MOSTRADA EN LA PUBLICACIÓN DEL NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH, USA. 1989 “BIOELECTROMAGNETICS APPLICATIONS IN MEDICINE” DE BEVERLY RUBIK, ROBERT O. BECKER, ROBERT G. FLOWER, CARLTON F. HAZLEWOOD, ABRAHAM R. LIBOFF, Y JAN WALLECZEK, EXTRAIBLE DE LA URL

<http://www.naturalhealthvillage.com/reports/rpt2oam/applications.htm>

ADAIR, R. K. 1991. Constraints on biological effects of weak extremely low-frequency electromagnetic fields. *Physical Review* 43:1039-1048.

ALBERTINI, A., P. ZUCCHINI, G. NOCRA, R. CAROSI, and A. PIERANGELI. 1990. Effect of PEMF on irreversible ischemic injury following coronary artery occlusion in rats. *Transactions of Bioelectrical Repair and Growth Society* 10:20.

ANNINOS, P. A., and N. TSAGAS. 1991. Magnetic stimulation in the treatment of partial seizures. *Int. J. Neurosci.* 60:141-171.

BARANOWSKI, T. J., and J. BLACK. 1987. Stimulation of osteogenesis. In M. Blank and E. Findl, eds. *Mechanistic Approaches to Interactions of Electric and Electromagnetic Fields With Living Systems* (pp. 399-416). Plenum Press, New York.

BARKER, A. T., R. A. DIXON, W. J. W. SHARRARD, and M. L. SUTCLIFFE. 1984. Pulsed magnetic field therapy for tibial non-union: interim results of a double-blind trial. *Lancet.* 1 (8384):994-996.

- BASSETT, C. A. L. 1989. Fundamental and practical aspects of therapeutic uses of pulsed electromagnetic fields (PEMFs). *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering* 17:451-529.
- BASSETT, C. A. L., S. N. MITCHELL, and S. R. GASTON. 1982. Pulsing electromagnetic field treatment in ununited fractures and failed arthrodeses. *JAMA* 247: 623-628.
- BASSETT, C. A. L., R. D. PAWLUK, AND A. A. PILLA. 1974. Augmentation of bone repair by inductively coupled electromagnetic fields. *Science* 184: 575-577.
- BECKER, R. O. 1987. The effect of electrically generated silver ions on human cells. *Proceedings of 1st International Conference on Gold and Silver in Medicine*, Bethesda, Md., May 13-14, pp. 227-243.
- BECKER, R. O. 1990. A technique for producing regenerative healing in humans. *Frontier Perspectives* 1(2):1-2.
- BECKER, R. O. 1992. Effect of anodally generated silver ions on fibrosarcoma cells. *Electro-and Magnetobiology* 11:57-65.
- BLANK, M., and E. FINDL, eds. 1987. *Mechanistic Approaches to Interactions of Electric and Electromagnetic Fields With Living Systems*. Plenum Press, New York.
- BRIGHTON, C. T., and S. R. POLLACK, eds. 1991. *Electromagnetics in Medicine and Biology*. San Francisco Press, Inc., San Francisco.
- BROWN, H. D., and S. K. CHATTPADHYAY. 1991. EM-field effect upon properties of NADPH-cytochrome P-450 reductase with model substrates. *Cancer Biochem. Biophys.* 12(3):211-215.
- BUDD, R. A., and P. CZERSKI. 1985. Modulation of mammalian immunity by electromagnetic radiation. *J. Microw. Power Electromagn. Energy* 20:217-231.
- CADOSSI, R., G. EMILIA, and G. TORELLI. 1988a. Lymphocytes and pulsing magnetic fields. In A.A. Marino, ed. *Modern Bioelectricity*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- CADOSSI, R., R. IVERSON, V. R. HENTZ, P. ZUCCHINI, G. EMILIA, AND G. TORELLI. 1988b. Effect of low-frequency low-energy pulsing electromagnetic fields on mice undergoing bone marrow transplantation. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology* 1:57-62.
- CHEN, J., and O. P. GANDHI. 1989. RF currents in an anatomically based model of a human for plane-wave exposures (20-100 MHz). *Health Phys.* 57 (1): 89-98.
- CHRISTENSEN, P. A., and M. NORENG. 1989. Electroacupuncture and postoperative pain. *Br. J. Anaesth.* 62:258-262.
- COSSARIZZA, A., D. MONTI, F. BERSANI, et al. 1989a. Extremely low-frequency pulsed electromagnetic fields increase cell proliferation in lymphocytes from young and aged subjects. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 160: 692-698.
- COSSARIZZA, A., D. MONTI, F. BERSANI, et al. 1989b. Extremely low-frequency pulsed electromagnetic fields increase interleukin-2 (IL-2) utilization and IL-2 receptor expression in mitogen-stimulated human lymphocytes from old subjects. *FEBS Lett.* 248:141-144.

- COSSARIZZA, A., D. MONTI, P. SOLA, et al. 1989c. DNA repair after irradiation in lymphocytes exposed to low-frequency pulsed electromagnetic fields. *Radiat. Res.* 118:161-168.
- CRUESS, R.L., and C.A.L. BASSETT. 1983. The effect of pulsing electromagnetic fields on bone metabolism in experimental disuse osteoporosis. *Clin. Orthop.* 173:245-250.
- DE LOECKER, W., P. H. DELPORT, and N. CHENG. 1989. Effects of pulsed electromagnetic fields on rat skin metabolism. *Biochim. Biophys. Acta* 982:9-14.
- GOODMAN, R., L. WEI, J. XU, and A. HENDERSON. 1989. Exposures of human cells to low-frequency electromagnetic fields results in quantitative changes in transcripts. *Biochim. Biophys. Acta* 1009:216-220.
- GRANDE, D. A., F. P. MAGEE, A. M. WEINSTEIN, and B. R. MCLEOD. 1991. The effect of low-energy combined AC and DC magnetic fields on articular cartilage metabolism. In C.T. Brighton and S.R. Pollack, eds. *Electromagnetics in Medicine and Biology*. San Francisco Press, Inc., San Francisco.
- HAJDUKOVIC, R., M. MITLER, B. PASCHE, and M. ERMAN. 1992. Effects of low-energy emission therapy (LEET) on sleep structure (abstract). *Sleep Research* 21:206.
- HALLETT, M., and L. G. COHEN. 1989. Magnetism: a new method for stimulation of nerve and brain. *JAMA* 262 (4):538-541.
- HINSENKAMP, M., J. RYABY, and F. BURNBY. 1985. Treatment of nonunion by pulsing electromagnetic fields: European multicenter study of 308 cases. *Reconstr. Surg. Traumatol.* 19:147-151.
- HORTON, P., J. T. RYABY, F. P. MAGEE, and A. M. WEINSTEIN. 1992. Stimulation of specific neuronal differentiation proteins in PC12 cells by combined AC/DC magnetic fields. Presented at the 1st World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Orlando, Fla., June 14-19.
- HURAKI, Y., N. ENDO, M. TAKIGAWA, A. ASADA, H. TAKAHASHE, and F. SUZUKI. 1987. Enhanced responsiveness to parathyroid hormone and induction of functional differentiation of cultured rabbit costal chondrocytes by a pulsed electromagnetic field. *Biochim. Biophys. Acta* 931:94-110.
- IERAN, M., S. ZAFFUTO, M. BAGNACANI, M. ANNOVI, A. MORATTI, and R. CADOSI. 1990. Effect of low-frequency pulsing electromagnetic fields on skin ulcers of venous origin in humans: a double-blind study. *J. Orthop. Res.* 8:276-282.
- KANJE, M., and A. RUSOVAN. 1992. Reversal of the stimulation of magnetic field exposure on regeneration of the rat sciatic nerve by a Ca²⁺ antagonist. Paper presented at the 1st World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Orlando, Fla., June 14-19.
- KRAUS, W. 1992. The treatment of pathological bone lesion with nonthermal, extremely low frequency electromagnetic fields. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 27: 321-339.
- LERCHL, A., K. O. NONAKA, K. A. STOKKAN, and R. J. REITER. 1990. Marked rapid alterations in nocturnal pineal serotonin metabolism in mice and rats expo-

- sed to weak intermittent magnetic fields. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 169:102-108.
- LIBOFF, A. R. 1985. Geomagnetic cyclotron resonance in living cells. *J. of Biol. Phys.* 13:99-104.
- LIBOFF, A. R. 1991. The cyclotron resonance hypothesis: experimental evidence and theoretical constraints. In C. Ramel and B. Norden, eds. *Interaction Mechanisms of Low-Level Electromagnetic Fields With Living Systems*. Oxford University Press, London, pp. 130-147.
- LIBOFF, A. R., B. R. MCLEOD, and S. D. SMITH. 1991. Resonance transport in membranes. In C.T. Brighton and S.R. Pollack, eds. *Electromagnetics in Medicine and Biology*. San Francisco Press, Inc., San Francisco.
- LIBOFF, A. R., B. R. MCLEOD, and S. D. SMITH. 1992a. Techniques for Controlling Osteoporosis Using Noninvasive Magnetic Fields. U.S. Patent No. 5,100,373, March 31.
- LIBOFF, A. R., B. R. MCLEOD, and S. D. SMITH. 1992b. Method and Apparatus for Controlling Tissue Growth with an Applied Fluctuating Magnetic Field, U.S. Patent No. 5,123,898, June 23.
- LIBURDY, R. P., and T. S. TENFORDE. 1986. Magnetic field-induced drug permeability in liposome vesicles. *Radiat. Res.* 108:102-111.
- MADROÑERO, A. 1990. Influence of magnetic fields on calcium salts crystal formation: an explanation of the "pulsed electromagnetic field" technique for bone healing. *J. Biomed. Eng.* 12:410-412.
- MAGEE, F. P., A. M. WEINSTEIN, R. J. FITZSIMMONS, D. J. BAYLINK, and B. R. MCLEOD. 1991. The use of low-energy combined AC and DC magnetic fields in the prevention of osteopenia. In C.T. Brighton and S.R. Pollack, eds. *Electromagnetics in Medicine and Biology*. San Francisco Press, Inc., San Francisco.
- MARRON, M. T., E. M. GOODMAN, P. T. SHARPE, and B. GREENEBAUM. 1988. Low-frequency electric and magnetic fields have different effects on the cell surface. *FEBS Lett.* 230(1-2):13-16.
- O'CONNOR, M. E., and R. H. LOVELY, eds. 1988. *Electromagnetic Fields and Neurobehavioral Function*. Alan R. Liss, Inc., New York.
- OMOTE, Y., M. HOSOKAWA, M. KOMATSUMOTO, et al. 1990. Treatment of experimental tumors with a combination of a pulsing magnetic field and an anti-tumor drug. *Jpn. J. Cancer Res.* 81:956-961.
- ORGEL, M. G., R. J. ZIENOWICZ, B. A. THOMAS, and W. H. KURTZ, 1992. Peripheral nerve transection injury: the role of electromagnetic field therapy. Paper presented at the 1st World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Orlando, Fla., June 14-19.
- PAPATHEOFANIS, F. J., and B. J. PAPATHEOFANIS. 1989. Acid and alkaline phosphatase activity in bone following intense magnetic field irradiation of short duration. *Int. J. Radiat. Biol.* 55(6):1033-1035.
- PASCHE, B., T. P. LEBET, A. BARBAULT, C. ROSSEL, and N. KUSTER. 1989. Electroencephalographic changes and blood pressure lowering effect of low energy emission therapy (abstract). *Bioelectromagnetics Society Proceedings*, F-3-5.

- PHILLIPS, J. L., and L. MCCHESENEY. 1991. Effect of 72-Hz pulsed magnetic field exposure on macromolecular synthesis in CCRF-CEM cells. *Cancer Biochem. Biophys.* 12:1-7.
- Pollack, S. R., C. T. BRIGHTON, D. PLENKOWSKI, and N. J. GRIFFITH. 1991. Electromagnetic Method and Apparatus for Healing Living Tissue. U.S. Patent No. 5,014,699, May 14.
- POMERANZ, B., M. MULLEN, and H. MARKUS. 1984. Effect of applied electrical fields on sprouting of intact saphenous nerve in adult rat. *Brain Res.* 303:331-336.
- POPP, F. A., A. A. GURWITSCH, H. Inaba, et al. 1988. Biophoton emission (multi-author review). *Experientia* 44:543-600.
- RAMEL, C., and B. NORDEN, eds. 1991. *Interaction Mechanisms of Low-Level Electromagnetic Fields With Living Systems*. Oxford University Press, London.
- RODEMANN, H. P., K. BAYREUTHER, and G. PFLEIDERER. 1989. The differentiation of normal and transformed human fibroblasts in vitro is influenced by electromagnetic fields. *Exp. Cell Res.* 182:610-621.
- RUSOVAN, A., and M. KANJE. 1991. Stimulation of regeneration of the rat sciatic nerve by 50-Hz sinusoidal magnetic fields. *Exp. Neurol.* 112:312-316.
- RUSOVAN, A., and M. KANJE. 1992. D600, a Ca^{2+} antagonist, prevents stimulation of nerve regeneration by magnetic fields. *NeuroReport* 3:813-814.
- RUSOVAN, A., M. KANJE, and K. H. MILD. 1992. The stimulatory effect of magnetic fields on regeneration of the rat sciatic nerve is frequency dependent. *Exp. Neurol.* 117:81-84.
- RYABY, J. T., D. A. GRANDE, F. P. MAGEE, and A. M. WEINSTEIN. 1992. The effect of combined AC/DC magnetic fields on resting articular cartilage metabolism. Presented at the 1st World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Orlando, Fla., June 14-19.
- SHARRARD, W. J. W. 1990. A double-blind trial of pulsed electromagnetic fields for delayed union of tibial fractures. *J. Bone Joint Surg. (Br.)* 72B:347-355.
- SHEALY, N., R. CADY, D. VEEHOFF, et al. 1992. Neuro-chemistry of depression. *American Journal of Pain Management* 2:31-36.
- SHORT, W.O., L. Goodwill, C.W. Taylor, et al. 1992. Alteration of human tumor cell adhesion by high-strength static magnetic fields. *Invest. Radiol.* 27:836-840.
- Skerry, T. M., M. J. PEAD, M. J., and L. E. LANYON. 1991. Modulation of bone loss during disuse by pulsed electromagnetic fields. *J. Orthop. Res.* 9:600-608.
- STILLER, M. J., G. H. PAK, J. L. SHUPACK, S. THALER, C. KENNY, and L. JONDREAU. 1992. A portable pulsed electromagnetic field (PEMF) device to enhance healing of recalcitrant venous ulcers: a double-blind placebo-controlled clinical trial. *Br. J. Dermatol.* 127:147-154.
- SUBRAMANIAN, M., C. H. SUTTON, B. GREENEBAUM, and B. F. SISKEN. 1991. Interaction of electromagnetic fields and nerve growth factor on nerve regeneration in vitro. In C.T. Brighton and S.R. Pollack, eds. *Electromagnetics in Medicine and Biology*. San Francisco Press, Inc., San Francisco.
- TAKAHASHI, K., I. KANEKO, and E. FUKADA. 1987. Influence of pulsing elec-

- tromagnetic field on the frequency of sister-chromatid exchanges in cultural mammalian cells. *Experientia* 43:331-332.
- TENFORDE, T. S., and W. T. KAUNE. 1987. Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans. *Health Phys.* 53:585-606.
- THOMAS, J. R., J. SCHROT, and A. R. LIBOFF. 1986. Low-intensity magnetic fields alter operant behavior in rats. *Bioelectromagnetics* 7:349.
- TROCK, D. H., A. J. BOLLET, R. H. DYER, Jr., L. P. FIELDING, W. K. MINER, and R. MARKOLL. 1993. A double-blind trial of the clinical effects of pulsed electromagnetic fields in osteoarthritis. *J. Rheumatol.* 20:456-460.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1991. Evaluation of the Potential Carcinogenicity of Electromagnetic Fields. Report #EPA/600/6-90/05B. Unreleased preliminary draft (March).
- VODOVNIK, L., and R. KARBA. 1992. Treatment of chronic wounds by means of electric and electromagnetic fields. Part 1: literature review. *Med. Biol. Eng. and Comput.* (May):257-266.
- WALLECZEK, J. 1992. Electromagnetic field effects on cells of the immune system: the role of calcium signalling. *FASEB Lett.* 6:3177-3185.
- WEINSTEIN, A. M., B. R. MCLEOD, S. D. SMITH, and A. R. LIBOFF. 1990. Ion resonance-tuned electromagnetic fields increase healing rate in osteotomized rabbits. Abstracts of 36th Annual Meeting of Orthopedic Research, February 5-8, 1990, New Orleans.
- WIJK, R. V., and D. H. J. SCHAMHART. 1988. Regulatory aspects of low-intensity photon emission. *Experientia* 44:586-593.
- WILSON, B. W., C. W. WRIGHT, J. E. MORRIS, et al. 1990b. Evidence for an effect of ELF electromagnetic fields on human pineal gland function. *J. Pineal Res.* 9:259-269.
- WILSON, D. H., P. JAGDEESH, P. P. NEWMAN, and D. G. F. HARRIMAN. 1974. The effects of pulsed electromagnetic energy on peripheral nerve regeneration. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 238:575-585.
- YEN-PATTON, G. P. A., W. F. PATTON, D. M. BEER, and B. S. JACOBSON. 1988. Endothelial cell response to pulsed electromagnetic fields: stimulation of growth rate and angiogenesis in vitro. *J. Cell. Physiol.* 134:37-46.

B) BIBLIOGRAFIA MOSTRADA EN

http://www.niehs.nih.gov/emfrapid/html/Symposium3/Tissue_Heal.html

- AARON RK, Ciombor D McK (1996): Acceleration of experimental endochondral ossification by biophysical stimulation of the progenitor cell pool. *J Orthop Res* 14: 582-89.
- AARON, R.K., Ciombor, D.McK., Keeping, H., and Polk, C. Power frequency field effects on cell differentiation coincident with an increase in TGFbeta expression. *Trans. BEMS* 1998.

- BUCH F, JONSSON B, MALLMIN H, KALEBO P (1993): The quantification of bone tissue regeneration after electromagnetic stimulation. *Arch Orthop Trauma Surg* 112: 75-78, 1993.
- BORSALINO G, BAGNACANI M, BETTATI E, FORNACIARI G, ROCCHI R, ULUHOGLIAN S, CECCHERELLI G, CADOSSO R, TRAINA GC: (1988) Electrical stimulation of human femoral intertrochanteric osteotomies, *Clin Orthop Rel Res* 237:256-63.
- EYRES KS, SALEH M, KANIS JA (1996): Effect of pulsed electromagnetic fields on bone formation and bone loss during limb lengthening. *Bone* 18:505-509.
- GREENOUGH CP (1992): The effect of pulsed electromagnetic fields on blood vessel growth in the rabbit ear chamber. *J Orthop Research* 10:256-262.
- IERAN M, ZAFFUTO S, BAGNACANI M, ANNOVI M, MORATTI A, CADOSSO R (1990): Effect of low frequency pulsing electromagnetic fields on skin ulcers of venous origin in humans: A double-blind study. *J Orthop Research* 8: 276-282.
- KANJE M, RUSOVAN A, SISKEN B, LUNDBORG, G (1993): Pretreatment of rats with pulsed electromagnetic fields enhances regeneration of the sciatic nerve. *Bioelectromagnetics* 14:353-359.
- MAMMI GI, ROCCHI R, CADOSSO R, MASSARI L, TRAINA G C (1993): The electrical stimulation of tibial osteotomies. Double-Blind Study. *Clin Orthop Rel Res* 288:246-53.
- MARTIN RG, GUTMAN W (1978): The effect of electric fields on osteoporosis of disuse. *Calc Tissue Res* 25:23-27.
- MCLEOD KJ, RUBIN CT (1990): Frequency specific modulation of bone adaptation by induced electric fields. *J Theor Biol* 145:385-96.
- MCLEOD KJ, RUBIN CT (1992): The effect of low-frequency electric fields on osteogenesis, *J Bone Joint Surgery* 74A: 920-29.
- MCLEOD KJ, RUBIN CT (1998) *In vivo* sensitivity of bone tissue to electromagnetic field exposure. *Science* (submitted).
- O'BRIEN W J, MURRAY HM, ORGEL MG (1984): Effects of pulsing electromagnetic fields on nerve regeneration: Correlation of electrophysiology and histochemical parameters. *J Bioelectr* 3:33-40.
- OTTANI V, DEPASQUALE P, FRANCHI M, ZANIOL P, RUGGERI A. (1988): Effects of pulsed extremely-low-frequency magnetic fields on skin wounds in the rat. *Bioelectromagnetics* 9:53-62.
- PIENKOWSKI D, POLLACK SR, BRIGHTON CT, GRIFFITH NJ (1994): Low-power electromagnetic stimulation of osteotomized rabbit fibulae. *J Bone Joint Surgery* 76A:489-501.
- RUSOVAN A, KANJE M, Mild KH (1992): The stimulatory effect of magnetic fields on regeneration of the rat sciatic nerve is frequency dependent. *Exp Neurol* 117:81-84.
- SHARRARD WJW (1990): A double-blind trial of pulsed electromagnetic fields for delayed union of tibial fractures, *J Bone Joint Surgery* 72B:347-355.
- SISKEN BF, KANJE M, LUNDBORG G, HERBST E, KURTZ W (1989): Stimulation of rat sciatic nerve regeneration with pulsed electromagnetic fields. *Brain Res* 485:309-316.
- STILLER MJ, GRACE HP, SHUPAK JH, THALER S, KENNY C, JONDREAU L (1992): A portable pulsed electromagnetic field (PEMF) device to enhance healing of recalcitrant venous ulcers: A double-blind, placebo-controlled clinical trial. *British J of Dermatology* 127:147-154.

Table 1: Bone Healing Studies

	Preparation	B Field Exposure	E Field Exposure	Frequency Content	Experimental Design	Response	Strengths & Weaknesses
Martin, <i>et al.</i> 1978	Cast immobilized rat femur, implanted capacitive coupling	none	0.1-1 V/m 2 & 8 hr/day exposures; 5 d/wk, 1hr/day on weekends	30 Hz sinusoid	50 animals in 4 groups	Duration dependent increase in bone mass and area ($p<0.002$). Comparison with sham not assessed.	S: replication of McElhane study W: Asymmetric loss of 15 animals in study groups
Sharrard, 1990	Treatment of delayed union in human tibia 16-32 wks old	$dB/dt = 20-30$ T/s 8 Hr/day, 12 weeks	1 V/m peak @ 4 KHz	15 Hz PEMF burst 4 KHz pulse rate, $25 \mu\sigma$ pulse width	Double blind 25 sham (inactive coil) 20 treated	12 week assesment S: 2/25 healed T: 10/20 healed ($p<0.002$)	S: Double blind W: 6 year study with incomplete recruitment. Large age discrepancy in placebo and treated populations
McLeod & Rubin, 1992	Disuse turkey ulna	$dB/dt = 550$ mT/s for PEMF; 0.55 mT/s for sinusoids 1 hr/day, 8 weeks	10mV/m for PEMF 1 mV/m for sinusoids	75 Hz PEMF (380 ms pulse width) 15, 75, 150 Hz sinusoid	4-5 animals in six groups, comparison to contralateral ulna, inactive sham	Frequency dependent responses, with maximum at 15 Hz ($p<0.05$) decreased	S: Identify frequency dependence W: No active sham to control for heating effects
Buch, <i>et al.</i> , 1993	Rabbit tibia titanium bone harvest chamber	3 mT, whole animal exposure, 2hr/day, 18 weeks	1 V/m in animal; 10 mV/m in chamber	72 Hz single pulse; pulse width unknown	6 control 6 exposed, bone harvested every three weeks	Rate of bone formation ($p<0.003$)	S: Longitudinal study design W: Perturbation of fields by implant may be important
Mammi, <i>et al.</i> , 1993	Human tibial osteotomy	1.8 mT; $dB/dt = 0.9$ T/s 8 Hrs/day; 60 days	50 mV/m	75 Hz PEMF, 2ms pulse width	Double blind; 20 placebo (inactive coil) 20 treated	Radiographic score increased (2.1 to 3; ($p<0.006$))	S: Double blind W: Passive sham; Unsophisticated analysis

	Preparation	B Field Exposure	E Field Exposure	Frequency Content	Experimental Design	Response	Strengths & Weaknesses
Pienkowski, <i>et al.</i> ,1994	Rabbit fibula osteotomy	0.28-1.1 mT peak	14-283 mV/m	15 Hz PEMF, pulse width 1-10 $\mu\sigma$ 5 ms burst width	randomized design 17 groups, N=5-17 per group, continuous exposure for 14 days, comparison to contralateral side	No consistent significant effect of field exposure	S: Randomized, partial factorial design W: Poor contralateral shielding
Aaron & Ciombor, 1996	Endochondral ossification in male rats, whole animal exposure	0.5 mT? 8 hours/day 2-20 days	?	15 Hz PEMF 4 KHz pulse rate	Decalcified bone matrix induced. Exp. 1 Exposure from day 1 Exp 2 Exposure during selective phases	Increased chondrogenesis (p < 0.001) Localized response in mesenchymal phase	S: Multiple endpoints supporting each other W: No active sham
Eyres, <i>et al.</i> , 1996	Human tibia limb lengthening	2 mT ? 4 Hrs/day	?	15 Hz PEMF 4 KHz pulse rate	Double blind, randomized, longitudinal design Assayed bone mineral density	No increased bone in fracture gap. Inhibition of bone loss in distal segment. Increased bone density in proximal segment. (p<0.0001)	S: Well controlled, W: Inactive sham

2. Bibliografía extraída de la base de datos MEDLINE

TEXTOS ACADÉMICOS

Incluimos, en primer lugar, la referencia de una serie de libros muy característicos, que podrían ser considerados los más aconsejables textos generales de Biomagnetismo clínico. La evolución de sus contenido en relación con su fecha de publicación, marca en realidad la historia de esta rama de la Ciencia.

- I) S. N. Erné, D. Hahlbohm y H. Lübbig. “Bomagnetism” Editorial Walter de Gruyter (Berlin), 1981

- II) F. Bistolfi. “Campi magnetici in Medicina” Edizione Minerva Medica (Torino), 1983
- III) W. Andrä y H. Nowak. “Magnetism in Medicine. A handbook” Editorial Wiley – VCH (Berlin), 1988
- IV) C. T. Brighton y S. R. Pollack (Editors). “Electromagnetics in Medicine and Biology” San Francisco Press (San Francisco), 1991
- V) V. N. Binhi. “Magnetobiology: underlying physical problems” Academic Press (London), 2002

2.1 Generalidades sobre los efectos terapéuticos de los campos magnéticos.

A continuación citamos, por apartados, a una serie de artículos que tratan sobre los distintos aspectos de los campos magnéticos y sus aplicaciones clínicas. A fin de facilitar la comparación de dosis de campo magnético, exponemos, lo primero de todo, alguna información sobre los equipos que más se mencionan en trabajos de los países del Este de Europa.

- 1) Polyus 1.- Produce un campo senoidal con los 50 Hz de la red, pudiendo interrumpirlo periódicamente durante 1 s. La intensidad máxima es de 50 mT. Dispone de dos aplicadores planos, en forma de discos de 20 cm de diámetro.
- 2) Alimp.- Produce impulsos de unos 10 mseg de duración, separados por una distancia que se regula con la frecuencia base, que va de cero a 100 Hz. Los aplicadores son pequeños, u pueden introducirse en una especie de colcha o cubrecama.
- 3) MGTP-3.- Produce campos con las frecuencias 25, 16.6, 12.5, 10, 6.25, 5 y 2 Hz, disponiendo de tres aplicadores. El aplicador tipo I es un electroimán con núcleo, que proporciona 91 mT. El de tipo II es un devanado fino, con un diámetro interno de 22 cm, dando una intensidad de 25 mT. El de tipo III es un gran cilindro de 60 cm de largo y 60 cm de diámetro, produciendo campos de 10 mT.
- 4) Unimag Medimag y Ultimag.- Son tres versiones sucesivas, cada vez mas sofisticadas, de equipos basados en un microcomputador, pudiendo producir una amplia gama de señales, con un amplio abanico de frecuencias.

2.1.1) Bassett C A. y cols. Pulsing Electromagnetic Field Treatment in ununited fractures and failed arthrodeses. JAMA 1982;247(5):623 – 628

Desde que en 1979 la FDA aprobase el método, los PEMF se han usado en 1007 casos, con mas de un 70 % de tratamientos con éxito, según los distintos centros médicos donde se haga la estadística

- 2.1.2) Bassett C A..Conversations with C. Andrew L. Bassett, M.D. Pulsed Electromagnetic fields. A noninvasive therapeutic modality for fracture nonunion (Interview). Orthop. Reviews 1986;15(12):781-795.

En estas fechas el Dr Bassett (30 años de experiencia en el laboratorio de Investigación Ortopédica de la Universidad de Columbia, USA) declara que (en 1986) 10,000 de los aproximadamente 12,000 cirujanos ortopedas de los US habían usado la técnica PEMF, habiendo sido tratados unos 65,000 pacientes en todo el país, con un porcentaje de éxito del 80 – 90 %. La técnica resuelve problemas de fracturas no unidas, roturas de fusión y pseudoartrosis.

- 2.1.3) O'Connor B T. Treatment of surgically resistant non-unions with pulsed electromagnetic fields. Reconstr Sur Traumatology 1985;(19):123 -132

Los PEMF resultan eficaces para pacientes con dificultades de difícil tratamiento y no uniones resistentes a la cirugía.

- 2.1.4) Bassett C A. Therapeutic uses of electric and magnetic fields in Orthopaedics. Capítulo incluido en D. O. Carpenter and S. Ayrapetyan (editores) "Biological effects of electric and magnetic fields. Volume II: Beneficial and harmful effects" San Diego: Academic Press, 1994, pag 13 – 48

La técnica PEMF comenzó en 1974 y para 1982 había sido aceptada por la FDA. Si bien en 1994 se había utilizado en unas 250,000 no uniones, no había alcanzado toda la difusión debido a la falta de conocimiento del proceso por parte del personal clínico.

- 2.1.5) Navratil L. y cols. Possible therapeutic applications of pulsed magnetic fields. Cas Lek Cesk 1993;132 (19):590-594

Para procurar efecto antiinflamatorio en el aparato locomotor trabajan en el rango de frecuencias de 10 a 25 Hz, obteniendo buenos resultados en isquemia de los vasos sanguíneos, síndrome dispéptico, mastitis, y otros. Resulta muy eficaz repetir el ciclo de tratamiento después de un descanso de 2 – 3 meses.

- 2.1.6) Jerabek J. Pulsed magnetotherapy in Czechoslovakia. A review. Rev Environment Health 1994;10 (2):127-134.

Se registran favorables utilizaciones de los PEMF en tratamientos de afecciones reumáticas, sinusitis, enuresis y desórdenes isquémicos de las extremidades inferiores. También han tenido éxito en tratamientos de esclerosis múltiple y enfermedades degenerativas de la retina.

- 2.1.7) Bassett C A. Fundamental and practical aspects of therapeutic uses of pulsed electromagnetic fields. Crit Rev Biomed Eng 1989;17(5):451 –529.

En este artículo se repasan los resultados de la utilización de los PEMF, con baja intensidad y campos no permanentes, desde el principio de los años 70, a un amplio abanico de afecciones. Los mejores resultados se obtienen en el campo de la reparación ósea.

- 2.1.8) Bassett C A. Beneficial effects of electromagnetic fields. *J. Cell Biochem* 1993;51 (4):387 – 393.

Además de en la reparación ósea, los campos magnéticos han resultado de interés en otros temas como la regeneración nerviosa, cicatrizado de heridas, evolución de injertos, diabetes, ataque cardíaco y apoplejía.

- 2.1.9) Begue-Simon A M.y Drolet R A. Clinical assessment of the Rhumart system, based on the use of pulsed electromagnetic fields with low frequency. *Int J Rehabil Research*;16(4):323-327.

Se probaron campos pulsados de baja frecuencia en pacientes con una amplia gama de desórdenes, incluyendo desórdenes muculoesqueléticos, enfermedades circulatorias, desórdenes traumáticos, problemas gastroenterológicos y morbilidad relacionada con el estrés.

Se usó un aparato de Rhumart el cual producía ondas con amplitudes de pico de 30 gauss.

Los tratamientos resultaron positivos, especialmente en los casos de desórdenes musculoesqueléticos y traumáticos.

- 2.1.10) Zaslavsky A. y cols. A low frequency impulse apparatus for physical therapy "Infita". *Med Tehk* 1994; 5: 39-41.

Es un aparato productor de campos magnéticos de baja frecuencia con el que se trataba a los atletas soviéticos de nivel olímpico. Se comprobó su beneficioso efecto en problemas hemodinámicos y de microcirculación, además de producir efectos antiinflamatorios, sedativos y analgésicos.

- 2.1.11) Kovalchuck V I. y cols. Use of extremely low frequency magnetic fields in clinical practice. *Fizicheskaia Meditzina* 1994;4(1 – 2):87-91.

Usaban un equipo TAMMAT en sesiones de 15 – 25 min diarios durante 5 días a la semana, hasta completar 20-25 días. La mayoría de los pacientes experimentaron mejoría a partir de la 2ª - 3ª sesión. Sus efectos eran analgésicos, antiinflamatorios, anti-tumorales e inmunoestimuladores.

- 2.1.12) Schastnyi I y cols. A contact-free, biologically adequate electromagnetic stimulation of repair regeneration of osseous, cartilaginous and muscular tissues in children. *Vestn Ross Akad Med Nauk* 1994; 3:38-42.

Usan el equipo "Cascade", encontrando un 75 % de tratamientos positivos en casos de fracturas anquilosadas, contracturas postraumáticas, síndrome de aplastamiento y pseudocoxalgiya o enfermedad de Perthes o pseudocoxalgiya.

- 2.1.13) Prato F S., Thomas A W. y Cook C M. Human standing balance is affected by exposure to pulsed ELF magnetic fields: light intensity-dependent effects. *Neuroreport* 2001;12 (7):1501 – 1505.

Existen indicaciones de que las respuestas conductuales y fisiológicas de animales expuestos a campos magnéticos estáticos de frecuencia extremadamente baja (*extremely low frequency magnetic fields*, ELFMF) se ven afectadas por la presencia de luz durante la exposición al campo magnético. Aquí describimos

que el efecto de un ELFMF (Pulsed Electro Magnetic Field) pulsátil específico sobre el equilibrio humano en bipedestación es modulado por la intensidad luminosa durante la exposición. Nueve voluntarios sanos permanecieron de pie sobre una plataforma tridimensional en condiciones de baja iluminación ($0,12 \text{ W/m}^2$) durante períodos de 2 min (ojos abiertos/cerrados, simulación/PEMF de 200 ± 1 microTpico, orden aleatorizado). Se produjo un aumento significativo del movimiento en bipedestación durante la exposición a PEMF estando con los ojos cerrados. En un segundo experimento con 26 sujetos normales expuestos a un protocolo idéntico, pero con intensidades luminosas mayores ($0,51 \text{ W/m}^2$), se observó un efecto significativo pero opuesto.

2.1.14) Trock D H. Electromagnetic fields and magnets. Investigational treatment for musculoskeletal disorders. Rheumatic Diseases Clinics of North America 2000;26(1):51-62.

Ciertos campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) afectan al crecimiento del hueso y cartílago *in vitro* con posibles aplicaciones en el tratamiento de la artrosis. Ya se ha demostrado que la estimulación con PEMF alivia las fracturas que tardan en soldar, con posibles aplicaciones clínicas en artrosis, osteonecrosis, osteoporosis y cicatrización de heridas. Los imanes estáticos pueden proporcionar alivio transitorio del dolor en determinadas circunstancias. En ambos casos la información disponible es limitada. Se comentan los mecanismos subyacentes a la utilización de PEMF.

2.2. Mecanismos de interacción campo magnético-organismo

2.2.1) Balcavage W X., Alvager T., Swez J., Goff C W., Fox M T., Abdullyava S.y King M W. A mechanism for action of extremely low frequency electromagnetic fields on biological systems. Biochemical and Biophysical Research Communications 1996; (222): 374-378.

Este documento describe un mecanismo sencillo, basado en el efecto Hall, por el que campos electromagnéticos estáticos pulsátiles de baja frecuencia (50-60 Hz) pueden modificar el flujo de cationes a través de las membranas biológicas y alterar el metabolismo celular. Demostramos que cabe esperar que los campos magnéticos normalmente encontrados en el ambiente causen interacciones biológicamente significativas entre los cationes transportados y los dominios básicos de las proteínas de los canales catiónicos. Calculamos que estas interacciones generan fuerzas de magnitud similar a la creada por los potenciales transmembrana habituales que se sabe que abren los canales catiónicos. De este modo se demuestra que los PEMF pueden regular el flujo a través de los canales catiónicos, alterando las concentraciones en estado de equilibrio de los cationes celulares y modificando así los procesos metabólicos dependientes de las concentraciones de cationes.

2.2.2) Jacobson, J. I. A theoretical look at genes as magneto-targets. Indian J. Theor. Phys. 1992;40 (3):161-186.

Se expone el modelo de la resonancia de Jacobson que permite aplicar el magnetismo en la resolución de enfermedades genéticas. Se basa en la ecuación $mc^2 = Bvl$, igualdad entre la expresión de Zeeman y la resonancia de los electrones en el modelo del ciclotrón. Los oncogenes y las asociaciones de proteínas, ácidos nucleicos virales y factores de crecimiento, pueden ser activados electro-magnéticamente, absorbiendo la energía según mecanismos cuánticos. Esta técnica se puede aplicar para resolver casos de cáncer y de regeneración de nervios.

En base a este modelo se calcula que el campo debe tener una intensidad entre $5 \cdot 10^{-6}$ y $5 \cdot 10^{-10}$ gauss, con una frecuencia de entre 10^{-3} Hz to 10^3 Hz. Experimentalmente se comprueba que con campos de 10^{-8} gauss se producen corrientes en el tejido del orden de un mAmp, que son similares a las que se producen en la reparación de tejidos blandos y nervios.

