

NIH

(Institutos Nacionales de la Salud - EE.UU.)

Aplicaciones del Bioelectromagnetismo en Medicina.

MIEMBROS DEL PANEL Y AUTORES PARTICIPANTES

Beverly Rubik, Ph.D.-- Presidente

Robert O. Becker, M.D.

Robert G. Flower, M.S.

Carlton F. Hazlewood, Ph.D.

Abraham R. Liboff, Ph.D.

Jan Walleczek, Ph.D.

Reseña

El Bioelectromagnetismo (BEM) es la ciencia emergente que estudia la forma en que los organismos vivos interactúan con los campos electromagnéticos (EM). Los fenómenos eléctricos se hallan en todos los organismos vivientes. Más aún, existen corrientes eléctricas en el cuerpo que producen campos magnéticos que se extienden fuera del cuerpo.

En consecuencia, los organismos pueden verse influidos también por campos magnéticos y electromagnéticos externos. Cambios en los campos naturales del cuerpo pueden producir cambios físicos y de conducta. Para comprender cómo pueden ocurrir estos efectos de campo, resulta útil primero comentar algunos fenómenos básicos asociados con los campos EM.

En su forma más simple, un campo magnético es un campo de fuerza magnética que se extiende hacia afuera a partir de una imán permanente. Las corrientes eléctricas en movimiento producen campos magnéticos. Por ejemplo, cuando una corriente eléctrica fluye a través de un cable, el movimiento de los electrones a través del cable produce un campo magnético en el espacio que rodea al cable (Fig. 1). Si la corriente eléctrica es una corriente directa (CD), la misma fluye en una sola dirección y el campo magnético es estable. Si la corriente eléctrica en el cable posee una naturaleza pulsátil, o fluctuante - tal como sucede en una

corriente alterna (CA), que significa que el flujo de corriente cambia constantemente de dirección - el campo magnético también fluctúa. La fuerza del campo magnético depende de la cantidad de corriente que fluye a través del cable; a mayor corriente, más fuerte será el campo magnético. Un campo EM contiene tanto un campo eléctrico como un campo magnético. En el caso de un campo magnético o EM fluctuante, el campo se ve caracterizado por su ritmo, o frecuencia, de fluctuación (p.ej., una fluctuación por segundo equivale a 1 Hertz (Hz), que es la unidad de frecuencia).

Un campo que fluctúa en esta forma se extiende teóricamente hasta el espacio infinito, disminuyendo su fuerza con la distancia y finalmente perdiéndose en la maraña de otros campos magnéticos y EM que llenan el espacio. Dado que fluctúa a cierta frecuencia, posee también un movimiento ondulatorio (Fig. 2). La onda se mueve hacia el exterior a la velocidad de la luz (aproximadamente 300,000 km por segundo). Como resultado, posee una longitud de onda (es decir, la distancia que separa dos crestas de la onda) la cual es inversamente proporcional a su frecuencia. Por ejemplo, una frecuencia de 1 Hz posee una longitud de onda de millones de km, mientras que una frecuencia de un millón de Hz, ó 1 megahertz (MHz) posee una longitud de onda de un centenar de metros, y una frecuencia de 100 megahertz posee una longitud de onda de aproximadamente dos metros. Todas las frecuencias conocidas de ondas EM o campos, se encuentran representadas en el espectro EM, y que van desde la CD (frecuencia cero) hasta las frecuencias más altas, tales como los rayos gamma y cósmicos. El espectro EM incluye los rayos X, la luz visible, las microondas, las frecuencias de radio y televisión, y muchas otras.

Más aún, todos los campos EM son campos de fuerza que transportan energía a través del espacio y son capaces de producir un efecto a distancia. Estos campos poseen características tanto de ondas como de partículas. Según qué tipo de experimentos lleve uno a cabo para investigar la luz, las ondas de radio, o cualquier otra parte del espectro EM, uno hallará ya sea ondas o partículas denominadas fotones.

Un fotón es un pequeño paquete energía que no posee una masa medible. Cuanto mayor es el energía del fotón, mayor es la frecuencia asociada con su forma ondulatoria. El ojo humano detecta sólo una angosta banda de frecuencias dentro del espectro EM: el de la luz visible. Un fotón entrega su energía a la retina en la parte posterior del ojo, el cual la convierte en una señal eléctrica en el sistema nervioso que produce la sensación de luz.

La Tabla 1 muestra la clasificación habitual de los campos EM en términos de su frecuencia de oscilación, y que van desde la CD, a través de extrema baja frecuencia (ELF), baja frecuencia, frecuencia radial (RF), microondas y radar, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Para campos oscilatorios, a mayor frecuencia, mayor será la energía que transportan.

Los campos endógenos (aquellos producidos dentro del cuerpo) deben distinguirse de los campos exógenos (aquellos producidos por fuentes externas al cuerpo). Los campos EM exógenos pueden clasificarse ya sea como naturales, tales como el campo geomagnético de la tierra, o artificiales (por ejemplo, líneas de transmisión, transformadores, equipos eléctricos domésticos, radiotransmisores y equipos médicos). El término electro-polución, o contaminación electrónica, se refiere a campos EM artificiales que podrían estar asociados con factores de riesgo para la salud.

En la biofísica de radiaciones, un campo EM se clasifica como ionizante si su energía es lo suficientemente alta como para desplazar electrones de un átomo o molécula. Las formas de radiación EM de alta frecuencia, y por ende de alta energía, tales como los rayos gamma y los rayos X, son fuertemente ionizantes en contacto con el material biológico. Por esta razón, una exposición prolongada a tales rayos resulta dañina para la salud. La radiación ubicada en la porción central del espectro de frecuencias y energías - tales como la luz visible, especialmente en la región ultravioleta - es débilmente ionizante (es decir, puede ser ionizante o no, según cual sea la molécula atacada). Aún cuando se ha sabido desde hace mucho tiempo que la exposición a radiación EM fuertemente ionizante puede provocar daños extremos en los tejidos biológicos, sólo en fechas recientes se han producido estudios epidemiológicos, así como otra evidencia, que relacionan la exposición a largo plazo ante campos EM exógenos no ionizantes, tales como los emitidos por líneas de transmisión, con crecientes peligros para la salud. Estos peligros pueden incluir un mayor riesgo de desarrollo de leucemia en niños (Bierbaum and Peters, 1991; Nair et al., 1989; Wilson et al., 1990a).

Sin embargo, también se ha descubierto que campos EM oscilantes y no ionizantes, en la región ELF (extrema baja frecuencia) pueden llegar a tener efectos biológicos vigorosos que podrían ser beneficiosos y por tanto no dañinos (Becker and Marino, 1982; Brighton and Pollack, 1991). Este descubrimiento constituye una piedra fundamental en la fundación de la investigación y aplicación de BEM.

Determinados cambios en la configuración del campo y del patrón de exposición ante campos EM de bajo nivel pueden producir respuestas biológicas muy específicas. Un aspecto aún más intrigante, es que algunas frecuencias determinadas producen efectos muy específicos en ciertos tejidos orgánicos del cuerpo, tal como sucede con los efectos muy particulares sobre ciertos tejidos por parte de las drogas medicinales. El mecanismo concreto por medio del cual los campos EM producen efectos biológicos se encuentra bajo estudio intenso. Las evidencias sugieren que la membrana celular podría ser una de las primeras localizaciones donde los campos EM aplicados actúan sobre la célula. Las fuerzas EM sobre la superficie exterior de la membrana celular podría modificar las interacciones ligando-receptor (es decir, la unión de compuestos químicos mensajeros, tales como las hormonas y los factores de crecimiento, a moléculas especializadas en la membrana celular conocidas como receptores), las cuales a su vez podrían alterar el estado de grandes moléculas en la membrana celular que desempeñan un papel fundamental en el control de los procesos internos de la célula (Tenforde and Kaune, 1987). Sin embargo, recién se están iniciando los experimentos para establecer todos los detalles de una cadena mecánica de sucesos tales como éstos.

Otra línea de investigación se enfoca a los campos EM endógenos. A nivel de los tejidos y órganos del cuerpo, se sabe que la actividad eléctrica exhibe patrones macroscópicos que contienen información médica útil. Por ejemplo, los procedimientos diagnósticos de la electroencefalografía (EEG) y la electrocardiografía se basan en la detección de campos EM endógenos producidos en el sistema nervioso central y en el músculo cardíaco, respectivamente. Llevando las observaciones en estos dos sistemas un paso más allá, la investigación actual en BEM está explorando la posibilidad de que los campos EM débiles asociados con la actividad nerviosa en otros tejidos y órganos pudiera también transmitir información con valor diagnóstico. Estas nuevas líneas de investigación se han vuelto factibles gracias a las nuevas tecnologías para construir transductores EM (por ejemplo, magnetómetros y electrómetros) extremadamente sensibles y equipo de procesamiento de señales.

Investigaciones recientes en BEM han descubierto una forma de radiación EM endógena en la región visible del espectro, que emite la mayor parte de los organismos vivos, y que abarca desde semillas de plantas hasta seres humanos (Chwirot et al., 1987, Mathew and Rumar, en prensa, Popp et al., 1984, 1988, 1992). Cierta evidencia indica que esta luz extremadamente tenue, conocida como emisión de biofotones, puede resultar de importancia en fenómenos tales como la biorregulación, transporte en membrana y expresión de genes. Es posible que los efectos (tanto beneficiosos como perjudiciales) de los campos exógenos puedan ocurrir a través de alteraciones en los campos endógenos. Así, campos EM aplicados externamente mediante instrumental médico podría actuar para corregir anomalías en campos EM endógenos, característicos de ciertas enfermedades. Más aún, la energía de los biofotones y procesos involucrados en su emisión, así como otros campos endógenos del cuerpo podrían demostrar su presencia en terapias energéticas, tales como las interacciones que llevan a cabo los curanderos.

En los temas de avanzada de la investigación en BEM, yace la pregunta de cómo los campos EM endógenos del cuerpo pueden cambiar como resultado de cambios en la conciencia. La formación reciente y rápido crecimiento de una nueva sociedad, la Sociedad Internacional para el Estudio de las Energías Sutiles y de Medicina Energética, constituye un índice del creciente interés que existe en este campo.

Aplicaciones médicas del Bioelectromagnetismo

La investigación en aplicaciones médicas del BEM comenzaron casi al mismo tiempo que el descubrimiento de Michael Faraday acerca de la inducción electromagnética, a fines de los 1700s. Inmediatamente después siguieron los célebres experimentos del médico y físico del siglo XVIII Luigi Galvani, quien demostró mediante el empleo de extremidades de ranas que existía una conexión entre la electricidad y la contracción muscular. A ello siguió el trabajo de Alessandro Volta, el físico italiano, cuyas investigaciones sobre la electricidad le condujeron a interpretar correctamente los experimentos de Galvani con los músculos de

las ranas, al demostrar que eran los electrodos metálicos - y no los tejidos - quienes generaban la corriente eléctrica. A partir de estos primeros trabajos se generó una plétora de dispositivos para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, utilizando primero electricidad estática, luego corrientes eléctricas, y finalmente, frecuencias a partir de regiones diferentes del espectro EM. Al igual que con otros métodos de tratamiento, algunos dispositivos fueron considerados poco convencionales en un principio, sólo para que posteriormente se difundieron ampliamente. Por ejemplo, muchos de los dispositivos médicos que constituyen el corazón de la medicina moderna y basada científicamente, tales como los equipos de rayos X, se consideraban en un tiempo como altamente experimentales.

La mayoría de los equipos médicos EM utilizados en la actualidad, emplean niveles relativamente altos de energía eléctrica, magnética o EM. Sin embargo, el tema fundamental de este capítulo es el empleo de la porción no ionizante del espectro EM, particularmente a bajos niveles de energía, lo cual constituye el foco de la investigación en BEM.

Las aplicaciones médicas no ionizantes de BEM pueden clasificarse según sean térmicas (produciendo calor en los tejidos biológicos) o no térmicas. Las aplicaciones térmicas de radiación no ionizante (es decir, aplicación de calor) incluyen la hipertermia de radio frecuencia (RF), la cirugía de RF y láser, y la diatermia de RF.