Los mecanismos cuánticos de la absorción de la energía es la reorientación del momento angular de los leptones y bariones que influyen sobre los dominios magnéticos moleculares. Los oncogenes colocados en inmersión en agua son susceptibles a presentar este proceso de absorción de energía.

2.2.3) Chen I I. y Saha S. Analysis of the current distribution in bone produced by pulsed electro-magnetic field stimulation of bone. *Biomater Artif Cells Artif Organs* 1987-88;15:737-744.

Es cada vez mas frecuente el uso de la técnica PEMF en cirugía ortopédica, para tratar no uniones y pseudoartrosis congénitas. En el presente trabajo se desarrolla un modelo teórico para analizar la distribución de corrientes que aparecen en el hueso como consecuencia del campo magnético exógeno, que se produce en unas bobinas de Helmholtz con las que se aplica el tratamiento. Los resultados muestran que la densidad de la corriente inducida es dependiente de los parámetros eléctricos del hueso así como de la geometría de las bobinas con la que el campo es aplicado y de la ubicación del hueso dentro de la bobina.

2.2.4) Blackman C F. y cols. Empirical test of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with PC-12 cells. *Bioelectromagnetics* 1994; 15 (3): 239-260.

En un documento complementario se describía un modelo teórico, basado en el fenómeno de la resonancia paramétrica de los iones (*ion parametric resonance*, IPR), que permitía hacer una hipótesis explicativa de las interacciones del campo magnético con los sistemas biológicos. Se basa en la posibilidad de una relación selectiva entre la relación de la densidad de flujo del campo magnético estático y alterno con la relación carga-masa de los iones de relevancia biológica. En estudios anteriores se ha demostrado que el crecimiento de neuritas (*neurite outgrow*, NO) en las células PC-12 estimulado por el factor de crecimiento nervioso (*nerve growth factor*, NGF) puede inhibirse mediante la exposición a campos magnéticos tanto en función de la densidad de flujo del campo magnético como de la magnitud de la alternancia del mismo. El presente trabajo examina si la respuesta de las células PC-12 a los campos magnéticos es

compatible con el modelo IPR cuasi-periódico de predicción según la resonancia. Comprobamos las modificaciones de cada una de las variables experimentales controlables [densidades de flujo de los componentes paralelos del campo magnético alterno (Bac) y del campo magnético estático (Bdc) y la frecuencia del campo magnético alterno] a través de un intervalo de condiciones de exposición suficiente para determinar si el modelo IPR es aplicable. Se controló independientemente cada uno de estos criterios cuantitativos mediante un sistema de exposición con bobinas múltiples. El campo magnético perpendicular se controló con una precisión de hasta 2 mG en todas las pruebas. En la primera serie de ellas se examinó la respuesta de NO en células expuestas a Bac de 45 Hz y 77 a 468 mG (rms) en un Bdc de 366 mG. A continuación examinamos una situación de desfase de resonancia utilizando un Bdc de 20 mG con un campo alterno de 45 Hz a través de un intervalo de Bac comprendido entre 7,9 y 21 mG (rms). Por último, modificamos la frecuencia a 25 Hz con un cambio correspondiente de Bdc a 203 mG (para sintonizar la misma serie de iones que en la primera prueba) y un intervalo de Bac de 78 a 181 mG (rms). En todos los casos las respuestas observadas son compatibles con las predicciones del modelo IPR. Estos resultados experimentales son los primeros que apoyan detalladamente la validez de las relaciones fundamentales que implica el modelo IPR.

2.2.5) Gros L. "Distortion of the bond angle in a magnetic field and its possible magnetobiological implications". Incluido en "Biological Effects of Magnetic Fields". Publicación de Waldemar Medical Research Founoodbury, N. Y., USA, 1964, pag 74-79.

Se estudió el mecanismo por el que tiene lugar la interferencia del campo magnético con las reacciones químicas en los sistemas biológicos. Los intermediarios son en algunos casos sea radicales libres de naturaleza paramagnética. El electrón no equilibrado de un radical libre no se localiza y puede estar en un estado s o estado p. Hay un período de la transición durante el cual el electrón se localiza en una agrupación de un sp³ híbrido, de forma que constituye un enlace covalente con un átomo que está en reacción. Pero como el electrón tendrá durante esa transición su órbita deformada por el campo magnético, puede suceder que quede instantáneamente impedida una reacción química que inicialmente se habría producido. Ello resta energía a una del total de la energía de activación disponible, de forma que se evita la formación de algunas moléculas. En las pruebas *in vitro* parece confirmarse que este mecanismo es el responsable de los efectos biomagnéticos observados. Se propuso el que estos mecanismos son los que controlan la producción de ADN o ARN por la fosforilasa de los polinucleótidos.

2.2.6) Marino A A.y Becker R O. Mechanically induced free radicals in bone. Nature 1968; 218 (5140): 466-467

El espectro E.P.R. obtenido de hueso humano pulverizado a temperatura ambiente presentaba una marcada resonancia a $g = 2.008 \pm 0.003$ con una anchura de 11 ± 1 gauss medidas entre las crestas de la curva derivada. Si el ángulo entre el eje largo del hueso y el campo magnético externo eran variados,

no se observaba ningún cambio en el valor de g , habiéndose examinado 20 muestras. La resonancia de polvo de hueso se amortiguaba con una constante de tiempo del orden de meses, mientras la resonancia del hueso mantenido como pieza entera no mostró ningún cambio durante el mismo tiempo. No mostró ningún cambio apreciable en la amplitud cuando la temperatura se bajó a 114 °K.

Una muestra de polvo del hueso triturado en un molino vibratorio durante tiempos de molienda diferentes, mostraba una acumulación de radicales libres en función de la duración del tiempo de molienda. Dado que la resonancia del hueso entera no se alteró y mostró una saturación diferente, su resonancia puede deberse a la existencia de dos especies magnéticas. Así, en un polvo, un radical libre que ha sido inducido por el daño da la contribución dominante, se enmascara la presencia de las dos especies magnéticas, que se aprecian en el hueso entero. Es decir, la resonancia del hueso entera a $g = 2.008$ puede representar una especie magnética que está naturalmente presente en el hueso en el vivo.

2.2.7) McFarlane E H., Dawe G S, Marks M, y Campbell I C. Changes in neurite outgrowth but not in cell division induced by low EMF exposure: influence of field strength and culture conditions on responses in rat PC12 pheochromocytoma cells. *Bioelectrochemistry* 2000;52 (1):23-28.

Se examinaron los efectos de la exposición (4,5-15,8 microT, 50 Hz AC) a un campo electromagnético (EMF) sobre el crecimiento de neuritas y la división celular en células PC12 de feocromocitoma de rata. El estudio constaba de dos series experimentales con diferentes condiciones de cultivo durante la exposición a los campos magnéticos. En la serie 1 [14 experimentos en los que las condiciones de cultivo no promovían intensamente la diferenciación celular (15% de suero)] la exposición a 4,5-8,25 microT durante 23 h inhibió significativamente el crecimiento de neuritas en un $21,5 \pm 1,3\%$ (por Manova, $p = 0,003$). En contraste, en la serie 2 (12 experimentos en los que las condiciones de cultivo promovían la diferenciación celular [4% de suero]) la exposición a 4,35-8,25 microT durante 23 h estimuló significativamente el crecimiento de neuritas en un $16,9 \pm 1,1\%$ (por Manova, $p = 0,009$). Así pues, la exposición de ambas series a un estrecho intervalo de EMF bajo tuvo efectos significativos aunque opuestos en el crecimiento de las neuritas. La exposición a campos superiores, 8,25-12,5 microT (serie 1) y 8,25-15,8 microT (serie 2) careció de efecto significativo sobre el crecimiento de las neuritas. Estos datos, considerados junto con los de otras publicaciones, sugieren que la diferenciación neuronal puede alterarse por un nivel de exposición a EMF bajo. Aunque no parece ser nocivo, el hecho merece investigaciones adicionales. En la actualidad no están claros los motivos por los que las modificaciones significativas del crecimiento de neuritas están limitadas a una estrecha ventana de intensidad del campo. Como ya se dijo, las condiciones de cultivo de la serie 2 propiciaban más la diferenciación celular que las de la serie 1. Esto se refleja en el menor número de células en las muestras de control de la serie 2 al final de las 23 horas de incubación respecto a las de la serie 1 ($-16,9 \pm 1,7\%$, $p = 0,003$). Dado que se puso el mismo número de

células en las placas de cultivo de ambas series el medio utilizado en la serie 1 permite que se divida un mayor número de células PC12. Esto es compatible con el hecho de que algunas células vuelven al fenotipo no neuronal de las células cromafines suprarrenales. [L. Greene, A. Tischler. Establishment of a noradrenergic clonal line of rat adrenal pheochromocytoma cells which respond to nerve growth factor. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 73 (1976) 2424-2426]. La exposición a ambos intervalos de campo magnético (4,35-8,25 mT y 8,25-15,8 mT) no tiene efecto sobre la división celular. Por lo tanto, este estudio no proporciona pruebas de que la exposición a un EMF bajo tenga un efecto mitogénico.

2.2.8) Goodman R. y Blank M. Insights into electromagnetic interaction mechanisms. Journal of Cellular Physiology 2002;(192):16 – 22.

Los campos electromagnéticos de baja frecuencia (< 300 Hz) inducen cambios biológicos que incluyen el incremento de las reacciones de las enzimas y el incremento del nivel de reproducción en genes específicos. Los campos interactúan con el gene HSP70 en el interior de la célula y los tejidos. La interacción con las enzimas puede explicarse como interacción sobre las cargas móviles. También interactúan con los electrones del DNA para estimular la biosíntesis. Algunas futuras aplicaciones del biomagnetismo pueden ser la citoprotección y la terapia génica. El efecto de los campos sobre la proteína HSP70 puede proporcionar también un marcador biológico para estudios destinados a establecer standards de seguridad en mediciones de los niveles de peligrosidad de las emisiones de la telefonía móvil, ayudando a diseñar más seguros teléfonos y torres de transmisión.

2.3 Estimulación por la vía de los BMP (Bone Morphogenic Protein)

2.3.1) Bodamyali T., Bhatt B., Hughes F J.; Winrow V R., Kanczler J M., Simon B., Abbott J., Blake D R. y Stevens C R. Pulsed electromagnetic fields simultaneously induce osteogenesis and upregulate transcription of bone morphogenic proteins 2 and 4 in rat osteoblasts in vitro. Biochemical and Biophysical Research Communications 1998;250:458-461.

Los campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) se utilizan con éxito para tratar diversos problemas ortopédicos, especialmente el retraso en la consolidación de fracturas. En este estudio examinamos los efectos de los PEMF sobre la osteogénesis *in vitro* en la formación de un nódulo óseo y a través de la expresión del ARNm de las proteínas morfogenéticas óseas 2 y 4 mediante la técnica de la transcriptasa inversa-reacción en cadena de la polimerasa (*reverse-transcriptase polymerase chain reaction*, RT-CPR) en cultivo de osteoblastos de cráneo de rata. La exposición a los PEMF indujo un aumento significativo del número (39% respecto a los controles no expuestos) y tamaño (70% mayores en comparación con los controles no expuestos) de los nódulos de tipo óseo formados. Los PEMF también indujeron un aumento de los niveles del ARNm de las BMP-2 y BMP-4 en comparación con los controles. Este efecto se relacionó

directamente con la duración de la exposición a los PEMF. El presente estudio demuestra que los PEMF aplicados clínicamente tienen un efecto osteogénico reproducible *in vitro* y que inducen simultáneamente la transcripción del ARNm de BMP-2 y BMP-4. Esto apoya la idea de que ambos efectos están relacionados.

2.3.2) Tsai C L., Chang W H., Liu T K. y Wu K H. Additive effects of prostaglandin E2 and pulsed electromagnetic fields on fracture healing. *J. Physiol* 1991;34(2):201 – 211.

Se evaluó la formación de hueso en peronés fracturados estimulados con campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF), prostaglandina E2 (PGE2) y con una combinación de ambos agentes mediante compuestos marcadores radiográficos y fluorescentes: tetraciclina, naranja de xilenol y calceína. Se osteomizó a 72 conejos de Nueva Zelanda machos creando huecos de 1 mm en los peronés y distribuyéndolos aleatoriamente en 8 grupos: uno de control, uno tratado con PEMF, tres tratados con PGE2 a varias dosis y tres tratados con tratamientos combinados de PEMF y PGE2 a dosis especificadas. Los PEMF tienen efectos positivos sobre el crecimiento óseo. La PGE2 exógena imita el efecto de los PEMF en el crecimiento óseo en longitud. El efecto de la PGE2 sobre la formación o el remodelado óseo fue dependiente de la dosis (5, 15, 50 mg/kg), siendo 5 mg/kg de peso corporal la dosis óptima en este estudio. La combinación de PEMF y PGE2 mostró tendencia a un efecto aditivo sobre la formación ósea especialmente con una dosis de 15 mg/kg de PGE2. Los PEMF pueden ejercer su acción sobre la consolidación ósea aumentando la PGE2 endógena. Por lo tanto, la estimulación externa con PEMF y con PGE2 tiene aparentemente un efecto beneficioso y estimulador de la formación ósea y la cicatrización en este modelo animal. No obstante, los efectos fueron un tanto específicos en cuanto a forma y dosificación de las ondas electromagnéticas. Por lo tanto, a semejanza de los PEMF, la PGE2 puede ser un posible agente promotor de la formación ósea en los tratamientos clínicos de fracturas o quizá en los problemas de consolidación ósea.

2.3.3) Yajima A., Ochi M., Hirose Y., Sakaguchi K. y Wang P L. Effect of pulsing electromagnetic fields on gene expression of bone morphogenetic proteins in cultured human osteoblastic cell line. *Journal of Hard Tissue Biology* 2000;9(2):63-66.

Se estudió el efecto de la exposición a PEMF sobre la expresión génica en SV40 grande T, de BMP 1 a BMP en células osteoblásticas humanas (SV – HFO). El seguimiento fue a través de la reacción por transcripción reversa de la cadena de polimerasa.

Las células fueron expuestas a los PEMF por 1, 6, 12, 24 o 48 horas. Con gran reproductibilidad se constató el destacable incremento del mRNA de las BMP-2, -4 y -5 en células SV-HFO. La estimulación era dependiente del tiempo de exposición, presentando un máximo a las 12 horas.

Estos resultados muestran que el efecto osteogénico de los PEMF puede ser debido, al menos parcialmente, a la regulación del BMP-2, -4 y -5 en los osteoblastos humanos.

- 2.3.4) Bodamyali T., Bhatt B., Hughes F J., Winrow V R., Kanczler J M., Simon B., Abbott J., Blake D R. y Stevens C R. Pulsed electromagnetic fields simultaneously induce osteogenesis and upregulate transcription of bone morphogenetic proteins 2 and 4 in rat osteoblasts in vitro. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 1998;250(2):458-461.

Los campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) se utilizan con éxito para tratar diversos problemas ortopédicos, especialmente el retraso en la consolidación de fracturas. En este estudio examinamos los efectos de los PEMF sobre la osteogénesis *in vitro* en la formación de un nódulo óseo y a través de la expresión del ARNm de las proteínas morfogenéticas óseas 2 y 4 mediante la técnica de la transcriptasa inversa-reacción en cadena de la polimerasa (*reverse-transcriptase polymerase chain reaction*, RT-CPR) en cultivo de osteoblastos de cráneo de rata. La exposición a los PEMF indujo un aumento significativo del número (39% respecto a los controles no expuestos) y tamaño (70% mayores en comparación con los controles no expuestos) de los nódulos de tipo óseo formados. Los PEMF también indujeron un aumento de los niveles del ARNm de las BMP-2 y BMP-4 en comparación con los controles. Este efecto se relacionó directamente con la duración de la exposición a los PEMF. El presente estudio demuestra que los PEMF aplicados clínicamente tienen un efecto osteogénico reproducible *in vitro* y que inducen simultáneamente la transcripción del ARNm de BMP-2 y BMP-4. Esto apoya la idea de que ambos efectos están relacionados.

2.4. Estimulación del NGF (Nerve Growth Factor)

- 2.4.1) Longo F M., Yang T., Hamilton S., Hyde J F., Walker J., Jennes L., Stach R. y Siskin B F. Electromagnetic fields influence NGF activity and levels following sciatic nerve transection. *Journal of Neuroscience Research* 1999;55(2):230-237.

Se ha demostrado que los campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) aumentan la velocidad de regeneración de los nervios. Uno de los mecanismos propuestos para inducir los acontecimientos tempranos de la regeneración es la pérdida transitoria de factor de crecimiento nervioso (NGF) en el punto de destino tras la sección transversal. Comprobamos la hipótesis de que los PEMF alteran la actividad del factor de crecimiento nervioso y las proteínas del nervio y/o ganglio dorsal (GD) lesionado en las primeras etapas de la regeneración (6-72 h). Se expuso a PEMF o a una simulación de PEMF durante 4 h/d en diferentes períodos de tiempo a ratas con lesión unilateral del nervio ciático por sección transversal en la porción media de la pata trasera. Se detectó actividad de tipo NGF en GD, en los 5 mm de los segmentos proximal y distal al lugar de la lesión del nervio y en un segmento de 5 mm correspondiente al nervio contralateral no intervenido. Se midió la actividad de tipo NGF con enmascaramiento en muestras codificadas utilizando métodos analíticos para neuronas sensoriales de GD de pollo. En general los PEMF causaron una disminución

significativa de la actividad del tipo NGF en el tejido nervioso ($P < 0,02$, mediciones repetidas de análisis de la varianza, ANOVA) con disminuciones evidentes en el nervio proximal, distal y en el contralateral no operado. De forma inesperada, también se encontró que la sección transversal causaba un aumento significativo ($P = 0,001$) del doble de la actividad de tipo NGF entre 6 y 24 horas tras la lesión en el GD contralateral pero no en el del mismo lado. Los PEMF también redujeron la actividad de tipo NGF aunque esta disminución no alcanzó significación estadística. La evaluación de las mismas muestras de nervio y GD utilizando la técnica ELISA y anticuerpos específicos anti-NGF confirmó la disminución global significativa ($P < 0,001$) de los niveles de NGF en el tejido nervioso tratado con PEMF, mientras que no se detectó disminución en GD o en muestras de nervio obtenidas de ratas no lesionadas tratadas con PEMF. Estos hallazgos demuestran que los PEMF pueden afectar a la actividad y niveles de NGF y plantean la posibilidad de que los PEMF puedan promover la regeneración nerviosa amplificando el descenso temprano de la actividad de NGF tras la lesión.

2.4.2) Wu J. y An H. Experimental study on sciatic nerve elongation promoted by pulsed electromagnetic field and basic fibroblast growth factor. *Zhonghua Chuangshang Zazhi* 1998;14(3):148-150.

Se aplicó como adyuvante un campo electromagnético pulsátil (PEMF) y/o bFGF durante la extensión del nervio ciático en una preparación experimental de conejo de Nueva Zelanda. A las cuatro semanas el alargamiento del nervio de los grupos con PEMF o bFGF fue mayor que en el grupo control. La disminución de la velocidad de conducción del movimiento fue menor respecto al grupo control. Histológicamente, la degeneración nerviosa mejoró, aumentando la regeneración y proliferación vascular en comparación con el grupo control. Los resultados sugieren que tanto la PEMF como la BFGF promueven la elongación de nervio periférico y atenúan el daño mecánico durante el proceso de alargamiento del nervio.

2.4.3) Shah J P., Midkiff P., Brandt P C. y Siskin B F. Growth and differentiation of PC6 cells: the effects of pulsed electromagnetic fields (PEMF). *Bioelectromagnetics* 2001;22(4):267-271.

Estudios anteriores en nuestro laboratorio mostraron que el crecimiento *in vitro* y la regeneración *in vivo* de neuritas son estimuladas por campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) de 2 Hz y 0,3 mT (3G). Para averiguar más sobre los efectos de los PEMF sobre las células nerviosas expusimos células P6, un modelo celular estándar de tipo neuronal, a los mismos campos electromagnéticos pulsátiles 2 h/d durante 2 días preguntándonos si se verían afectados dos procesos celulares diferentes: proliferación y diferenciación. Las células fueron tratadas también con un agente diferenciador, el factor de crecimiento nervioso (NGF) para definir mejor cualquier efecto interactivo. La diferenciación, expresada como crecimiento de las neuritas, fue intensamente sobrerregulada con el NGF, aunque esta respuesta al NGF se encontró significativamente deprimida en las células tratadas con PEMF.

- 2.4.4 Subramanian M., Sutton C H., Greenebaum B. y Sisken B. F. "Interaction of electromagnetic fields and nerve growth factor on nerve regeneration in vitro". Capítulo de Brighton C T. y Pollack S R. "Electromagnetism in Medicine and Biology". Editorial San Francisco Press, San Francisco, California. 1991, 145-151.

La exposición de preparaciones de ganglios dorsales de embrión de pollo a campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) de 80 G en presencia de 50 ó 100 ng/ml de NGF produjo el mayor crecimiento de neuritas en comparación con el grupo control. Los PEMF por si solos tienden a estimular el crecimiento direccional de las neuritas mientras que el NGF aumenta el porcentaje de superficie cubierta por las ellas.

- 2.4.5) Reiter R J. y Richardson B A. Magnetic field effects on pineal indoleamine metabolism and possible biological consequences. FASEB Journal 1992;6(6) :2283-2287.

En los últimos años se ha dado mucha publicidad a los posibles efectos sobre la salud de la exposición a campos eléctricos y/o magnéticos. Una de las observaciones descritas más frecuentemente tras la exposición de animales a campos eléctricos o magnéticos son las alteraciones del metabolismo de la serotonina (5HT) a melatonina en la glándula pineal. La presente revisión resume estos resultados, especialmente en animales expuestos a campos magnéticos invertidos intermitentemente sin variaciones temporales, es decir, campos magnéticos estáticos pulsátiles. Al producirse la exposición la conversión de 5HT en melatonina se deprime de forma característica, de forma análoga a lo que sucede durante la noche. Los mecanismos por los que los campos magnéticos pulsátiles alteran la capacidad de la glándula pineal para convertir la 5HT en la principal hormona de la glándula pineal, la melatonina, son desconocidos pero pueden deberse a efectos en una o todas de las siguientes localizaciones: las retinas, el núcleo supraquiasmático, el sistema nervioso simpático y los pinealocitos. Los resultados obtenidos hasta la fecha sugieren que corrientes eléctricas inducidas (corrientes circulares) producidas por los campos electromagnéticos pulsátiles son particularmente nocivas para el metabolismo pineal de la indolamina y que pueden constituir un importante factor causal de los cambios metabólicos hallados. Las consecuencias fisiológicas de las perturbaciones en el ritmo de la melatonina inducidas por la exposición al campo magnético siguen siendo desconocidas.

- 2.4.6) Wu J. y An H. Exptl. study on sciatic nerve elongation promoted by pulsed electromagnetic field and basic fibroblast growth factor. Zhonghua Chuangshang Zazhi 1998;14(3):148-150.

Se aplicó como adyuvante un campo electromagnético pulsátil (PEMF) y/o bFGF durante la extensión del nervio ciático en una preparación experimental de conejo de Nueva Zelanda. A las cuatro semanas el alargamiento del nervio de los grupos con PEMF o bFGF fue mayor que en el grupo control. La disminución de la velocidad de conducción del movimiento fue menor respecto al grupo control. Histológicamente, la degeneración nerviosa mejoró, aumentando

la regeneración y proliferación vascular en comparación con el grupo control. Los resultados sugieren que tanto la PEMF como la BFGF promueven la elongación de nervio periférico y atenúan el daño mecánico durante el proceso de alargamiento del nervio.

2.4.7) Blackman C F., Benane S G. y House D E. "Action of melatonin on magnetic field inhibition of nerve-growth-factor-induced neurite outgrowth in PC-12 cells". Capítulo en: Stevens R G., Wilson B W. y Anderson L E. (Editores). "Melatonin Hypothesis" 1997, 173-185. Editorial Battelle Press, Columbus, Ohio.

Se estudiaron los efectos de la melatonina sobre la inhibición del crecimiento de neuritas inducida por campos electromagnéticos estáticos de 50 y 60 Hz en células PC-12. La melatonina carece de efecto sobre el crecimiento de las neuritas en células no expuestas pero modula la inhibición de dicho crecimiento causada por campos magnéticos.

2.4.8) Lazetic B., Kozarcic T. y Stankov K. The effect of low-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Medicinski Pregled* 1997; 50 (9-10): 357-362.

Este documento recoge información bibliográfica sobre los efectos de los campos electromagnéticos variables de baja intensidad sobre el sistema neuroendocrino de animales de experimentación. Prestamos especial atención a los campos electromagnéticos que se encuentran con frecuencia en nuestro ambiente, en los procesos tecnológicos y en nuestra vida diaria. Este estudio muestra que los sistemas reguladores (nervioso y endocrino) son extremadamente sensibles a los efectos de campos electromagnéticos. Respecto a las estructuras del sistema nervioso central, el hipotálamo presenta una sensibilidad especialmente elevada, a la vez que podemos considerar la hipótesis de que este factor físico actúe también sobre otros sistemas. Se ha hecho hincapié en que los efectos de los campos electromagnéticos sobre los mecanismos reguladores pueden relacionarse con alteraciones primarias celulares y subcelulares (mitocondriales).

2.4.9) Korotkikh N G. y Korzh G M. Magnetic and electromagnetic stimulation in the combined treatment of patients with paralysis of the mimetic musculature. *Zhurnal Nevropatologii i Psikiatrii imeni S. S. Korsakova* 1997; 97 (3): pag 32-35.

Se informa de un método original para tratar a pacientes con parálisis posquirúrgica de los músculos faciales. El método consta de dos factores terapéuticos: magnetoterapia y estimulación electromagnética de las ramas periféricas del nervio facial. Se describen con detalle los principios de la influencia combinada de ambos componentes. Los datos sobre el control funcional de los resultados del tratamiento confirman la reparación de las ramas periféricas del nervio facial.

- 2.4.10) McCaig C D., Sangster L. y Stewart R. Neurotrophins enhance electric field-directed growth cone guidance and directed nerve branching. *Developmental Dynamics* 2000; 217 (3): 299-308.

Las neurotrofinas desempeñan importantes funciones en el desarrollo del sistema nervioso controlando la diferenciación neuronal, crecimiento, orientación y ramificación de las neuritas, formación y maduración de las sinapsis y supervivencia o muerte neuronal. Hay cada vez más indicios de que la construcción del sistema nervioso central tiene lugar en presencia de campos eléctricos de corriente continua que fluctúan dinámicamente en el espacio y en el tiempo durante el desarrollo embrionario. Se originan en el propio tubo neural así como en la piel e intestino circundantes. La alteración precoz de estos campos eléctricos endógenos ocasiona defectos en la formación del sistema nervioso o da lugar a su formación aberrante. El crecimiento, orientación y ramificación del sistema nervioso son estrictamente controlados durante la construcción de las vías nerviosas y los campos eléctricos de corriente continua tiene profundos efectos sobre cada uno de estos comportamientos. Los autores utilizaron neuronas cultivadas preguntándose si las neurotrofinas y los campos eléctricos pueden interactuar configurando el crecimiento, dado que ambos coexisten *in vivo*. En general el crecimiento nervioso dirigido por campos eléctricos se incrementó con la presentación simultánea de algunas neurotrofinas en el cono de crecimiento. En ciertas circunstancias se dirigieron más nervios hacia el cátodo, giraron más deprisa, en mayor grado y con intensidades de campo más bajas. Sorprendentemente, otras combinaciones de campos eléctricos de corriente continua y neurotrofinas (campo de baja intensidad) y la neurotrofina (NT-3) cambiaron la dirección de los conos de crecimiento. Además, el crecimiento nervioso hacia el cátodo fue más rápido y la ramificación dirigida fue mucho más frecuente cuando los campos eléctricos y las neurotrofinas interactuaban con los conos de crecimiento nervioso. A la vista de los grandes cambios en el comportamiento del crecimiento nervioso *in vitro* es probable que las neurotrofinas y los campos eléctricos endógenos interactúen *in vivo*.

- 2.4.11) Feria-Velasco A., Castillo-Medina S., Verdugo-Diaz L., Castellanos E., Orozco-Suarez S., Sanchez-Gomez C. y Drucker-Colin R. Neuronal differentiation of chromaffin cells in vitro, induced by extremely low frequency magnetic fields or nerve growth factor: a histological and ultrastructural comparative study. *Journal of Neuroscience Research* 1998;53(5):569-582.

La aplicación de factor de crecimiento nervioso (*nerve growth factor*, NGF) a cultivos primarios de células cromafines de médula suprarrenal induce cambios fenotípicos caracterizados principalmente por la presencia de neuritas. Se ha observado un efecto similar cuando estas células son estimuladas por campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (*extremely low frequency magnetic fields*, ELFMF). En este estudio se cultivaron células cromafines de ratas recién nacidas y se sometieron a NGF o ELFMF para comparar sus características histológicas y ultraestructurales. Las células cultivadas en presencia de NGF desarrollaron proyecciones citoplasmáticas y sus extremos distales mos-

traron conos de crecimiento así como filopodios. Con microscopía electrónica de barrido y de transmisión se observó un aumento de la densidad electrónica submembranosa en los núcleos celulares, proyecciones neuríticas onduladas con un número moderado de varicosidades así como la prevalencia de filamentos intermedios entre los componentes del citoesqueleto. Las células estimuladas con ELFMF presentaban extensiones neuríticas más rectas con un mayor número de varicosidades. Con el microscopio electrónico de transmisión se observaron numerosos microtúbulos tanto en el cuerpo celular como en las extensiones neuríticas. En ambos grupos los conos de crecimiento eran claramente identificables por sus características ultraestructurales. Las diferencias observadas en el citoesqueleto de células estimuladas con NGF o ELFMF sugieren que posiblemente las características bioquímicas, electrofisiológicas y morfológicas de ambos tipos de cultivos celulares se vean determinadas por los diferentes mecanismos de estimulación.

2.4.12) Morgado-Valle C., Verdugo-Díaz L., García D E., Morales-Orozco C. y Drucker-Colin R. The role of voltage-gated Ca^{2+} channels in neurite growth of cultured chromaffin cells induced by extremely low frequency (ELF) magnetic field stimulation. *Cell and Tissue Research* 1998;291(2):217-230.

Se ha demostrado que el ión Ca^{2+} desempeña una importante función en una amplia variedad de funciones celulares, siendo una de ellas la diferenciación celular en la que participa el factor de crecimiento nervioso (*nerve growth factor*, NGF). Se cultivaron durante 7 días células cromafines obtenidas de glándulas suprarrenales de ratas de 2 a 3 días de edad. Durante este tiempo se aplicó a las células NGF o campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (*extremely low frequency magnetic fields*, ELF MF). Como estos procedimientos inducen la diferenciación celular hacia células de tipo neuronal se estudió el mecanismo por el que esto ocurre. Cuando se aplicó el antagonista del calcio L- Ca^{2+} nifedipino junto con ELF MF no se produjo esta diferenciación, lo que si ocurrió al utilizar un antagonista del calcio N- Ca^{2+} . En contraste, ninguno de los antagonistas del calcio evitó la diferenciación en presencia de NGF. Además, el agente Bay K-8644, un agonista del calcio L- Ca^{2+} , aumentó el porcentaje de células diferenciadas y la longitud de las neuritas en presencia de ELF MF. Este efecto fue mucho más débil en presencia de NGF. La liberación de noradrenalina marcada con ^3H se redujo con nifedipino, lo que sugiere que los canales L- Ca^{2+} tienen una importante función en la liberación del neurotransmisor. Las corrientes totales de Ca^{2+} de alto voltaje aumentaron significativamente en las células tratadas con ELF MF y NGF, aunque estas corrientes eran más sensibles a nifedipino en las células tratadas con ELF MF. El análisis amperométrico de la liberación de catecolamina reveló que la actividad KCl inducida en las células estimuladas para diferenciarse mediante ELF MF es muy sensible a los antagonistas de calcio de tipo L. Se propone un posible mecanismo para explicar cómo la aplicación de campos magnéticos puede inducir la diferenciación de células cromafines a células de tipo neuronal.

2.4.13) Drucker-Colin R., Verdugo-Díaz L., Méndez M., Carrillo-Ruiz J., Morgado-

Valle C., Hernandez-Cruz A. y Corkiki G. Comparison between low frequency magnetic field stimulation and nerve growth factor treatment of cultured chromaffin cells, on neurite growth, noradrenaline release, excitable properties, and grafting in nigrostriatal lesioned rats. *Molecular and Cellular Neuroscience* 1994;5(6):485-498.

Las células suprarrenales cromafines responden *in vitro* al NGF expresando rasgos neuronales. Aunque la estimulación con un campo magnético de baja frecuencia (*low frequency magnetic*, LFM) induce diversos efectos sobre algunos tipos celulares, nunca se han estudiado los que produce en cultivos de células cromafines. El objetivo de este estudio fue comparar los efectos de la estimulación con un campo LFM y con NGF sobre el fenotipo morfológico, la liberación de noradrenalina (NA) y la excitabilidad de membrana de células cromafines cultivadas. También probamos los efectos de injertar células cromafines tratadas con LFM y NGF en el núcleo caudado de ratas con lesiones por 6-hidroxidopamina en la vía nigroestriatal. Los resultados de este estudio mostraron que la estimulación con LFM produce crecimiento de neuritas en células cromafines cultivadas de forma similar a la exposición a NGF. La combinación de los dos procedimientos no indujo cambios aparte de los ya observados sólo con NGF. Tanto las células tratadas con NGF como con LFM liberaron NA marcada con ^3H por igual en respuesta a concentraciones despolarizantes de CIH. Por otra parte las densidades de corriente de Na^+ aumentaron con la estimulación con LFM, pero en menor grado que el observado en las células tratadas con NGF. Además, el trasplante de ambos tipos de células en animales con lesiones nigroestriatales indujo una disminución similar de las asimetrías motoras producidas por la lesión. No se observaron diferencias al comparar las células cromafines tratadas con NGF o con LFM y las células de control no tratadas en cuanto a liberación de NA marcada con ^3H , o densidades de corriente de Na^+ o asimetrías motoras postinjerto. Se comentan los resultados en lo relativo a si las células estimuladas con LFM pueden diferenciarse de forma similar a las tratadas con NGF, adquiriendo rasgos de tipo simpático que a su vez puedan disminuir las asimetrías motoras al ser trasplantadas a ratas con lesiones nigroestriatales.

2.4.14) Subramanian M., Sutton C H., Greenebaum B. y Siskin B F. "Interaction of electromagnetic fields and nerve growth factor on nerve regeneration in vitro". Capítulo incluido en: Brighton C T. y Pollack S R. (Editores). "Electromagnetism in Medicine and Biology". Editorial San Francisco Press, San Francisco, California 1991, 145-51.

La exposición de preparaciones de ganglios dorsales de embrión de pollo a campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) de 80 G en presencia de 50 ó 100 ng/ml de NGF produjo el mayor crecimiento de neuritas en comparación con el grupo control. Los PEMF por si solos tienden a estimular el crecimiento direccional de las neuritas mientras que el NGF aumenta el porcentaje de superficie cubierta por las ellas.

2.4.15) Feria-Velasco A., Castillo-Medina S., Verdugo-Diaz L., Castellanos E.,

Orozco-Suarez S., Sanchez-Gomez C. y Drucker-Colin R. Neuronal differentiation of chromaffin cells in vitro, induced by extremely low frequency magnetic fields or nerve growth factor: a histological and ultrastructural comparative study. *Journal of Neuroscience Research* 1998;53(5):569-582.

La aplicación de factor de crecimiento nervioso (*nerve growth factor*, NGF) a cultivos primarios de células cromafines de médula suprarrenal induce cambios fenotípicos caracterizados principalmente por la presencia de neuritas. Se ha observado un efecto similar cuando estas células son estimuladas por campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (*extremely low frequency magnetic fields*, ELFMF). En este estudio se cultivaron células cromafines de ratas recién nacidas y se sometieron a NGF o ELFMF para comparar sus características histológicas y ultraestructurales. Las células cultivadas en presencia de NGF desarrollaron proyecciones citoplasmáticas y sus extremos distales mostraron conos de crecimiento así como filopodios. Con microscopía electrónica de barrido y de transmisión se observó un aumento de la densidad electrónica submembranosa en los núcleos celulares, proyecciones neuríticas onduladas con un número moderado de varicosidades así como la prevalencia de filamentos intermedios entre los componentes del citoesqueleto. Las células estimuladas con ELFMF presentaban extensiones neuríticas más rectas con un mayor número de varicosidades. Con el microscopio electrónico de transmisión se observaron numerosos microtúbulos tanto en el cuerpo celular como en las extensiones neuríticas. En ambos grupos los conos de crecimiento eran claramente identificables por sus características ultraestructurales. Las diferencias observadas en el citoesqueleto de células estimuladas con NGF o ELFMF sugieren que posiblemente las características bioquímicas, electrofisiológicas y morfológicas de ambos tipos de cultivos celulares se vean determinadas por los diferentes mecanismos de estimulación.

2.4.16) Lazetic B., Kozarcic T. y Stankov K. The effect of low-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Medicinski Pregled* 1997;50(9-10):357-362.

Este documento recoge información bibliográfica sobre los efectos de los campos electromagnéticos variables de baja intensidad sobre el sistema neuroendocrino de animales de experimentación. Prestamos especial atención a los campos electromagnéticos que se encuentran con frecuencia en nuestro ambiente, en los procesos tecnológicos y en nuestra vida diaria. Este estudio muestra que los sistemas reguladores (nervioso y endocrino) son extremadamente sensibles a los efectos de campos electromagnéticos. Respecto a las estructuras del sistema nervioso central, el hipotálamo presenta una sensibilidad especialmente elevada, a la vez que podemos considerar la hipótesis de que este factor físico actúe también sobre otros sistemas. Se ha hecho hincapié en que los efectos de los campos electromagnéticos sobre los mecanismos reguladores pueden relacionarse con alteraciones primarias celulares y subcelulares (mitocondriales).