Las modalidades más importantes en BEM relacionadas con medicina alternativa son las aplicaciones no térmicas de radiación no ionizante. El término 'no térmicas' se utiliza con dos significados diferentes en la literatura médica y científica. Biológicamente (o médicamente) no térmicas significa que "no provoca un significativo calentamiento del tejido en su conjunto"; este significado es el de empleo más frecuente. Físicamente (o científicamente) no térmicas significa "por debajo del límite de ruido térmico a temperaturas fisiológicas". El nivel de energía del ruido térmico es mucho más bajo que el requerido para provocar calentamiento de los tejidos; así, cualquier aplicación físicamente no térmica resulta por ende biológicamente no térmica. Todas las aplicaciones no térmicas de radiación no ionizante son no térmicas en el sentido biológico del término. Es decir, no provoca un calentamiento significativo de los tejidos. Algunas de las aplicaciones más novedosas y poco convencionales del BEM también son físicamente no térmicas. Una variedad de prácticas alternativas médicas desarrolladas fuera de los Estados Unidos utilizan campos EM en intensidades no térmicas. Por ejemplo, la terapia de resonancia de microondas, que se utiliza especialmente en Rusia, utiliza radiación de microondas sinusoidal (ya sea continua o modulada por pulsos) para el tratamiento de una variedad de condiciones, que incluyen artritis, úlceras, esofagitis, hipertensión, dolor crónico, parálisis cerebral, desórdenes neurológicos, y efectos laterales de la quimioterapia del cáncer (Devyatkov et al., 1991). Miles de personas en Rusia también han sido tratados mediante la aplicación de frecuencias específicas de microondas de extremadamente bajo nivel de energía, aplicadas en ciertos puntos señalados por la acupuntura.

Se considera que el mecanismo de acción de la terapia de resonancia de microondas involucra modificaciones en la transporte de membrana celular o producción de mediadores químicos, o ambos. Aún cuando ya existe un volumen considerable de literatura médica en idioma ruso, no se han efectuado estudios independientes de validación en Occidente. Sin embargo si se demuestra la efectividad de tales tratamientos, los criterios actuales acerca de la información y del ruido térmico (es decir, orden y desorden) en los sistemas vivientes, los cuales afirman que la información biológica se almacena en estructuras moleculares, podría llegar a requerir de una revisión. Podría ser que la información se almacene al nivel de todo el organismo en su conjunto, en el campo EM endógeno, el cual puede utilizarse a nivel de información en la regulación biológica y en comunicación celular (es decir, no debido al contenido energético o su intensidad. Si los campos no ionizantes exógenos de extremo bajo nivel, cuyo contenido energético se encuentra muy por debajo del límite del ruido térmico, producen efectos biológicos, puede que estén actuando sobre el cuerpo de un modo tal que alteren el propio campo del mismo. Es decir, la información biológica se vería alterada por los campos EM exógenos.

Las ocho principales aplicaciones novedosas (o "no convencionales") de campos EM no térmicos y no ionizantes son las siguientes:

1. Reparación ósea.
2. Estimulación nerviosa.

3. Cicatrización de heridas.
4. Tratamiento de osteoartritis.
5. Electroacupuntura.
6. Regeneración de tejidos.
7. Estimulación del sistema inmunológico.
8. Modulaciones neuroendócrinas.

En la siguiente sección se comentan estas aplicaciones de BEM así como la evidencia de su eficacia.

Base de investigación

Las aplicaciones 1 a 5 señaladas más arriba han sido evaluadas clínicamente y se encuentran en aplicaciones clínicas limitadas. En base a estudios existentes sobre animales y células, las aplicaciones 6 a 8 ofrecen el potencial para el desarrollo de nuevos tratamientos químicos, aunque las pruebas clínicas aún no se han efectuado.

Reparación ósea

Se conocen tres tipos de campos EM aplicados que promueven la reparación de fracturas óseas problemáticas (es decir, aquellas que no sueldan espontáneamente):

- * Campos EM pulsátiles (PEMFs) y campos EM sinusoidales (campos de CA).
- * Campos de CD.
- * Campos magnéticos que combinan CA y CD, sintonizados en frecuencias de resonancia de iones (estos son campos de intensidad extremadamente baja y físicamente no térmicos) (Weinstein et al., 1990).

Se ha logrado la aprobación de la Administración de Alimentos y Drogas del Gobierno de los Estados Unidos (FDA) para aplicaciones de PEMF y CD, y aún se encuentra pendiente para la aplicación CA-CD. En las aplicaciones PEMF y CA, las frecuencias utilizadas de repetición se encuentran en un nivel de frecuencias extremadamente bajo ELF (Bassett, 1989). En las aplicaciones de CD, las intensidades de campo magnético oscilan entre 100 microgauss y 100 gauss (G), y las corrientes eléctricas oscilan entre menos de 0.1 microampere a miliamperes (Baranowski and Black, 1987). La aprobación de FDA para estas terapias sólo cubre su empleo para promover la soldadura de fracturas óseas problemáticas, no para acelerar la soldadura rutinaria de fracturas que no presenten complicaciones.

La eficacia del tratamiento de reparación ósea mediante campos EM se ha confirmado mediante ensayos clínicos de doble ciego (Barker et al. 1984; Sharrard, 1990). Una estimación conservadora es que para 1985 más de 100,000 personas habían sido tratadas con esta clase de dispositivos (Bassett et al., 1974, 1982; Brighton et al., 1979, 1981; Goldberg and Hansen, 1972; Hinsenkamp et al., 1985).

Estimulación y medición de la actividad nerviosa

Estas aplicaciones caen dentro de las siguientes siete categorías:

1. Estimulación eléctrica nerviosa transcutánea (TENS). En estas aplicaciones médicas, se aplican sobre la piel dos electrodos conectados mediante cables a un dispositivo de generación eléctrica portátil, el cual puede fijarse en el cinturón del paciente (Hagfors and Hyme, 1975). Probablemente haya más de 100 tipos de dispositivos aprobados por FDA dentro de esta categoría, y utilizados en fisioterapia y alivio del dolor. Todos ellos operan sobre la misma base.

2. Electroestimulación transcraneal (TCES). Estos dispositivos son similares a las unidades de

TENS. Aplican corrientes extremadamente bajas (por debajo del umbral de excitación nerviosa) al cerebro a través de dos electrodos aplicados sobre el cráneo y se utilizan para la modificación psicológica/conductual (por ejemplo, para reducir síntomas de depresión, ansiedad, e insomnio) (Shealy et al., 1992). Un metaanálisis reciente, que cubrió por lo menos 12 ensayos clínicos seleccionados a partir de 100 estudios publicados, halló que la TCES puede aliviar desórdenes de ansiedad (Klawansky et al., 1992). Con apoyo del Instituto Nacional de la Salud (NIH), la TCES se encuentra bajo evaluación para el alivio de la dependencia hacia las drogas.

3. Estimulación neuromagnética. En estas aplicaciones, que poseen tanto usos diagnósticos como terapéuticos, se aplica en forma no invasiva un pulso magnético a una parte del cuerpo del paciente, a fin de estimular la actividad nerviosa. En aplicaciones diagnósticas, se aplicó un pulso a la corteza cerebral, y se evaluaron las respuestas fisiológicas del paciente, con el objeto de obtener una imagen dinámica de la interface cerebro - cuerpo (Hallett and Cohen, 1989). Como modalidad de tratamiento, se está utilizando en lugar de la terapia de electrochoque para el tratamiento de ciertos tipos de males afectivos (por ejemplo, depresión profunda) y convulsiones (Anninos and Tsagas, 1991). La estimulación neuromagnética también se utiliza en estudios de conducción nerviosa para condiciones tales como el síndrome del túnel del carpo.

4. Electromiografía. Esta aplicación diagnóstica detecta potenciales eléctricos asociados con contracciones musculares. Se han asociado patrones eléctricos específicos con ciertos estados anormales (por ejemplo, músculos denervados). Este método, junto con biofeedback electromiográfico, se utiliza para tratar el síndrome del túnel del carpo y otros problemas de movimiento.

5. Electroencefalografía. Esta aplicación neurodiagnóstica detecta ondas cerebrales. Unida a la retroalimentación con EEG, se emplea para tratar una variedad de condiciones, tales como problemas de aprendizaje, problemas de déficit de atención e hiperactividad, alcoholismo crónico y embolias cerebrales.

6. Electroretinografía. Esta aplicación diagnóstica evalúa potenciales eléctricos a través de la retina para evaluar movimientos oculares. Este es uno de los pocos métodos disponibles para una evaluación no invasiva del sueño durante movimiento ocular rápido (REM).

7. Terapia de emisión de baja energía. Esta aplicación utiliza una antena posicionada en la boca del paciente, con el objeto de administrar campos EM modulados por amplitud. Se ha demostrado que afecta al sistema nervioso central, y estudios clínicos piloto demuestran eficacia en el tratamiento de insomnio (Hajdukovic et al., 1992) e hipertensión (Pasche et al., 1989).

Cicatrización de heridas en tejidos blandos.

Los siguientes estudios han demostrado una cicatrización acelerada en heridas de tejidos blandos utilizando CD, PEMF, y modalidades electroquímicas:

Cuando la cicatrización de heridas resulta anormal (retardada o detenida), se puede disparar la cicatrización mediante aplicaciones de campos eléctricos con magnéticos. Una revisión de varios estudios indica que los campos pueden resultar de utilidad en este aspecto (Lee et al., 1993; Vodovmik and Karba, 1992).

Se ha utilizado PEMF en forma clínica para el tratamiento de úlceras venosas de piel. Los resultados de varios estudios de doble ciego demostraron que la estimulación con PEMF promueve la activación y proliferación celular a través de un efecto sobre la membrana celular, particularmente sobre células endoteliales (Ieran et al., 1990; Stiller et al., 1992).

Se aplican campos de ELF y RF para acelerar la cicatrización de heridas. En virtud de que las heridas en la piel poseen potenciales y corrientes eléctricas específicas, una estimulación de estos factores eléctricos mediante una variedad de campos EM exógenos puede ayudar en el proceso de cicatrización, al provocar dediferenciación (es decir, conversión a una forma más primitiva) de las células vecinas seguida por una proliferación celular acelerada (O'Connor et al., 1990).

Un tratamiento electroquímico que promueve una cicatrización degenerativa sin huella utiliza electricidad sólo para la introducción de iones metálicos activos, tales como el ion plata, en los tejidos. El

campo eléctrico no desempeña papel alguno (Becker, 1987, 1990, 1992).

La aplicación de PEMF aumenta el ritmo de formación de células epiteliales (piel) en heridas parcialmente cicatrizadas (Mertz et al., 1988).

La aplicación de campos EM de CA promueve la reparación de redes vasculares dañadas (Herbst et al., 1988).

Dispositivos EM han sido patentados para el tratamiento de lesiones provocadas por arterioesclerosis (es decir, pequeños coágulos sanguíneos que se acumulan en las paredes de las arterias y provocan enfermedades cardiovasculares) y para controlar el crecimiento de tejidos (Gordon, 1986; Liboff et al., 1992b).

Osteoartritis

En una prueba clínica reciente que utilizó doble ciego, un protocolo aleatorio con control de placebo, se observó que en problemas de osteoartritis (principalmente de la rodilla) tratados en forma no invasiva mediante PEMF pulsátil a 30 Hz y 60 G, el grupo bajo tratamiento mejoró sustancialmente más rápido que el grupo con placebo (Trock et al., 1993). Se cree que los campos magnéticos aplicados actúan para suprimir las respuestas inflamatorias a nivel de la membrana celular (O'Connor et al., 1990).

Electroacupuntura

La estimulación eléctrica mediante el empleo de agujas de acupuntura se emplea con frecuencia como una forma incrementada o en reemplazo de la aplicación manual de las mismas. Se han demostrado beneficios clínicos por el empleo de la estimulación eléctrica (electroestimulación) en combinación con acupuntura, así como en casos de electroestimulación aplicada directamente a puntos de acupuntura.

Como una forma incrementada de acupuntura, un estudio en pequeña escala demostró que la electroestimulación con acupuntura resultó beneficiosa en el tratamiento de dolor postoperatorio (Christensen and Noreng, 1989). Otros estudios controlados han demostrado éxito en el empleo de electroestimulación con acupuntura en el tratamiento de náusea inducida por la quimioterapia en pacientes cancerosos (Dundee and Ghaly, 1989). Además, la estimulación con acupuntura ha demostrado recientemente ser beneficiosa en el tratamiento del cólico renal (Lee et al., 1992).