2.4.17) Blackman C F., Benane S G. y House D E. Frequency-dependent interference by magnetic fields of nerve growth factor-induced neurite outgrowth

in PC-12 cells. *Bioelectromagnetics* 1995;16(6):387-395.

Hemos demostrado que campos magnéticos sinusoidales de 50 Hz en un intervalo de 5-10 microTesla (microT) causan una reducción dependiente de la intensidad del crecimiento de neuritas estimulado por el factor de crecimiento nervioso (*nerve growth factor*, NGF) en células PC-12. Describimos aquí la dependencia de esta respuesta respecto a la frecuencia en un intervalo de 15-70 Hz con intervalos a 5 Hz. Se colocaron células PC-12 en placas de Petri de 60 mm recubiertas de colágeno con y sin NGF a 5 ng/ml y se expusieron a campos magnéticos sinusoidales durante 22 horas en una incubadora de CO₂ a 37 °C. Una bobina de 1.000 vueltas y 20 cm de diámetro generaba campos magnéticos orientados verticalmente. Las placas se apilaron sobre el eje central de la bobina para proporcionar un rango de intensidades de 3,5 a 9,0 microT (rms). La densidad de flujo del campo magnético continuo ambiental fue de 37 microT en vertical y de 19 microT en horizontal. En análisis consistió en contar más de 100 células en la parte central (radio $\leq 0,3$ cm) de cada placa y contabilizar aquellas en que fuese positivo el crecimiento de neuritas (*neurite outgrow*, NO). Las células expuestas de forma simulada tratadas de manera idéntica con NGF no presentaron diferencias en el porcentaje de células con NO entre las localizaciones expuestas y aquellas otras protegidas del magnetismo dentro de la incubadora. El análisis de la varianza demuestra la existencia de reducciones de la estimulación de NO por NGF dependientes de la densidad de flujo en un intervalo de frecuencias de 35-70 Hz, mientras que las frecuencias comprendidas entre 15 Hz y 30 Hz no produjeron una reducción evidente. Los resultados también ponen de manifiesto una sensibilidad relativa máxima de las células a 40 Hz con una región de posible sensibilidad adicional a una frecuencia igual o superior a 70 Hz. Estos hallazgos sugieren que la influencia biológica de campos magnéticos perpendiculares alternos/continuos es diferente de la identificada mediante el modelo de resonancia paramétrica de iones que utiliza campos alternos/continuos estrictamente paralelos.

2.4.18) Drucker-Colin R., Verdugo-Diaz L., Mendez M., Carrillo-Ruiz J., Morgado-Valle C., Hernandez-Cruz A. y Corkidi G. Comparison between low frequency magnetic field stimulation and nerve growth factor treatment of cultured chromaffin cells, on neurite growth, noradrenaline release, excitable properties, and grafting in nigrostriatal lesioned rats. *Molecular and Cellular Neurosciences* 1994;5(6):485-98.

Las células suprarrenales cromafines responden *in vitro* al NGF expresando rasgos neuronales. Aunque la estimulación con un campo magnético de baja frecuencia (*low frequency magnetic*, LFM) induce diversos efectos sobre algunos tipos celulares, nunca se han estudiado los que produce en cultivos de células cromafines. El objetivo de este estudio fue comparar los efectos de la estimulación con un campo LFM y con NGF sobre el fenotipo morfológico, la liberación de noradrenalina (NA) y la excitabilidad de membrana de células cromafines cultivadas. También probamos los efectos de injertar células cromafines tratadas con LFM y NGF en el núcleo caudado de ratas con lesiones por 6-hidroxi-

dopamina en la vía nigroestriatal. Los resultados de este estudio mostraron que la estimulación con LFM produce crecimiento de neuritas en células cromafines cultivadas de forma similar a la exposición a NGF. La combinación de los dos procedimientos no indujo cambios aparte de los ya observados sólo con NGF. Tanto las células tratadas con NGF como con LFM liberaron NA marcada con ^3H por igual en respuesta a concentraciones despolarizantes de ClH. Por otra parte las densidades de corriente de Na^+ aumentaron con la estimulación con LFM, pero en menor grado que el observado en las células tratadas con NGF. Además, el trasplante de ambos tipos de células en animales con lesiones nigroestriatales indujo una disminución similar de las asimetrías motoras producidas por la lesión. No se observaron diferencias al comparar las células cromafines tratadas con NGF o con LFM y las células de control no tratadas en cuanto a liberación de NA marcada con ^3H , o densidades de corriente de Na^+ o asimetrías motoras postinjerto. Se comentan los resultados en lo relativo a si las células estimuladas con LFM pueden diferenciarse de forma similar a las tratadas con NGF, adquiriendo rasgos de tipo simpático que a su vez puedan disminuir las asimetrías motoras al ser trasplantadas a ratas con lesiones nigroestriatales.

2.5) *Fracturas óseas*

2.5.1) Bassett C A., Mitchell S N. y Gaston S R. Treatment of united tibial diaphyseal fractures with pulsing electromagnetic fields. *Journal Bone Joint Surgery* 1981;63(4):511-523.

Una población de 125 pacientes fueron tratados exclusivamente con PEMF, obteniéndose un 87 % de resultados favorables. Todos estaban aquejados de fractura tibial diafisaria. Se comprobó que la probabilidad de éxito no dependía de la edad o sexo del paciente, ni del periodo de inhabilitación previo al tratamiento, ni del número de intervenciones quirúrgicas previas a la aplicación de los PEMF, a la existencia de material de osteosíntesis, ni a la presencia de infección.

2.5.2) Meskens M W., Stuyck J A. y Mulier J. C. Treatment of delayed union and nonunion of the tibia pulsed electromagnetic fields. A retrospective follow-up. *Bulletin Hosp Jt Dis Orthop Inst* 1988;48(2):170 – 175

Se estudió una población de 57 pacientes con lesión de tibia con al menos seis meses de antigüedad antes de ser tratados con PEMF, a fin de comparar su eficacia en relación con las técnicas tradicionales. La tasa de éxitos es de un 75 %, que puede subir hasta un 81 % cuando las condiciones iniciales del paciente son las mas adecuadas.

2.5.3) Bassett C A. The development and application of pulsed electromagnetic fields (PEMFs) for ununited fractures and arthrodeses. *Clin Plast Surg* 1985;12(2):259 – 277.

Se estudió la eficiencia de los PEMF en resolución de nonuniones, artrodesis fallidas y pseudoartrosis congénitas, obteniéndose un resultado favorable en el 90 % de los adultos. Cuando al cabo de 4 meses de tratamiento no se apreciaba

una evolución favorable, se recurría a realizar un injerto, prosiguiéndose después a la aplicación de los PEMF; y se obtenía entonces un 1,5 % máximo de fracasos. Los PEMF se revelan como mas potentes que los métodos conservadores aun en casos especiales como nuniones infectadas, fracturas múltiples, lesiones atróficas de larga duración, artrodesis de rodilla fallidas por infección en prótesis, y pseudoartrosis congénitas.

2.5.4) Frykman G K. et al.

«Treatment of nonunited scaphoid fractures pulsed electromagnetic field and cast.»

Journal of Hand Surgery, vol 11 n° 3, May 1986, pag 344 – 349.

En una población de 44 pacientes con no unión (al menos, 6 meses previos de no unión) en escafoides, se obtuvieron 35 resoluciones favorables con una duración media del tratamiento de 4.3 meses.

2.5.5) Rya J T. et al.

“Combine magnetic fields stimulate insulin-like growth factor production potential transcription factor dependent mechanisms.”

Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8- 13 June 1997, Bologna, Italy.

El efecto de los campos magnéticos en la estimulación de los procesos de reparación puede ser explicado como una estimulación de los factores de crecimiento similares a la insulina.

2.5.6) Borsalino G. et al.

“Electrical stimulation of human femoral intertrochanteric osteotomies. A double blind study.”

Clin. Orthop n° 237, Decembre 1988; pag. 256-263.

Se muestra el beneficioso efecto de campos electromagnéticos de baja frecuencia en pacientes tratados por osteotomía intertrocantérica femoral a causa de artritis degenerativa en la cadera.

2.5.7) Marcer M. et al. Results of pulsed electromagnetic fields in ununited fractures after external skeletal fixation. Clin. Orthop. 1984;190:260 – 265.

En una población de 147 pacientes que llevaban colocado un fijador externo, se estudian los resultados de aplicación de PEMF según la pieza ósea sobre la que se actúe. Resultó que en fémur el porcentaje de resoluciones favorables era del 81 %, mientras que en tibia era del 75 % y en humero del 72 %

2.5.8) Wahlstrom O. Estimulation of fracture healing with electromagnetic fields of extremely low frequency (EMF of ELF). Clin Orthop.1984;186:293-301.

Empleando EMF de ELF (frecuencia = 1 – 1000 Hz y B = 4 gauss) se consiguieron excelentes resultados en reparación ósea de pacientes femeninas. La explicación de los resultados sugiere que el efecto del campo magnético pueden ser la aceleración de las primeras etapas de la formación del nuevo tejido óseo.

- 2.5.9) Rajewski F. y Marciniak W. Use of Magnetotherapy for treatment of bone malunion in limb lengthening. Preliminary report. Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol 1992;57(1-3):247-249.

Campos magnéticos pulsados fueron utilizados para resolver maluniones originadas en niños a los que se procedía a alargarles el fémur con osteotomías y fijador externo.

- 2.5.10) Simonis R B., Good C. y Cowell T.K. The treatment of non-union pulsed electromagnetic fields combined with a Denham external fixator. Injury 1984;15(4):255-260.

Se aplicaron PEMF durante algunos meses a una población de 15 pacientes que llevaban un fijador externo tipo DENHAM. En pocos meses se obtuvo resultado favorable en 13 casos. Los controles del estudio sirvieron para determinar que la eficacia de los tratamientos era debida a la exposición a los campos magnéticos.

- 2.5.11) Annaratone G., Rapelli G. y Graziano G. Magnetotherapy in clinical and ambulatory practice. Minerva Med 1983; 74(14-15):823 – 833.

Se pasa primero revista a la información disponible como resultado de estudios biomagnéticos de laboratorio. Se describe como durante el estudio se administraban dosis de tratamientos de 10 días a 354 pacientes con problemas álgicos ortopédicos, tanto en asistencia hospitalaria como en ambulatoria. Se evaluó la mejora en los aspectos de edema, dolor e inflamación. La administración de campos magnéticos resultó ser una técnica beneficiosa siempre, aunque con mejores resultados en agudos que en crónicos

- 2.5.12) Madroñero A., Pitillas I. y Manso F J. Pulsed electromagnetic field treatment failure in radius non-united fracture healing. J. Biomed. Eng. 1988;10:463 – 466.

El trabajo trata de aclarar el mecanismo por el cual los PEMF pueden fallar, no actuando favorablemente en la resolución de no-uniones y de uniones retardadas. Se estudia una población de pacientes con fracturas en radio. Parece ser que la causa pudiera ser el que los pacientes llevaban inserta una placa atornillada, que hace de cortocircuito eléctrico entre los dos bordes de la brecha. Esto sugiere que el uso de placas hechas de material eléctricamente aislante, sería mas aconsejable. O que las placas metálicas deberían recubrirse de un material aislante.

- 2.5.13) Satter S A., Islam M S., Rabbani K S. y Talukder M S. Pulsed electromagnetic fields for the treatment of bone fractures. Bangladesh Medical Research Council Bulletin 1999;25(1):6-10.

Numerosos investigadores han descrito la eficacia de la estimulación eléctrica y de la estimulación con campo electromagnético pulsátil (PEMF) para mejorar la soldadura de huesos. No obstante, el mecanismo de la osteogénesis no está claro y los estudios buscan pruebas empíricas. El presente estudio consistió en un ensayo clínico con PEMF de baja amplitud aplicado a 19 pacientes sin sol-

dadura o con retraso en la soldadura de huesos largos. El sistema pulsátil utilizado es similar al sistema de pulsos únicos de Bassett con pulsos de voltaje eléctrico de 0,3 ms de anchura repetidos cada 12 ms a una frecuencia de unos 80 Hz. El flujo magnético máximo fue de 0,01 a 0,1 Tesla, de cientos a miles de veces menor que el de Bassett. Las 13 personas que terminaron este programa de tratamiento tenían unos antecedentes de falta de soldadura de 41,3 semanas en promedio. En período medio de tratamiento de 14 semanas, 11 de los 13 pacientes presentaron consolidación ósea con éxito. Los dos casos sin éxito tenían separaciones del hueso superiores a 1 cm tras eliminar el hueso muerto después de la infección. No obstante, el empleo de campos tan bajos niega la afirmación de Bassett de la existencia de una estrecha ventana de forma y amplitud de la onda y justifica estudios experimentales adicionales para tratar de comprender el mecanismo subyacente.

2.6. Osteoporosis

2.6.1) Rubin C T., McLeod K J. y Lanyon L E. Prevention of osteoporosis by pulsed electromagnetic fields. *J Bone Joint Surg (Amer)*;71(3):411-417.

Se realizó un estudio en radio de pavo, de forma que el efecto de las cargas mecánicas quedaba anulado, y como control esta el otro radio del animal. Se comprobó que el mejor tratamiento para la osteoporosis eran impulsos de campos magnético de entre 10 a 40 mT administrados durante una hora diaria.

2.6.2) Tabrah F., Hoffmeier M., Gilbert F Jr., Batkin S. y Bassett C A. Bone density changes in osteoporosis-prone women exposed to pulsed electromagnetic fields (PEMFs). *J Bone Min Res* 1990;5(5):437-42.

Aplican un campo de 72 Hz durante, en los brazos y durante 10 horas diarias, hasta un total de 12 semanas a pacientes postmenopáusicas. Se obtiene un incremento de la densidad ósea durante la exposición, con el curioso efecto de que la densidad aumenta en el miembro expuesto y en el simétrico, con un efecto de "cruce". Desde luego queda clara la ventaja de los PEMF en el tratamiento y prevención.

2.6.3) Bilotta T W. et al. The use of low frequency low magnetic PEMFs in treatment of osteoporosis. *Jour of Bioelectricity* 1989;8(2):316.

Se aplicó un campo de 50 gauss con frecuencia de 50 – 100 Hz durante 30 min diarios en tandas de 20 sesiones. Se hizo un seguimiento de la posterior evolución durante 2 años. Como grupo de control se tomó a una población a la que solamente se administraba calcitonina.

El resultado fue que los campos reducían mas el dolor, sobre todo si se acompañaba el suministro de algún fármaco.

2.6.4) Severiano G. y Ricci S. Treatment of senile osteoporosis caused by rachialgia with low frequency PEMF. *Journal of Bioelectricity* 1989;8(2):321.

- 2.6.5) Giordano N., Battisti E., Geraci S., Fortunato M., Santacroce C., Rigato M., Gennari L. y Gennari C. Effect of electromagnetic fields on bone mineral density and biochemical markers of bone turnover in osteoporosis: A single-blind, randomized pilot study. *Current Therapeutic Research* 2001;62(3):187-193.

Se evaluó el efecto de los campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) sobre la formación y remodelado óseos en algunos estudios de los últimos 30 años, pero los resultados de dichos estudios son equívocos. El propósito de este estudio fue investigar los efectos de los PEMF sobre la densidad mineral ósea (DMO) y los marcadores bioquímicos de recambio óseo en pacientes con osteoporosis posmenopáusica. En este estudio aleatorizado simple ciego 40 pacientes ambulatorios fueron expuestos a PEMF de 100 Hz (n = 20) o a placebo de campo electromagnético (n = 20) durante 60 minutos diarios, 3 veces a la semana durante 3 meses. La DMO se midió en el período basal y al final del tratamiento y los marcadores bioquímicos del metabolismo óseo se determinaron en el período basal, después de 3 meses de tratamiento y 1 mes después de finalizado el tratamiento. El tratamiento con PEMF no causó un aumento significativo de la DMO en ningún grupo. No obstante, en el grupo tratado con PEMF de 100 Hz se observó un aumento significativo de la osteocalcina sérica y del propéptido carboxi-terminal del procolágeno sérico tipo I durante el tratamiento (P < 0,001) frente al período basal. Estos parámetros volvieron a sus valores basales 1 mes después de finalizar el tratamiento. Estos hallazgos sugieren que los PEMF pueden estimular la actividad osteogénica, posiblemente incrementando la actividad osteoblástica, en mujeres con osteoporosis posmenopáusica.

- 2.6.6) Tabrah F L., Ross P., Hoffmeier M. y Gilbert F Jr. Clinical report on long-term bone density after short-term EMF application. *Bioelectromagnetics* 1998;19(2):75-78.

En 1984 un estudio determinó el efecto de un campo electromagnético pulsátil (PEMF) de 72 Hz sobre la densidad ósea del radio de mujeres posmenopáusicas (propensas a la osteoporosis) durante y después de un tratamiento de 10 h diarias durante 12 semanas. La densidad mineral ósea de los radios tratados aumentó significativamente en el área inmediata al campo durante el período de exposición y disminuyeron durante las siguientes 36 semanas. La determinación de la densidad ósea del radio de estas mujeres, vuelta a medir ocho años después, sugiere que no hay cambios a largo plazo. El aumento de la densidad ósea por los PEMF debe ser estudiado con más detalle, aplicados aisladamente o en combinación con ejercicio y medidas farmacológicas como bifosfonatos y hormonas, como tratamiento preventivo en mujeres posmenopáusicas con propensión a la osteoporosis y como una posible forma de bloquear el efecto desmineralizante de la microgravedad.

- 2.6.7) Skerry T M., Pead M J. y Lanyon L E. Modulation of bone loss during disuse by pulsed electromagnetic fields. *Journal of Orthopaedic Research* 1991;9(4):600-608.

Se investigó el efecto de campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) sobre la pérdida ósea asociada al desuso aplicando repeticiones de 1,5 Hz de ráfagas de 30 ms de pulsos asimétricos, variando de +2,5 a -135 mV, sobre huesos sin su función de carga habitual. Se eliminó *in vivo* la función de carga de la parte proximal de uno de los peronés de un grupo de perros hembra adultos ovariectomizados de raza beagle mediante osteotomías proximal y distal. La comparación de estas preparaciones óseas con sus controles contralaterales intactos después de 12 semanas mostró una reducción del 23% del área transversal. En los huesos similares preparados expuestos a PEMF durante 1 h diaria, 5 días a la semana, esta pérdida ósea disminuyó de forma sustancial y significativa hasta un 9% ($p = 0,029$). No hubo señales de formación de hueso nuevo sobre la superficie perióstica de los peronés preparados ni en las situaciones tratadas ni en las no tratadas. El tratamiento con PEMF no se asoció a cambio significativo alguno del número de osteonas por mm^2 formadas en la cortical ósea, velocidad de cierre radial o grado de cierre. Por lo tanto, puede deducirse que la modulación de la pérdida de superficie ósea asociada a la exposición a PEMF obedece a una reducción de la resorción de superficie ósea.

2.6.8) Eyres K S., Saleh M. y Kanis J A. Effect of pulsed electromagnetic fields on bone formation and bone loss during limb lengthening. *Bone*;18(6):505-509.

Examinamos mediante un estudio doble ciego el efecto de campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) sobre la formación ósea y la osteoporosis por desuso mantenida durante el alargamiento de extremidades. Siete varones (media de edad 13 años, intervalo de 11 a 19 años) y seis mujeres (media de edad 12 años, rango de 9 a 19 años) se distribuyeron de forma aleatoria para recibir tratamiento con una bobina activa o inactiva productora de PEMF. El alargamiento de la extremidad se efectuó mediante la técnica de Villarubbias utilizando un sistema de soporte unilateral o circular. Las mediciones seriadas de la densidad ósea se realizaron mediante absorciometría de rayos X de doble energía y se compararon con radiografías tradicionales. Se alargaron diez segmentos (ocho tibiales y dos femorales) en siete pacientes bajo la influencia de bobinas activas y ocho segmentos (seis tibiales y dos femorales) en seis pacientes utilizando bobinas inactivas. No hubo diferencias entre los dos grupos ni en la velocidad ni en la cantidad de nuevo hueso formado en la zona de alargamiento. Se observó en ambos una pérdida ósea en los segmentos de hueso distales a las localizaciones del alargamiento aunque significativamente más marcadas utilizando bobinas inactivas (reducción de la DMO un $23\% \pm \text{EEM } 3\%$ y un $33\% \pm 4\%$ respecto a los valores control después de uno y dos meses, respectivamente; $p < 0,0001$) que usando bobinas activas (reducción de la DMO un $10\% \pm 2\%$ en 2 meses). Estas diferencias eran mayores a los 12 meses de la cirugía (reducción de un $54\% \pm 5\%$ y de un $13\% \pm 4\%$, respectivamente; $p < 0,0001$). La estimulación con campos electromagnéticos pulsátiles no tuvo efecto sobre la regeneración ósea pero impidió la pérdida de hueso adyacente al espacio donde se produjo el alargamiento.

2.6.9) Bilotta T W., Zati A., Gnudi S., Figus E., Giardino R., Fini M., Pratelli L. y Mongiorgi R. Electromagnetic fields in the treatment of postmenopausal oste-

oporosis: an experimental study conducted by densitometric, dry ash weight and metabolic analysis of bone tissue. *Chirurgia degli Organi di Movimento* 1994;79(3):309-13.

Los autores realizaron un estudio experimental sobre 32 ratas hembra castradas a los 10 meses de edad para verificar la capacidad de los campos electromagnéticos pulsátiles para evitar la osteoporosis inducida por la menopausia quirúrgica. Se utilizaron PEMF con dos diferentes intensidades: 30 G y 70 G. Tras 4 meses de tratamiento se hicieron las siguientes pruebas: densitometría ósea de fotón único de la columna lumbar, medición cuantitativa del peso seco de la ceniza de fémures y pruebas hematológicas para evaluar el metabolismo óseo. En el estudio experimental se puso de manifiesto que los PEMF administrados a 30 Gauss eran capaces de retardar la pérdida de masa ósea mientras que los PEMF suministrados a 70 Gauss dificultaban el deterioro óseo, proporcionando valores de la Densidad Mineral Ósea y del peso seco de la ceniza muy similares a los observados en el grupo de control no castrado. Las pruebas hematológicas no revelaron variaciones significativas entre los dos grupos.

2.7. *Problemas de aflojamiento de prótesis en rodilla y cadera*

2.7.1) Gualtieri G. et al. The effect of pulsed electromagnetic stimulation on patients treated of hip reversions with trans-femoral approach. Second World Congress for Electricity and magnetism in Biology and medicine, 8-13 June 1997, Bologna, Italy.

Se estudió la aplicación de PEMF para resolución de casos de prótesis aflojadas. En todos los pacientes tuvo lugar un aumento de la densidad ósea, frente a 60 % de pacientes que también tuvieron este incremento con tratamientos conservativos. La conclusión es que PEMF estimulan la reconstrucción ósea permitiendo el apoyo al paciente antes ó que en un tratamiento convencional.

2.7.2) Konrad K. Therapy with pulsed electromagnetic fields in aseptic loosening of total hip protheses: a prospective study. *Clinical Rheumatology* 1966; 15 (4): 325 – 328.

Aplicando PEMF con 50 gauss y 50 Hz durante 20 min diarios, 6 días por semana, hasta unas 20 sesiones, se consigue que aflojamientos asépticos continúen resueltos año y medio después del tratamiento. Estos beneficios no se consiguen cuando el paciente presenta un dolor intenso debido a un aflojamiento extremado.

2.7.3) Bigliani L U. The use of pulsing electromagnetic fields to achieve arthrodesis of the knee following failed total knee arthroplasty. A preliminar report. *Journal of bone Joint Surgery (Amer)* 1983;65(4):480-485.

Se estudiaron la eficiencia de los PEMF en 20 pacientes con artrodesis después de una arroplastia total de rodilla. De ellos, 18 habian tenido infección en

artroplastia, uno aflojamiento mecánico y otro dislocación recurrente. Antes de la aplicación de los PEMF se habían intentado fijadores externos, clavos intra-medulares, y placas de compresión. Habían sido catalogados como no-unión 14 de los pacientes, por haber sobrepasado en 6 meses la espera después de la artroplastia., y el resto como unión retardada.

El tratamiento duró de 3 a 12 meses, con un promedio de 5.8 meses. Se vio que la resolución era tanto mas rápida cuanto antes se había aplicado el tratamiento con PEMF. El tratamiento se dió por terminado, en todos los casos, cuando el paciente podía caminar sin dolor.

2.7.4) Kennedy W F., Roberts C G., Zuege R C., Dicus W T. y Theda C. Use of pulsed electromagnetic fields in treatment of loosened cemented hip prostheses. A double-blind trial. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1993;286:198-205.

Se realizó en dos centros un ensayo doble ciego sobre campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) en prótesis de cadera con pérdida de la cementación. De los 40 pacientes reclutados 37 cumplían los criterios de aceptación y estaban disponibles para el estudio. Todos los pacientes terminaron un tratamiento de seis meses (tanto con unidades activas como de control). El éxito se determinó clínicamente con una puntuación superior o igual a 80 en la escala de cadera de Harris (o un aumento de diez puntos con una puntuación inicial superior o igual a 70). Diez de las 19 unidades activas tuvieron éxito (53%) mientras que dos de los 18 controles (11%) presentaron efecto placebo, un resultado estadísticamente significativo y clínicamente relevante. Se observó una tasa de recaída del 60% entre los éxitos de las unidades activas a los 14 meses de la estimulación y, a pesar de seguir aplicando el tratamiento una hora diaria, la tasa de recaídas llegó al 90% en tres años. Estos datos sugieren que en la pérdida de la cementación de prótesis de cadera el uso de PEMF sólo constituye una opción terapéutica para retrasar la revisión de la cirugía de cadera.

2.8) *Artritis*

2.8.1) Tizic T. et al. The treatment of Rheumatoid Arthritis of the hand with pulsed electrical fields. Second World congress for Electricity and magnetism in Biology and medicine, 8- 13 June 1997, Bologna, Italy.

Se comprobó un beneficioso efecto con tratamientos durante 4 semanas.

2.8.2) Grigor'eva V D. et al. Therapeutic use of physical factors in complex therapy patients with psoriatic arthritis. *Vopr. Kurortrol Fizioter Lech Fiz Kult* 1995;6:48 –51.

En el estudio se administraron campos magnéticos de baja frecuencia con intensidades de 30 – 40 mT, producidos por equipos “Polius-1” y “Polius 101”. Los tratamientos eran de 30 minutos durante un periodo de 15 a 20 días. Se mejora el cuadro clínico de afecciones tipo artritis psoriásica.

- 2.8.3) Drozdovski B Y. et al. Use of magnetolaser therapy with an AMLT-01 apparatus in complex therapy for Rheumatoid arthritis. *Fiz. Med.* 1994;4(1-2):101-102.

Se estudia la eficiencia un tratamiento complejo de magnetolaser de 6 minutos durante un total de 14 días, con y sin el acompañamiento de administración quimioterápica.

El tratamiento resultó muy eficaz, aunque la mejoría no se advertía antes del tercer día de tratamiento.

- 2.8.4) Shlyapok E A. et al. Use of alternating low-frequency magnetic fields in combination with radon baths for treatment of juvenile rheumatoids arthritis. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1992;4:13 –17.

Se administraron sesiones de 10 – 12 min en tratamientos de 10 días a pacientes con edades entre 7 y 14 años. El campo era de baja frecuencia, producido con el equipo “Polius –1”. El tratamiento resultó beneficioso en el 65 – 75 % de los casos.

- 2.8.5) Grigor’eva V D. et al. Therapeutic application of low frequency and constant magnetic fields in patients with osteoarthritis deformans and rheumatoid arthritis. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1980;4:29 – 35.

Se compara la eficacia de tratamientos con campos magnéticos de baja frecuencia y constantes. Se comprobó que los de baja frecuencia producen efectos beneficiosos en pacientes incursos en las etapas I y II de la artritis reumatoide y con osteoartritis deformantes, en especial con respecto a las muñecas, rodillas y tobillos.

- 2.8.6) Ganguly K S. et al. A study of the effects of pulsed electromagnetic field therapy with respect to serological grouping in rheumatoid arthritis. *Journal of the Indian Medical Association* 1998;96(9):272-275.

Se presenta un estudio del efecto de un tratamiento con PEMF sobre la composición serológica en dos grupos de pacientes reumáticos. La respuesta de los pacientes seropositivos estaba mas afectada por los campos. El factor reumatoide RF es resistente al efecto de los PEMF.

- 2.8.7) Trock D H., Bollet A J. y Markoll R. The effect of pulsed electromagnetic fields in the treatment of osteoarthritis of the knee and cervical spine. Report of randomized, double blind, placebo controlled trials. *Journal of Rheumatology*;21(10):1903-1911.

Se estudia el efecto de los PEMF en osteoartritis (OA) de rodilla (86 pacientes) y vértebras cervicales (81 pacientes), evaluando la sensación de dolor con encuestas, dolor en reposos y rigidez de las articulaciones, utilizando una escala de Ritchie modificada.

Se obtuvieron una clara disminución del dolor por debajo de la línea de base, en especial en los pacientes afectados de dolor cervical.

2.9. Enfermedades articulares

2.9.1) Riva Sanseverino E. et al. Therapeutic effects of pulsed magnetic fields on joint diseases. *Panminerva Medica* 1992;34(4):187 – 196.

Se hace una revisión de resultados en 3,014 pacientes correspondientes a 11 años de aplicación de los PEMF, de baja intensidad y frecuencia, a problemas de articulaciones. Los resultados han sido altamente efectivos y sin efectos colaterales indeseables.

2.9.2) Bassett C A., Schink-Ascani M. y Lewis S M. Effects of pulsed electromagnetic fields on Steinberg ratings of femoral head osteonecrosis. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1989;246:172-85.

Entre 1979 y 1985 un total de 95 pacientes con osteonecrosis de la cabeza femoral siguieron el protocolo para tratar 118 caderas con campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF). Las etiologías eran traumática (17), alcohólica (9), utilización de esteroides (46), talasemia (2) e idiopática (44). La edad promedio era de 38 años y el período medio de seguimiento desde el inicio de los síntomas 5,3 años. Por término medio el tratamiento con PEMF se había establecido 4,1 años antes. Según el método de estadificación mediante análisis radiográfico cuantitativo de Steinberg ninguna de las 15 caderas en las Fases 0-III presentó progresión y nueve de 15 subieron de estadio. Dieciocho de 79 caderas (23%) con lesiones en Fase IV progresaron y ninguna mejoró. Tres lesiones en Fase VI no mostraron cambios. La tasa general de progresión cuantitativa de las 118 caderas, 87% de las cuales estaban colapsadas al entrar en el programa, fue del 16%. Esta cifra es la inversa del porcentaje de progresión recientemente publicado por otros investigadores utilizando métodos quirúrgicos conservadores y seleccionados. Los pacientes tratados con PEMF experimentaron también mejorías a largo plazo de los síntomas y signos junto con una reducción de la necesidad de artroplastia temprana.

2.9.3) Harrison M H. y Bassett C A. Use of pulsed electromagnetic fields in Perthes disease: report of a pilot study. *Journal of Pediatric Orthopedics* 1984;4(5):579-84.

Se describe un estudio piloto de tratamiento con campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) de 10 niños con enfermedad de Perthes unilateral antigua. Se permitió a los pacientes que caminasen sin muletas con la cadera afectada inmovilizada con una ortesis de contención de Birmingham durante el día. Durante 10 horas por la noche, la cadera afectada fue expuesta a PEMF producidos por dos bobinas montadas delante y detrás de la articulación de la cadera sobre una ortesis plástica en abducción. El tiempo de inmovilización de este grupo se comparó con el de 72 pacientes seleccionados aleatoriamente de un grupo de control histórico de 200 pacientes. Los 72 pacientes y los 10 niños fueron asignados a grupos de casos tempranos o tardíos, dependiendo de la evolución radiológica de la enfermedad en el momento de iniciar el tratamiento. El grupo de 10 niños presentó una reducción general de la duración de todas las inmovilizaciones del 32% en los casos tempranos (a los 12,8 meses) y del 18%

en los casos tardíos (a los 13,5 meses). No se detectaron efectos desfavorables durante los 2 años que estos niños estuvieron en observación. A la vista de la aparente seguridad de los PEMF y de sus efectos en esta limitada población de antiguos pacientes con enfermedad de Perthes avanzada parece justificado un estudio doble ciego en pacientes más jóvenes con lesiones tempranas.

2.10 *Cartilago*

2.10.1) Smith R L. et al. Effects of pulsing electromagnetic fields on bone growth and articular cartilage. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1983;181:277-282.

Se estudiaron las posibilidades de aplicación PEMF a casos de pseudoartrosis juvenil. Para ello se aplicaron los campos a conejos nacidos prematuros en forma de exposición continua (24 horas día por 7 días a la semana). No se observaron cambios destacables en el crecimiento de los huesos. En cambio, hubo una observación inesperada, consistente en un incremento del 22 % en glicosaminoglicanos del cartílago femoral..

Con estimulación intermitente (doce horas de exposición al campo y las otras 12 sin él) durante 18 semanas no alteraron la velocidad de crecimiento óseo ni en el tiempo de cerrado de la placa epifisaria.

No se observó cambio alguno en la estructura del tejido óseo crecido bajo exposición al campo.

2.10.2) Norton L A. Effects of a pulsed electromagnetic field on a mixed chondroblastic tissue culture. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1982;167:280-290.

Se expusieron a PEMF a varios cultivos mixtos, con predominancia de tejido condrobástico. Algunos cultivos eran no confluentes e intencionadamente retardados en el crecimiento, para semejar las condiciones en una unión atrófica. Mientras que otros habían crecido en confluencia en un tiempo similar a la mitad del habitual para el crecimiento, simulando una unión hipertrófica.

Sobre ambos grupos se comprobó la influencia de la exposición al campo sobre los procesos celulares de proliferación y diferenciación.

Los cultivos crecidos lentamente fueron estimulados para sintetizar hidroxiprolina. Los cultivos de crecimiento rápido mostraron un gran incremento en la actividad de la lisocima, un incremento razonable en la actividad de hialuronatos y DNA, y un decrecimiento en la de los glicosaminoglicanos.

Una adición posterior de lisocima decrecía destacablemente la síntesis de los glicosaminoglicanos bajo exposición a los PEMF. La citotriosa, un inhibidor específico de la lisocima abolía este efecto. La cicloeximida, una proteína sintética no abolía la activación de la lisocima encontrada en la matriz.

Es decir, que el efecto de los PEMF es activar la lisocima, por lo que la exposición a los campos magnéticos promueve la curación normal del cartílago.

- 2.10.3) Liu H., Lees P., Abbott J. y Bee J A. Pulsed electromagnetic fields preserve proteoglycan composition of extracellular matrix in embryonic chick sternal cartilage. *Biochimica et Biophysica Acta* 1997;1336(2):303-314.

Se investigó la influencia de campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) sobre la composición de proteoglicanos de la matriz extracelular del cartílago. Se extrajo cartílago esternal de embrión de pollo de 16 días para cultivarlo y exponerlo 3 h al día durante 2 días a PEMF repetitivos con único pulso a una frecuencia de 15 Hz y con un campo magnético máximo de 1,25 G. El tratamiento con PEMF no afectó a la proliferación celular, como demuestra la incorporación de timidina marcada con tritio (^3H), pero estimuló significativamente la retención de glicosaminoglicanos en el medio. La medición de la incorporación de azufre (^{35}S) y de N-acetilglucosamina marcada con ^3H en los proteoglicanos *in vitro* y la fragmentación *in ovo* de proteoglicanos sulfatados marcados con ^{35}S *in vitro* puso de manifiesto que el tratamiento con PEMF suprime significativamente la síntesis de proteoglicanos y la degradación de los recientemente sintetizados así como de los ya existentes. Mediante cromatografía con Sepharose CL-2B se ha demostrado que los PEMF no afectan ni a la distribución por tamaño de los proteoglicanos marcados con ^{35}S recién sintetizados o ya existentes ni a su capacidad para agregarse en hialuronato. Utilizando cromatografía con Sepharose CL-6B seguida de electroforesis con acetato de celulosa se demostró que la longitud de la cadena y el grado de sulfatación de los glicosaminoglicanos sulfatados marcados con ^{35}S fue idéntica en los cultivos control y en los tratados con PEMF. Se concluye que el tratamiento con PEMF conservó la integridad de la matriz extracelular del cultivo de cartílago mediante contrarregulación de la síntesis y degradación de proteoglicanos de forma coordinada sin afectar a su macroestructura.

- 2.10.4) Wilmot J J., Chiego D J Jr., Carlson D S., Hanks C T. y Moskwa J J. Autoradiographic study of the effects of pulsed electromagnetic fields on bone and cartilage growth in juvenile rats. *Archives of Oral Biology* 1993;38(1):67-74.

Se han aplicado campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) en el crecimiento y reparación de fracturas óseas que no sueldan. Las semejanzas histológicas y funcionales entre el callo de fibrocartílago de las fracturas que no sueldan y el cartílago secundario del cóndilo mandibular han conducido de forma lógica al estudio de los efectos de los PEMF sobre el crecimiento del cóndilo. Los objetivos de este estudio fueron: (1) describir los efectos de los PEMF sobre el crecimiento del cóndilo mediante autorradiografía, prolina y timidina marcadas con ^3H y (2) diferenciar entre los efectos magnético y eléctrico del campo. Se dividió a ratas macho Sprague-Dawley (28 días de edad) en tres grupos experimentales de cinco animales cada uno: (1) PEMF-magnético (M), (2) PEMF-eléctrico (E) y (3) control que fueron examinados a los 3, 7 y 14 días de la exposición. Cada animal se expuso al campo 8 horas diarias. Se procesaron cortes histológicos coronales mediante autorradiografía cuantitativa para determinar la actividad mitótica del cartílago condíleo y la cuantía de la sedimentación

ósea. Los PEMF (magnéticos o eléctricos) sólo tuvieron efectos estadísticamente significativos sobre el espesor de la zona articular y el grupo PEMF-M presentó la mayor disminución de espesor. La duración del tratamiento se asoció a cambios significativos predecibles del espesor de las zonas de cartílago condíleo y de la cantidad de sedimentación ósea.