Como un sustituto de la acupuntura, la electroestimulación aplicada en un estudio controlado en puntos de acupuntura mediante una unidad de TENS resultó efectiva en la inducción de contracciones uterinas en mujeres embarazadas de post término (Dunn and Rogers, 1989). Más aún, investigaciones con ratas han demostrado que la electroestimulación en tales puntos puede incrementar la regeneración nerviosa motriz periférica (McDevitt et al., 1987) y el rebrote nervioso sensorial (Pomeranz et al., 1984).

Regeneración

Las investigaciones con animales en este campo señalan que los campos EM endógenos del cuerpo se encuentran involucrados en los procesos de crecimiento, y que modificaciones de estos campos pueden conducir a modestas regeneraciones de miembros cercenados (Becker, 1987; Becker and Spadaro, 1972; Smith, 1967). La investigación rusa y sus aplicaciones clínicas, junto con estudios actuales en los Estados Unidos, indican que las microondas de baja intensidad aparentemente estimulan la división de células madre de la médula ósea y pueden ser útiles para incrementar los efectos de la quimioterapia, al mantener la formación y el desarrollo, o hematopoiesis, de varios tipos de células sanguíneas (Devyatkov et al., 1991).

Los siguientes estudios también son importantes en cuanto al empleo de BEM para regeneración:

Aplicaciones de PEMF para promover la regeneración nerviosa periférica (Orgel et al., 1992; Siskin, 1992).

El método de "diapulso" de empleo de campos EM pulsátiles de alta frecuencia para la regeneración de nervios en las muñecas de seres humanos (Wilson et al., 1974).

Aplicaciones de CD para promover la regeneración de la médula espinal en ratas (Fehlings et al., 1992; Hurlbert and Tator, 1992).

Investigaciones suecas que demuestran que el BEM promueve la regeneración del nervio sciático en ratas (Knaje and Rusovan, 1992; Rusovan and Kanje, 1991, 1992; Rusovan et al., 1992).

Sistema inmunológico

Durante las últimas dos décadas, se han estudiado extensivamente los efectos de exposición a campos EM por parte del sistema inmunológico y sus componentes. Aun cuando los primeros estudios indicaban que una exposición a largo plazo a campos EM podría afectar negativamente al sistema inmunológico, existen nuevos y prometedores estudios que indican que campos EM aplicados podrían modular respuestas inmunológicas beneficiosas. Por ejemplo, estudios con linfocitos humanos demuestran que campos magnéticos o EM exógenos pueden producir cambios en el transporte de calcio (Walleczek, 1992) y provocar mediación de la respuesta mitogénica, es decir, la estimulación de la división de núcleos celulares; ciertos tipos de células del sistema inmunológico comienzan a dividirse y reproducirse rápidamente en respuesta a ciertos estímulos, o mitógenos). Este descubrimiento ha conducido a la realización de investigaciones acerca del posible aumento, mediante la aplicación de campos EM, de un tipo de población de células inmunológicas denominadas células citocidas naturales (o células NK), que poseen gran importancia al ayudar al organismo a luchar contra el cáncer y otros virus (Cadossi et al., 1988a, 1988b; Cossarizza et al., 1989a, 1989b, 1989c).

Modulaciones Neuroendócrinas Potenciales

Se ha comprobado típicamente que aplicaciones de PEMF de bajo nivel disminuyen los niveles de melatonina, la cual es segregada por la glándula pineal y considerada como reguladora del reloj interno del cuerpo (Lerchi et al., 1990; Wilson et al., 1990b). La melatonina, como hormona, posee características oncostáticas (es decir, detiene el crecimiento cancerosos). Así, si la melatonina puede suprimirse mediante ciertos campos magnéticos, también sería posible utilizar campos magnéticos con diferentes características para estimular la secreción de melatonina para el tratamiento de cáncer. Otras aplicaciones pueden incluir el uso de campos EM para afectar la secreción de melatonina para normalizar ritmos circadianos en personas con "jet lag" y otros problemas relacionados con el ciclo de sueño.

La Tabla 2 incluye un resumen de citas bibliográficas seleccionadas de la literatura arbitrada para estas aplicaciones.

Futuras oportunidades de investigación

Aún cuando a la fecha existe una amplia base de literatura sobre el uso de BEM para aplicaciones médicas, la estrategia de investigación global hacia este fenómeno se encuentra bastante fragmentada. Debido al potencial del BEM para el tratamiento de una amplia gama de enfermedades, se requiere un programa de investigación integrado que incluya tanto investigación básica como clínica en BEM. Estos dos enfoques debieran perseguirse vigorosa y simultáneamente en forma paralela. Se requiere de investigación básica con el objeto de refinar o desarrollar nuevas tecnologías de BEM, con el objeto de establecer el conocimiento fundamental acerca de los campos EM endógenos del cuerpo y como éstos interactúan con campos EM aplicados clínicamente. Una comprensión básica acerca del BEM del cuerpo humano podría arrojar luz sobre los principios científicos bioenergéticos o bioinformáticos mediante los cuales puedan funcionar otras áreas de la medicina alternativa, tales como la homeopatía, acupuntura y terapias energéticas. Más aún, un conocimiento fundamental acerca de los principios BEM en el cuerpo humano, en conjunción con estados psicofisiológicos, podría ayudar a facilitar la comprensión de la regulación mente - cuerpo.

La investigación clínica, incluyendo diagnósticos clínicos, resulta también esencial, con el objeto de traer los tratamientos y diagnósticos BEM más promisorios desde un uso limitado a uno extendido tan pronto como sea posible. Aún cuando un número de dispositivos BEM muestran potencialidad para el

diagnóstico o la terapia, deben evaluarse sobre seres humanos a fin de demostrar cuando son efectivos y cuando no lo son.

Más aún, se requieren medidas de efectividad clínica y de seguridad para dispositivos BEM para su aprobación por la FDA. Finalmente, sólo puede obtenerse conocimiento acerca de la seguridad de nuevos dispositivos médicos de BEM mediante adecuadas evaluaciones clínicas.

Investigación básica

La situación actual de investigación básica en BEM puede resumirse como sigue:

Campos EM no ionizantes, no térmicos y exógenos ejercen bioefectos visibles sobre organismos vivos. En general la respuesta de los organismos ante la aplicación de campos EM posee un alto nivel de especificidad con respecto a la frecuencia de los mismos, y la curva dosis- respuesta no es lineal (es decir, la aplicación de una cantidad adicional del campo EM no genera una respuesta de igual magnitud; la respuesta finalmente disminuye sin que importe cuántos estímulos EM adicionales se apliquen). Campos EM extremadamente débiles pueden, a una frecuencia y sitio de aplicación adecuados, producir significativos efectos ya sea clínicamente beneficiosos o desfavorables, según sea el caso.

Se ha propuesto a la membrana celular como el sitio primario de la transducción de los bioefectos del campo EM. Mecanismos relevantes pueden incluir cambios en los procesos de acoplamiento y transporte entre la célula y su membrana, desplazamiento o deformación de moléculas polarizadas, modificaciones en la conformación de agua biológica (es decir, agua incluida en organismos), y otros. Los mecanismos físicos mediante los cuales los campos EM puedan actuar sobre las biomoléculas resultan demasiado complejos para discutirse aquí.

Sin embargo, las siguientes referencias proponen tales mecanismos físicos: Grundler et al., en prensa, Liboff, 1985,1991; y Liboff et al., 1991.

Los campos EM endógenos no térmicos, con frecuencias que van desde la CD hasta la región visible del espectro, pueden estar íntimamente involucrados en la regulación de procesos fisiológicos y bioquímicos.

En consecuencia, debieran de considerarse las siguientes necesidades urgentes en el desarrollo de un programa básico de investigación en BEM:

Debieran de establecerse protocolos estandarizados para la dosificación de aplicaciones terapéuticas de campos EM, y seguirse uniformemente durante la investigación en BEM. Se requieren protocolos para la caracterización (es decir, la definición y medición) de fuentes de campos EM (tanto exógenos como endógenos) así como parámetros EM de sujetos biológicos.

Tales variables deben de caracterizarse con mayor detalle que lo acostumbrado en la práctica cotidiana de investigación clínica. Deberán evitarse los efectos externos causados por campos EM ambientales presentes en el ambiente de laboratorio (por ejemplo, proveniente de líneas de transmisión y equipos de laboratorio).

En general, se obtendrán a largo plazo los resultados más valiosos si se logra desarrollar un enfoque equilibrado y estratégico hacia el investigación básica - incluyendo estudios en seres humanos, animales, y células junto con modelización teórica y colaboración estrecha con otros investigadores en medicina alternativa.

Muchos parámetros independientes caracterizan los campos EM no térmicos y no ionizantes, incluyendo campos pulsados vs. no pulsados, y sinusoidales vs. otras formas de ondas; frecuencia; fase; intensidad (como una función de la posición espacial); voltaje; corriente. Si se combinan múltiples campos, estos parámetros deben de quedar especificados para cada componente.

Parámetros adicionales necesarios para la caracterización de aplicaciones médicas de campos EM incluyen el lugar de aplicación y el tiempo de exposición. Todos estos parámetros pueden variarse experimentalmente, produciendo una enorme gama de posibilidades. A la fecha, se han llevado a cabo pocas investigaciones sistemáticas para explorar los efectos biológicos potenciales de este amplio conjunto de características de aplicación.

Aspectos clínicos

Ensayos clínicos de tratamientos basados en BEM para las siguientes condiciones pueden generar resultados útiles en poco tiempo: artritis, estados psicofisiológicos, (incluyendo fármacodependencia y epilepsia), cicatrización de heridas y regeneración, dolor no localizable, mal de Parkinson, daños en espina dorsal, daños intracraneales, parálisis cerebral (reducción de espasticidad), problemas de aprendizaje, migraña, condiciones degenerativas asociadas con el envejecimiento, cáncer y síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA).

Los campos EM pueden aplicarse clínicamente como terapia primaria o como terapia coadyuvante junto con otros tratamientos en las condiciones mencionadas más arriba. La efectividad puede medirse mediante los siguientes marcadores clínicos:

En artritis, los habituales criterios clínicos, incluyendo disminución del dolor, menor inflamación, y por lo tanto un mayor potencial de movilidad.

En el caso de problemas psicofisiológicos, alivio de síntomas de abstinencia de las drogas y alivio de la ansiedad depresiva y sus síntomas. En el caso de epilepsia, regreso a una mayor normalidad en el EEG, patrones de sueños más normales y reducción en las dosis requeridas de medicamentos.

En cicatrización de heridas y regeneración, reparación de tejidos blandos y reducción de tejido colágeno en la formación de cicatrices; restitución de tejidos mediante formación de blastemas (células primitivas) e incremento en la resistencia tensil de heridas quirúrgicas; alivio de úlceras crónicas por decúbito (llagas de lecho); incremento en la angiogénesis (regeneración de tejido vascular tal como los vasos sanguíneos); y cicatrización de úlceras venosas crónicas recalcitrantes (es decir, que no responden al tratamiento).

Por ejemplo, una evaluación clínica breve de doble ciego de terapia de campo magnético podría basarse en el protocolo de Trock et al. (1993) utilizado para la osteoartritis de la rodilla o codo. Este protocolo es como sigue:

Una población adecuada de pacientes se divide en un grupo de tratamiento y otro grupo de control. Las asignaciones individuales se codifican y permanecen desconocidas tanto para los pacientes como para los clínicos y operadores hasta que tanto tratamiento como evaluación se completan.

Se determinan marcadores clínicos de pretratamiento por parte de los médicos clínicos o por los pacientes mismos, o por ambos.

Los tratamientos consisten en tres a cinco sesiones semanales de media hora cada una durante un total de 18 tratamientos a lo largo de cinco a seis semanas.

Durante el tratamiento, cada paciente inserta el miembro afectado dentro de la abertura de una bobina de Helmholtz (un solenoide de alrededor de 30 centímetros de diámetro y 15 cm de longitud) y el paciente descansa mientras que las corrientes adecuadas se aplican a la bobina según lo indicado en un programa preestablecido.

El tratamiento es no invasivo e indoloro; el paciente no siente nada; no existe una transferencia medible de calor al paciente.

El grupo de control sigue el mismo procedimiento excepto que, sin que el operador y el

paciente lo sepan, se utiliza un equipo "inocuo" (alterado internamente de tal forma que no fluya corriente a través de la bobina).

Se determinan los marcadores clínicos de post-tratamiento de los pacientes.

Se lleva a cabo una adecuada reducción de datos (puntuación de resultados, decodificación de los grupos de tratamiento y control y análisis estadístico).