2.11. Osteoartritis

2.11.1) Trock D H., Bollet A J. y Markoll R. The effect of pulsed electromagnetic fields in the treatment of osteoarthritis of the knee and cervine spine. *Journal of Rheumatology* 1994;21(10):1903-1911.

Se realizó un estudio doble ciego para determinar la efectividad de los PEMF para la resolución de la osteoartritis (OA) en la rodilla (en un grupo de 86 pacientes) y en la zona cervical de la espina dorsal, en otro grupo 81 pacientes. El tratamiento con PEMF constaba de 18 exposiciones de 30 minutos diarios, administrando las sesiones 3 a 5 veces por semana.

Se medía el efecto con una escala de 1 a 10, evaluándose la mejoría con series de preguntas que los pacientes respondían, referentes a dolor en movimiento pasivo y rigidez articular, utilizando una escala de Ritchie modificada, junto con observaciones del médico que realizaba el control.

La evaluación global mostraba significativa mejoría (test t) al mes de tratamiento tanto en en pacientes de rodilla como de cervicales. En los pacientes placebo los primeros síntomas de una leve mejoría se observaban mas tardíamente que en el caso de los pacientes que recibían una exposición real. Y al final del mes de tratamiento habían experimentado un retroceso real en su estado, atendiendo a bastantes de los parámetros.

El efecto de los PEMF se deja sentir, conjuntamente, en número de puntos de dolor, dolor por movimiento, y rigidez.

2.11.2) Bollet A J. et al. Treatment of osteoarthritis with pulsed electromagnetic fields. *European Bioelectromagnetics Association, 2nd Congress, 9-11 December 1993. Bled, Slovenia, page 46.*

La terapia PEMF consistía en la aplicación de un campo de 25 Gauss, 5-24 Hz en dosis de 30 min diarios, hasta un total de 18 días. Se obtenían muy buenos resultados en el tratamiento de osteoartritis de la rodilla o columna cervical.

2.11.3) Yurkin L. et al. The use of changeable magnetic field in treatment of osteoarthritis. *European Bioelectromagnetics Association, 3rd International Congress, 29 february-3March 1996. Nancy, France.*

Se utiliza un equipo Polus-101 añadido a terapias convencionales de la osteoartritis El tratamiento con PEMF eran 20 minutos de exposición diaria con un total de 12 sesiones. La evolución de los casos mostraba una mejoría en los índices inmunológicos y alivio de los síntomas

- 2.11.4) Pipitone N. y Scott D L. Magnetic pulse treatment for knee osteoarthritis: a randomised, double-blind, placebo-controlled study. R.U. Current Medical Research and Opinion 2001;17(3):pag 190-196.

Se valora la eficacia y tolerabilidad del tratamiento con campos electromagnéticos pulsátiles de baja frecuencia (PEMF) de pacientes con artrosis de rodilla sintomática en un estudio aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo de seis semanas de duración. En un único centro de especialidades terciario se reclutó a pacientes con signos radiográficos y síntomas de artrosis (mejorada de forma incompleta con tratamientos convencionales) según los criterios del American College of Rheumatology. Los 75 pacientes que cumplían los criterios anteriores se distribuyeron aleatoriamente para recibir tratamiento activo con PEMF mediante dispositivos magnéticos unipolares (Medicur) fabricados pro Snowden Healthcare (Nottingham, RU) o placebo. Seis pacientes no cumplían los criterios de selección y fueron excluidos del análisis. El criterio de valoración principal era la reducción general del dolor evaluada sobre una escala de Likert que iba de la inexistencia de dolor al dolor intenso. Los criterios de valoración secundarios eran el WOMAC *Osteoarthritis Index* (escala de Likert) y el EuroQol (*Euro-Quality of Life, EQ-5D*). Con las valoraciones en el período basal se demostró que los grupos de tratamiento eran iguales. Aunque no hubo diferencias significativas tras el tratamiento en ninguno de los criterios de valoración entre el grupo de tratamiento activo y el grupo de simulación, el análisis por pares de las observaciones de seguimiento de cada paciente mostró mejoras significativas en la puntuación general WOMAC ($p = 0,018$), puntuación del dolor WOMAC ($p = 0,065$), puntuación de discapacidad WOMAC ($p = 0,019$) y puntuación EuroQol ($p = 0,001$) en el grupo con tratamiento activo. No hubo efectos adversos clínicamente relevantes atribuibles al tratamiento activo. Estos resultados sugieren que los dispositivos magnéticos unipolares Medicur son beneficiosos para reducir el dolor y la discapacidad en pacientes con artrosis de rodilla resistente al tratamiento convencional sin efectos secundarios significativos. Están justificados estudios adicionales utilizando con diferentes tipos de dispositivos magnéticos, protocolos de tratamiento y poblaciones de pacientes para confirmar la eficacia general del tratamiento con PEMF en la artrosis y otras dolencias.

- 2.11.5) Jacobson J I., Gorman R., Yamanashi W S., Saxena B B. y Clayton L. Low-amplitude, extremely low frequency magnetic fields for the treatment of osteoarthritic knees: a double-blind clinical study. *Alternative Therapies in Health and Medicine* 2001;7(5):66-69.

CONTEXTO: En estudios clínicos anteriores han tenido éxito los abordajes magnetoterapéuticos no invasivos en la soldadura de huesos. **OBJETIVO:** Determinar la eficacia de campos magnéticos de baja amplitud y frecuencia extremadamente baja en pacientes con dolor de rodilla por artrosis. **DISEÑO:** Estudio clínico aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo. **ENTORNO:** 4 pacientes externos. **PARTICIPANTES:** Se distribuyeron de forma aleatoria 176 pacientes en 2 grupos: grupo placebo (sin electroimán) o grupo activo (con electroimán). **INTERVENCIÓN:** Exposición de 6 minutos a la señal de cada

campo magnético, con 8 exposiciones por cada sesión de tratamiento y un total de 8 sesiones de tratamiento durante un período de 2 semanas, lo que supone que los pacientes estaban expuestos a campos magnéticos uniformes durante 48 minutos en cada sesión de tratamiento 8 veces en 2 semanas. Los campos magnéticos utilizados en este estudio eran generados por un resonador de Jacobson consistente en dos bobinas de 46 cm de diámetro conectadas en serie, conectadas a su vez a un generador de función a través de un atenuador para obtener una amplitud y frecuencia específicas. El intervalo de amplitudes del campo magnético utilizado iba desde $2,74 \times 10^{-7}$ a $3,4 \times 10^{-8}$ G, con frecuencias correspondientes de 7,7 a 0,976 Hz. **MEDICIÓN DE RESULTADOS:** Cada sujeto puntuaba su grado de dolor de 1 (mínimo) a 10 (máximo) antes y después de cada tratamiento y 2 semanas después del mismo. Los sujetos también registraban la intensidad del dolor en un diario fuera del ambiente de tratamiento durante las 2 semanas siguientes a la última sesión de tratamiento (sesión 8) dos veces al día: al despertar (en 15 minutos) y al irse a dormir (antes de acostarse por la noche). **RESULTADOS:** La reducción del dolor tras una sesión de tratamiento fue significativamente mayor ($P < 0,001$) en el grupo con electroimán (46%) respecto al grupo sin él (8%). **CONCLUSIÓN:** Los campos magnéticos de baja amplitud y frecuencia extremadamente baja son seguros y eficaces para tratar a pacientes con dolor crónico de rodilla por artrosis.

2.11.6) Hulme J., Robinson V., DeBie R., Wells G., Judd M. y Tugwell P. Electromagnetic fields for the treatment of osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev* 2002, (1).

ANTECEDENTES: Al alejarse de la farmacoterapia el tratamiento de la artrosis consideramos la eficacia de la estimulación eléctrica pulsátil que se ha demostrado que estimula el crecimiento del cartílago en el nivel celular. **OBJETIVOS:** 1) Valorar el método más eficaz y eficiente de aplicar un campo electromagnético, mediante campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) o estimulación eléctrica, así como considerar la duración del tratamiento, posología y frecuencia de las aplicaciones. **ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA:** Buscamos en PREMEDLINE, MEDLINE, HealthSTAR, CINAHL, PEDro y en el Registro Cochrane de Ensayos Controlados (*Cochrane Controlled Trials Register*, CCTR) hasta el año 2001 inclusive. Se incluyeron búsquedas a través de la oficina de coordinación de los registros de ensayos del Campo Cochrane de Tratamientos Físicos y Alternativos y del Grupo Musculoquelético Cochrane en busca de más artículos publicados o no. La búsqueda electrónica se completó con búsquedas manuales y con expertos en el área. **CRITERIOS DE SELECCIÓN:** Ensayos clínicos aleatorizados y controlados que comparasen PEMF o la estimulación eléctrica directa frente a placebo en pacientes con artrosis. **RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS:** Dos revisores determinaron los estudios a incluir en la revisión según los criterios de inclusión y exclusión (JH, VR) y extrajeron los datos mediante procedimientos de extracción previamente desarrollados para el Grupo Musculoquelético Cochrane. La calidad metodológica de los ensayos fue valorada por los mismos revisores utilizando una escala validada (Jadad 1996).

Las mediciones de los resultados en la artrosis se extrajeron de las publicaciones según las directrices OMERACT (Bellamy 1997) y se consideraron los resultados secundarios. **PRINCIPALES RESULTADOS:** Sólo se incluyeron en la revisión tres estudios de un total de 259 en pacientes con artrosis. El tratamiento de estimulación eléctrica tiene un efecto de pequeño a moderado sobre los resultados en artrosis de rodilla, todos estadísticamente significativos, con efectos clínicos beneficiosos de un 13% a un 23% superiores con el tratamiento activo respecto a placebo. Sólo 2 resultados fueron significativamente diferentes en artrosis cervical con tratamiento con PEMF sin que puedan describirse efectos clínicos beneficiosos con modificaciones iguales o menores del 12%. **CONCLUSIONES DE LOS REVISORES:** Las pruebas actuales sugieren que el tratamiento con estimulación eléctrica puede proporcionar mejorías significativas en la artrosis de rodilla aunque son necesarios más estudios para confirmar si los resultados clínicamente significativos mostrados en estos ensayos proporcionan efectos beneficiosos de importancia.

2.11.7) Danao-Camara T. y Tabrah F L.

“The use of pulsed electromagnetic fields (PEMF) in osteoarthritis (OA) of the knee preliminary report.”

Hawaii Medical Journal vol 60 n° 11, 2001, pag 288, 300.

Se consiguieron mejorías importantes en tratamientos de osteoartritis con la aplicación de PEMF en más del 50% de los casos, influyendo en el resultado el sexo y edad de los pacientes.

2.11.8) Trock D H., Bollet A J., Dyer R H., Fielding L P., Miner W K. y Markoll R.

“A double-blind trial of the clinical effects of pulsed electromagnetic fields in osteoarthritis.”

Journal of Rheumatology vol 20, 1993, pag 456-460..

Se hizo un estudio piloto doble ciego para evaluar el efecto de los PEMF, con una población de 27 pacientes aquejados de osteoartritis (OA) en rodilla. El tratamiento consistía en 18 sesiones de media hora repartidas a lo largo de un mes. El aplicador era una bobina con núcleo de aire, siendo 25 el número de pacientes que llegaron hasta el final del tratamiento. Se observó una mejoría del 23 al 61 % en pacientes que realmente habían sido expuestos al campo, mientras que en los placebos a los que no se les había suministrado campo la mejoría observada era del 2 al 18 %. No se observaron efectos tóxicos.

Se demostró con ello la eficacia de la técnica, sugiriéndose la realización de posteriores investigaciones para afinar las condiciones del tratamiento.

2.12. *Osteocondrosis*

2.12.1) Butenko J L. “The use of alternating magnetic fields in spinal osteochondrosis” in “Mechanisms of biological action of electromagnetic fields”. Meeting at Pushchino, URRS, 27 – 31 October 1987. Sponsored by URSS Academy of Sciences, Research Center for Biological Studies, Institute of

Biophysical Physics, Coordination Council of Comecon Countries and Yugoslavia for research in the Fields of Biological Physics, page 183.

Se utilizó un campo alternante de 10-50 mT y 50 Hz (sesiones de 20 min y 20-25 sesiones el tratamiento) en simultaneidad con tratamientos conservativos. Resultó satisfactorio en el 95 % de los casos. En pacientes de control (solamente tratamiento conservador) el margen de éxitos fue del 30 %

2.12.2) Dudchenko M A., Vesel'skii I Sh. y Shtompel' V Iu. The effect of combined treatment with the use of magnetotherapy on the systemic hemodynamics of patients with ischemic heart disease and spinal osteochondrosis. *Likarska Sprava* 1992;5:40-43.

Los autores examinaron a 66 pacientes con cardiopatía isquémica y osteocondrosis cervico-torácica y a 22 pacientes sin osteocondrosis. Se revelaron diferencias en los valores de la hemodinámica cardiaca con prevalencia del tipo hipocinético en pacientes con patología combinada. La incorporación de la magnetoterapia al conjunto del tratamiento de pacientes con cardiopatía isquémica y osteocondrosis favorece la mejoría clínica y la normalización de los índices de la circulación sanguínea central y regional.

2.13. *Osteonecrosis*

2.13.1) Eftekhari N S. et al. Osteonecrosis of femoral head treated by pulsed electromagnetic fields (PEMFs): a preliminary report. *Hip* 1983;306-330.

Se aplican PEMFs a pacientes aquejados de osteonecrosis en cabeza femoral. Los tratamientos duraron entre 3 y 36 meses con un promedio de 17.8 meses. 19 de los 23 habían tenido tratamiento convencional severo y sufrido algún grado de colapso de la cadera (1 a 2 mm). 18 encontraron beneficio en el tratamiento con PEMF

2.13.2) Bassett C A., Schink-Ascani M. y Lewis S M. Effects of pulsing electromagnetic fields on Steinberg ratings of femoral heads osteonecrosis. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1989;246:172 – 185.

Se trataron 95 pacientes de 38 años de edad media, afectados de osteonecrosis en la cabeza femoral, consecuencia de diversas etiologías, trauma, alcohol, idiopatía, uso de esteroides y degeneración celular. El grado de beneficio aparecía muy ligado al estado inicial, aunque parece claro que la mejora que se consigue se mantiene por largo tiempo en síntomas y parámetros. Es de gran interés el que el tratamiento con PEMF sirve para retrasar la colocación temprana de prótesis de cadera

2.13.3) Hinsemkamp M. et al. Preliminary results in electromagnetic field treatment of osteonecrosis. *Bioelectrochem Bioenerg* 1993;30:229 – 236.

Se comparan los resultados de aplicar PEMF solamente con los resultados registrados en la literatura, lo que muestra la clara ventaja del uso de los campos magnéticos.

2.14. Pseudoarthrosis

- 2.14.1) Kort J S., Schink M M., Mitchell S N. y Bassett C A. Congenital pseudoarthrosis of the tibia: treatment with pulsing electromagnetic fields. Clin Orthop 1982;165:124 –137.

Se realizó un estudio sobre una población de 92 pacientes. Con tratamiento convencional los porcentajes de éxito eran 59 y 41 %; los primeros correspondían a pacientes que habían refracturado después de haber conseguido la soldadura, y los segundos correspondían a casos en los que no se había alcanzado la soldadura. Con intervención de la cirugía no se habían mejorado apenas estos porcentajes.

En cambio si se combinaba un buen tratamiento ortopédico con la aplicación de PEMF, los porcentajes de éxito eran el 77 y el 76 % respectivamente. La ventaja de uso del campo magnético es destacable sobre todo en los casos de gran brecha interfragmentaria.

- 2.14.2) Lechner F. et al. Treatment of infected pseudoarthroses with electrodynamic field therapy. Fortschr Med 1979;97(20):943 – 949.

El tratamiento por campo electrodinámico es especialmente valioso para casos con infección en pseudoarthrosis atróficas. Su fundamento es el trasplante de hueso autólogo esponjoso, que reestablece la conducción eléctrica normal en la pieza ósea, lo que permite después aplicar la corriente alterna.

Con una población de 271 pacientes se obtuvieron satisfactorios resultados en el 92 % de los casos.

- 2.14.3) Bassett C A. y Schink-Ascani M. Long term pulsed electromagnetic field (PEMF) results in congenital pseudoarthrosis. Calcif Tissue Int 1991;49(3):216 – 220.

Se hizo un seguimiento sobre 91 pacientes con pseudoarthrosis infantil entre 1973 y 1991. Se les agrupó en tres tipos, I y II con brecha inferior a 5 mm, y los de tipo III con pseudoarthrosis atrófica y brecha de mas de 5 mm. En los de tipo I y II se tuvo un 72 % de resultados favorables. El 20 % de los de tipo III se resolvió con las dosis de campo sin requerir un tratamiento quirúrgico.

La refractura se produjo en 22 pacientes, como consecuencia de un trauma importante, en ausencia de férula protectora. De estos, 19 volvieron a soldar con campos e inmovilización ortopédica. No se observaron efectos secundarios indeseables por la aplicación de los campos magnéticos.

- 2.14.4) Ito H., Shirai Y. y Gembun Y. A case of congenital pseudoarthrosis of the tibia treated with pulsing electromagnetic fields. J. Nippon Med. Sch. 2000 ;76(3) :198-201.

La pseudoarthrosis congénita es el mas difícil reto de la ortopedia. Se describe un caso de un paciente con fallo tipo Bassett II y Boyd tipo II, tratado con PEMF e injerto autógeno. Siete años después de la actuación el hueso había evolucionado favorablemente, habiendo conseguido una correcta madurez.

2.14.5) Bassett C A. et al. Congenital pseudoarthrosis of the tibia: treatment with pulsing magnetic fields. Clin Orthop 1981;154:136 – 148.

Los resultados muestran que el 50 % sanan completamente, el 21 % quedan necesitando algún tipo de reforzamiento ortopédico, y el 29 % resultan tratamientos fallidos. La mayoría de estos últimos fueron roturas muy anteriores al comienzo del tratamiento. En estos casos se aconseja el tratamiento PEMF con buen manejo ortopédico y con injerto.

2.14.6) Poli G., Capelli A., Dal Monte M. y Cadossi R. Treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia with pulsing electromagnetic fields. Preliminary study. Chirurgia degli Organi di Movimento;68(1):27-32.

La utilización de PEMF en casos de pseudoarthrosis congénita, no solo ayuda a la consolidación ósea, sino también a disminuir el riesgo de posterior refractura., así como a la prevención de rotura en las piezas metálicas insertadas para osteosíntesis. Facilita el mantenimiento de la buena alineación

Se ha comprobado que su eficacia es mejor que las corrientes farádicas, alcanzando el 80 % de casos favorables.

En particular se ha probado con un estudio sobre pacientes con pseudoarthrosis congénita de tibia, añadido a intervención quirúrgica para implantación de clavo intramedular, junto con un clavo endomedular en el muslo, para limitar la disimetría del miembro. De este modo se consigue la máxima protección para que el paciente no sufra refracturas.

2.15. Dañado de la columna vertebral

2.15.1) Sheriff M K., Shah P J., Fowler C., Mundy A R. y Craggs M D. Neuromodulation of detrusor hyperreflexia functional magnetic stimulation of the sacral roots. British Journal of Urology 1996;78:39 – 46.

Se examina el efecto de la estimulación magnética funcional en el tratamiento de dañado en la espina dorsal, en las vértebras S2 - S4 resultando ser efectivo, pudiendo además suprimir la contracción del detrusor a voluntad del paciente.

2.15.2) Simmons J W. Treatment of failed posterior lumbar interbody fusion (PLIF) of the spine with pulsing electromagnetic fields. Clinical Orthopaedics and Related Research 1985;193:127-132.

Este documento presenta una técnica y comenta los resultados de tratar con ella las artrodesis posteriores sin éxito de cuerpos vertebrales lumbares (*posterior lumbar interbody fusions*, PLIFs) con campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF). Los sujetos del estudio fueron trece pacientes varones con PLIF y un tiempo promedio de 40 meses desde la última tentativa de artrodesis. Se aplicaron los PEMF a los pacientes de forma cómoda en su domicilio aunque con criterios estrictos. La situación y progresos del paciente se controlaron rigurosamente mediante una evaluación médica inicial y otras posteriores. Los PEMF

promovieron un incremento significativo de la formación ósea en un 85% (11 de 13) de los pacientes y lograron la fusión entre cuerpos vertebrales a través del espacio del disco intervertebral en un 77% (diez de 13) durante el período de tratamiento. El tratamiento no requirió hospitalización, redujo la morbilidad y evitó los riesgos asociados a la intervención quirúrgica. Los resultados sugieren que el tratamiento no invasivo de pacientes externos puede convertirse en una alternativa con éxito cuando la PLIF fracasa.

2.15.3) Jenis L G., An H S., Stein R. y Young B. Prospective comparison of the effect of direct current electrical stimulation and pulsed electromagnetic fields on instrumented posterolateral lumbar arthrodesis. *Journal of Spinal Disorders* 2000;13(4):290-296.

El objetivo de este estudio prospectivo es comparar el efecto de la estimulación adyuvante con corriente continua (CC) y un campo electromagnético pulsátil (PEMF) en el fortalecimiento de la artrodesis lumbar. Se reclutaron sesenta y un pacientes sometidos a artrodesis lumbar instrumentada que fueron distribuidos aleatoriamente en tres protocolos de tratamiento: 1) grupo con PEMF adyuvante (n = 22) provistos del modelo Spinal-Stim 8212 (AME) a los 30 días de la cirugía; 2) grupo con CC (n = 17), con un estimulador SpF-2T (EBI) implantado durante la intervención quirúrgica o 3) grupo control (n = 22). La densidad mineral ósea (DMO) se evaluó en cada paciente con radiografías realizadas a los 3 meses y al año. Se evaluaron radiografías laterales en flexo-extensión y posteroanteriores al cabo de 1 año para determinar si había fusión. El análisis del resultado clínico se efectuó en 1 año. En el seguimiento transcurrido 1 año la fusión radiográfica y la densidad mineral ósea no fueron significativamente diferentes entre grupos. En el grupo no estimulado, los resultados fueron excelentes en un 43%, buenos en un 43% y medios en un 14%. En el grupo PEMF los resultados fueron excelentes en un 35%, buenos en un 50%, medios en un 10% y pobres en un 5%. En el grupo con CC, los resultados fueron excelentes en un 32%, buenos en un 37% y medios en un 31%. Los resultados del presente estudio sugieren que la estimulación eléctrica no mejora significativamente la tasa de fusión en la artrodesis lumbar instrumentada, aunque observamos una tendencia estadísticamente no significativa hacia un incremento de la DMO de la masa de fusión en los grupos estimulados eléctricamente. El significado del incremento de la DMO sigue siendo desconocido.

2.15.4) Marks R. y Richardson A. Spine fusion for discogenic low back pain: outcomes in patients treated with or without pulsed electromagnetic field stimulation. *Advances in Therapy* 2000;17(2):57-67.

Se estudió retrospectivamente a sesenta y uno pacientes seleccionados sometidos a artrodesis lumbar por dorsalgia de origen discal entre 1987 y 1994. Ninguno había respondido a los tratamientos conservadores previos a la cirugía. Cuarenta y dos pacientes recibieron tratamiento adyuvante mediante estimulación con campo electromagnético pulsátil (PEMF) y 19 de ellos no recibieron estimulación eléctrica de ningún tipo. El período medio de seguimiento posquirúrgico fue de 15,6 meses. La artrodesis tuvo éxito en el 97,6% del grupo de

PEMF y en el 52,6% del grupo no estimulado ($P < 0,001$). La concordancia observada entre los resultados clínicos y radiográficos fue del 75%. El uso de estimulación con PEMF mejora el establecimiento de puentes óseos en las artrodesis lumbares. En los pacientes con dorsalgia de origen discal la artrodesis con éxito es el fundamento de un buen resultado clínico.

2.15.5) Ito M., Fay L A., Ito Y., Yuan M R., Edwards W T. y Yuan H A. The effect of pulsed electromagnetic fields on instrumented posterolateral spinal fusion and device-related stress shielding. *Spine* 1997;22(4):382-384.

DISEÑO DEL ESTUDIO: Este estudio se diseñó para examinar los efectos de los implantes rígidos sobre la resistencia a la tensión y para investigar los efectos de campos electromagnéticos pulsátiles sobre la columna instrumentada. **OBJETIVOS:** Investigar los efectos de campos electromagnéticos pulsátiles sobre la artrodesis vertebral posterolateral y determinar si la osteopenia inducida por la instrumentación rígida puede reducirse con campos electromagnéticos pulsátiles. **RESUMEN DE LOS ANTECEDENTES:** Aunque la osteopenia de los cuerpos vertebrales causada por los dispositivos tiene gran importancia clínica no existe ningún método eficaz para evitar la pérdida de mineral óseo vertebral debida a los implantes vertebrales rígidos. **MÉTODOS:** Veintiocho perros de raza beagle fueron sometidos a desestabilización de L5-L6 seguida de artrodesis vertebral posterolateral. El estudio se dividió en tres grupos: 1) Grupo CNTL: sin instrumentación, sin campos electromagnéticos pulsátiles, 2) Grupo PEMF: sin Steffee, con campos electromagnéticos pulsátiles, 3) Grupo INST: con Steffee, sin campos electromagnéticos pulsátiles, 4) Grupo PEMF + INST: con Steffee, con campos electromagnéticos pulsados. Al cabo de 24 semanas los perros fueron sacrificados y los segmentos L4-L7 probados biomecánicamente sin instrumentación. El estado de la masa fusionada se valoró mediante radiografías y tomografía computadorizada cuantitativa. **RESULTADOS:** Las placas Steffee indujeron resistencia a la tensión en la parte anterior de los cuerpos vertebrales de L6. La densidad mineral ósea aumentó al añadir campos electromagnéticos pulsátiles, independientemente de la presencia o no de fijación. En el Grupo INST se observó una disminución de la resistencia a la flexión y la torsión. Los campos electromagnéticos pulsátiles incrementan la resistencia a la flexión independientemente de la presencia o no de fijación, aunque este hallazgo no fue significativo. **CONCLUSIONES:** La utilización de campos electromagnéticos pulsátiles puede minimizar la pérdida de mineral óseo vertebral relacionada con los dispositivos de fijación.

2.15.6) Di Silvestre M. y Savini R. Pulsing electromagnetic fields (PEMFs) in spinal fusion: preliminary clinical results. *Chirurgia Degli Organi di Movimento* 1992;77(3):289-294.

Se utilizaron campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) durante el tratamiento posquirúrgico de 31 pacientes sometidos a artrodesis lumbosacra posterolateral (*posterolateral lumbosacral fusion*, PLF). La fusión se estimuló con PEMF durante los 2 primeros meses de los 4 de inmovilización tras la cirugía. Se logró estabilizar la PLF en 20 de 31 pacientes después de 2 meses de estimu-

lación, de forma que el período de curación se redujo a la mitad. Después de 4 meses se observó fusión en 30 de los 31 casos sometidos a estimulación (96%).

2.15.7) Guizzardi S., Di Silvestre M., Govoni P., Strocchi R. y Scandroglio R. Effects of pulsing electromagnetic fields (PEMF) on the course of vertebral fusion callus. A histological study. Acta Bio-Medica de l Ateneo Parmense;61(5-6):227-235.

En este documento se describen los hallazgos sobre la eficacia de PEMF en la evolución del callo de fusión vertebral. El estudio se efectuó preparando artrodesis posterolaterales de la columna vertebral lumbar de ratas. En este tramo las láminas fueron decorticadas, las apófisis articulares preparadas mediante decorticación y eliminación del cartilago articular y las apófisis espinosas eliminadas y empleadas como material inductor de la osificación. Las ratas sacrificadas a las 4 y 8 semanas presentaban una clara influencia de los PEMF en las áreas decorticadas con una temprana aparición del callo de fusión, visible ya a las 4 semanas en el grupo tratado. También las áreas articulares están influidas por los PEMF pero de forma menos acusada que las decorticadas. En estas áreas, al cabo de 8 semanas el callo de fusión es principalmente cartilaginoso incluso si hay áreas de calcificación detectables en su interior. Este diferente comportamiento puede explicarse por la ausencia de cualquier tipo de fusión vertebral mediante instrumentos quirúrgicos.

2.15.8) Holcomb R R., Worthington W B., McCullough B A. y McLean M J. Static magnetic field therapy for pain in the abdomen and genitals. Pediatric Neurology 2000;23(3):261-264.

Se estudia el caso de adolescentes con dolor en zona lumbar así como en los genitales, de forma intermitente, diagnosticados inicialmente como problema discal., puesto que el dolor aumentaba con percusión en la protuberancia de las vértebras Poco se había conseguido con medicación. El problema se resolvió con colocación de imanes permanentes, y la mejoría se mantenía dos años después del tratamiento.

2.15.9) Comentario en JAMA. Bipolar permanent magnets for the treatment of chronic low back pain: a pilot study. JAMA 2000;284(5):564-565.

Se trataba de comparar, de cara al tratamiento de dolor crónico en la espalda, la efectividad de un imán bipolar frente a un equipo convencional muy conocido de magnetoterapia. Se realizó el estudio en ambulatorio, con 19 hombres y una mujer que sufrían dolor permanente de espalda desde hace un mínimo de 19 meses, utilizando como medida del dolor el Pain Rating Index (PRI) del McGill Pain Questionnaire junto con medición de la amplitud de los movimientos.

El dolor se redujo en 0,49 puntos, mientras que en los pacientes a los que se les había tratado con un simulacro de imán, la reducción fué de 0,44

2.16. *Hernia discal*

- 2.16.1) Perjes K. et al. Effect of magnetotherapy on recovery after herniated disk surgery. Hungarian symposium on magnetotherapy, 2nd Symposium, May 16 – 17 1987, Szekesfehervar, Hungary, pag 159 – 162.

Se aplicaron PEMF a pacientes que habían sido sometidos a una intervención quirúrgica de hernia discal. Al tiempo de abandonar el hospital, el 52 % de los pacientes que habían sido tratados con campo magnético salían sin molestia alguna, mientras que entre los que salían sin haber sido expuestos a los campos, sólo salían sin molestias el 30 %.

- 2.16.2) Spadaro J A.y Bergstrom W H. In vivo and in vitro effects of a pulsed electromagnetic field on net calcium flux in rat calvarial bone. *Calcified Tissue International* 2000;70(6):496-502.

Aunque se ha averiguado que los PEMF promueven la curación de fracturas y modulan la actividad de las células óseas *in vitro* sus efectos sobre el metabolismo óseo son en su mayoría desconocidos. Para determinar los efectos tempranos de la exposición *in vivo* e *in vitro* a un campo electromagnético pulsátil (*pulsing electromagnetic field*, PEMF) sobre el intercambio metabólico de calcio se utilizó un sistema de análisis biológico que utiliza hueso de cráneo de rata recién nacida. Los discos de hueso obtenidos de animales expuestos de cuerpo entero (0-4 h) muestran un incremento promedio de la captación neta de Ca dentro de un intervalo de 0% - 50% ($r^2 = 0,83$) dependiente del logaritmo del tiempo de exposición. Este incremento puede detectarse inmediatamente después de la exposición y a las 24 h, pero no después de 48 h. Los animales expuestos de cuerpo entero a PEMF también muestran una disminución del calcio sérico sin elevación del mismo tras la administración de hormona paratiroidea exógena (PTH). Los discos de hueso de las ratas no tratadas, expuestos a PEMF durante 15 min *in vitro* y luego analizados, presentaron incrementos netos de la captación de Ca de una magnitud similar y también fueron refractarios al efecto liberador de calcio de la PTH. Los discos no expuestos respondieron normalmente a la PTH reduciendo la captación neta de Ca. El tratamiento de los discos de cráneo con calcitonina y acetazolamida, agentes ambos que inactivan los osteoclastos, hicieron al hueso refractario a incrementos adicionales en la captación de Ca por PEMF. Estos resultados sugieren que la exposición a PEMF produce una actividad osteoclástica refractaria a la PTH y tiene un efecto relativamente rápido aumentando la captación neta de calcio óseo, supuestamente debido a una disminución de la resorción ósea de mediación PTH/paracrina.

2.17. *Cicatrización de heridas*

- 2.17.1) Saha S.

“Effect of electrical stimulation of wound healing: a review.”

Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8-13 June 1997, Bologna, Italy.

Tiene muchos años la práctica de estimulación de la cicatrización de heridas mediante corriente eléctrica, siendo de especial cuando hay asociados problemas sépticos.

2.17.2) Patino O. et al.

“Pulsed electromagnetic fields in experimental cutaneous wound healing in rats.”

Jour of Burn Care Rehab vol 17 issue 6 PT 1, 1996, pag 528-531.

Se muestra el destacado efecto beneficioso de los campos magnéticos de baja frecuencia en la reparación de heridas cutáneas en ratas, en comparación con métodos tradicionales como tratamiento con nitrofurazona. Los tratamientos con campo fueron con PEMF de 20 mT de densidad de flujo durante 35 minutos dos veces por día, estudiándose los efectos de la duración del tratamiento de 7, 14 y 21 días .

2.17.3) Sisken B F. y Walker J. “Therapeutic aspects of electromagnetic fields for soft tissue healing”. Capítulo del texto editado por Blank M. “Electromagnetic fields: biological interactions and mechanisms”. American Chemical Society, Washington DC, 1995, pag 277-285.

Se pasa revista a la utilización de irradiación con microondas milimétricas no térmicas y con PEMF, comparando ambas posibilidades.

2.17.4) Jasti A C., Wetzel B J., Aviles H., Vesper D N., Nindl G. y Johnson M T. Effect of a wound healing electromagnetic field on inflammatory cytokine gene expression in rats. Biomedical Sciences Instrumentation 2001;37:209-214.

En estudios anteriores hemos demostrado que los campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) inducen apoptosis en cultivos de células T y que las ratas expuestas *in vivo* a PEMF presentan una disminución de la capacidad proliferativa de las células T. Estos datos nos llevan a plantear la hipótesis de que los PEMF pueden utilizarse para controlar la proliferación de linfocitos inflamatorios y, por lo tanto, tener un efecto beneficioso sobre las enfermedades inflamatorias. La tendinitis se caracteriza por inflamación dolorosa de un tendón. La inflamación se caracteriza por infiltración masiva de linfocitos T, neutrófilos y macrófagos en el tejido lesionado. Estas células inflamatorias producen diversas citocinas, que son los reguladores celulares de la inflamación. El presente estudio comprueba si *in vivo* los efectos de los PEMF son mediados por la producción sistémica de citocinas en la tendinitis de la rata. Se indujo químicamente tendinitis en el tendón de Aquiles de ratas hembra Sprague-Dawley y se les aplicó PEMF (Electrobiol, Inc.) como tratamiento durante las 4 h siguientes a la lesión. 24 horas después se extrajeron los bazo de los animales control y experimentales y se obtuvo el ARN total de los tejidos. Se analizó la expresión genética mediante transcripción inversa del ARN y amplificación mediante reacción en cadena de la polimerasa (RT-CPR) utilizando referencias específicas para las citocinas IFN-gamma, IL-1 beta, IL-6, TNF-alfa y TGF-beta con beta-actina como control. Los productos de la RT-PCR se separaron en geles de agarosa al 1,5% y se normalizaron las intensidades de las bandas respecto a la expresión

de los genes de la beta-actina en la misma muestra. El TGF- β fue la única citocina producida en grandes cantidades en las ratas con tendinitis respecto a otras citocinas. Los PEMF no presentan efecto sobre la expresión esplénica de ninguna citocina a las 24 horas de la inducción de la tendinitis. Son necesarios estudios adicionales para comprobar si las exposiciones acumulativas a los PEMF son capaces de regular la expresión de citocinas inflamatorias bien en la localización de la inflamación o en los ganglios linfáticos locales.

2.17.5) Gaiduk V I., Skachkova N K., Fedorovskaia E A. y Grekova I I. Effect of a flow-frequency alternating magnetic field on the microflora and healing of burn wounds. *Vestnik Khirurgii Imeni* 1985;134(4):69-74.

Se sometió a observación a 77 pacientes con quemaduras en las manos. Se demostró que la aplicación de un campo magnético alternante de baja frecuencia da como resultado la inhibición de la flora microbiana de heridas por quemadura, aumenta la sensibilidad de los estafilococos y bacilos piocianicos a una serie de antibióticos de reserva, acelera la curación de quemaduras superficiales y la preparación de las heridas para la reconstrucción por autoinjerto en quemaduras profundas. Los autores recomiendan el empleo de la magnetoterapia dentro del conjunto de tratamientos de las quemaduras en las manos.

2.18. *Magnetoforesis y plata coloidal.*

2.18.1) Kowalczyk J S. Possibility of application of electromagnetophoresis for separation of biological macromolecules and suspended particles. *Acta Chromatography* 1992;1:34-55.

Se aporta una revisión bibliográfica con 12 ref. Se exponen los principios y las posibilidades de la electromagnetoforesis para la separación biológica de macromoléculas y partículas de suspensiones.

2.18.2) Schramm L L. y Clark B W. On the measurement of magnetophoretic mobilities. *Colloids Surf.* 1983;7(2):135-146.

Se desarrolló un método y un aparato para la medida de movimientos inducidos por un campo magnético aplicado a partículas o gotas en un medio fluido. Se observaron dichos movimientos para partículas que poseen una susceptibilidad magnética, por lo que son capaces de presentar movimiento magnetoforético. Las observaciones de suspensiones magnéticas indican que, además de la magnetización de la partícula, la movilidad magnetoforética depende en la concentración de partículas en la solución, de las condiciones ambientales, y del tiempo de exposición de la solución al campo (envejecimiento). El método puede usarse para determinar los parámetros de solución óptima para condicionar movimiento magnético de las partículas o la recuperación de muchas fases dispersas.