Pruebas clínicas de tratamientos basados en BEM para una amplia variedad de otras condiciones podrían seguir lineamientos similares a los aquí mencionados.

Temas clave

Ciertos temas clave o controversiales que rodean al BEM han limitado el progreso en este campo. Estos temas caen dentro de ciertas áreas específicas: controversia médica, controversia científica, barreras, y otros temas.

Controversia médica

Un número de tratamientos médicos y dispositivos de diagnóstico caracterizados como "cajas negras" -- algunos legales y otros ilegales -- se han asociado con tratamiento médico EM. Se desconoce si operan o no sobre las bases del BEM.

Entre dichos dispositivos se encuentran los siguientes: dispositivos de radiónica, oscilador de ondas múltiples de Lakhovsky, máquina de Priore, tubos de descarga en gas inerte de Rife, tubos de rayo violeta, dispositivos de energía orgónica de Reich, máquinas EAV, y biocircuitos.

Existen al menos seis explicaciones alternativas respecto de cómo funcionan estos dispositivos:

1. No son efectivos y se basan en la aplicación errónea de principios físicos.
2. Puede que operen bajo principios de BEM, pero no están caracterizados como tales
3. Puede que operen sobre principios acústicos (ondas sonoras o ultrasonido) en lugar de BEM.
4. En el caso de dispositivos de diagnóstico, puede que operen mediante la focalización de la capacidad intuitiva del operador.
5. En el caso de aplicaciones a larga distancia, puede que operen mediante propiedades no locales de conciencia del paciente y el operador.
6. Puede que operen sobre la base de energía proveniente de un dominio físico no caracterizado hasta el presente.

Una encuesta reciente (Eisenberg et al., 1993) mostró que alrededor de 1% de la población de los Estados Unidos utilizaba técnicas de curación energética, las cuales incluían una variedad de dispositivos EM.

De hecho, la mayoría de los individuos que contestaron esta encuesta de 1990 utilizaban técnicas de curación energética que empleaban homeopatía y acupuntura en el tratamiento ya sea de enfermedades serias o crónicas. Además del empleo de dispositivos por parte de operadores, existe una plétora de productos médicos de consumo que emplean energía magnética y que supuestamente promueven la relajación o tratan una variedad de enfermedades. Por ejemplo, para el lecho existen cubre colchones impregnados con imanes; hay imanes que se amarran al sitio de una lesión atlética; y existen pequeños imanes con forma cilíndrica que se colocan sobre puntos específicos del cuerpo. La mayoría de estos así llamados imanes terapéuticos, también denominados bioimanes, provienen de Japón. Sin embargo no existen artículos en publicaciones médicas que demuestren su efectividad mediante ensayos clínicos.

Algunas de las modalidades médicas discutidas en este documento, aun cuando actualmente

aceptadas médica o legalmente en los Estados Unidos, no necesariamente han atravesado los más recientes requerimientos de seguridad o efectividad. La aprobación por parte de la FDA de un número significativo de dispositivos basados en BEM, principalmente aquellos utilizados en la soldadura ósea y en neuroestimulación, obtuvieron su aprobación por "antigüedad". Es decir, dispositivos médicos vendidos en los Estados Unidos con anterioridad a la Ley de Dispositivos Médicos decretada a fines de 1970 recibieron automáticamente la aprobación de la FDA, para su empleo en la misma forma y para las mismas condiciones médicas para las cuales se utilizaba con anterioridad a la aprobación de la ley. La aprobación "por antigüedad" por parte de la FDA aplica no sólo a dispositivos de BEM, sino a todos los dispositivos que abarcan la Ley de Dispositivos Médicos. Sin embargo, no se ha establecido ya sea la seguridad o la efectividad de estos dispositivos aprobados por antigüedad (es decir, están aprobados sobre la base de una "suposición" de la FDA, pero por lo general permanecen estudiados sólo parcialmente). Deberá exigirse una nueva evaluación de los dispositivos en uso, hayan sido o no aprobados por antigüedad.

Existen tres formas posibles para resolver controversias asociadas con BEM y su aplicación:

1. Dilucidando los principios fundamentales que subyacen la operación del dispositivo que, o al menos las bases históricas del desarrollo del mismo;
2. Efectuar estudios de control de casos adecuadamente diseñados y estudios clínicos para validar los efectos que se han reportado o proclamado para tratamientos basados en BEM; y
3. Incremento del conocimiento de la comunidad médica respecto de los estudios clínicos bien documentados y controlados que indiquen la efectividad de aplicaciones de BEM específicos (véase Tabla 2).

Controversia científica

Algunos físicos afirman que los campos EM de baja intensidad y no ionizantes no poseen bioefectos más allá que el calentamiento resistivo (joule) de los tejidos. Uno de estos argumentos se basa en un modelo físico en el cual el único parámetro de campo EM considerado como importante para los sistemas biológicos es la densidad de energía (Adair, 1991). El argumento afirma que los bioefectos no térmicos medibles de campos EM son "imposibles" debido a que contradicen conocidas leyes físicas o requerirían de una "nueva física" para explicarlos.

Sin embargo, numerosos experimentos independientes reportados en la literatura de investigación, a través de publicaciones arbitradas establecen sin duda alguna la existencia de bioefectos no térmicos de campos EM de baja intensidad. Más aún, los resultados experimentales apoyan ciertos nuevos enfoques en la modelización teórica de las interacciones entre los campos EM y la materia biológica. La mayoría de los investigadores creen actualmente que los bioefectos del BEM se volverán comprensibles sin hacer a un lado la física, sino más bien desarrollando modelos detallados más complejos, basados en conocidas leyes físicas, en los cuales se consideren parámetros adicionales (por ejemplo, frecuencia, intensidad, forma de ondas, y dirección de campo).

Barreras

Existen las siguientes barreras para la investigación del BEM:

Los miembros de los paneles de evaluación del NIH (Instituto Nacional de la Salud) en aplicaciones médicas puede que no estén adecuadamente informados acerca de prácticas médicas alternativas o BEM. Esta es la barrera más seria.

El financiamiento de investigación en BEM se orienta fuertemente hacia el estudio de los peligros de los campos EM; existen pocos fondos disponibles para el estudio de aplicaciones médicas potencialmente beneficiosas, o para el estudio de mecanismos básicos de interacciones EM con el proceso vital. También, la mayor parte de los fondos para investigación de campos EM se encuentra administrada por la

Secretaría de la Defensa y la Secretaría de Energía, organismos cuyas misiones no tienen relación alguna con la investigación médica.