2.18.3) Ovchinnikov A A. Magnetophoresis of neutral particles in AC electric field. *Condensed Matter* 2002:1-5.

Bajo la acción conjunta de corriente continua y alterna, los campos eléctricos

cos en las partículas neutras (átomos, moléculas, nanopartículas etc.) se mueven con velocidad permanente a lo largo de la superficie. La razón física por la que se afecta a dicho transporte es esencialmente la dinámica no lineal de las partículas en la superficie. La tendencia depende de las propiedades dinámicas no lineales de polarización de las partículas y del acoplamiento entre la polarización y la posición de las partículas en la superficie. Se ofrece una evaluación de la velocidad de la partícula como la función de la corriente eléctrica y de los campos magnéticos.

2.18.4) Becker R O. Effects of electrically generated silver ions on human cells and wound healing. *Electro Magnetobiology* 2000;19(1):1-19.

Se ha evaluado un método para producir un antibiótico local mediante una técnica de iontoforesis, usando iones libres de plata que han sido evaluados *in vitro* y *in vivo* por más de dos décadas. Las propiedades antibióticas de la técnica han sido comprobadas en estudios animales y en humanos.

En el curso del estudio aplicado como una metodología para tratamiento de heridas abiertas infectadas, pareció comprobarse el efecto de estimulación del crecimiento que se traduce en una regeneración del tejido local. Parece tener lugar a través de una diferenciación celular de células maduras de la cepa pre-existente en la herida. Se presentan los detalles de este estudio.

2.18.5) Becker R O. "Silver in Medicine". Incluido en: Zysk E D. y Bonucci J A. (Editores). 9th Precious Met. Proc. Int. Precious Met. Inst. Conf. 1986:351-357. Editorial International. Precious Metals. Institute., Allentown, Pennsylvania, EEUU.

Además de llevarse a cabo una revisión, apoyada en 17 ref., se discute el uso de electrodos de Ag (por ejemplo, iones de Ag generados eléctricamente) en las medicinas. Algunos ejemplos presentados son para el uso de tales electrodos en tratamientos para infección de heridas y para cáncer.

2.18.6) Becker R O. Silver ions in the treatment of local infections. *Metal-Based Drugs* 1999;6(4-5):311-314.

Se ha realizado un estudio del uso de iones libres de plata como antibacteriano y agente antifúngico, tal y como se viene administrando en heridas locales infectadas durante las últimas dos décadas. Una gama de técnicas de iontoforesis ensayadas han sido las utilizadas empleado alambres de plata o varios tipos de tejidos de nylon plateados como ánodos en un circuito eléctrico de corriente continua. Se ha evaluado recientemente para el mismo uso un nuevo tipo de nylon plateado para ser usado sin corriente de iontoforesis. En estudios *in vitro* de ambas técnicas ha demostrado un amplio efecto antibiótico que incluye la mayoría de las problemáticas resistentes a la plata. Se han tratado mas de 100 casos de osteomyelitis recalcitrante con una proporción de éxito global de aprox. 65% y ninguna evidencia de argiria o intoxicación por plata.

2.18.7) Xue B., Yu Y. y el Sol Y. *Huagong Jinzhan* 2000;19(1):18-20.

Se presenta una revisión con 19 ref. para presentar una clasificación de los medios magnéticos de acuerdo a su influencia sobre la posibilidad de magnetobioseparation, técnica que incluye la posibilidad de mezcla, la separación magnética de pendiente alta, la filtración, la separación bifásica en medio acuoso, lechos fluidizados estabilizados por campo magnético y tecnología de la magnetoforesis.

2.18.8) Becker R O. y Spadaro J.A. Treatment of orthopaedic infections with electrically generated silver ions. J. Bone and Joint Surg. (American) 1978;60-A(7):871 - 881

Se ha demostrado que los iones de plata producidos eléctricamente actúan como un agente antibacteriano potente con un espectro excepcionalmente ancho, tal y como indican las comprobaciones *in vitro*. En el presente estudio se usa el tratamiento con los iones de plata eléctricamente generados como el tratamiento del coadyudante en tratamientos convencionales de osteomielitis crónica. La población de estudio fueron catorce pacientes; trece con osteomielitis crónica de tibia, uno con periartrosis crónica además de la osteomielitis de la rodilla, y otro con seno crónicamente agotado después de un reemplazo de cadera total. Entre las sesiones 12 y 15 del tratamiento, había remitido la infección y se ponía en marcha el proceso de resolución ósea, que tardó después de resuelta la infección, entre tres y treinta y seis meses. Solo hubo dos fracasos parciales y uno completo.

2.18.9) Ibadova G D., Khamrakulova V V. y Lopatinskii V V. The laser-magnetic phoresis of ascorbic acid in the combined health-resort therapy of osteoarthritis patients. Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fzicheskoi Kultury 1996;4:17-19.

Experimentos *in vitro* demuestran la estabilidad de la solución de pH ácido de ácido ascórbico y un incremento de 1,5 veces en la transferencia de masa de ácido ascórbico a través de membranas semipermeables con la exposición a la radiación láser y al campo magnético generado por el dispositivo Uzor. La biodisponibilidad del ácido ascórbico se demostró a través de los efectos adaptogénicos y antioxidantes de la magnetoforesis con láser de una solución de ácido ascórbico al 2% aplicada a las articulaciones de 79 pacientes con osteocondrosis. La anterior magnetoforesis con láser es más eficaz y segura que la técnica de reflejos segmentarios de magnetoterapia láser al no tener reacciones balneopatológicas.

2.19. Dañado muscular

2.19.1) Detlav L E. The influence of constant and pulsed electromagnetic fields on oxidation processes in muscle. Electromagnetic therapy of injuries and diseases of the support-motor apparatus. International collection of papers, Riga, Latvia. Riga Medical Institute 1987:12-16.

Se estudia la oxidación en músculo bajo campos magnéticos continuo y pul-

sante, apareciendo como mas intenso el proceso cuando exponemos al músculo al campo continuo.

2.19.2) Mecseki L. et al. The study of the efficacy of magnetotherapy in peripheral paralysis. Hungarian Symposium on Magnetotherapy, 2nd Symposium, 16-17 May 1987. Szekesfehervar, Hungary. Pag 149-158.

Se usaron campos de 70 gauss y 2-50 Hz. El resultado fue que que 50 Hz fue la mejor frecuencia para reactivar el músculo en caso de parálisis periférica.

2.19.3) Colbert P., Markov M S., Banerji M. y Pilla A A. Magnetic mattress pad use in patients with fibromialgia: a randomized double-blind pilot study. Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation 1999;13:19 – 31.

Se estudió el efecto de usar colchas con imanes de 1100 gauss, que aplicaban 200 – 600 gauss en las superficie de la piel del paciente, durante un periodo de 16 semanas, en una muestra de 30 pacientes. Además de los pacientes que usaban las colchas con imanes, se estudió a un grupo de control, que usaba colchas de idéntica apariencia, pero sin imanes.

Las colchas activas tenían imanes rectangulares de 2.0 x 4.5 x 1 cm. Estaban colocadas con una separación de 4 cm, y llenaban el espacio con 15 filas y 18 columnas.

Los pacientes tratados experimentaron una significativa reducción del dolor en la fatiga, en la evaluación global del síndrome miálgico, y reducción del porcentaje de área afectada por el dolor. Presentaron también algunas mejoras adicionales en el tiempo de sueño y de manejo de actividades diarias a pesar del handicap de la fibromialgia.

El grupo de control no experimentaba ninguno de estos efectos. Ambos grupos, control y tratados, presentaban un efecto placebo en el aspecto de cansancio al despertar. En ningún caso se observaron efectos adversos.

2.19.4) Currier D P., Ray J M., Nyland J., Rooney J G., Noteboom J T. y Kellogg R. Effects of electrical and electromagnetic stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction. Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy;17(4):177-184.

Es necesario desarrollar nuevos métodos de estimulación eléctrica neuromuscular (*neuromuscular electrical stimulation*, NMES) efectivos y relativamente indoloros.

El objetivo de este estudio piloto es determinar los efectos de NMES y de un nuevo método de estimulación electromagnética (NMES/PEMF) para reducir la disminución de volumen y aminorar el dolor y la debilidad de los músculos flexores de la rodilla durante las 6 semanas siguientes a la cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). Se distribuyeron diecisiete pacientes sometidos a cirugía de reconstrucción del LCA en un grupo control (N = 3), un grupo NMES (N = 7) y un grupo que combinó NMES y estimulación magnética (NMES/PEMF) (N = 7). Los pacientes que recibieron NMES/PEMF puntuaron el dolor percibido con cada tipo de estimulación y se les midió su capacidad de

flexión. La capacidad de flexión disminuyó en promedio un 13,1% en los pacientes del grupo NMES/PEMF. El porcentaje medio de disminución de volumen del muslo fue del 8,3% en los controles, 0,5% en el grupo NMES y 2,3% en los pacientes que recibieron NMES/PEMF. Los pacientes evaluaron la NMES considerando que causaba dolor de una intensidad aproximadamente doble que los tratamientos con NMES/PEMF. Con estos datos los autores concluyen que tanto NMES como NMES/PEMF son eficaces para reducir la pérdida de capacidad de flexión y que la aplicación de NMES/PEMF es menos dolorosa que la de NMES sólo en el tratamiento de pacientes tras reconstrucción del LCA.

2.19.5) Korotkikh N G., Korzh G M. y Korsakova S S. Magnetic and electromagnetic stimulation in the combined treatment of patients with paralysis of the mimetic musculature. *Zhurnal Nevropatologii i Psikhiatrii Imeni;*97(3):32-35.

Se describe un método original para tratar a pacientes con parálisis posquirúrgica de los músculos faciales. El método consta de dos factores terapéuticos: magnetoterapia y estimulación electromagnética de las ramas periféricas del nervio facial. Se describen con detalle los principios de la influencia combinada de ambos componentes. Los datos sobre el control funcional de los resultados del tratamiento confirman la reparación de las ramas periféricas del nervio facial.

2.19.6) Currier D P., Ray J M., Nyland J., Rooney J G., Noteboom J T. y Kellogg R. Effects of electrical and electromagnetic stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 1993;17(4):177-184.

Es necesario desarrollar nuevos métodos de estimulación eléctrica neuromuscular (*neuromuscular electrical stimulation*, NMES) efectivos y relativamente indoloros. El objetivo de este estudio piloto es determinar los efectos de NMES y de un nuevo método de estimulación electromagnética (NMES/PEMF) para reducir la disminución de volumen y aminorar el dolor y la debilidad de los músculos flexores de la rodilla durante las 6 semanas siguientes a la cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). Se distribuyeron diecisiete pacientes sometidos a cirugía de reconstrucción del LCA en un grupo control (N = 3), un grupo NMES (N = 7) y un grupo que combinó NMES y estimulación magnética (NMES/PEMF) (N = 7). Los pacientes que recibieron NMES/PEMF puntuaron el dolor percibido con cada tipo de estimulación y se les midió su capacidad de flexión. La capacidad de flexión disminuyó en promedio un 13,1% en los pacientes del grupo NMES/PEMF. El porcentaje medio de disminución de volumen del muslo fue del 8,3% en los controles, 0,5% en el grupo NMES y 2,3% en los pacientes que recibieron NMES/PEMF. Los pacientes evaluaron la NMES considerando que causaba dolor de una intensidad aproximadamente doble que los tratamientos con NMES/PEMF. Con estos datos los autores concluyen que tanto NMES como NMES/PEMF son eficaces para reducir la pérdida de capacidad de flexión y que la aplicación de NMES/PEMF es menos dolorosa que la de NMES sólo en el tratamiento de pacientes tras reconstrucción del LCA.

2.20. *Tendinitis y ligamentos*

- 2.20.1) Binder A., Parr G., Hazleman B. y Fitton-Jackson S. Pulsed electromagnetic field therapy of persistent rotator cuff tendinitis. A double blind controlled assessment. *Lancet* 1984;8379 :695 - 698.

Los resultados muestran un incuestionable beneficio en el empleo de esta técnica para tratamiento de tendinitis permanente en el rotor de la muñeca, refractarios a inyección de esteroides y otros tratamientos conservadores convencionales. Se hizo un estudio durante 4 semanas, en los que a los del grupo de control se les aplicaba el equipo, pero sin corriente alguna en las espiras.. El efecto placebo fue indetectable. En los pacientes realmente tratados con PEMF, el 65 % terminaron sin ningún síntoma de molestia, y el resto se sentían muy aliviados en su dolencia.

- 2.20.2) Currier D P., Ray J M., Nyland J., Rooney J G., Noteboom J T. y Kellogg R. Effects of electrical and electromagnetic stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 1993;17(4)177-184.

Es necesario desarrollar nuevos métodos de estimulación eléctrica neuromuscular (*neuromuscular electrical stimulation*, NMES) efectivos y relativamente indoloros.

El objetivo de este estudio piloto es determinar los efectos de NMES y de un nuevo método de estimulación electromagnética (NMES/PEMF) para reducir la disminución de volumen y aminorar el dolor y la debilidad de los músculos flexores de la rodilla durante las 6 semanas siguientes a la cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). Se distribuyeron diecisiete pacientes sometidos a cirugía de reconstrucción del LCA en un grupo control (N = 3), un grupo NMES (N = 7) y un grupo que combinó NMES y estimulación magnética (NMES/PEMF) (N = 7). Los pacientes que recibieron NMES/PEMF puntuaron el dolor percibido con cada tipo de estimulación y se les midió su capacidad de flexión. La capacidad de flexión disminuyó en promedio un 13,1% en los pacientes del grupo NMES/PEMF. El porcentaje medio de disminución de volumen del muslo fue del 8,3% en los controles, 0,5% en el grupo NMES y 2,3% en los pacientes que recibieron NMES/PEMF. Los pacientes evaluaron la NMES considerando que causaba dolor de una intensidad aproximadamente doble que los tratamientos con NMES/PEMF. Con estos datos los autores concluyen que tanto NMES como NMES/PEMF son eficaces para reducir la pérdida de capacidad de flexión y que la aplicación de NMES/PEMF es menos dolorosa que la de NMES sola en el tratamiento de pacientes tras reconstrucción del LCA.

- 2.20.3) Wetzel B J., Nindl G., Swez J A. y Johnson M T. Quantitative characterization of rat tendinitis to evaluate the efficacy of therapeutic interventions. *USA Biomedical Sciences Instrumentation* 2002;38:157-162.

La tendinitis es una dolorosa patología de tejidos blandos que constituye aproximadamente la mitad de todas las lesiones laborales en los EE.UU. A menudo se debe a movimientos repetitivos y puede dar lugar a la pérdida del trabajo y del salario. Los tratamientos actuales de la tendinitis intentan reducir la

inflamación, que es la causa principal del dolor. Aunque los fármacos antiinflamatorios y diferentes tratamientos alternativos pueden mejorar la tendinitis no se dispone de datos científicos cuantitativos de su efecto sobre la inflamación.

El propósito de este estudio es determinar la evolución temporal de la curación de la tendinitis en ratas sin intervención alguna para poder valorar la eficacia de los tratamientos de la tendinitis. Nos interesa evaluar el uso terapéutico de campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF), modalidad terapéutica que se ha averiguado que favorece la curación de lesiones en tejidos blandos. Se indujo tendinitis en ratas Harlan Sprague Dawley mediante inyecciones de colágena en el tendón de Aquiles y los tendones se recogieron a las cuatro semanas de la lesión. Para determinar el grado de edema utilizamos mediciones calibradas del tobillo de las ratas y cuantificamos el contenido en agua del tendón. Para medir el grado de inflamación estimamos el número de células inflamatorias en secciones histológicas mediante métodos estereológicos. Los datos muestran que el edema es máximo a las 24 h de la lesión y que se acompaña de una infiltración masiva de células inflamatorias. Estas células inflamatorias van siendo gradualmente sustituidas por fibroblastos, responsables de corregir la lesión de la matriz extracelular. Esta evolución temporal natural de la curación del tendón se utilizará para evaluar el uso de PEMF como una posible modalidad terapéutica.

2.20.4) Lee E W., Maffulli N., Li C K. y Chan K M. Pulsed magnetic and electromagnetic fields in experimental Achilles tendonitis in the rat: a prospective randomized study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*;78(4):399-404.

OBJETIVO: Investigar los efectos de campos magnéticos pulsátiles (PMF) y de campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) sobre la curación de la inflamación experimental del tendón de Aquiles en la rata. **DISEÑO:** Ensayo aleatorizado prospectivo. **ENTORNO:** Facultad de medicina universitaria. **MÉTODOS:** Exposición del tendón de Aquiles y lesión del mismo con un peso de 98,24 g dejado caer desde una altura de 35 cm en 180 ratas macho de raza Sprague-Dawley. **INTERVENCIÓN:** Una sesión diaria de 15 minutos con PMF de 17Hz o 50Hz, o bien PEMF de 15Hz o 46Hz, o bien una sesión simulada. **MEDICIÓN DE LOS RESULTADOS:** Sacrificio de animales escogidos aleatoriamente a las 2 horas de la operación y a los 1, 3, 7, 14 ó 28 días. Valoración del contenido en agua, peso y aspecto histológico de los tendones. **RESULTADOS:** El tiempo transcurrido desde la lesión y las diferentes modalidades de tratamientos ejercen una significativa influencia sobre el contenido en agua de los tendones después de la lesión (ANOVA bilateral, $p = 0,02$). El día 3 el contenido en agua del grupo sometido a PEMF de 46 Hz fue significativamente mayor que en los otros grupos, disminuyendo de forma drástica el día 7 y siendo similar al de los demás grupos en lo sucesivo. Al final del experimento el grupo sometido a PEMF de 15 Hz presentó un contenido en agua no significativamente diferente del grupo control.

El día 7 el grupo sometido a PMF de 50 Hz presentó un contenido en agua

significativamente menor que el grupo control ($p = 0,03$), aunque a los 14 días este mismo grupo no difería significativamente del grupo control. La aplicación de PMF de 50 Hz suprimió el edema extravascular al comienzo de la inflamación. La aplicación de PMF de 17 Hz presentó al principio una tendencia similar, dando lugar a un contenido de agua constantemente menor durante todo el experimento y alcanzando significación estadística al final del tratamiento. Al término del experimento las fibras de colágeno casi habían recuperado su alineación normal en todos los grupos, observándose una alineación más fisiológica en el grupo expuesto a PEMF de 17 Hz. **CONCLUSIONES:** El tendón recuperó la normalidad histológica en todos los grupos, aunque el grupo sometido a PMF presentó un mejor alineamiento del colágeno al final del estudio. El uso de PMF de 17 Hz dio como resultado una mayor reducción de la inflamación y una mejor recuperación de la normalidad histológica del tendón. Los PMF y PEMF pueden aplicarse en función de cuándo comience el tratamiento tras la lesión. Si no hay retraso entre el momento de producirse la lesión y el inicio del tratamiento magnético pulsátil se deben utilizarán PMF de 17 Hz.

- 2.20.5) Lin Y., Nishimura R., Nozaki K., Sasaki N., Kadosawa T., Goto N., Date M. y Takeuchi A. Collagen production and maturation at the experimental ligament defect stimulated by pulsing electromagnetic fields in rabbits. *Japan. J. Vet. Med. Sci.* 1993;55(4):527-531.

Se sometió a ocho conejos a una resección en cuadro (aprox. 4 x 4 mm) de ambos ligamentos patelares en todo su espesor y en su parte central, fueron distribuidos en 4 grupos y cada uno de ellos (20 conejos) estimulado electromagnéticamente con diferentes intensidades magnéticas: 0 (grupo control), 2, 10 ó 50 G durante 6 horas diarias. La frecuencia y anchura de los pulsos fue de 10 Hz y 25 μ s, respectivamente. Cinco animales de cada grupo fueron sacrificados semanalmente entre la 1ª y 4ª semana tras la intervención quirúrgica y se recogió el tejido lesionado para evaluaciones bioquímicas y ultraestructurales. Antes de sacrificarlos se midió el flujo sanguíneo en la parte central de los defectos patelares. Entre las semanas 2 y 4 tras la operación se observaron aumentos significativos del flujo sanguíneo en la lesión del grupo de 50 G en comparación con los otros grupos. El contenido de colágeno en los grupos que recibieron PEMF presentó un aumento significativo en comparación con el grupo control. Además, estos incrementos fueron mayores en función del aumento de la intensidad magnética. Con microscopía electrónica se observó un desarrollo masivo del retículo endoplásmico rugoso de los fibroblastos a las 2 semanas de la operación en el grupo de 50 G en comparación con los otros grupos, lo que sugiere una producción de colágeno más activa en este grupo. Estos resultados sugieren que los PEMF aumentan el flujo sanguíneo e incrementan el número de fibroblastos en la lesión. Al mismo tiempo los PEMF estimulan directamente la producción de colágeno de los fibroblastos, acelerando así el proceso de curación del ligamento.

- 2.20.6) Lin Y., Nishimura R., Nozaki K., Sasaki N., Kadosawa T., Goto N., Date M. y Takeuchi A. Collagen production and maturation at the experimental ligament defect stimulated by pulsing electromagnetic fields in rabbits. *Journal*

of Veterinary Medical Science;55(4):527-531.

Se sometió a 80 conejos a una resección en cuadro (aprox. 4 x 4 mm) de ambos ligamentos patelares en todo su espesor y en su parte central, fueron distribuidos en 4 grupos y cada uno de ellos (20 conejos) estimulado electromagnéticamente con diferentes intensidades magnéticas: 0 (grupo control), 2, 10 ó 50 G durante 6 horas diarias. La frecuencia y anchura de los pulsos fue de 10 Hz y 25 μ s, respectivamente. Los ochenta conejos recibieron pulsos cuadrados a 10 Hz y 25 μ s, respectivamente. Cinco animales de cada grupo fueron sacrificados semanalmente entre la 1ª y 4ª semana tras la intervención quirúrgica y se recogió el tejido lesionado para evaluaciones bioquímicas y ultraestructurales. Antes de sacrificarlos se midió el flujo sanguíneo en la parte central de los defectos patelares. Entre las semanas 2 y 4 tras la operación se observaron aumentos significativos del flujo sanguíneo en la lesión del grupo de 50 G en comparación con los otros grupos. El contenido de colágeno en los grupos que recibieron PEMF presentó un aumento significativo en comparación con el grupo control. Además, estos incrementos fueron mayores en función del aumento de la intensidad magnética. Con microscopia electrónica se observó un desarrollo masivo del retículo endoplásmico rugoso de los fibroblastos a las 2 semanas de la operación en el grupo de 50 G en comparación con los otros grupos, lo que sugiere una producción de colágeno más activa en este grupo. Estos resultados sugieren que los PEMF aumentan el flujo sanguíneo e incrementan el número de fibroblastos en la lesión. Al mismo tiempo los PEMF estimulan directamente la producción de colágeno de los fibroblastos, acelerando así el proceso de curación del ligamento.

2.21. *Torceduras de tobillo*

2.21.1) Pilla A A. y Kloth L. Effect of pulsed radio frequency therapy on edema in ankle sprains: a multisite double-blind clinical study. Second World Congress for Electricity and magnetism in Biology and Medicine, 8 – 13 june 1997, Bologna Italy, pag 300.

Resultan muy eficaces para reducir el edema la aplicación de un par de sesiones de 30 min

2.22. *Esclerosis multiple*

2.22.1) Sandyk R. Rapid normalization of visual evoked potentials pico tesla range magnetic fields in chronic progressive multiple sclerosis. International Journal of Neuroscience 1994;77(3-4):243 – 259.

Se aplica un campo de 7.5 picoteslas y 5 Hz de frecuencia durante 20 minutos diarios. En general y en poco tiempo se observan mejoras en fatiga, sueño, funciones cognoscitivas, visión, funcionamiento de la vejiga, movilidad, problemas de lenguaje y estado de ánimo. El cuadro clínico de los problemas periféri-

cos por esclerosis también mejora .

2.22.2) Sandyk R. Further observations on the effects of external picotesla range magnetic fields on visual memory and visuospatial functions in multiple sclerosis. *Internat Journal of Neuroscience* 1994;77(3-4):203-227.

Mejoran las funciones visomotoras y visoespacial a medida que se reciben las exposiciones a campos débiles.

2.22.3) Sandyk R. Progressive cognitive improvement in multiple sclerosis from treatment with electromagnetic fields. *International Journal of Neuroscience* 1997;89(1-2):39-51.

Pacientes con esclerosis múltiple de antiguo, al cabo de 6 a 18 meses de tratamiento con campos muy débiles, presentan mejora en funciones cognitivas. Se aplicaron picos de campo magnético externo EMFs extracerebrales, con densidad de flujo muy débil, del orden de picoteslas. La evaluación entre la imagen y el razonamiento se realizaba con el test de la bicicleta. En el punto de partida los pacientes mostraban graves deficiencias en la organización de sus capacidades. Durante el tratamiento se iban recuperando las sinapsis neurotransmisoras y los pacientes mostraban una mejoría progresiva en las funciones cognitivas, con la única condición de que la aplicación del tratamiento fuese regular.

2.22.4) Sandyk R. Reversal of alexia in multiple sclerosis by weak electromagnetic fields. *International Journal of Neuroscience* 1995;83(1-2):69-79.

Se realizó un estudio con pacientes que llevaban largo tiempo con esclerosis múltiple, habiéndoseles presentado un proceso de alexia. La aplicación de campos magnéticos del orden de picoteslas, sirvió para revertir el proceso y restaurar la capacidad de reconocimiento del lenguaje escrito.

2.22.5) Sandyk R. Suicidal behaviour is attenuated in patients with multiple sclerosis treatment with electromagnetic fields. *International Journal of Neuroscience* 1996;87(1-2):pag 5 – 15.

En autopsias de suicidas se ha podido constatar un muy bajo nivel de serotonina (5-HT) y de su metabolito (5-HIAA). En muchos casos los fuertes niveles de depresión fueron causados por esclerosis múltiple, teniendo una alta incidencia en la tendencia al suicidio de los pacientes. Previos estudios de aplicación de EMFs habían mostrado una mejora en los procesos motores. En el presente estudio se pudo acusar que el tratamiento origina un incremento en la síntesis de 5-HT y una resincronización de la secreción de melatonina, lo que resincronizaba sus su ritmo circadiano. Se comprobó que después de este tratamiento desaparecían las intenciones suicidas en los pacientes, y que esto se mantenía después de un control a los 3 tres años.

2.22.6) Sandyk R. y Iacono R P. Improvement pico tesla range magnetic fields of perceptual motor performance and visual memory in a patient with chronic progressive multiple sclerosis. *Internat Jour. of Neuroscience* 1994; 78 (1-

2): 53-66.

Se relata el caso de una paciente de 58 años de edad con una esclerosis múltiple desde hace 37 años. A partir de las 24 horas de tratamiento, empezó a experimentar mejoras en la marcha, en el equilibrio, sensibilidad y funcionamiento de la vejiga.

2.22.7) Mix E., Jenssen H L., Lehmitz R., Lakner K., Hitzschke B., Richter M. y Heydenreich A. Effect of pulsating electromagnetic field therapy on cell volume and phagocytosis activity in multiple sclerosis and migraine". *Psychiatrie, Neurologie und Medizinische Psychologie* 1990; 42 (8): 457-466.

Se estudió el tratamiento con PEMF de 10 pacientes con esclerosis múltiple y 10 pacientes con migraña. En ambos grupos una sola sesión de tratamiento con PEMF indujo un significativo aumento de la fagocitosis de partículas de levadura por los granulocitos sanguíneos. El porcentaje de células fagocíticas sólo aumentó en los pacientes con migraña. En ambos grupos de pacientes 20 sesiones de tratamiento con PEMF ocasionaron una reducción de la fagocitosis de partículas, mientras que el porcentaje de células fagocíticas no se alteró. En pacientes con migraña la capacidad opsonizante del suero así como el volumen celular medio de los eritrocitos, linfocitos y granulocitos se redujo inicialmente, aunque aumentó en el transcurso de las 20 sesiones de PEMF. Los cambios bifásicos del volumen celular y de la capacidad fagocítica se interpretan como el resultado de una contrarregulación del organismo en respuesta al efecto principal de PEMF.

2.22.8) Fierro B., Salemi G., Brighina F., Buffa D., Conte S., La Bua V., Piazza A. y Savettieri G. A transcranial magnetic stimulation study evaluating methylprednisolone treatment in multiple sclerosis. *Acta Neurologica Scandinavica* 2002;105(3):152-157.

Objetivo - Investigar la eficacia de dos diferentes dosis i.v. elevadas de metilprednisolona (MPIV) durante recaídas de esclerosis múltiple (EM). Antecedentes - La estimulación magnética transcraneal (*transcranial magnetic stimulation*, TMS) es el procedimiento neurofisiológico más sensible para cuantificar la discapacidad motora, hacer el seguimiento de la recuperación tras una recaída de EM y detectar la respuesta al tratamiento. Diseño y método - Veinticuatro pacientes con EM definitiva recidivante-remitente con recaída fueron distribuidos aleatoriamente para recibir tratamiento durante 5 días con 1 ó 2 g/d de MPIV. La respuesta de cada paciente al tratamiento se evaluó mediante la Escala Ampliada de Discapacidad (*expanded disability status scale*, EDSS), la puntuación del Medical Research Council (MRC) y la TMS por potenciales evocados motores (*motor evoked potential*, MEP). Resultados - El umbral motor (*motor threshold*, MT), el tiempo de conducción motora central (*central motor conduction time*, CMCT) y la puntuación según la escala MRC mostraron la mayor mejoría con la mayor dosis de MPIV. El período silente y la puntuación en la EDSS mejoraron con ambos tratamientos. Conclusión - La dosis de 2 g/d

de MPIV es más eficaz en la recaída de EM.

- 2.22.9) Sandyk R. Therapeutic effects of alternating current pulsed electromagnetic fields in multiple sclerosis. *Journal of Alternative and Complementary Medicine* 1997;3:365-386

La esclerosis múltiple es la causa tercera de discapacidad severa en pacientes de edad comprendida entre 15 y 50 años, permaneciendo desconocida la patogenia de la enfermedad, siendo muy pocos los avances en este campo durante los últimos 20 años. No se disponen de agentes que retraigan la función neuronal al nivel pre-mórbido. Los fenómenos asociados con esta enfermedad comprenden interacciones entre factores genéticos, ambientales, inmunológicos y hormonales. No pueden ser explicados solamente con la base de demielinización, requiriendo poner la atención en explicaciones alternativas, que pivotan siempre sobre el papel de la glándula pineal, que es el órgano magnetorreceptor por excelencia.

2.23. *ELA, Esclerosis lateral amiotrófica ó enfermedad de Lou Gehrig*

- 2.23.1) Bellosi A. y Berget R. Pulsed magnetic fields: a glimmer of hope for patients suffering from amyotrophic lateral sclerosis. Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8-13 June 1997, Bologna (Italy).

Se describen los efectos beneficiosos de tres sesiones semanales de PEMF administradas con un aparato Magnobiopulse. Los pacientes necesitaban 75 sesiones para alcanzar la máxima mejoría posible.

- 2.23.2) Mix E. et al. Effect of pulsating electromagnetic field therapy on cell volume and phagocytosis activity in multiple sclerosis and migraine. *Psychiatrie, Neurologie und Medizinische Psychologie* 1990;42(8):457-466.

Se probó un tratamiento PEMF en 10 pacientes con migraña y 10 con esclerosis múltiple. En ambos casos un solo tratamiento induce un elevado crecimiento de granulocitos. En los pacientes de migraña, se incrementa el número de fagocitos solamente, permaneciendo inalterado el número de eritrocitos y linfocitos. En ambos grupos permanecía inalterado el número de fagocitos.

2.24. *Úlceras tróficas*

- 2.24.1) Alekseenko V V. et al. Use of magnetic therapy combined with galvanization and tissue electrophoresis in the treatment of trophic ulcers. *Klin Khir* 1993;7 – 8:31 – 34.

Se muestra el resultado de evaluar la eficiencia de la magnetoterapia asociada con corrientes galvánicas o con iontoforesis en el tratamiento de úlceras tróficas. Para aplicación de iontoforesis y de corrientes galvánicas se utilizó el equipo “Protok-1” que proporcionaba una densidad de corriente de 0.05 a 0.1 mA/cm², mientras que para el tratamiento por magnetoterapia se aplicó con un

equipo "MAG-30" que proporcionaba una intensidad de 30mT sobre un área de exposición de 20 cm². La conclusión del trabajo es que la técnica óptima para tratamiento de úlceras tróficas es la magnetogalvanoterapia.

2.24.2) Sieron A. et al. Use of magnetic field in treatment of trophic leg ulcers. Pol Tyg Lek 1991;46(37-39):717-719.

Se discuten desde una perspectiva teórica y práctica, las posibilidades de la magnetoterapia en el tratamiento de úlceras pépticas en las extremidades inferiores.

2.24.3) Sukhotnik I G. Comparative effectiveness of using constant and alternating magnetic fields in the treatment of trophic ulcers. Vest Khir 1990; 144 (6): 123 – 124.

Se comparó en un amplio grupo de pacientes con variado espectro de úlceras tróficas en el miembro inferior, la efectividad de campos magnéticos alternos (AMF) generados por equipos eléctricos y de campos magnéticos constantes (CMF) producidos por imanes permanentes. Resultó que en los enfermos tratados con AMF el periodo medio de tratamiento hospitalario fue de 27 días, mientras que en los tratados con CMF fue de 31 días. En los controles, tratados por medios convencionales, el tiempo medio fue de 40 días.

2.24.4) Alekseenko A V., Gusak V V. y Stoliar V F.

“The treatment of trophic ulcers of the lower extremities by using magnetotherapy and interstitial electrophoresis.”

Vestnik Khirurgii Imeni i. i. Grekova vol 150 n° 2, 1993, pag 115-117.

Utilizando un campo magnético producido por un equipo MGTP-3, que simultáneamente podía proporcionar la opción de una salida de corriente continua destinada a poder ser aprovechada para aplicación de tratamientos de electroforesis. Se trataron úlceras tróficas con excelentes resultados, en especial cuando ambas técnicas eran conjuntadas.

2.24.5) Alekseenko A V., Gusak V V., Stoliar V F., Iftodii A G., Tarabanchuk V V., Shcherban N G. y Naumets A A.

“Use of magnetic therapy combined with galvanization and tissue electrophoresis in the treatment of trophic ulcers.”

Klinicheskaja Khirurgiia vol 7 n° 8, 1993, pag. 31 – 34.

Se presentan los resultados del tratamiento de 86 pacientes utilizando magnetoterapia en combinación con galvanización y electroforesis intratisular. Para crear un campo eléctrico se utilizó el aparato "Potok-1" con una densidad de corriente de 0,05-0,1 mA/cm². Al mismo tiempo se aplicó el aparato "MAG-30" para magnetoterapia de baja frecuencia con inducción de 30 mT y un área de exposición de 20 cm² en el lugar de la úlcera trófica. Se recomienda el uso la magnetogalvanoterapia dentro del conjunto de tratamientos de las úlceras tróficas de las extremidades inferiores.

2.24.6) Alekseenko A V. y Gusak V V. Treatment of trophic ulcers of the lower extremities using a magnetic field. *Klinicheskaia Khirurgiia* 1991;7:60-63.

Se resume la experiencia del tratamiento de 126 pacientes con lesiones úlcero-necróticas de las extremidades inferiores de distintas etiologías. Se efectuó una evaluación comparativa de la eficacia del tratamiento según el tipo de campo magnético: constante, alterno o impulso viajero. El más eficaz fue el empleo de impulsos magnéticos viajeros. Los resultados de la investigación realizada permiten recomendar el uso generalizado de la magnetoterapia en el conjunto de tratamientos de las úlceras tróficas de las extremidades inferiores.

2.25. *Neuropatía*

2.25.1) Zobima L V. et al. Effectiveness of magnetotherapy in optic nerve atrophy. A preliminary study. *Vestn Oftalmol* 1990;106(5):54 –57.

Usando el equipo Polyus-1 para magnetoterapia de baja frecuencia se suministró un campo de intensidad 10mT en sesiones de 10 min a pacientes con atrofia del nervio óptico, constituyendo un tratamiento unas 10-15 sesiones. Los resultados fueron que pacientes con menos de 0.04 dioptrías mejoraron en el 50 % de los casos

2.25.2) Ito H. y Basset C A. Effect of weak, pulsing electromagnetic fields on neural regeneration in the rat. *Clin Orthop* 1983;181:283 – 290.

Se estudia el efecto de la exposición a campos magnéticos pulsantes sobre la velocidad y el grado de recuperación en la regeneración del nervio ciático en ratas.

Los animales recibieron tratamiento durante dos semanas. Histológicamente la regeneración de los axones en los animales sometidos a PEMF había menetrado el distal stump el doble que en los animales de control.

La regeneración era completa 14 semanas, pudiéndose comprobar el restablecimiento de la función motora midiendo la fuerza a flexión con un dinamómetro. Entre las 12-14 semans podía hablarse de regeneración neuronal.

2.25.3) Krylov O A. et al. The action of an impulse magnetic field on the motor function recovery of the peripheral nerve trunks. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1991;6:40-44.

A fin de estudiar el efecto del campo magnético sobre la recuperación neuromuscular funcional, se sometió a un campo de 1.2 T a una población de conejos a la que se les había practicado un corte del tronco del nervio ciático, acabado con sutura perineural.. Se mantuvo bajo recuperación espontánea a un grupo de animales de control, con el mismo tipo de intervención.

La recuperación por reinervación de los músculos cruzados de los sometidos a campo magnético tuvo lugar en la mitad del tiempo.

- 2.25.4) Wu J. y An H. Experimental study on sciatic nerve elongation promoted by pulsed electromagnetic field and basic fibroblast growth factor. *Zhonghua Chuangshang Zazhi* 1998;14(3):148-150.

Se aplicó un campo electromagnético pulsátil (PEMF) y/o bFGF como tratamiento adyuvante en una preparación experimental de conejo de Nueva Zelanda con extensión del nervio ciático. La tasa de elongación del nervio del grupo al que se aplicó PEMF o bFGF durante las cuatro semanas siguientes fue superior a la del grupo control. La disminución de la velocidad de conducción del movimiento fue más baja que en el grupo control. En el grupo tratado la degeneración nerviosa mejoró y se incrementó la regeneración y la proliferación vascular frente al grupo control. Los resultados sugieren que tanto PEMF como bFGF promueven la elongación de nervio periférico y atenúan la lesión mecánica durante el proceso de extensión del nervio.

- 2.25.5) Siskin B F., Kanje M., Lundborg G., Herbst E. y Kurtz W. Stimulation of rat sciatic nerve regeneration with pulsed electromagnetic fields. *Brain Research* 1989;485(2):309-316.

Se determinaron los efectos de campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) sobre la regeneración del nervio ciático tras una lesión por aplastamiento. Las ratas se colocaron entre dos bobinas de Helmholtz y fueron expuestas a un PEMF de una frecuencia de 2 Hz y una densidad de flujo magnético de 0,3 mT. Un tratamiento de 4 h/d durante 3-6 días aumentó la velocidad de regeneración del nervio un 22%. Este efecto estimulante fue independiente de la orientación de las bobinas. Tiempos de exposición comprendidos entre 1 h/d y 10 h/d fueron igual de eficaces para estimular la regeneración del nervio. Las ratas expuestas a PEMF durante 4 h/d durante 7 días antes del aplastamiento, seguidos de 3 días sin PEMF después del aplastamiento, también mostraron un aumento significativo de la regeneración. Este "condicionamiento" previo a la exposición sugiere que los PEMF influyen sobre la regeneración de manera indirecta.

- 2.25.6) Blackman C F., Benane S G. y House D E. Evidence for direct effect of magnetic fields on neurite outgrowth. *FASEB Journal* 1993;7(3):801-806.

Los campos eléctricos pueden causar respuestas celulares *in vitro* e *in vivo*.

Se ha propuesto que los campos magnéticos alternos actúan a través de los campos eléctricos inducidos en el medio conductor que rodea las células. Para demostrar la contribución relativa de los campos magnéticos en comparación con los campos eléctricos inducidos utilizamos un sistema de exposición sencillo en un cultivo estándar de células PC-12 en el que las células responden al factor de crecimiento nervioso produciendo neuritas. Esta respuesta a la estimulación por el factor de crecimiento nervioso es inhibida por campos magnéticos sinusoidales de 50 Hz con intensidades inferiores a 10 microT (100 mG). Mediante un procedimiento estándar para diferenciar los efectos magnéticos de los eléctricos se demuestra que el campo eléctrico inducido no está implicado. Son necesarios trabajos adicionales para identificar la localización (o localizaciones) crí-

tica de la reacción y establecer los mecanismos moleculares responsables de estos resultados.

2.25.7) Blackman C F., Benane S G., House D E. y Pollock M M. Action of 50 Hz magnetic fields on neurite outgrowth in pheochromocytoma cells. *Bioelectromagnetics* 1993;14(3):273-286.

Este estudio prueba la capacidad de campos magnéticos y eléctricos para estimular el crecimiento de neuritas en células PC-12, una línea celular procedente de un feocromocitoma de médula suprarrenal de rata. Las células se colocaron en placas de Petri de plástico recubiertas de colágeno y se expusieron a campos magnéticos sinusoidales de 50 Hz durante 22 h en una incubadora de CO₂ a 37 °C. Se instalaron dos bobinas de 20 cm de diámetro y 1.000 espiras en una configuración de Helmholtz para generar un campo magnético en una orientación vertical, induciendo así un campo eléctrico acompañante en la placa de intensidad proporcional al radio. Las muestras de control estaban en la misma incubadora bajo una cubierta aislante del magnetismo. Se contabilizó el número total de células con neuritas de longitud al menos igual al diámetro celular o que tuviesen un cono de crecimiento en un radio de 0,3 cm del centro de la placa, dentro de un anillo de 1,7-1,8 cm de radio en las placas de 60 mm, de 3,6 cm de radio en las placas de 100 mm y entre 1,9 y 2,1 cm de radio en el hueco exterior de las placas de cultivo de órgano, físicamente separadas en dos zonas concéntricas. Con la exposición simulada se puso de manifiesto que no había diferencias en el porcentaje de células con neuritas entre las localizaciones expuestas y las localizaciones de control en la incubadora. Se hicieron exposiciones a 4,0, 8,9, 22, 29, 40, 120, 236 y 400 miliGauss (mG). A un radio de 1,7-1,8 cm en las placas de 60 mm estas densidades de flujo magnético indujeron campos eléctricos de 1,1, 2,5, 5,9, 8,1, 11, 33, 65 y 110 microV/m, respectivamente, mientras que en un radio de 0,3 cm los campos eléctricos inducidos fueron menores de 0,2, 0,4, 1,0, 1,5, 1,9, 6,0, 11 y 19 microV/m, respectivamente. En las demás placas de Petri un radio mayor produjo campos eléctricos inducidos proporcionalmente mayores. Para cada intensidad del campo había dos placas de control y entre cuatro y nueve placas expuestas. Se contabilizaron más de 100 células en cada localización de las placas. Los resultados demuestran que los campos magnéticos estimulan el crecimiento de neuritas de forma dependiente del flujo entre 22 y 40 mG, alcanzando una aparente meseta de estimulación entre 40 y 400 mG. No se observaron efectos con valores iguales o menores de 8,9 mG. Aparentemente no hubo estimulación de neuritas por el campo eléctrico. Aunque sean de intensidad relativamente baja (≥ 22 mG) los campos magnéticos pueden estimular una respuesta morfológica en una célula que es normalmente estimulada al unirse las moléculas de factor de crecimiento nervioso a los receptores de membrana. El fundamento bioquímico de esta respuesta es desconocido.

2.25.8) Ushakov A A., Belokopytov A P., Kazantsev Iu I., Vasil'ev D R., Sachkov A V., Eskin A E. y Zemlianaia M V.

“The use of high-intensity pulsed magnetotherapy in injuries and diseases of

the locomotor apparatus and peripheral nervous system.”
 Voенno Meditsinskii Zhurnal, n°2, 1995, pag 42-43.

Se utilizó un equipo MGTP-3 del tipo I, con un aplicador de núcleo magnético capaz de conseguir impulsos de campo intenso, convenientes para conseguir la despolarización de neuronas, obteniéndose excelentes resultados en casos de daño muscular y neuronal conjuntos.

2.26. *Desórdenes neurológicos*

2.26.1) Skorometz A A. et al. Magnetic impulse therapy of patients with spondylogenic diseases of the nervous system. Fizicheskaia Meditzina 1993;3(1-2):41-43.

Los tratamientos consistían en una exposición diaria de 6 min durante 10-12 sesiones a un campo de 10-12 kGauss a 0.1-0.6 Hz. En el 93 % de los casos se obtenían buenos resultados

2.26.2) Shiman A G. et al. Use of combined methods of magnetoelectrotherapy in the treatment for polineuropathies. Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult 1993;5:38-41.

Aplicando campos magnéticos de 30-35 mT a 10 y 100 Hz se consiguen efectos beneficiosos en el 93 % de pacientes afectados por problemas nerviosos.

2.26.3) Valbona C., Hazlewood C F. y Jurida G. Response of pain to static magnetic fields in post-polio patients: a double-blind pilot study. Arch. Phys. Med. Rehabil 1997;78:1200-1203.

Con imanes de 300-500 gauss en superficie, se consigue un 70 % de la reducción del dolor en pacientes con secuelas post-poliomielitis, con la sola aplicación de 45 min diarios

2.26.4) Thomas A W., Drost D J. y Prato F S. Human subjects exposed to a specific pulsed (200 microT) magnetic field: effects on normal standing balance. Neuroscience Letters 2001;297(2):121-124.

Se ha demostrado que campos magnéticos estáticos variables en el tiempo alteran la conducta animal y humana en aspectos como la orientación direccional, aprendizaje, percepción dolorosa (nocicepción o analgesia) y comportamientos relacionados con la ansiedad. Una serie de voluntarios (12 varones, 12 mujeres, edad de 18 a 34 años) permanecieron de pie sobre una plataforma entre tres pares de bobinas (2, 1,75 y 1,5 m) magnéticas cuadradas dispuestas ortogonalmente con el volumen del campo magnético uniforme alineado a la altura de la cabeza. El análisis de los datos muestra una mejora significativa del equilibrio normal en bipedestación o del centro de presión, con los ojos abiertos o cerrados, con un campo magnético pulsátil (PEMF) específico de 200 microT(pk). No se hallaron diferencias significativas en las pruebas del estado de control del equilibrio como la exposición a simulación/simulación de sujetos

o la simulación/exposición a PEMF de una maniquí salino de 60 kg. El sexo o edad no tuvieron efectos significativos.

2.26.5) Korsakova S S., Korotkikh N G. y Korzh G M. Magnetic and electromagnetic stimulation in the combined treatment of patients with paralysis of the mimetic musculature. Zhurnal Nevropatologii i Psikhiatrii Imeni 1997;97(3):32 – 35.

Se informa de un método original para tratar a los pacientes con parálisis posquirúrgica de los músculos faciales. El método consta de dos factores terapéuticos: magnetoterapia y estimulación electromagnética de las ramas periféricas del nervio facial. Se describen con detalle los principios de la influencia combinada de ambos componentes. Los datos sobre el control funcional de los resultados del tratamiento confirman la reparación de las ramas periféricas del nervio facial.

2.26.6) Hong C Z., Lin J C., Bender L F., Schaeffer J N., Meltzer R J. y Causin P. Magnetic necklace: its therapeutic effectiveness on neck and shoulder pain. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 1982;63(10):462-466.

Se estudió el efecto del collar magnético sobre la cervicalgia y dolor de hombro crónicos en 101 pacientes, 46 varones y 55 mujeres. Se aplicó un método doble ciego en los cuatro grupos en que fueron divididos (con dolor frente a sin dolor con dispositivo magnético frente a collar no magnético). Todos los sujetos llevaron el collar magnético 24 horas al día durante 3 semanas. La evaluación subjetiva de los sujetos con dolor, con o sin tratamiento magnético, se realizó antes y a las 3 semanas del tratamiento con el collar y puso de manifiesto un efecto placebo significativo en cuanto a disminución de la intensidad y frecuencia del dolor. Se hicieron pruebas objetivas con procedimientos electrodiagnósticos antes del tratamiento y a intervalos de 3 semanas. El tiempo de conducción proximal del nervio cubital se redujo significativamente con el tratamiento magnético en los sujetos sin dolor pero no cambió en los que tenían dolor. No hubo modificaciones significativas del umbral de excitación del nervio supraescapular en ningún sujeto. Se discute el posible mecanismo de los efectos magnéticos sobre el dolor y la perspectiva de la magnetoterapia para aliviar el dolor en medicina física.

2.27. Neuralgia post-herpética

2.27.1) Navratil P. et al.

“Pulsed magnetic field in therapy of prostatodynas. A pilot study.”
Bioelectromagnetics Society, 16th Annual Meeting,
12-17 June 1994. Copenhagen, Denmark. pag 1994.

Se utilizó una camilla de magnetoterapia (50 hz y 25 mT) para los tratamientos, obteniéndose los mejores resultados cuando se conjuntaba con farmacoterapia.

- 2.27.2) Kusaka C. et al. Pulse Magnetic Treatment and whole-body alternating current magnetic treatment for post-herpetic neuralgia. *Jour of Japanese Biomagnetism and Bioelectromagnetic Society* 1995;8(2):29 – 38.

Emplean la suma de un campo constante producido por un imán permanente de 6 kgauss, envuelto en unas espiras que generan rapidísimos impulsos de 1000gauss, espaciados a 8 Hz.

2.28. *Psiquiatría*

- 2.28.1) Zyss T. Deep magnetic brain stimulation, the end of psychiatric electroshock therapy? *Medical hypotheses* 1994;43(2):69 – 74.

La TMS (transcranial magnetic stimulation) aparece como un ventajoso substitutivo de la ECT (electroconvulsiva therapy), por poder penetrar a mayor profundidad, ser no invasiva e indolora.

- 2.28.2) Thomas A W., Drost D J. y Prato F S. Human subjects exposed to a specific pulsed (200 microT) magnetic field: effects on normal standing balance. *Neuroscience Letters* 2001;297(2):121-124.

Se ha demostrado que campos magnéticos estáticos variables en el tiempo alteran la conducta animal y humana en aspectos como la orientación direccional, aprendizaje, percepción dolorosa (nocicepción o analgesia) y comportamientos relacionados con la ansiedad. Una serie de voluntarios (12 varones, 12 mujeres, edad de 18 a 34 años) permanecieron de pie sobre una plataforma entre tres pares de bobinas (2, 1,75 y 1,5 m) magnéticas cuadradas dispuestas ortogonalmente con el volumen del campo magnético uniforme alineado a la altura de la cabeza. El análisis de los datos muestra una mejora significativa del equilibrio normal en bipedestación o del centro de presión, con los ojos abiertos o cerrados, con un campo magnético pulsátil (PEMF) específico de 200 microT(pk). No se hallaron diferencias significativas en las pruebas del estado de control del equilibrio como la exposición a simulación/simulación de sujetos o la simulación/exposición a PEMF de una maniquí salino de 60 kg. El sexo o edad no tuvieron efectos significativos.

- 2.28.3) Prato F S., Thomas A W. y Cook C M. Human standing balance is affected by exposure to pulsed ELF magnetic fields: light intensity-dependent effects. *Neuroreport* 2001;12(7):1501-1505.

Existen indicaciones de que las respuestas conductuales y fisiológicas de animales expuestos a campos magnéticos estáticos de frecuencia extremadamente baja (*extremely low frequency magnetic fields*, ELFMF) se ven afectadas por la presencia de luz durante la exposición al campo magnético. Aquí describimos que el efecto de un ELFMF (PEMF) pulsátil específico sobre el equilibrio humano en bipedestación es modulado por la intensidad luminosa durante la exposición. Nueve voluntarios sanos permanecieron de pie sobre una plataforma con 3 grados de libertad en condiciones de baja iluminación (0,12 W/m²) durante

períodos de 2 min (ojos abiertos/cerrados, simulación/PEMF de 200 +/- 1 microTpk, orden aleatorizado). Se produjo un aumento significativo del movimiento en bipedestación durante la exposición a PEMF estando con los ojos cerrados. En un segundo experimento con 26 sujetos normales expuestos a un protocolo idéntico, pero con intensidades luminosas mayores ($0,51 \text{ W/m}^2$), se observó un efecto significativo pero opuesto.

- 2.28.4) George M S., Nahas Z., Kozel F A., Goldman J., Molloy M. y Oliver N. Improvement of depression following transcranial magnetic stimulation. *Current Psychiatry Report* 1999;1(2):114-124.

La psiquiatría como disciplina se vio transformada por el descubrimiento e introducción de la terapia electroconvulsivante (TEC) en la primera parte de este siglo. La TEC demostró que la depresión es una enfermedad cerebral y que puede tratarse con una intervención directa sobre el mismo. La evolución de la psiquiatría continuó en 1958 con el descubrimiento de la actividad antidepresiva de los inhibidores de la monoaminooxidasa. Resulta interesante señalar que, pese a que el campo de la neuropsicofarmacología siguió avanzando, el terreno de las intervenciones somáticas físicas en psiquiatría quedó rezagado. Quizá con la excepción de la fototerapia no hubo avances en la intervenciones somáticas en psiquiatría. No obstante, en 1985 Barker y cols. desarrollaron una técnica breve con un electroimán de alta intensidad capaz de despolarizar las neuronas corticales, proceso que se denominó estimulación magnética transcraneal (*transcranial magnetic stimulation*, TMS). En los últimos 10 años ha habido gran interés en si la TMS tenía propiedades antidepresivas, similares a las de la TEC pero sin provocar convulsiones ni efectos adversos cognitivos aparentes. Esta revisión examina los principios básicos en que se fundamenta la TMS y describe en qué se diferencia de la estimulación eléctrica y de otros usos de los electroimanes.

- 2.28.5) Sher L. The effects of natural and man-made electromagnetic fields on mood and behavior: the role of sleep disturbances. *Medical hypotheses* 2000;54(4):630-633.

Los campos electromagnéticos naturales y artificiales influyen en el humor y el comportamiento de personas sanas y enfermas. Un considerable número de indicios sugiere que los campos electromagnéticos afectan al sueño. El autor sugiere que las modificaciones del sueño inducidas por campos electromagnéticos pueden mediar los efectos de los campos magnéticos sobre el humor, la conducta y las capacidades cognitivas. El autor sugiere además que el desarrollo de anomalías del sueño en personas expuestas a campos electromagnéticos artificiales puede predecir el comienzo de un trastorno psiquiátrico posterior y que la intervención temprana puede evitar el inicio de una enfermedad psiquiátrica.

- 2.28.6) Folomkina A A., Danilova R A., Asabaev Ch A., Cipens G., Papsuevich O S., Kholodov Yu A., Kruglikov R I. y Sadretdinov S S. Influence of nerve growth factor fragments on learning and memory and modification of this influence by magnetic field. *Zinat. Akad. Vestis* 1988;5:83-86.

La administración subcutánea a ratas de fragmentos anafilicos de factor de crecimiento nervioso (5 mg) causó un deterioro de la respuesta pasiva de evitación y ocasionó predominantemente un efecto amnésico en un prueba de evitación activa. La exposición a un campo magnético moduló las acciones de los fragmentos de factor de crecimiento nervioso.

2.29. *Enfermedad de Alzheimer*

2.29.1) Sandyck R. Alzheimer's disease: improvement of visual memory and visuo-constructive performance by treatment with picotesla range magnetic fields. *International Journal of neuroscience* 1994;76(3-4):185-225.

Se describen casos de pacientes con la enfermedad de Alzheimer que presentaron una clara mejoría en lo que se refiere a memoria visual y gráfica, después de un tratamiento campos magnéticos de frecuencias entre 5 y 8 Hz. También se apreció mejoría en otras funciones cognitivas, que incluyen la orientación espacial, estado de ánimo, memoria inmediata y relaciones sociales.

2.29.2) Sandyk R. et al. Age related disruption of circadian rhythms: possible relationship to memory impairment and implications for therapy with magnetic fields. *International Journal of Neuroscience* 1991;59(4):259 –262.

Estudiando el porqué los campos magnéticos mejoran la memoria en personas de edad avanzada y pacientes de Alzheimer, el autor parece vislumbrar que los campos actúan a través de una mejora del biorritmo de los pacientes

2.29.3) Pennisi G. et al. Motor cortex excitability in Alzheimer disease: one year follow-up study. *Neuroscience Letters* 2002;329(3):293-296.

Pacientes aquejados de Alzheimer eran tratados por transcranial magnetic stimulation (TMS) y tratados con colinesterasa como medicamento inhibidor, observándose al cabo de un año que no se había producido un descenso en el MT o umbral motor.

2.29.4) Alagona G. et al. Transcranial magnetic stimulation in Alzheimer disease: motor cortex excitability and cognitive severity. *Neurosci. Lett.* 2001;314(1-2) :57-60.

Se estudió la influencia de la TMS en algunos parámetros de pacientes aquejados de la enfermedad de Alzheimer. Resultó que el CMCT (tiempo de conducción del motor central) no resultaba variado por el tratamiento TMS. Por el contrario, el MEPs (motor evoked potentials) se incrementaba y el SP (silent period) se reducía. Por consiguiente la TMS además de ser una técnica terapéutica es una herramienta para entender la enfermedad.

2.29.5) Pekkonen E., Huottilainen M., Virtanen J., Naatanen R., Ilmoniemi R. J. y Erkinjuntti T. Alzheimer's disease affects parallel processing between the auditory cortices. *Neuroreport* 1996;7(8):1365-1368.

En unos pacientes aquejados de enfermedad de Alzheimer se realizó un estudio consistente en visualizar el impulso auditivo con registro monoaural mediante un magnetómetro. Ambos oídos eran excitados a la vez y se medía el tiempo de latencia en ambos oídos bajo condición de estimulación repetitiva.

Resultó que el grado de deterioro por la enfermedad, se traducía en un incremento en la diferencia entre los tiempos de latencia de ambos oídos. Ello sugiere que esta diferencia pudiera ser tomada como parámetro para medir la evolución de la enfermedad.

2.30. *Enfermedad de Parkinson*

2.30.1) Sandyk R. Magnetic fields in the therapy of parkinsonism. *Int. J. Neurosci.* 1992 ;66 :209-235.

Se trata de la primera publicación en la que se expone la gran efectividad de la técnica del tratamiento extracraneal con campos magnéticos de intensidad del orden de picoteslas para tratamiento de la enfermedad de Parkinson.

El estudio se hizo con dos grupos de pacientes. Unos pacientes que eran tratados con levodopa para controlar sus diskinesias. El otro grupo estaba afectado de anoxia. A todos se les aplicaba el tratamiento por campo magnético mientras se les suministraba la medicación habitual.

El efecto beneficioso del campo magnético se mantiene algunos meses después de terminado el tratamiento.

Dado que es frecuente la concurrencia de demencia de Alzheimer en los episodios de Parkinson, y que la mejoría que el campo magnético produce abarca a todos los tipos, cabe deducir que el campo tiene un beneficioso efecto en un cierto espectro de demencias.

2.30.2) Sandyk R. Treatment with AC pulsed electromagnetic fields improves the response to levodopa in Parkinson's disease. *Int J Neurosci* 1997;91:189-197.

Se trata de un estudio realizado en casos en los que por haber alcanzado un severo grado de inhabilitación los pacientes deben ser mantenidos con dosis diarias, diurna y nocturna, de Sinemet CR. Se suele dar la circunstancia de que la dosis de la mañana funciona al 90 %, mientras que la nocturna solamente al 30 %. Si se aplica un campo magnético, la eficiencia del medicamento resulta del 130 %, siendo además uniforme a lo largo del día. El efecto del campo parece ser un incremento en la producción de dopamina, produciéndose una regresión del proceso de la enfermedad de Parkinson. El campo magnético eran grupos aislados de ondas de campo alterno.

2.30.3) Sandyk R. y Iacono R P. Reversal of visual neglect in Parkinson's disease by treatment with picotesla range magnetic fields. *International Journal of Neuroscience* 1993;73(1-2):93 – 107.

Las principales anormalidades neurofisiológicas que presentan los pacientes con la enfermedad de Parkinson son el empeoramiento progresivo de la percepción motora y de la percepción espacial. Aplicando un campo en rango de picoteslas, se produce rápido una reversión en los síntomas de Parkinson, al cabo de solamente dos o tres sesiones. El estudio se hizo con un grupo de 61 pacientes ancianos, que al cabo de pocas sesiones presentaban una mejora en la organización de los dibujos que hacían como tests. Se atribuye al efecto de los campos magnéticos sobre la glándula pineal.

2.30.4) Sandyk R. Magnetic fields in the therapy of parkinsonism. *International Journal of Neuroscience* 1992;66(3-4):209 – 235.

Se ha probado que con tratamiento de campo magnético en forma de picos con intensidad del orden de picoteslas se experimenta una rápida mejora en los síntomas del parkinsonismo, en especial en la capacidad visoespacial. El estudio se hizo en un grupo de 20 pacientes con la enfermedad de Parkinson, de los cuales dos tenían diskinesias inducidas por dosis de levodopa aplicada. Junto con los campos magnéticos se suministraba tratamiento quimioterápico habitual. Estos tratamientos resultan ventajosos para etiologías similares, como la enfermedad de Alzheimer, que tantas veces acompaña con su demencia a la enfermedad de Parkinson.

2.30.5) Sandyk R. Parkinsonian micrographia reversed by treatment with weak electromagnetic fields. *International Journal of Neuroscience* 1995; 81 (1-2): 83 – 93.

Mejora en el cuadro de capacidades motoras de los pacientes, y en especial, La micrografía (realización de dibujos a muy pequeño tamaño) acompaña muchas veces a los pacientes de Parkinson, estando asociada a una deficiencia dopaminérgica. La aplicación de campo magnético con intensidad de picoteslas produce una una muy rápida mejoría en la micrografía.

2.30.6) Sandyk R. Weak electromagnetic fields reverse visuospatial hemi-inattention in Parkinson's disease. *International Journal of Neuroscience* 1995;81(1-2):47 – 65.

Hay pacientes de Parkinson que presentan un desigual desajuste entre ambos hemisferios del cerebro; se les diagnostica viéndoles realizar dibujos en los que faltan detalles en solo uno de los lados de su dibujo, que corresponde al lado complementario del hemisferio afectado. Aplicando de campo magnético de algunos picoteslas de intensidad se reduce la diferencia de captación entre ambos hemisferios del paciente, al restaurarse las funciones de visión espacial y visorectivas.

2.30.7) Sandyk R. Reversal of a visioconstitucional déficit in Parkinson's disease application of external Magnetic fields: a report of five cases. *International Journal of Neuroscience* 1994;75(3-4):213-228.

Se produce una mejoría en las capacidades motoras de los pacientes tratados con medicamentos y con campos magnéticos muy débiles

- 2.30.8) Sandyk R. Treatment of Parkinson disease with magnetic field reduces the requirement for antiparkinsonian medications. *International Journal of Neuroscience* 1995;74(1-4):191-201.

Se puede ir disminuyendo la dosis medicamentosa que un paciente necesita mediante la aplicación de campos magnéticos, que en la medida que imponen su influencia llegan a hacer innecesarios los fármacos. El proceso de sustitución puede durar 3 – 4 semanas.

- 2.30.9) Sandyk R. Transcranial magnetic stimulation: a neurosycuiatric tool for the 21st century. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience* 1996;8(4):373-382.

La TMS (transcranial magnetic stimulation) se ha revelado una técnica potente para estimular las neuronas del cortex, con clara mejoría de la enfermedad de Parkinson y de la depresión.

- 2.30.10) Sandyk R. Treatment with AC pulsed electromagnetic fields improves olfactory function in Parkinson's disease. *Int. J. Neurosci.* 1999; 97: 225-233.

La disfunción olfativa es un síndrome frecuente en pacientes con enfermedad de Parkinson, siendo la razón desconocida. No es debido a una deficiencia en dopamina. El hecho de que la acción de los campos es especialmente intensa cuando coincide con un estado de bostezo, sugiere que el campo actúa sobre los activadores de los receptores de la dopamina.

- 2.30.11) Sandyk R. Speech impairment in Parkinson's disease is improved by transcranial application of electromagnetic fields. *Int. J. Neurosci.* 1997; 92: 63-72.

Los tratamientos de alteraciones del lenguaje, como la tartamudez, se tartan normalmente con Sertraline (75 mg/día), un inhibidor de la serotonina, el cual es añadido a la medicación dopaminérgica que incluye levodopa, selegilina, amantadina y mesilato. Se obtiene un 30 % de mejora.

Aplicando campos magnéticos del orden de picoteslas se logra una mejora de un 50 % sin aplicación de medicación alguna, pudiendo, además, ser conjunto con el tratamiento farmacológico.

2.31. *Desórdenes del sueño*

- 2.31.1) Hajdukovic R. et al. Effects of low energy emission therapy (LEET) on sleep structure. First World Congress for Electricity and magnetism in Biology and Medicine. 14 –19 June 1992, Lake Buena Vista, Florida. Pag 92.

La terapia LEET mejoró significativamente los esquemas de sueño en pacientes afectados de insomnio psicofisiológico.

- 2.31.2) Guillemineault C. y Pasche B. Clinical effects of low energy emission therapy. Bioelectromagnetics Society, 15th Annual meeting, 13 – 17 June 1993, Los Angeles, California.

Se revisan los alentadores resultados obtenidos en insomnio crónico psicossomático y se sugiere su validez para pacientes aquejados de desórdenes de ansiedad.

- 2.31.3) Alfano A P., Taylor A G., Foresman P A., Dunkl P R., McConnell G G., Conaway M R. y Gillies G T. Static magnetic fields for treatment of fibromyalgia: a randomized controlled trial. *J Altern Complement Med.* 2001;7(5):393-399. *J Altern Complement Med.* 2001;7(1):53-64.

El objetivo del estudio fue probar la eficacia de dos configuraciones diferentes de campos magnéticos estáticos producidos por colchones magnéticos como tratamiento adyuvante para reducir la percepción dolorosa y mejorar la situación funcional de individuos con fibromialgia. DISEÑO: Ensayo aleatorizado, controlado con placebo de 6 meses de duración realizado entre noviembre de 1997 y diciembre de 1998. ENTORNO Y SUJETOS: Se reclutaron adultos que cumplieren los criterios de fibromialgia establecidos en 1990 por el American College of Rheumatology remitidos a consulta y mediante anuncios en los medios de información y fueron evaluados en una clínica universitaria. INTERVENCIONES: Los sujetos del grupo Plataforma Funcional A utilizaron durante 6 meses un colchón que proporcionaba una exposición de cuerpo entero a un campo magnético estático uniforme, de baja intensidad y de polaridad negativa. Los sujetos del grupo Plataforma Funcional B utilizaron durante 6 meses un colchón que les exponía a un campo magnético estático de baja intensidad que variaba espacialmente y de polaridad. Los sujetos de los dos grupos de simulación utilizaron colchones idénticos en apariencia y textura a las plataformas funcionales pero con imanes inactivos. Estos grupos se analizaron conjuntamente. Los sujetos del grupo de Tratamiento Habitual continuaron con sus regímenes de tratamiento establecidos. MEDICIÓN DE RESULTADOS: Los resultados principales son los cambios en la puntuación a los 6 meses de las siguientes mediciones: situación funcional (*Fibromyalgia Impact Questionnaire*), puntuaciones de intensidad del dolor, recuento de puntos dolorosos a la palpación y puntuación de la intensidad dolorosa en dicho puntos. RESULTADOS: Hubo una diferencia significativa entre grupos en las puntuaciones de intensidad del dolor ($p = 0,03$), mostrando el grupo Plataforma Funcional A la mayor reducción respecto al período basal a los 6 meses. Los cuatro grupos presentaron una disminución del número de puntos dolorosos a la palpación aunque las diferencias entre grupos no fueron significativas ($p = 0,72$). Los grupos de las plataformas funcionales presentaron el mayor descenso en cuanto a intensidad total del dolor a la palpación, si bien las diferencias globales no fueron significativas ($p = 0,25$). Las mayores mejoras de la situación funcional se produjeron en los grupos de las plataformas funcionales, aunque las diferencias entre grupos no fueron significativas ($p = 0,23$).

CONCLUSIONES: Aunque los grupos de las plataformas funcionales mostraron mejoras en su situación funcional, nivel de intensidad del dolor, recuento de puntos dolorosos e intensidad del dolor en estos puntos a los 6 meses de tratamiento estas mejorías no eran significativamente diferentes, excepto el nivel de intensidad del dolor, respecto a los cambios observados en el grupo de simulación o en el grupo de tratamiento habitual.

2.32. Depresión

2.32.1) Sandyk R. et al. Magnetic fields and seasonality of affective illness: implications for therapy. *International Journal of Neuroscience* 1991;58(3-4):261-267.

En experimentación animal se ha comprobado que la glándula pineal es un sensor magnético, y que reacciona al campo magnético produciendo melatonina de forma similar a cuando se le aplica láser.

2.32.2) Conca A. et al. Transcranial magnetic stimulation TMS: a novel antidepressive strategy? *Neuropsychobiology* 1996;34(4):204-207.

Pacientes con depresión mayor, experimentaron una apreciable mejoría al ser tratados con TMS simultáneamente a una administración farmacológica estándar. Esto es especialmente comprobable justo después de la tercera dosis de TMS.

2.32.3) Triggs W J., McCoy K J., Greer R., Rossi F., Bowers D., Kortenkamp S., Nadeau S E., Heilman K M. y Goodman W K. Effects of left frontal transcranial magnetic stimulation on depressed mood, cognition, and corticomotor threshold. *Biol Psychiatry* 1999;45:1440-6.

La depresión patofisiológica puede incluir hipoactividad sináptica en el cortex prefrontal izdo. Se conoce el efecto positivo de la rTMS (rapid transcranial magnetic stimulation), pero no se sabe si esto presenta efectos secundarios. Por ello se realizó este estudio en pacientes con depresión resistente a medicación aplicándoles rTMS en el prefrontal izquierdo y observando su variación en motilidad.

El estudio mostró la no apreciación de efectos colaterales, y que la estimulación era apreciable a bastante distancia de la zona donde se aplicaba el impulso de campo magnético externo.

2.33. Dolor de cabeza, migrañas

2.33.1) Prusinski A. et al. Pulsating electromagnetic field in the therapy of headache. *Journal of Bioelectricity* 1988;7(1):127 – 128.

Se aplican campos pulsados a la totalidad del cuerpo del paciente por 20 minutos diarios durante 15 días. Se obtuvieron excelentes resultados en pacientes con dolores de migraña, stress y dolores de cabeza cervicales. No se obtuvo buen resultado en casos de dolores postraumáticos

- 2.33.2) Giczi J. y Guseo A. Treatment of headache pulsating electromagnetic field, a preliminary report. Hungarian Symposium on Magnetotherapy, 2nd Symposium, May 16 – 17, 1987, Szekesfehervar, Hungary, pag 74 – 76.

Campos pulsantes de 5 mT y 12 Hz son efectivos en la profilaxis en pacientes que sufren de dolores de cabeza cervicales y de migraña.

- 2.33.3) Grunner O. et al. Cerebral use of a pulsating magnetic field in neuropsychiatry patients with long-term headache. EEG EMG Z Elektroenzephalogr Verwandte Geb 1985;16(4):227-230.

Con una hora de tratamiento se consigue una mejora en el dolor, así como una mejor actividad EEG.

- 2.33.4) Mix E., Jenssen H L., Lehmitz R., Lakner K., Hitzschke B., Richter M. y Heydenreich A. Effect of pulsating electromagnetic field therapy on cell volume and phagocytosis activity in multiple sclerosis and migraine. Psychiatrie, Neurologie und Medizinische Psychologie 1990;42(8):457-466.

Se estudió el tratamiento con PEMF de 10 pacientes con esclerosis múltiple y 10 pacientes con migraña. En ambos grupos una sola sesión de tratamiento con PEMF indujo un significativo aumento de la fagocitosis de partículas de levadura por los granulocitos sanguíneos. El porcentaje de células fagocíticas sólo aumentó en los pacientes con migraña. En ambos grupos de pacientes 20 sesiones de tratamiento con PEMF ocasionaron una reducción de la fagocitosis de partículas, mientras que el porcentaje de células fagocíticas no se alteró. En pacientes con migraña la capacidad opsonizante del suero así como el volumen celular medio de los eritrocitos, linfocitos y granulocitos se redujo inicialmente, aunque aumentó en el transcurso de las 20 sesiones de PEMF. Los cambios bifásicos del volumen celular y de la capacidad fagocítica se interpretan como el resultado de una contrarregulación del organismo en respuesta al efecto principal de PEMF.

2.34. *Epilepsia*

- 2.34.1) Anninos P A. et al. Magnetic stimulation in the treatment of partial seizures. Internat Journal of Neurosciences 1991;60(3 – 4):141 – 171.

Se aplicaron campos magnéticos de baja intensidad al tratamiento de pacientes con ataques parciales epilépticos. Al cabo de un periodo de 10 – 14 meses se apreció una atenuación en la frecuencia de los ataques.

- 2.34.2) Sandyk R. y Anninos P A. Attenuation of epilepsy with application of external magnetic fields: a case report. International Journal of Neuroscience 1992;66(1 – 2):75 – 85.

Se han realizado estudios con Magnetoencefalografía a enfermos d epilepsia, localizándoseles el foco, que con frecuencia pasaba desapercibido en electroencefalografía convencional. Del espectro de Fourier de las señales emitidas

en el endefalograma se obtuvieron unas frecuencias. Dicho espectro de frecuencias, aplicado a un equipo electrónico, permitía aplicar a cada paciente las frecuencias de su propio espectro. Estos tratamientos con campos magnéticos, tan personalizados, de baja frecuencia, aminoran el efecto de los ataques epilépticos y disminuyen la frecuencia de los mismos.

2.34.3) Kochetkov A V., Gorbunov F E., Minenkov A A., Strel'tsova E N., Filina T F. y Krupennikov A I. The optimization of an early rehabilitation program for cerebral stroke patients: the use of different methods of magneto- and laser therapy. *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury* 2000;3:17-21.

Se utilizó magnetoterapia y tratamiento con láser en regímenes complejos y complejos-combinados en 75 pacientes tras un ictus cerebral isquémico o hemorrágico comenzando a las 4-5 semanas del ictus. Las pruebas clínicas neurológicas, neurofisiológicas y relativas a la hemodinámica cerebral de la máxima eficacia de la neurorehabilitación comprenden el tratamiento complejo magnético y con láser del ictus isquémico y hemorrágico hemisférico y del ictus hemorrágico de localización subcortical en ausencia de signos clínicos y tomográficos acusados de encefalopatía por trastorno circulatorio. El tratamiento complejo-combinado con magnetismo y láser es más eficaz para corregir la distonía espástica. La potenciación mutua del tratamiento magnético y con láser da como resultado un máximo desarrollo de la circulación colateral y de la reserva hemodinámica cerebral (84% de los pacientes). Los efectos del tratamiento complejo se manifiestan como efectos vasodilatadores arteriales y venotónicos. El tratamiento complejo con magnetismo y láser se acompaña de una reducción de la hipertrombocitemia y la hiperfibrinogenemia.

2.34.4) Grant G., Cadossi R. y Steinberg G. Protection against focal cerebral ischemia following exposure to a pulsed electromagnetic field. *Bioelectromagnetics* 1994;15(3):205-216.

Existen indicaciones de que la estimulación electromagnética puede acelerar la curación de lesiones tisulares por isquemia. Empezamos este estudio para investigar los efectos de la exposición a campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) de baja frecuencia sobre la lesión cerebral de un modelo experimental de isquemia focal transitoria en conejos (oclusión durante 2 h seguida de reperusión durante 4 h). La exposición a PEMF (280 V, 75 Hz, IGEA Stimulator) se inició a los 10 minutos del comienzo de la isquemia y continuó durante la reperusión (seis expuestos, seis controles). Se utilizaron imágenes por resonancia magnética (IRM) y estudios histológicos para medir el grado de lesión isquémica. La exposición a un campo electromagnético pulsátil atenuó el edema por isquemia cortical en las IRM de la mayoría de las secciones coronales anteriores en un 65% ($P < 0,001$). En el examen histológico la exposición a PEMF redujo el daño isquémico neuronal en esta misma área cortical un 69% ($P < 0,01$) y un 43% ($P < 0,05$) en el núcleo estriado. Los datos preliminares sugieren que la exposición de corta duración a PEMF puede tener implicaciones en el tratamiento del ictus en su fase aguda.

2.35. Apoplejía

2.35.1) Gilinskaia N Y. Magnetic fields in treatment of vascular diseases of the brain. *Magnitologiya* 1991;1:13 – 17.

Se describe la eficacia de la terapia con campo magnético en el tratamiento de pacientes aquejados con diferentes enfermedades vasculares del cerebro.

2.35.2) Gorbunov F E. et al. The effect of combined transcerebral magnetic and electric impulse therapy on the cerebral and central hemodynamic status of stroke patients in the early rehabilitation period. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1996;3:21 – 24.

La conjunción de corrientes senoidales moduladas y campos magnéticos aplicados transcerebralmente resulta muy adecuada para pacientes apoplégicos en la fase inicial de recuperación

2.35.3) Grant G., Cadossi R. y Steinberg G. Protection against focal cerebral ischemia following exposure to a pulsed electromagnetic field. *Bioelectromagnetics* 1994;15(3):205-216.

Existen indicios de que la estimulación electromagnética puede acelerar la curación de lesiones tisulares por isquemia. Empezamos este estudio para investigar los efectos de la exposición a campos electromagnéticos pulsátiles (PEMF) de baja frecuencia sobre la lesión cerebral de un modelo experimental de isquemia focal transitoria en conejos (oclusión durante 2 h seguida de reperfusión durante 4 h). La exposición a PEMF (280 V, 75 Hz, IGEA Stimulator) se inició a los 10 minutos del comienzo de la isquemia y continuó durante la reperfusión (seis expuestos, seis controles). Se utilizaron imágenes por resonancia magnética (IRM) y estudios histológicos para medir el grado de lesión isquémica. La exposición a un campo electromagnético pulsátil atenuó el edema por isquemia cortical en las IRM de la mayoría de las secciones coronales anteriores en un 65% ($P < 0,001$). En el examen histológico la exposición a PEMF redujo el daño isquémico neuronal en esta misma área cortical un 69% ($P < 0,01$) y un 43% ($P < 0,05$) en el núcleo estriado. Los datos preliminares sugieren que la exposición de corta duración a PEMF puede tener implicaciones en el tratamiento del ictus en su fase aguda.

2.35.4) Kochetkov A V., Gorbunov F E., Minenkov A A., Strel'tsova E N., Filina T F. y Krupennikov A I. The optimization of an early rehabilitation program for cerebral stroke patients: the use of different methods of magneto- and laser therapy. *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury* 2000;3:17-21.

Se utilizó magnetoterapia y tratamiento con láser en regímenes complejos y complejos-combinados en 75 pacientes tras un ictus cerebral isquémico o hemorrágico comenzando a las 4-5 semanas del ictus. Las pruebas clínicas neurológicas, neurofisiológicas y relativas a la hemodinámica cerebral de la máxima eficacia de la neurorehabilitación comprenden el tratamiento complejo magnético y con láser del ictus isquémico y hemorrágico hemisférico y del ictus hemorrá-

gico de localización subcortical en ausencia de signos clínicos y tomográficos acusados de encefalopatía por trastorno circulatorio. El tratamiento complejo-combinado con magnetismo y láser es más eficaz para corregir la distonía espástica. La potenciación mutua del tratamiento magnético y con láser da como resultado un máximo desarrollo de la circulación colateral y de la reserva hemodinámica cerebral (84% de los pacientes). Los efectos del tratamiento complejo se manifiestan como efectos vasodilatadores arteriales y venotónicos. El tratamiento complejo con magnetismo y láser se acompaña de una reducción de la hipertrombocitemia y la hiperfibrinogenemia.

2.35.5) Gilinskaia N Y.

“The therapeutic use of magnetic fields.”

Med Sestra, vol 34, 1975, pag 25 – 27.

Se describen tratamientos con campos magnéticos para terapias de problemas cerebrales, mostrando como con ellos se van espaciando y suavizando las agudizaciones de los síntomas.

2.36. *Hepatitis*

2.36.1) Il'inskii I A. et al. Experience with the use of glucocorticoids and magnetic fields in the intensive therapy of severe forms of viral hepatitis. Soviet Medicine 1978;9:72 – 74.

En pacientes que previamente habían sido tratados farmacológicamente de hepatitis vírica sin buen resultado, se comprobó que los PEMFs resultaban efectivos

2.36.2) Krasnov V V. y Shilenok A I. Magnetotherapy of hepatitis A and B in children. *Pediatriia* 1991;10:54 – 57.

Se aplica magnetoterapia a niños incursos en un tratamiento quimioterápico de hepatitis tipo vírico. El resultado es una mas rápida recuperación y ausencia de complicaciones.

2.36.3) Filimonov R M., Spakhov K V., Ruzova T K., Kontareva M I., Olenov N V. y Zaniko O O.

“The action of an ultrahigh-frequency electromagnetic field (460 MHz) in patients with a history of viral hepatitis in the early convalescence period.”

Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult, 1996, pag 18 – 19.

La utilización de los campos electromagnéticos atenúa las molestias y presenta el efecto terapéutico de acortar el período de convalecencia.

2.36.4) Mavrodii V M.

“The effect of siting of exposure to decimetre-range electromagnetic waves on the function of the hypophyseal-thyroid and adrenal systems in viral hepatitis.

Vopr Kurortol Fizioter lech Fiz Kult 1993:15 – 18.

La irradiación con campos electromagnéticos estimula la producción de hormonas que refuerzan la resistencia del organismo frente a los procesos hepáticos.

2.37. *Pancreatitis*

2.37.1) Kents V V. et al. The efficacy of the combined use of 5-fluorouracil electrophoresis and magnetotherapy in experimental pancreatitis. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1994;3:17 – 19.

El estudio se realizó en ratas. Se probó una electroforesis de fluororacil combinado con magnetoterapia. Resultó que se producía una reducción significativa de la actividad de la tripsina en sangre, de la amilasa, de la lipasa y de la cortisona. El tratamiento resultó ser efectivo.

2.37.2) Fedorov A A. et al. The use of a low frequency magnetic field in the combined therapy of chronic pancreatitis. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1990;5:28 – 30.

Se hizo un estudio con 95 pacientes crónicos de pancreatitis a los que se administraron sesiones de campos generados por el equipo Polius-1, aplicándose un campo continuo y alterno de 17.5 mT. Los tratamientos resultaron beneficiosos y sus resultados se mantenían después de un largo periodo de tiempo al final del cual se efectuaba un control.

2.37.3) Savina O G., Lapshin V P., Shcherbiuk A N. y Panchenko G A. “A low frequency pulsed current and low intensity laser radiation in the treatment of acute pancreatitis.”

Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult n°2, 1995, pag 39 – 40.

El tratamiento por corrientes eléctricas pulsantes consigue mejorar el cuadro de la pancreatitis agudas, siendo de gran interés su conjunción con tratamiento láser, pudiéndose entonces alcanzar resultados muy satisfactorios.

2.38. *Nefrología*

2.38.1) Li A A. et al. The use of an impulsed magnetic field in the combined therapy of patients with stone fragments in the upper urinary tract. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1994;3:22 – 24.

La aplicación de campos magnéticos reduce las molestias y el tiempo de recuperación en el 70 % de los pacientes.

2.38.2) Kazanin V I. Cyclicity, reversibility and compensation of magnetobiological reactions in isolated cells and tissues. *Meditinskaiia Radiología* 1986;31(4):62-66.

Se estudió la sensibilidad celular a un campo magnético constante (CMF) de 100 = 200 Oe en un cultivo de fibroblastos mediante microfilmación a interva-

los de tiempo determinados. Tal sensibilidad se expresó mediante el desarrollo de fases en la motilidad celular, estructuras e inclusiones intracelulares: una fase latente a corto plazo (10-15 min), una fase de excitación (1,5-2 h) y una fase de supresión (hasta el final de la exposición). Tras retirar el campo se observó un ligero retraso hasta que las células volvieron a su estado inicial (1,5-2 h). El desarrollo de fases, la reversibilidad y la compensación de las reacciones magnetobiológicas fueron posteriormente confirmadas mediante estudios de inhibición con un CMF de 400-600 Oe de la actividad de la succinato dehidrogenasa y la peptidasa en aislados de músculo esquelético, hígado y riñón de rata así como en un modelo de reacción del efecto citopatogénico de linfocitos de pacientes con fiebre reumática sobre fibroblastos embrionarios humanos en los que se produjo un destacado efecto inhibitor con la acción de CMF sobre el sistema de linfocitos-fibroblastos y, por el contrario, una activación al añadir linfocitos-fibroblastos expuestos previamente a 400-600 Oe de 1 a 24 horas, lo que se interpretó como una supercompensación de la inhibición de la actividad enzimática de las células inmunocompetentes. El desarrollo de fases, la reversibilidad y la compensación de las reacciones magnetobiológicas deben ser tenidas necesariamente en consideración en el desarrollo de la magnetoterapia.

2.38.3) Li A A., Nesterov N I., Malikova S N. y Kiiatkin V A. The use of an impulse magnetic field in the combined therapy of patients with stone fragments in the upper urinary tract. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1994:22-24.

El trabajo muestra detalles y resultados experimentales obtenidos con la estimulación del riñón y de la zona superior de la uretra, mediante la técnica IMF (Impulse Magnetic Field). Se ha encontrado en el 100 % de los casos que la IMF estimula los músculos de fibra lisa. Para el manejo de fragmentos de uretrolitos, se usa IMF combinado con baños de iodobromina. Una única sesión produce mejora en el 67 % de los casos.

2.38.4) Orlov L L., Alekseeva N P., Galuza G I., Memetov K A. y Berlin Iu V. "Indications for using a new magnetotherapeutic method in arterial hypertension." *Sovetskaia Meditsina* vol 8, 1991, pag 23-24.

La aplicación de campos magnéticos produce en el flujo sanguíneo algunos cambios, como la aminoración del contenido en moléculas grasas. Debido a ello se produce una disminución de la tensión arterial, lo que resulta beneficioso para los órganos.

2.39. *Eritematosis Lupus*

2.39.1) Khamaganova I V. et al. The use of a pulsed magnetic field in the treatment of lupus erythematosus. *Ter Arkh* 1995;67(10):84 – 87.

El tratamiento resulta beneficioso debido a que conjuntamente actúa como anti-inflamatorio, como analgésico, como estimulador de la microcirculación y de la respuesta inmunológica.

2.40. *Blefaritis*

- 2.40.1) Machekhin V A. et al. A new method for treating chronic blepharitis using magnetic compounds and an alternating magnetic field. *Vestn Oftalmol* 1993;109(4):16 – 18.

Se adicionó a una pomada una cierta cantidad de hierro en polvo. Se aplicaba tratamiento con campo magnético alterno, pudiendo apreciarse efectos beneficiosos.

2.41. *Diabetes*

- 2.41.1) Kirillovm I B. et al. Magnetotherapy in the comprehensive treatment of vascular complications of diabetes mellitus. *Klin Med* 1996;74(5):39 – 41.

Se realizó un estudio sobre 320 diabéticos a los que se aplicaba un tratamiento conservativo además de un tratamiento con PEMF. Se tomó como control a una población de 100 diabéticos similares a los que solamente se les administró el tratamiento convencional. Los resultados fueron favorables en el 74 por ciento de los casos, mientras que en los controles solamente fueron exitosos el 28 por ciento de los tratamientos.

- 2.41.2) Kuliev R A. y Babaev R F. A magnetic field in the combined treatment of suppurative wounds in diabetes mellitus. *Vestn Khir Im I I Grek* 1992;148(1):33 – 36.

Se realizó un estudio con 72 diabéticos con heridas purulentas, encontrándose que los campos magnéticos ayudaban significativamente, al adelantar la reducción del nivel de intoxicación, la estabilización del sistema antioxidante del organismo y los parámetros de reactividad inmune, y al culminar la cicatrización en menor periodo.

- 2.41.3) Weintraub M I. Magnetic bio-stimulation in painful diabetic peripheral neuropathy: a novel intervention- a randomized, double-placebo crossover study. *Amer. Jour Pain Mangement* 1999;9(8):8 – 17.

El estudio se hizo utilizando los pacientes un zapato con imanes insertados y el otro zapato con imanes simulados. Después de 30 días los imanes fueron invertidos de zapato. Se evaluaba el dolor de los pacientes dos veces al día. Resultó que el dolor neuropático debido a secuelas neuropáticas de la diabetes se reduce con el uso de plantillas conteniendo imanes.

- 2.41.4) Kuliev R A., Babaev R F., Fattaev M D. y Alekperova N V. The effect of the physical factors of treatment on lipid peroxidation in surgical infections in patients with diabetes mellitus. *Khirurgiia* 1991;7:20-23.

Se estudio la peroxidación lipídica en 179 pacientes con procesos quirúrgicos supurados y diabetes mellitus. Como agentes terapéuticos se utilizaron magnetoterapia, radiación con láser, ultrasonidos de baja frecuencia, irradiación ultravioleta de la sangre y aplicación de sorbentes. Se averiguó que la aplicación

de láser y la irradiación ultravioleta así como la aplicación de sorbentes a las heridas supuradas promovía la estabilización de la peroxidación lipídica, tenía un efecto más marcado en la evolución del proceso de curación y reducía la duración del tratamiento.

2.41.5) Kuliev R A., Babaev R F., Akhmedova L M. y Ragimova A I. Treatment of suppurative wounds in patients with diabetes mellitus by magnetic field and laser irradiation. Kirurgiia (Mosk) 1992:30 – 33.

En una población de 119 pacientes de diabetes mellitus con heridas supurantes se realizó un estudio comparativo de la eficacia del uso de magnetoterapia o de laser, juntos o independientes. Resultó que la mejor opción eran ambas técnicas asociadas, ya que la intoxicación disminuía y el sistema inmunológico del individuo se estabilizaba en breve tiempo.

2.42. Ginecología

2.42.1) Jorgensen W A. Electrochemical therapy of pelvic pain: effects of pulsed electromagnetic fields (PEMF) on tissue trauma. European Journal of Surgery 1994. Supplement 574:83-86.

En muchos casos de dolor pélvico, se obtienen buenos resultados con PEMF consistentes en unos breves impulsos de campo magnético aplicados en un área de 25 cm². La exposición a este campo inicia el fenómeno de la electroporación.

La eficiencia de los PEMF ha sido comprobada en casos de dismenorrea, endometriosis, infección aguda del tracto urinario inferior, hematoma postoperatorio y dispareunia persistente. En bastantes casos el tratamiento estuvo acompañado de administración de fármacos.

2.42.2) Jin Y., Wu L. y Xia Y. Clinical study on painless labor under drugs combined with acupuncture analgesia. Zhen Ci Yan Jiu 1996;21(3):9-17.

Se hizo un estudio sobre posibilidades de analgesia para mujeres embarazadas con problemas algícos que las impedían la actividad laboral, con una población de 462 pacientes. Se compararon las eficiencias de analgésicos, magnetoterapia, TENS (combinada con dihidroetorfina) , acupuntura analgésica y presopuntura auricular. Se comprobó que la eficacia iba en función de la mejora en el estado hipertónico del útero. La mejor técnica resultó ser (exitosa en el 97.5 % de los casos) la acupuntura combinada con fármacos.

2.42.3) Arslanian K N., Beloglazova S E. y Strugatskii V M.
“The potentials of early magnetotherapy following gynaecologic surgery using cyanoacrylate glue.”
Vopr Kurortol Fizioter Lech Kult, nº 6, 1988, pag 53 - 54.

La aplicación de tratamientos de magnetoterapia en el tiempo inmediato a una intervención ginecológica, resultó de clara capacidad analgésica y de acelerador de los procesos de resorción.

2.42.4) Surunova N M.

“Treatment of chronic inflammatory diseases of the female genitals with permanent magnetic field.”

Akush Ginekol n° 9, 1977, pag 62 - 63.

La incorporación de imanes resulta conveniente, sobre todo por su capacidad portenciadora del efecto de los fármacos.

2.43. *Endometrosis y endometritis*

2.43.1) Damirov M. et al. Magnetic infrared laser therapeutic apparatus (MILTA) in treatment of patients with endometriosis. Vrach1994;12:17 – 19.

Ademas del tratamiento farmacológico habitual, se aplicaba un campo magnético y una irradiación láser durante 10 – 15 minutos diarios en tandas de 10 – 14 días, repitiéndose cada 2 – 3 meses. , resultando ser de una alta efectividad en tratamiento de mujeres aquejadas de endometriosis.

2.43.2) Strugatskii V M., Strizhakov A N., Kovalenko M V., Istratov V G. y Iakubovich D V. A permanent magnetic field in the combined treatment of acute endometritis after an artificial abortion. Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult 1996;6:21 24.

El estudio se realizó con 117 pacientes con endometritis aguda a consecuencia de un aborto inducido. Resultó exitosa la combinación de la aplicación de imanes con los tratamientos convencionales, reduciéndose la estancia en el hospital a causa del acortamiento en el tiempo de cicatrización de la herida endometrial.

2.43.3) Jorgensen W A., Frome B M. y Wallach C. Electrochemical therapy of pelvic pain: effects of pulsed electromagnetic fields (PEMF) on tissue trauma. European Journal of Surgery 1994; Supplement vol 574:83-86.

Se ha obtenido de forma constante una mejoría inusualmente eficaz y duradera del dolor pélvico de origen ginecológico con exposiciones breves de las áreas afectadas a un dispositivo de inducción magnética que genera pulsos breves y nítidos de un campo magnético de una amplitud mínima para iniciar el fenómeno electroquímico de la electroporación en un área focal de 25 cm². Los tratamientos son breves, de acción rápida, económicos y en muchos casos han hecho innecesaria la cirugía. Este documento describe casos típicos como dismenorrea, endometriosis, rotura de quiste ovárico, infección aguda de vías urinarias bajas, hematoma posquirúrgico y dispareunia persistente en los que el tratamiento con un campo magnético pulsátil, en la mayoría de los casos, no ha sido complementado con medicación analgésica. De las 17 pacientes que presentaban un total de 20 episodios de dolor pélvico (11 de los cuales eran agudos, siete crónicos y dos agudos y crónicos) 16 (lo que representa 18 episodios, 90%) experimentaron una notable mejoría, espectacular incluso, mientras que dos pacientes (lo que corresponde a dos episodios) refirieron una mejoría del dolor incompleta.

2.44. *Glaucoma*

2.44.1) Bisvas et al. Possibilities of magnetotherapy in stabilization of visual function in patients with glaucoma. *Vestn Oftalmol* 1996;112(1):6 – 8.

Se utilizó el equipo ATOS, que produce un campo de 33 mT, para tratar con sesiones de 10 minutos diarios durante diez días y otros tantos de descanso. Al término de 4-5 meses de terapia se evaluaron resultados, obteniendo favorable en 29 de cada 30 pacientes, dejando la visión acuosa en menos de 1.0 dioptría.

2.44.2) Tsisel'skii Iu V. et al. The effect of a pulsed electromagnetic field on the hemodynamics of eyes with glaucoma. *Oftalmologicheskii Zhurnal* 1990;3:154-147.

En el Instituto Filatov se ha desarrollado un sistema PEMF para actuación sobre la hemodinámica del ojo. Las características del campo son: frecuencia de los impulsos 50 Hz, exposición 0,02 sec., impulso con forma de onda cuadrada, duración del impulso $4 \cdot 10^4$ seg, pendiente de subida del impulso $2 \cdot 10^4$ shape) mT/seg, densidad de flujo en el pico 9.0--8.5 mT, duración de la sesión 7 min., tratamiento completo 10 sessions. Estudiando una población de 150 pacientes, pudo comprobarse que la aplicación de los PEMF beneficiaba la hemodinámica del ojo con glaucoma, incrementando el coeficiente reográfico y el volumen relativo de pulso en un 87.99 % y en un 81.63 %, respectivamente.

2.44.3) Bisvas, Shutanto K. y Listopadova N A. Possibilities of magnetotherapy in stabilization of visual function in patients with glaucoma. *Vestn Oftalmol* 1996;112:6 – 8.

Se aplicaron tratamientos de magnetoterapia con un equipo Atos, que producía un campo de 33mT, y frecuencia de 1.0 a 1.5 Hz, a 31 pacientes de glaucoma con ángulo primario abierto, y con presión intraocular compensada.

El tratamiento era 10 sesiones de 10 minutos y se aplicaba el campo con un aplicados que permitía variar la dirección del campo entre seis direcciones. Los pacientes eran evaluados al acabar el tratamiento y tres meses después. La acuidad de la visión mejoró en 0.16 dioptrias de promedio. La visiocontrastometría fue realida con un Visokontrastometer-DT

2.45. *Tumores*

2.45.1) Bakhmutskii N G. et al. The growth dynamics of Walker carcinosarcoma during exposure to a magnetic eddy field. *Vopr Onkol* 1991;37(6):705 – 708.

En el 90 % de los casos, la exposición a campos magnéticos giratorios inhibe el crecimiento de un carcinosarcoma de Walker.

2.45.2) Omote Y. An experimental attempt to potentiate therapeutic effects of combined use of pulsing magnetic fields and antitumor agents. *Nippon Geka Gakkai Zasshi* 1988;89(8):1155 – 1156.

Se estudió el efecto de campos magnéticos débiles en la síntesis y sensibilidad de células cancerosas y agentes antitumorales. El agente tumoral (3H, 14C o 3H metotrexato) se administraba estando las células leucémicas T, expuestas al campo producido por unas espiras. La exposición al campo resultó que aumentaba la admisión de timidina.. Resultó pues que la acción del campo es incrementar la incorporación de agentes antitumorales, relentizando la proliferación de células cancerosas.

2.45.3) Ogorodnikova L S. et al. Morphological criteria of lung cancer regression under the effect of magnetotherapy. *Vopr Onkol* 1980;26(1):28-34.

Se realizó una compleja investigación (histología, histoquímica, morfológica y microscopía electrónica) en 20 pacientes con tumor canceroso de pulmón. Se administraron 20-30 sesiones de campos magnéticos aplicados previamente a la intervención quirúrgica de cancer de pulmón. Resultó que se estimuló la resistencia al cáncer por desarrollo de reacciones de adaptación no específicas. Los campos magnéticos reducen el tamaño del tumor apreciablemente.

2.45.4) Smirnova V. Anti-tumorigenic action of an eddy magnetic field. *Vrach* 1994;2:25 – 26.

La inmersión total del cuerpo del paciente en un campo magnético, acompañada con otras terapias anticancerosas convencionales (incluyendo la magnetoterapia con imanes permanentes), mejora la efectividad de los tratamientos en pacientes con diferentes malignidades.

2.45.5) Bakhmutski N G. et al. A case of successful treatment of a patient with breast cancer using a rotating electromagnetic field. *Soviet Medicine* 1991;8:86-87.

Se daban 30 exposiciones (cuerpo completo del paciente) de 60 minutos, dando luego unos días de descanso, consiguiendo así una regresión completa del tumor y de sus metástasis al término de unas 110 exposiciones.

2.45.6) Lubennikov V A., Lazarev A F. y Golubtsov V T.
 “First experience in using a whole-body magnetic field exposure in treating cancer patients.”
Vopr Onkol vol 41 n° 2, 1995, pp 140 – 141.

Debido al conocimiento previo de que un tratamiento con campos magnéticos produce alteraciones beneficiosas en el torrente sanguíneo, se adoptó un aplicador que cubría el cuerpo entero de los pacientes durante las sesiones terapéuticas. Se encontró mejor resultado con este aplicador que con otros convencionales de menor tamaño.

2.45.7) Gerasimenko V N. Use of physical therapy measures in the rehabilitation of patients having undergone radical mastectomy. *Voprosy Onkologii* 1988;34(2):213-217.

En 90 pacientes se probaron diversos tratamientos como electroterapia y magnetoterapia de baja frecuencia, masaje y ejercicio. Se trataba de casos pos-

toperatorios de masectomía total con algún problema de movilidad y dolor en el hombro. Los tratamientos resultaron efectivos.

2.45.8) Ogorodnikova L S. et al. Morphological criteria of lung cancer regression under the effect of magnetotherapy. *Voprosy Onkologii* 1980;26(1):28-34.

Se aplican los campos magnéticos como postoperatorio de intervenciones de cáncer de pulmón, para incrementar la resistencia anti tumor del organismo. Con 20 – 30 sesiones los resultados son buenos, explicable porque un altamente diferenciado adenocarcinoma ha probado ser muy sensible a la acción del campo magnético.

2.46. *Cardiovascular/Enfermedades Coronarias*

2.46.1) Vasil'eva E M. et al. The effect of a low frequency magnetic field on erythrocyte membrane function and on the prostanoïd level in the blood plasma of children with parasystolic arrhythmia. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1994;2:18 – 20.

Se administraron sesiones de campo magnético de baja frecuencia a niños parasistólicos, comprobándose una mejora en los procesos humorales y celulares que regulan el ritmo cardiaco.

2.46.2) Kirillov Y B. et al. Magnetotherapy in obliterating vascular diseases of the lower extremities. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1992;3:14 – 17.

Utilizando un campo magnético complejo generado por el equipo Aurora-MK-01 en tratamiento de extremidades inferiores en estado pre gangrena, se comprobó una mejora en los capilares periféricos en 75/82 pacientes

2.46.3) Konova O M. y Khan M A. The effect of a low frequency alternating magnetic field on the autonomic nervous system in children with primary arterial hypertension. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1996;2:8 – 10.

Campos magnéticos alternos de baja frecuencia han mostrado un favorable efecto en niños con hipertensión arterial primaria, al mostrar una atenuación de los síntomas simpáticos y vagotónicos.

2.46.4) Ivanov S G. et al. The magnetotherapy of hypertension patients. *Ter Arkh* 1990;62(9):71 – 74.

Tratando con magnetoterapia se disminuye la tensión arterial en pacientes en Etapa II, beneficiando la hemodinámica central y la microcirculación.

2.46.5) Orlov L L. et al. Indications for using a new magnetoterapeutic method in arterial hypertension. *Soviet Medicine* 1991;8:23 – 24.

Utilizaron un campo magnético con intensidad entre 3 y 10 mT y frecuencia de 10 a 100 Hz, en dosis de 25 minutos diarios durante 10 – 20 sesiones. Resulto positivo en el 76 % de una población de pacientes hipertensos.

- 2.46.6) Alizade I G., Careaba N T. y Alieva S N. The magnetic treatment of autologous blood in the combined therapy of hypertensive patients. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1994;1:32 – 33.

La reinfusión de sangre autóloga sometida a una exposición de campo magnético en pacientes hipertensos, ha resultado positiva en el 92 % de los casos estudiados.

- 2.46.7) Gabrielian S S. et al. Use of low frequency magnetic fields in the treatment of patients with atherosclerotic encephalopathy.

Fueron usados campos de baja frecuencia con intensidad de 25 mT. El tratamiento consistía en 10 – 15 minutos diarios con un total de 10 – 15 sesiones. Los resultados mostraron mejoría en dolor en pecho, vértigo, dolor de cabeza y otros síntomas.

- 2.46.8) Abramovich S G. The characteristics of the geroprotective action of magnetotherapy in elderly patients with combined cardiovascular pathology. *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury* 1999;5:7-9.

Se estudia en una población de 66 pacientes de edad los efectos de la exposición a campos magnéticos terapéuticos sobre la hemodinámica central, las funciones cardiacas sístole y diástole, reactividad miocárdial, microcirculación y edad biológica del sistema cardiovascular. La magnetoterapia se mostró como un geroprotectivo a causa de mejorar la microcirculación, la reactividad miocárdial, y la hemodinámica central, reduciendo además la edad biológica del sistema cardiovascular.

- 2.46.9) Alizade I G. y Kareaba N T. The effect of the joint use of plasmapheresis and magnetic treatment of the blood on the indices of blood rheology and hemodynamics in hypertension patients. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1994:10 – 12.

El tratamiento consistió en una combinación de plasmaforesis y tratamiento por campo magnético con vistas a la mejora de la hemoreología y hemodinámica de 41 pacientes con hipertensión esencial en Etapa II. El tratamiento resultó positivo para la presión arterial sin dependencia de aspectos de los pacientes como el tipo hemodinámico, la densidad sanguínea, la elasticidad y las propiedades dinámicas.

- 2.46.10) Alizade I G. y Kareaba N T. Experience in the use of autotransfusions of laser-irradiated blood in treating hypertension patients. *Lik Sprava* 1994:29 – 32.

En pacientes con hipertensión se probó la autotransfusión de sangre irradiada con luz láser, a fin de facilitar una estabilización de la presión sanguínea a un 24 % de su valor inicial. Esta caída estuvo acompañada por una mejora en el estado general del paciente, mostrando una mayor efectividad de los preparados anti-hipertensivos, con mejores índices inmunológicos y hemológicos. Después de haber abandonado el hospital, los efectos persistían a los 4 – 8

meses. Estos resultados sugieren que la aplicación de la autotransfusión con laser, debe hacerse acompañada de otras técnicas.

2.46.11) Egorova G I., Komarova L A. y Bogdanov V V.

“Effect of magnetotherapy on the cardiovascular system of patients with hypertension.”; *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury* n° 6, 1982, pag 44-6.

La aplicación de campos magnéticos produce en la sangre apreciables cambios en su composición, sobre todo una disminución en la cantidad de triglicéridos. Debido a estos cambios disminuye la tensión arterial y se ejerce un efecto terapéutico sobre el sistema cardiovascular.

2.47. *Insuficiencia venosa crónica*

2.47.1) Pasyнков E I. et al. Therapeutic use of alternating magnetic field in the treatment of patients with chronic diseases of the veins of the lower limbs. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1976;5:16 – 19.

Se aplicaron campos magnéticos alternos durante 15-20 minutos diarios por un periodo de 20 días en pacientes afectados de insuficiencia venosa crónica, venas varicosas, y úlceras tróficas. De un total de 271 pacientes, 236 obtuvieron excelentes resultados, 34 obtuvieron resultados aceptables, t 1 no experimentó ningún efecto.

2.47.2) Kirillov Y B. et al. Magnetotherapy for obliterative disease of the vessels of the legs. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1992;3:14 – 17.

Se aplicó un campo de 0.5 – 5 mT de intensidad con una frecuencia 1 – 2 Hz en aplicaciones de 15 – 20 minutos diarios en la totalidad del cuerpo. El número de días de tratamiento fue de 15 – 20. La circulación mejoró en el 75-82 % de los pacientes. Antes de terminar el tratamiento, el 52 % de los pacientes inicialmente incapaces de caminar una distancia de 500 metros, habían alcanzado la capacidad de cubrir dicha distancia.

2.47.3) Rappaport Z H. y Young W. Effect of pulsed electromagnetic fields on calcium tissue changes in focal ischaemia. *Neurological Research* 1990;12(2):95-98.

Se investigó el efecto de un campo electromagnético pulsátil (PEMF) (parámetros: 27,1 MHz, 585 W de potencia máxima y pulsos de 65 microsegundos, 400 veces por segundo) en ratas sometidas a oclusión de la arteria cerebral media (*middle cerebral artery occlusion*, MCAo). Se practicó MCAo microquirúrgica a cuatro grupos de ocho ratas cada uno. Dos grupos se trataron con un generador de PEMF durante 2 h tras el inicio de la isquemia y se sacrificaron a las 4 y 24 horas de la MCAo, respectivamente. Los otros dos grupos también fueron sacrificados con los mismos intervalos de tiempo. Se determinó el contenido regional tisular cerebral de sodio, potasio y calcio mediante espectrofotometría atómica. A diferencia de los resultados en la contusión de la médula espinal

nal, no se halló una diferencia significativa entre los grupos tratados con PEMF y los grupos no tratados. El tratamiento con PEMF no alteró el incremento en un 300% del contenido en peso de calcio en tejido seco observado en el tejido infartado a las 24 h. El contenido regional de agua cerebral se midió por el método del peso seco. Se observó una reducción regional inconstante del contenido de agua cerebral en las ratas tratadas con PEMF.

- 2.47.4) Stiller M J., Pak G H., Shupack J L., Thaler S., Kenny C., Jondreau L R. y Perelman O. A portable pulsed electromagnetic field (PEMF) device to enhance healing of recalcitrant venous ulcers: a double-blind, placebo-controlled clinical trial. *British Journal of Dermatology* 1992;127(2):147-154.

Se valoró la eficacia clínica y seguridad del tratamiento de úlceras de las piernas con un campo electromagnético pulsátil (*Pulsed Electromagnetic Limb Ulcer Therapy, PELUT*) en un estudio multicéntrico prospectivo, aleatorizado, doble ciego y controlado con placebo de la cicatrización de úlceras venosas recidivantes de las extremidades inferiores. Durante este ensayo clínico de 8 semanas se utilizó el dispositivo portátil en el domicilio durante 3 horas diarias como tratamiento adyuvante de la cura de las úlceras. Se valoró el área lesionada, la profundidad de la úlcera y la intensidad del dolor las semanas 0, 4 y 8. En la semana 8 el grupo con tratamiento activo presentó una disminución del 47,7% del área de la superficie lesionada frente al 42,3% de aumento con placebo ($P < 0,0002$). Las evaluaciones globales de los investigadores indicaron que el 50% de las úlceras del grupo con tratamiento activo cicatrizaron o mejoraron marcadamente frente al 0% en el grupo placebo mientras que en el grupo con tratamiento activo empeoró el 0% frente al 54% en el grupo placebo ($P < 0,001$). Se observó una disminución significativa de la profundidad de la herida ($P < 0,04$) y de la intensidad del dolor ($P < 0,04$) a favor del grupo con tratamiento activo. A los pacientes cuyas úlceras mejoraron significativamente tras 8 semanas se les permitió seguir el tratamiento doble ciego durante 4 semanas más. Once pacientes con tratamiento activo y uno con placebo siguieron el tratamiento hasta la semana 12 y el grupo con tratamiento activo siguió mejorando. No se notificaron acontecimientos adversos atribuibles a este dispositivo. Concluimos que el dispositivo PELUT es un adyuvante seguro y eficaz del tratamiento no quirúrgico de las úlceras venosas recidivantes.

- 2.47.5) Pasyukov E I., Konstantinova G D. y Vlasova E I.
 “Use of the Pole-1 apparatus for magnetotherapy in chronic venous diseases of the lower extremities.”
Novosti Meditsinskoi Tekhniki vol 3, 1977, pag 61-63.

La aplicación de campos magnéticos reduce los depósitos de colesterol que se depositan en el interior de los vasos en el 60% de los pacientes sometidos a control.

- 2.47.6) Duran V., Zamurovic A., Stojanovic S., Poljacki M., Jovanovic M. y Durisic S. Therapy of venous ulcers using pulsating electromagnetic fields--personal results. *Medicinski Pregled* 1991;44(11-12):485-488.

Los autores revisan los resultados del tratamiento de las varices venosas mediante un campo electromagnético pulsátil (*Pulsating Electromagnetic Field*, PEMF) mediante el dispositivo IVEMT-2 utilizado en el Departamento de Dermatovenereología en Novi Sad y en el Instituto de Rehabilitación Médica. El tratamiento se llevó a cabo en 18 pacientes, 5 varones y 13 mujeres, con una media de edad de 56 años, todos con varices venosas de origen postrombótico. El tratamiento mediante PEMF comprendió 10 sesiones por paciente, cada una de 15 min de duración. El seguimiento de los resultados se hizo midiendo la superficie de variz antes y después del tratamiento. Antes del tratamiento el número de varices fue de 26 y después del mismo fue de 20. La superficie total de las varices antes del tratamiento era de 55.183,90 mm², con una superficie media de 2.122,46 mm². Después del tratamiento 6 varices epitelizaron, mientras que la superficie total fue de 36.902,51 mm². La superficie media de las varices tras el tratamiento fue 1.845,13 mm². La tasa de reducción de superficie de la variz tras el tratamiento fue del 33,13%. Considerando el número de pacientes los resultados obtenidos son preliminares y reflejan los efectos beneficiosos de un PEMF en la epitelización de varices venosas.

2.47.7) Pokalev G M., Raspopina L A., Imeni S S. y Korsakova S S. Regional cerebral angiodystonia in the practice of a neuropathologist and therapist. Zhurnal Nevropatologii i Psikhiatrii 1990;90(7):108-112.

Se examinó a 108 pacientes con angiodistonia cerebral regional utilizando mediciones reoencefalográficas de la presión temporal y venosa junto con pruebas funcionales (nitroglicerina y ergometría con bicicleta estática). Se diferenciaron tres tipos de anomalías relacionadas con la angiodistonia cerebral regional: disfunción del flujo aferente, trastorno del flujo venoso eferente e hipertonia venosa funcional inicial. Los pacientes fueron tratados sin fármacos (electroanalgesia, magnetoterapia, iontoterapia).

2.47.8) Tereshina L G., Oranskii I E., Kozlova L A. y Veselkova E E. Physical factors in the treatment of patients with osteoarthritis and venous insufficiency. Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury 1995;4:20-22.

La evaluación comparativa de dos variantes de tratamiento de la artrosis con modalidades múltiples da preferencia a la combinación de radiación con ondas decimétricas y baños efervescentes sobre la combinación de magnetoterapia con baños efervescentes.

2.48. Urología

2.48.1) Seregin S P. y Panov A V. The correction of prostatic hemodynamics in chronic prostatitis. Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult 1997;2:20 – 21.

Se estudian pacientes en los que problemas de circulación originaron prostatitis crónica, ensayándose en magnetoterapia rectal dos posibilidades, una fre-

cuencia constante de 5000 Hz y una frecuencia variable de 1 a 20 kHz. Los mejores resultados (90.2%) se consiguieron combinando ambas técnicas.

2.48.2) Gorpichenko I I. The use of magnetic devices in treating sexual disorders in men. *Lik Sprava* 1995;3 – 4:95 – 97.

Se realizó un estudio con 105 pacientes con problemas sexuales a los que se les administró magnetoterapia con los equipos Biopotenzor, Eros y Bioskan-1. El tratamiento daba buenos resultados en el 70-80% de los pacientes. La magnetoterapia mostró efectos beneficiosos con respecto al flujo sanguíneo en las cavidades cavernosas.

2.48.3) Karpukhin I V. y Bogomol'nii V A. Local vacuum magnetotherapy of impotency patients. *Vopr Kurortol Lech Fiz Kult* 1996;2:38 – 40.

Se superponían en el tratamiento un campo de 30mT a 6 Hz con una aplicación de vacío a 180-260 mm Hg durante 10-12 minutos por día. Un tratamiento eran unas 12 – 15 exposiciones. Resultados: recuperación de la función sexual en el 71 % de los pacientes, mejoría en 17 % y sin efecto en otro 17 %. Para pacientes que solo habían recibido tratamiento con vacío, los tres porcentajes fueron 51, 24 y 24, respectivamente.

2.48.4) Gorpichenko I I. The use of magnetic devices in treating sexual disorders in men. *Lik Sprava* 1995;3 – 4:95 – 97.

Se comparó la eficiencia de 3 artilugios compuestos de imanes permanentes, denominados “Biopotenzor”, “Eros” y “Bioskan – 1”. Todos los pacientes llevaron puestos los artilugios durante 3 semanas. La recuperación de la función sexual tuvo lugar en el 38, 31 y 36 % respectivamente. Se observó mejoría en el 42, 39 y 47 %.

2.48.5) Karpukhin I V. y Bogomol'nyi V A. Physical factors in the treatment and rehabilitation of patients with chronic prostatitis complicated by impotence. *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury* 1999;2:25-27.

Se administró a 103 pacientes con prostatitis crónica complicada con disfunción eréctil un tratamiento combinado con masaje con ondas de choque, aplicación de lodo y magnetoterapia local en vacío. Se averiguó que esta combinación estimula el funcionalismo sexual y urodinámico de las vías urinarias bajas produciendo un efecto antiinflamatorio. Estos efectos beneficiosos permiten recomendar los agentes físicos anteriores para tratar a los pacientes con prostatitis crónica y disfunción eréctil.

2.48.6) Karpukhin I V. y Bogomol'nyi V A. The sequential use of local vacuum magnetotherapy and papaverine electrophoresis with sinusoidal modulated currents in impotence. *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury* 1997;4:24-25.

Se examinó y trató a 105 pacientes con prostatitis crónica inespecífica mediante electroforesis con papaverina utilizando corrientes sinusoidales

moduladas (*sinusoidal modulated currents*, SMC) y magnetoterapia local en vacío (*local vacuum magnetotherapy*, LVMT). La electroforesis con papaverina con SMC y la LVMT estimularon la circulación en los cuerpos cavernosos. La máxima estimulación se logró con el uso consecutivo de LVMT y electroforesis. La LVMT seguida de electroforesis mantuvo una buena circulación en los cuerpos cavernosos durante las 5-6 h siguientes al procedimiento, durante las cuales se observaron varias erecciones espontáneas.

2.48.7) Sandyk R. AC pulsed electromagnetic fields induced sexual arousal and penile erections in Parkinson's disease. *International Journal of Neuroscience* 1999:139 – 149.

El trastorno sexual es común en los pacientes con la enfermedad de Parkinson (PD) desde que los mecanismos dopaminérgicos del cerebro están implicados en la regulación de la conducta sexual. La activación de los sitios receptores D2 de la dopamina, con la descarga de la resultante oxitoxina del núcleo del hipotálamo paraventricular (PVN), induce excitación sexual y las respuestas de erección, tanto en los experimentos con animales como en los humanos. En los pacientes de Parkinson, la administración hipodérmica de apomorfina, un receptor agonista de la dopamina D2, induce excitación sexual y erecciones del pene. Se ha sugerido que la eficacia terapéutica de administración de pulsos transcraneales de corriente alterna de campos electromagnéticos (EMFs) con una densidad de flujo de picoteslas, se debe a la activación de los sitios del receptor D2 de la dopamina, los cuales son el principal punto para la acción de la dopamina con la farmacopea habitual para la enfermedad de Parkinson.

En este estudio se reportan dos casos de dos pacientes que experimentaban disfunción sexual, muy refractaria al tratamiento, habitual en los casos de la enfermedad de Parkinson, con selegilina, levodopa y tolcapone. Sin embargo, breves administraciones de impulsos EMFs tipo alterno con intensidad del orden de picoteslas, indujeron en estos pacientes deseo sexual y erecciones nocturnas espontáneas. Estos resultados confirman la idea de que la activación central de los sitios receptores D2 de la dopamina, están asociados con la eficacia terapéutica de los pulsos de campo tipo alternos. De otro modo, y dado que la actividad sexual está predominantemente localizada en el hemisferio cerebral derecho, puede suponerse que la disfunción va asociada a una escasez de dopamina en el lado derecho. Por ello al regularizar el hemisferio para subsanar problemas motores, se ve mejorada la función sexual.

2.49. *Tuberculosis*

2.49.1) Solov'ena S. et al. Use of constant magnetic field for increasing the effectiveness of chemotherapy in patients with pulmonary tuberculosis. *Probl Tuberk* 1987;8:53 – 56.

Se colocaba sobre la piel del pecho del paciente un imán de 40 mT (o dos si se trataban ambos pulmones) en zona de piel caliente por un periodo de 1 – 3

meses, solapado con un tratamiento quimioterápico. Entre los que recibieron ambos tratamientos, curaron una tercera parte. Entre los que recibieron solamente el tratamiento quimioterápico convencional, solamente curaron la quinta parte.

2.50. Bronquitis

2.50.1) Iurlov V M. et al. The efficacy of the use of low frequency electromagnetic fields in chronic bronchitis. *Voen Med Zh* 1989;3:35 – 36.

Resultan eficaces los PEMF y los campos de baja frecuencia en pacientes con bronquitis crónica, asociándolo a tratamientos farmacológicos convencionales. Se administraban exposiciones de 15-20 min diarios durante 15 días .

2.50.2) Krupennikov A I.

“Low-frequency magnetotherapy in the rehabilitative treatment of patients with nonspecific lung diseases.”

Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury nº 6, 1988, pag 26-31.

El tratamiento con magnetoterapia resulta muy eficaz para mejorar el funcionamiento pulmonary, siendo la mejor práctica el suministro de dos dosis diarias breves, de diez minutos cada una, por la mañana y por la noche.

2.50.3) Moloktov V N., Kuzhko M M., Kogosova L S. y Petrashenko A I. Magnetophore therapy in the combined treatment of patients with obstructive bronchial diseases and its effect on immunological reactivity. *Ter Arkh.*1984;56:20-25.

Se hizo un seguimiento de 93 pacientes con bronquitis obstructiva crónica y asma bronquial, a los cuales se les administró un tratamiento con Magnetofototerapia combinado con otros tratamientos patogénicos como, respiración externa, respuesta cardiovascular y reacción inmunológica.

Se pudo comprobar que la magnetofototerapia es una terapia eficaz contra la obstrucción bronquial, favoreciendo la recuperación del paciente y su mejora de la función respiratoria y característica de su curva espirométrica. También ejerce una influencia favorable en algunas componentes de la inmunología.

2.50.4) Moloktov V N., Kuzhko M M., Kogosova I S. y Petrashenko A I. Magnetophore therapy in the combined treatment of patients with obstructive bronchial diseases and its effect on immunological reactivity. *Ter Arkh* 1984;56(10):20-25.

Se estudió en una población de 93 pacientes aquejados de bronquitis obstructiva y asma bronquial con la combinación de magnetoterapia y fototerapia. Se estudió el efecto sobre progreso de la enfermedad, función respiratoria externa, y evolución de la curva de espirometría.

Se pudo comprobar que la magnetofototerapia es efectiva contra la obstrucción bronquial, favoreciendo la función respiratoria y mejorando la curva espirométrica. También mejora la inmunología del paciente.

2.51. Problemas respiratorios

2.51.1) Mozhaev G A. y Ilu Tikhonovskii. The prevention and treatment of suppurative inflammatory complications in the brochopulmonary system during prolonged artificial ventilation. *Anesteziol Reanimatol* 2001;4:47-51.

Los campos magnéticos de baja frecuencia, pueden resolver complicaciones broncopulmonares e inflamatorias, y mejor aún, prevenirlas. Su efecto ventajoso es la eliminación de efectos desfavorables consecuencia de la ventilación controlada sobre la resistencia natural y la respuesta inmunológica del tracto respiratorio a causa de la normalización de las propiedades fisicoquímicas de la secreción del árbol traqueobronquial. También repara la capacidad funcional de los fagocitos.

2.51.2) Sandyk R. y Derpapas K. Successful treatment of respiratory dyskinesia with pico Tesla range magnetic field. *International Journal of neurosciences* 1994;75(1-2):91-102.

La diskinesia respiratoria, caracterizada por manifestar un ritmo respiratorio muy irregular, ocurre con frecuencia en la vejez y se manifiesta como consecuencia de un tratamiento neuroléptico crónico o con medicamentos antisicóticos. No ha sido establecido hasta la fecha un tratamiento claro contra la diskinesia. En el presente trabajo se muestra un tratamiento consistente en la aplicación de campos magnéticos con intensidades del orden de picoteslas. Se supone que la mejora que consigue, es debido a que la glándula pineal capta el campo, y regulariza el ritmo respiratorio.

2.51.3) Korpas J., Salat D., Sadlonova J., Vrabec M. y Kudlicka J. The sensitivity of tussiphonography for assessing the effectiveness of treatment. *Bratislavske Lekarske Listy* 2000;101(2):71-77.

Nuestros anteriores estudios han demostrado que el tusinograma no solo es adecuado para detectar situaciones patológicas de las vías respiratorias sino también para valorar la efectividad del tratamiento. El objetivo de este estudio era evaluar las posibilidades de la tusinografía para detectar cambios patológicos ya existentes en las vías respiratorias y los pulmones. Por lo tanto, se compararon las modificaciones de los índices sonoros de la tos voluntaria con pruebas de función pulmonar en un grupo seleccionado de asmáticos antes y después de un tratamiento electromagnético pulsátil en el que el efecto del tratamiento sobre la función pulmonar fuese mínimo. Tras aplicar la magnetoterapia a 18 pacientes, en los que la capacidad espiratoria forzada aumentó un 7,3% y el flujo respiratorio pico aumentó un 31,7% en promedio, la intensidad del sonido de la tos voluntaria disminuyó un 37,8%, la duración de la tos se acortó un 11% y el patrón sonoro mostró una tendencia a la normalización. La mejoría de los

mencionados índices de la tos no se produjo en 17 pacientes tratados también con magnetoterapia pero que al mismo tiempo sufrían una infección vírica respiratoria ni en los 22 pacientes tratados solamente con climatoterapia y antiasmáticos. Los cambios de las curvas flujo-volumen de los pacientes no estaban en estrecha relación con los demás índices cuyo seguimiento se realizó. El análisis de la correlación mostró una relación funcional entre las diferencias relativas del sonido de la tos y algunas pruebas de función pulmonar. Los resultados confirman la idoneidad de la tusinografía para señalar incluso ligeros cambios patológicos de las vías respiratorias.

2.51.4) Kantor R S. y Misztela A. Clinical application of magnetic pulsing fields in paranasal sinusitis treatment. *Otolaryngol Pol* 1997;51(Suppl 25):299-302.

Se estudian las posibilidades de los PEMF como tratamiento para problemas de sinusitis, tanto como técnica única, como de técnica de acompañamiento.

2.52. *Síndrome de Inmunodeficiencia adquirida (SIDA)*

2.52.1) Jacobson J I. A magnetic approach to AIDS. *Panminerva Med* 1995;37:22 – 27.

La ecuación de resonancia de Jacobson nos aporta una visión completa de la magnetoterapia. En base a ella se considera una posible aplicación para tratamiento del SIDA.

2.52.2) Babincová M. y Machová E. Magnetoliposomes may be useful for elimination of HIV from infected individuals. *Z. Naturforsch* 1988;53:935-936.

Se propone un tema para tratamiento del SIDA adquirido, consistente en introducir magnetoliposomas en torrente sanguíneo portando virus de inmunodeficiencia humana y receptores de proteínas . Después de un tiempo de espera, necesario para unir el virus y las células infectadas por el virus a los liposomas, se le efectúa al paciente unos tratamientos similares a la diálisis, que vale para retirar los liposomas con su indeseable carga a través de un tubo donde hay lana de acero inoxidable. En esta zona existe un campo magnético no homogéneo creado por una bobina recorrida por una corriente. Con esto se procede la reducción de las células infectadas por el virus del SIDA.

2.53. *Cáncer*

No conocemos referencias de resultados del uso de campos magnéticos como única terapia en tratamientos de cáncer, lo que sí está publicado se refiere a recientes estudios sobre la utilización de los campos como herramienta coadyudante de otras terapias. Los estudios son mas de laboratorio que de ensayos clínicos realizados con un protocolo, pero resultan ser enormemente sugestivos.

2.53.1) Ruiz-Gomez M J., de la Peña L., Prieto-Barcia M I., Pastor J M., Gil L. y Martínez-Morillo M. Influence of 1 and 25 Hz, 1.5 mT magnetic fields on

antitumor drug potency in a human adenocarcinoma cell line. *Bioelectromagnetics* 2002;23(8):578-585.

Se estudió el efecto de la aplicación de campos magnéticos en quimioterapias del cáncer, como posibilidad de intensificar el efecto de fármacos anticancerígenos. Se usaron campos en forma de picos de pulsos de intensidad 1.5 mT aplicados con una frecuencia de 1 a 25 hz. El estudio se hacía con cultivos in vitro de líneas de células de adenocarcinoma humano de colon. Los fármacos usados fueron Vincristina, Mitomicina C y Cisplatino. Resultó que los campos con 1hz aumentaban la citotoxicidad de los tres fármacos si eran aplicados simultáneamente, mientras que si se aplicaban en tiempo diferente a la administración, su eficacia era muy moderada.

2.53.2) Leman E S., Siskin B F., Zimmer S. y Anderson K W. Studies of the interactions between melatonin and 2 Hz, 0.3 mT PEMF on the proliferation and invasion of human breast cancer cells. *Bioelectromagnetics* 2001;22(3):178-184.

Se estudió la influencia de los PEMF (0.3 mT y 2 hz) sobre la acción de la melatonina en la moderación de la proliferación invasiva de células de cáncer de mama. El resultado fue que los campos moderan muy ligeramente o no actúan sobre el proceso de la metástasis de las células cancerosas. Pero en cambio, mejoran la resistencia del tejido circundante, de forma que son muy recomendables para evitar la metástasis secundaria.

2.53.3) Traitcheva N., Angelova P., Radeva M. y Berg H. ELF fields and photooxidation yielding lethal effects on cancer cells. *Bioelectromagnetics* 2003;24(3):148-150.

Se estudiaron las diferencias en eficacia de tres tratamientos. El primero era la aplicación de un campo magnético alterno senoidal de 50 hz con amplitudes de 10 a 55 mT. El segundo era la administración de un agente citostático. El tercero era un fármaco tipo fotodinámico (su efecto es activado con la luz), de probada acción citostática.

Resultó que el campo coadyudaba claramente a ambos fármacos. Ello no supone que ayude a cualquier terapia, pues se mostro ineficaz su adición en tratamientos con hiperacididad e hipotermia.

2.53.4) Pang L., Baciuc C., Traitcheva N. y Berg H. Photodynamic effect on cancer cells influenced by electromagnetic fields. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B, Biology* 2001;64(1):21-26.

Se probaron dos tipos de campos magnéticos en conjunción con dos tipos de agentes citotóxicos del tipo fotosensible. Las células eran humanas del tipo leucémicas K562 y linfomas U937. Los campos aplicados eran de dos tipos, pulsos rectangulares, y en otros ensayos, campos senoidales.

Se observó una importante sinergia en todos los casos, por lo que se requieren posteriores estudios para establecer una rutina optimizada para el aprovechamiento de esta sinergia.

2.54. *Influencia del campo magnético sobre la bioquímica del cerebro, según la experimentación animal.*

2.54.1) Martynyuk V S. y Martynyuk S B. Influence of ecologically significant variable magnetic field on metabolic parameters in brain of animals. *Biofizika* 2001;46(5):910-914.

Se estudia la influencia que sobre el metabolismo del cerebro de muchos animales tiene un campo magnético de 8 hz, que es precisamente la frecuencia del campo ecológico, es decir, la frecuencia de la componente oscilante del campo natural terrestre. Por el contrario, el hemisferio derecho del cerebro está controlado por los campos de frecuencia extremadamente baja.

2.54.2) Borets V M., Ostrovskii V Yu., Bankovskii A A. y Dudinskaya T F. Brain monoamine oxidase activity under the effect of various magnetic fields. *Zdravookhranenie Belorussii* 1986;3:43-45.

La exposición de unas ratas a un campo magnético constante las suprime el proceso de la aminación en el cerebro, pero no interfiere con el afecto de la noradrenalina. Los cambios en la monoaminación de la oxidasa eran transitorios y reversibles.

2.54.3) Narayan P V., Sanker Subrahmanyam S., Satyanarayana M., Rajeswari K. y Srinivasan T M. Effects of pulsating magnetic fields on the physiology of test animals and man. *Current Science* 1984;53(18):959-965.

Se realizaron con ratas albinas y con individuos humanos algunos experimentos sobre los efectos de campos magnéticos pulsados de frecuencia extremadamente baja (0.01 – 10 hz) y muy baja densidad de flujo, de 5 a 50 nanoteslas (el campo natural terrestre es de unos 400 microteslas). Se examinó el efecto de la orientación del eje de simetría del cerebro con respecto a la dirección del campo pulsante y del campo natural terrestre sobre los procesos electrofisiológicos, neuroquímicos y bioquímicos. El efecto de los campos parecieron ser especialmente intensos cuando el cerebro estaba orientado hacia el Norte o hacia el Este.

2.54.4) Semm P. Neurobiological investigations on the magnetic sensitivity of the pineal gland in rodents and pigeons. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular & Integrative Physiology* 1983;76A(4):683-689.

Se estudió el efecto de cambios del entorno natural magnético sobre los procesos electrofisiológicos y bioquímicos, utilizando hamsters y palomas como cobayas. Aproximadamente el 20 % de las células de la glándula pineal notaban la variación en intensidad y orientación del campo magnético terrestre. La actividad de la glándula pineal se valoraba midiendo la actividad secretoria de la glándula y la actividad de la N-acetiltransferasa sobre la serotonina.

Si durante la noche se procedía a una inversión de la componente horizontal del campo magnético terrestre se daba lugar a un decrecimiento de ambos parámetros. Se puede deducir que que muy probable que el sistema nervioso

central sea el responsable de la detección/transmisión de la información magnética ambiental.

2.54.5) Nosova E A. y Kurkina L M. Effect of a constant magnetic field on some aspects of energy and nitrogen metabolism in the cerebral hemispheres of rats. *Kosmicheskaya Biologiya i Aviakosmicheskaya Meditsina* 1979;13(6):72-74.

Se sometió a los animales a un campo constante de 3000 Oersted de intensidad durante tres horas. El efecto resultó ser un incremento en el contenido en ácido láctico y un ligero decrecimiento del ATP en ambos hemisferios. Otros 6 compuestos sometidos a vigilancia no mostraron variación con respecto a los controles. La lactosa y el ATP llegaron a alcanzar los límites máximo y mínimo respectivamente del intervalo permitido para estos metabolitos. Esto indica que el metabolismo cerebral de las ratas resultó incrementado por el campo.

2.54.6) Kabuto H., Yokoi I., Namba Y., Ogawa N., Mori A. y Liburdy R P. Magnetic fields and physical restraint alter the levels of monoamines and their metabolites in the rat brain. *Journal of Brain Science* 1999;25(1):45-54.

Se ha comprobado en este estudio una sinergia entre la aplicación de campos magnéticos y el estado de reposo obligado como factores de estrés para las ratas. Manteniendo unos animales como control, las cobayas fueron mantenidas durante 4 horas en unas jaulas de acero inoxidable que las impedían toda movilidad mientras eran sometidas a un campo magnético de 1 mT y 60 Hz. Al término de cada tratamiento, se determinaban monoaminas y sus metabolitos.

Resultaron ser bajos los niveles de serotonina 5 – HT para los animales ensayados, así como los niveles de 5-HIAA en la glándula pineal, en comparación con el grupo de control.. Por el contrario, el nivel de 5-HIAA en el hipocampo era mas elevado en los animales expuestos al campo magnético. El nivel de melatonina en glándula pineal era bajo en comparación con los animales del grupo de control.

Como la alteración en el metabolismo de las monoaminas son indicativos de estrés, los resultados anteriores pueden ser interpretados como una prueba de que la exposición a los campos magnéticos estimula la aparición de estrés en los animales.

2.55. *Influencia de los campos magnéticos sobre las células madre o troncales.*

2.55.1) Van Den Heuvel R., Leppens H., Nêmethova G. y Verschaeve L. Haemopoietic cell proliferation in murine bone marrow cells exposed to extreme low frequency (ELF) electromagnetic fields. *Toxicology in Vitro* 2001;15(4-5):351-355.

Se estudió el efecto citotóxico de un campo de 80 μ T y una frecuencia de 50 Hz sobre la proliferación de células 3T no diferenciadas, midiéndose el efecto por la disminución originada en el crecimiento de dichas células.

Se estudiaron también los efectos del mismo campo sobre el proceso continuo de homeopoyesis y la proliferación de células troncales de células de tuétano de ratón. En el primer caso no se apreciaba influencia alguna del campo, pero en el segundo, el campo parecía disminuir la proliferación y diferenciación del granulocito del macrófago progenitor, dependiendo de que el ratón fuera macho o hembra.

2.55.2) Yamaguchi D T., Huang J., Ma D., Wang P K. Inhibition of gap junction intercellular communication by extremely low-frequency electromagnetic fields in osteoblast-like models is dependent on cell differentiation. *J Cell Physiol* 2002;190:180-188.

Se estudió el mecanismo por el cual los campos magnéticos inducen la reparación ósea, intentando sobre todo aclarar si el papel clave corresponde a los osteoblastos. Para ello, se estudió el efecto de campos de baja frecuencia de 30 a 120 Hz con intensidades de hasta 12.5 gauss, sobre células MC3T3-E1 pre-osteoblásticas, y sobre osteoblastos maduros tipo ROS17/2.8. Se comprobó que el campo magnético afectaba a las células MC3T3-E1, pero no a las ROS17/2.8. En consecuencia, parece que la capacidad osteorreparadora de los campos magnéticos se debe a su acción sobre los osteoprogenitores, sobre los osteoblastos.

2.55.3) Sauer H., Rahimi G., Hescheler J., Wartenberg M. Effects of electrical fields on cardiomyocyte differentiation of embryonic stem cells. *J Cell Biochem* 1999;75:710-723

Se investigó el efecto de los campos electromagnéticos sobre la diferenciación de cardiomiocitos en estado embrionario derivadas de células troncales pluripotentes. Se aplicaron campos eléctricos con intensidad de 250 a 500 V/m en pulsos durante periodos de 90 seg a cardiomiocitos en estado embrionario. Resultó que se incrementaban las especies con oxígeno activo intracelular, pero no a las especies con Ca^{2+} . A la vista de los resultados, parece inducirse que ROS y NF- $\kappa\beta$ juegan un papel principal en las primeras etapas del desarrollo de las células cardiacas.

2.55.4) Li Z L., Xing X., Lou S J., He C. y Lu C L. Effects of different frequency electromagnetic fields on the differentiation of midbrain neural stem cells. *Space Med Med Eng (Beijing)* 2002;15:374-376.

Se estudió el efecto del campo magnético, en los dos niveles de 20 Hz 8 mT y de 5 Hz y 8 mT, sobre la diferenciación de células troncales NSC orientadas a neuronas. Los campos producían una diferenciación en la forma de evolución de las células. Cuando la frecuencia del campo era 20 Hz, el porcentaje de células orientadas a neuronas crecía proporcional al tiempo de la exposición, alcanzando el máximo a los diez días. Era diferente si la frecuencia del campo era de 5 Hz, pues el efecto acababa a los cinco días de exposición. La conclusión es que si bien ambos tipos de campo llevan a las células a adquirir el fenotipo de neuronas, los caminos son diferentes, según la frecuencia del campo.

2.55.5) Testorf M F., Ake Oberg P., Iwasaka M. y Ueno S. Melanophore aggregation in strong static magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2002;23:444-449.

Los melanóforos del pescado son unos buenos modelos celulares como biosensors y como modelos de procesos intracelulares, debido a que son células planas de gran tamaño; muy fáciles de ser observadas. Muestran gránulos con pigmentos negros muy visibles, por lo que sus reacciones ante cualquier cambio pueden ser observadas fácilmente con óptica de contraste. La elección de estas células como modelos fue debida al hecho de que comparten células troncales con axones.

Fueron sometidas a campos magnéticos de 8 y 14 T, siendo los campos muy uniformes. Se evaluó el grado de agregación máxima, la velocidad de agregación y las irregularidades en el proceso de agregación. El efecto era mas pronunciado con campos de 8 T, y consistía en la reorientación del citoesqueleto, a consecuencia de la fuerza de Lorentz sobre los pigmentos móviles.

2.55.6) Thomas T E. y Lansdorp P M. Selective separation of cells using magnetic colloids. *Prog Clin Biol Res* 1994;389:65-77.

Se ha desarrollado una técnica para separar células troncales marcándolas con un coloide hierro destran. Después de esto, las células pueden ser separadas con un campo magnético continuo de alto gradiente. La selección y filtrado puede ser efectuada a pequeña o grande escala y con selección positiva o negativa. La técnica es especialmente útil para incrementar la población de células troncales en una zona.

2.56. Odontología

2.56.1) Kriokshina V E. et al. Use of micromagnets in stomatology. *Magnitologiya* 1991;1:17 – 20.

Después de una intervención bucal se utilizaron de 1 a 6 imanes durante 1 a 8 días de posoperatorio, observándose luego la evolución de la recuperación durante 4 semanas. Los pacientes que recibieron tratamiento con microimanes superaron la etapa de molestias antes que los que habían sido tomados como control.

2.56.2) Hillier-Kolarov V. y Pekaric-Nadj N. PEMF therapy as an additional therapy for oral diseases. *European Bioelectromagnetic Association, 1st Congress, 23 – 25 January 1992, Brussels, Belgium.*

Pacientes con diversos tipos de enfermedades orales experimentaron mas rápida curación cuando unido a la terapia convencional, recibían una dosis de 30 minutos diarios de PEMF (5 mT a 30 Hz).

2.56.3) Kunin A A. et al. Magnetolaser therapy in complex treatment of periodontal diseases. *Fiz Med* 1994;4(1-2):103-104.

Resulta muy conveniente el uso de la aplicación de PREMF de baja frecuencia conjuntamente con el láser en un amplio espectro de problemas periodontales, reduciendo las molestias del paciente y acortando el tiempo de tratamiento.

- 2.56.4) Matsumoto H., Ochi M., Abiko Y., Hirose Y., Kaku T. y Sakaguchi K. Pulsed electromagnetic fields promote bone formation around dental implants inserted into the femur of rabbits. *Clinical Oral Implants Research*;11(4):354-60.

El presente estudio examinó el efecto de la aplicación de un campo electromagnético pulsátil (PEMF) sobre la formación de hueso en torno a un implante dental de superficie irregular. Se insertó bilateralmente un implante dental en el fémur de conejos japoneses blancos. Se aplicó un PEMF con una anchura y frecuencia de los pulsos de 25 microsegundos y 100 Hz, respectivamente. La estimulación con PEMF se aplicó de 4 a 8 h diarias con intensidades magnéticas de 0,2 mT, 0,3 mT o 0,8 mT. Los animales se sacrificaron al cabo de 1, 2 ó 4 semanas del implante. Tras teñir las preparaciones incluidas en resina con fucsina básica al 2% y azul de metileno al 0,1% se evaluó el nuevo hueso formado en torno al implante fueron evaluadas mediante análisis de la imagen por ordenador. Las tasas de contacto óseo en los fémures tratados con PEMF fueron significativamente mayores que las de los grupos control. Tanto la tasa de contacto óseo como la relación de área ósea de los fémures tratados con 0,2 mT y 0,3 mT fueron significativamente mayores que los valores respectivos de los fémures tratados con 0,8 mT ($P < 0,001$). No se observó diferencia significativa en la tasa de contacto óseo o de la relación de área ósea al aplicar PEMF 4 h/d u 8 h/d. Aunque se formó una cantidad de hueso significativamente mayor en torno al implante de los fémures tratados 2 semanas que de los fémures tratados 1 semana no se observaron diferencias significativas entre los fémures tratados 2 y 4 semanas. Estos resultados sugieren que la estimulación con PEMF puede ser útil para promover la formación ósea en torno a implantes dentales de superficie irregular. Es importante seleccionar la intensidad magnética adecuada, la duración diaria de la exposición y la duración del tratamiento.

2.57. Alopecia

- 2.57.1) Maddin W S. et al. The biological effects of a pulsed electrostatic with specific reference to hair: electrotrichogenesis. *International Journal of Dermatology* 1990;29(6):446 – 450.

En pacientes de alopecia con diferentes tipologías se pudo comprobar que la exposición a PEMF por doce minutos diarios, una o dos veces por semana sobre un periodo de 36 semanas evitaba la caída del cabello y promovía el recrecimiento, sin efecto colateral alguno.

3. Bibliografía publicada en revistas y publicaciones de habla hispana.

- 3.1) Mateos E., Angellotti D., Fernández A. y Napuj S. Experiencia con campos magnéticos pulsados en colagenopatías. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología*, 1999; 2(2):75-78
- 3.2) Sodi Pallares D. “Magnetoterapia y tratamiento metabólico”. Ediciones Sur Grafics, (México), 1994.

- 3.3) Martínez Llanos R., Pérez Castilla J. y Moruno García R. Estudio comparativo del efecto de la calcitonina, difosfonatos y magnetoterapia en el tratamiento de la osteoporosis postmenopáusicas. *Rehabilitación* 2002;36 (1):19-28.
- 3.4) Martínez Escudero L., Capellas Sans L. y Tinoco González J. Magnetoterapia en retardos de consolidación. *Rehabilitación* 2001;35 (5): 312-314.
- 3.5) Zibecchi C N. Campos magnéticos pulsantes de baja frecuencia. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología* 1999; 2 (2):85-88.
- 3.6) Smith Agreda V., Ferres T E., Montesinos C G M. y Martínez S F. "Magnetoterapia". Departamento de Ciencias Morfológicas. Fac. de Medicina. U. de Valencia. 1994.
- 3.7) Coquillat P. B. El uso del campo magnético en Medicina. *Rev. Clin. Esp.* 1996;196 (2): 63 – 65.
- 3.8) Banzal H. L. "Magnetoterapia". Ediciones Continente (Buenos Aires) 1993.
- 3.9) Guillén P., Madrigal J. M^a, Madroñero A. Aplicaciones clínicas de los campos magnéticos: magnetoterapia y magnetosteogenia. *Revista Española de Cirugía Ortopédica* 1985;20:257 – 279.
- 3.10) García y García de Longoria E. y Fernandez Arias P. Fisioterapia en la diabetes mellitus. *Fisioterapia* 2002;24 (3):147 – 159.
- 3.11) Perez Martin Y., Diaz Pulido B. y Lebrijo Perez G. Efectividad del tratamiento fisioterápico en pacientes con cervicgia mecánica. *Fisioterapia* 2002; 24 (3):165 – 174.
- 3.12) López Fernández D. Análisis de la correlación entre la pauta de Fisioterapia y su respuesta en la escala de valoración funcional. *Fisioterapia* 2000; 22 (4): 215 – 225
- 3.13) Barcelona Aparicio N., Gomá Alonso M., Miralles Rull I. y Montull Morer S. Tratamiento fisioterapéutico de la rigidez del codo. *Fisioterapia* 1999;21 (1):2 – 9
- 3.14) Herrera A., Rodríguez P. y Vela Rodríguez J. Estenosis del canal lumbar. *Revista de Ortopedia y Traumatología* 2002; 46 (4): 351 – 372.
- 3.15) Escobar Velando G., Rodriguez Saura C., Jimenez Cervantes P. y Liarte Pedreño A. La fisioterapia en el tratamiento interdisciplinar de la disfunción de la articulación temporomandibular. *Fisioterapia* 2002;24 (1):12-19.
- 3.16) López de la Iglesia J., García Andrés L E. y Medina Martos M. Fisioterapia del hombro doloroso. *Formación Médica Continuada* 2001; 8 (4): 266 – 280.
- 3.17) Capponi R., Marcelo Ghezzi V., Islas S., Fumuso E., González C. y Pecelis M. Efecto de la Fisioterapia sobre el proceso de inflamación: medición de los niveles de prostaglandinas y su interacción en la etapa celular. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología* 1998;1 (3):179 – 188
- 3.18) Hinsenkamp M., Hauzeur J. P. y Sintzoff S. Jr. Cadera y femur. Resultados a largo plazo del tratamiento de la necrosis avascular con campos electromagnéticos pulsátiles. *Revista de Ortopedia y Traumatología* 1997; 41 (7): 26 – 30
- 3.19) Piera V., Espinar A., Jové M., Torrente M., Cobos P., Pérez Castilla García J., Rojo Ortega J. M., Costales Pérez M., Aréchaga Fernández C. y Alvarez-Buylla J. Efecto de los campos electromagnéticos continuos sobre el desarro-

- llo del tejido óseo del embrión de pollo. *Rehabilitación* 1997;31 (4): 297 – 230.
- 3.20) Gálvez Failde J. M., Madroñero de la Cal A., Valls Cabrero M., Cámara Anguita R., Miranda Mayordomo M. y Gálvez Hernández J. M. Magnetoterapia: bases físicas y biológicas de su aplicación terapéutica. *Rehabilitación* 1990; 24 (1):3-9.
- 3.21) Madroñero de la Cal A. y Guillén García P. Magnetoterapia y magnetosteogénesis. *Clínica Médica (Barcelona)* 1985;(85): 838-839.
- 3.22) Lluch B. C., García Andrade D. G., Muñoz F. L. y Stern L L. Utilidad de los campos electromagnéticos en el tratamiento de necrosis avascular de cadera: un estudio prospectivo de 30 casos. *Revista Clínica Española* 1996;196(2): 67 – 74
- 3.23) Madroñero de la Cal A. Aplicaciones terapéuticas de los campos magnéticos. *MAPFRE Seguridad* 1984;(13): 44 – 51.
- 3.24) Galvez Failde J. M^a, Madroñero de la Cal A., Valls Cabrero M., Cámara Anguita R., Miranda Mayordomo M. y Galvez Hernandez J. M^a. Magnetoterapia: bases físicas y biológicas de su aplicación terapéutica. *Rehabilitación* 1990; 24 (1): 3 – 9.
- 3.25) Madroñero de la Cal A. “Aspectos físicos de los fallos de consolidación ósea: su tratamiento mediante campos magnéticos”. Capítulo 4 de “*Pseudoartrosis, 15 años despues*” Editorial Fundación MAPFRE (Temas de Medicina). Proceedings del XV Symposium Internacional de Traumatología (1989)
- 3.26) Madroñero de la Cal A. “Fenómenos bioeléctricos de la tibia como base de una estrategia de prevención de la osteoporosis post-traumática”. Cap 32 de “*Tratamiento de las secuelas postraumáticas del miembro inferior*”. Editorial Fundación MAPFRE (Temas de Medicina). Proceedings del XIV Symposium Internacional de Traumatología (1988).
- 3.27) Molina Ariño A. “Campos magnéticos en dolor vertebral.” Incluido en “*Nuevas técnicas diagnósticas y terapéuticas de la patología*”. Editorial Fundación MAPFRE (Temas de Medicina). Proceedings del XII Symposium Internacional de Traumatología (1986), pag 273 – 278.
- 3.28) de la Fuente M. “Bases Físicas de la Magnetoterapia”. Editorial ASETEM, Madrid, 1986.
- 3.29) Sañudo I. La magnetoterapia: un avance en la patología del aparato locomotor. *Aparato Locomotor* 1984; 3:21 – 23
- 3.30) Rodríguez Rodríguez L. P., Varela Donoso E., Valero Alcaide R., Alvarez Badillo A., Gomez Muñoz F. y García Martín J. Estudio de la acción de los campos magnéticos pulsantes de baja frecuencia sobre diversos parámetros sanguíneos. *MAPFRE Medicina*, 1996;7(1):54 – 59.
- 3.31) Hernández Vaquero D., Suarez Vazquez A., Olay Gayoso M J. y Antolín Suarez J. La estimulación electromagnética en los fracasos de consolidación. Factores pronósticos. *Revista de Ortopedia y Traumatología* 2000; 44 (5):439 – 443
- 3.32) Díaz Borrego P., Fernández Torrico J. M. y Perez Castilla J. Electromagnetismo: aplicaciones clínicas en aparato musculoesquelético. *Rehabilitación* 2003; 37 (3): 145 – 151

Este libro
se acabó de imprimir
el día 17 de diciembre de 2003