La pequeña cantidad de trabajo en BEM financiada por el NIH se ha orientado principalmente hasta ahora a los peligros que presentan los campos EM. A fines de 1993, el Instituto Nacional de Ciencias Ambientales de la Salud solicitó fondos de investigación para las áreas de (1) efectos celulares de campos EM de baja frecuencia, y (2) efectos de campos EM de 60 Hz in vivo. El segundo proyecto se refiere únicamente a cuestiones de seguridad en cuanto a exposición a líneas de transmisión y aparatos electrónicos domésticos.

Sin embargo, el primero aparentemente no elimina la investigación de posibles efectos beneficiosos de campos de baja frecuencia, aun cuando se enfoca claramente en la determinación de efectos previamente reportados de campos EM de 60 Hz sobre procesos celulares.

Las barreras regulatorias para la fabricación de nuevos dispositivos de BEM para practicantes son formidables. El proceso de aprobación es lento y exorbitantemente costoso, aún para dispositivos médicos convencionales. Las barreras en educación incluyen las siguientes: (1) la educación básica en ciencias biológicas no es muy sólida en física, (2) los programas de pre y posgrado en BEM prácticamente no existen, y (3) no existe entrenamiento multidisciplinario en medicina y biología.

Las principales comunidades científicas y médicas son básicamente conservadoras y responden a disciplinas emergentes, tales como el BEM, con reacciones que oscilan entre la ignorancia y apatía llegando hasta la hostilidad abierta. En consecuencia, los investigadores principales de prestigio quizás no sean conscientes de las oportunidades de trabajo fructífero (o en colaboración con otros) en el campo del BEM, en tanto que los jóvenes investigadores podrían mostrarse renuentes a entrar en un campo percibido por algunos como perjudicial para el avance de sus carreras.

Otros temas clave que necesitan considerarse en el desarrollo de una agenda comprensiva de investigación y desarrollo para BEM incluyen los siguientes:

Estudios independientes preparados por la Oficina de Evaluación Tecnológica, por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional, y por la Agencia de Protección Ambiental han recomendado en cada caso asignar un alto nivel de prioridad a la investigación acerca de los mecanismos fundamentales que gobiernan las interacciones de los campos EM en los seres humanos (Bierbaum and Peters, 1991; Nair et al., 1989; U.S.EPA, 1991). Más aún, un estudio elaborado en 1985 por científicos pertenecientes a los Centros para Dispositivos y Salud Radiológica recomendó que la futura investigación acerca de la interacción de campos EM con sistemas vivientes "se dirija a la exploración de las aplicaciones médicas beneficiosas de la modulación de respuestas inmunológicas a la EMR (radiación electromagnética) (Budd and Czerski, 1985).

La dilucidación de los mecanismos físicos de las modalidades médicas del BEM constituye la clave individual más poderosa para el desarrollo de intervenciones clínicas eficientes y óptimas.

Aún un avance relativamente pequeño más allá del conocimiento actual de los mecanismos fundamentales tendría un valor práctico muy significativo. Además, un progreso en el desarrollo de una explicación mecanística de los efectos de la medicina alternativa podría incrementar su aceptabilidad por parte de la corriente principal en el campo médico y científico.

El BEM ofrece potencialmente un enfoque en nuevo el poderoso para la comprensión de las bases neuroendócrinas e inmunológicas de ciertos problemas médicos mayores (por ejemplo, cicatrización de ellas, cáncer y SIDA). Pagó párrafo sin embargo, se requieren fondos y tiempo en abundancia para llevar a cabo la investigación básica necesaria en el desarrollo de este enfoque.

El BEM podría proporcionar un cuadro biofísico amplio basado en ciencia fundamental, a través del cual podrían estudiarse muchas prácticas médicas alternativas. El BEM ofrece un prometedor punto de partida para la exploración científica de diversos sistemas médicos tradicionales alternativos (Becker and

Marino, 1982).

Resumen

De la misma forma en que la exposición a radiación de alta energía posee peligros indudables, la radiación ha sido también durante mucho tiempo una herramienta clave en la lucha contra muchas formas de cáncer.

De la misma manera, a pesar de que existen indicaciones de que algunos campos EM podrían ser peligrosos, existe ahora cada vez mayor evidencia de que existen bioefectos beneficiosos provocados por ciertos campos EM no térmicos y de baja intensidad.

En la práctica clínica, las aplicaciones del BEM ofrecen la posibilidad de diagnósticos más económicos y efectivos, así como nuevas terapias no invasivas para problemas médicos, incluso para aquellos considerados como intratables o recalcitrantes frente a los tratamientos convencionales.

El significativo cúmulo de trabajos recientes citados en este documento ha establecido la factibilidad de tratamientos basados en BEM, aún cuando la comunidad médica principal ignora en su mayoría este trabajo.

En la investigación biomédica, el BEM puede proporcionar una mejor comprensión de los mecanismos fundamentales de comunicación y regulación en niveles que van desde lo intracelular hasta lo orgánico. Un mayor conocimiento de los mecanismos fundamentales de las interacciones de los campos EM podría conducir directamente hacia mayores avances en los métodos de diagnóstico y tratamiento.

En el estudio de otras modalidades médicas alternativas, el BEM ofrece una estructura conceptual unificada que podría ayudar a explicar cómo ciertas técnicas diagnósticas y terapéuticas (por ejemplo, acupuntura, homeopatía, ciertos tipos de etnomedicina, y efectos de curanderos) pueden producir resultados que son de difícil comprensión desde un punto de vista más convencional. Estas áreas de la medicina alternativa se encuentran en la actualidad completamente basadas en enfoques empíricos (es decir, experimentación y observación antes que teoría) y fenomenológicas (es decir, la clasificación y descripción de cualquier hecho, circunstancia, o experiencia, sin intento alguno de su explicación). Así, su futuro desarrollo podría verse acelerado como una comprensión científica si su mecanismo de acción pudiera ser dilucidado.

Referencias

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

Adey, W.R. 1992. Collective properties of cell membranes. In B. Norden and C. Ramel, eds. *Interaction Mechanisms of Low-level Electromagnetic Fields in Living Systems*. Symposium, Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm (pp. 47-77). Oxford University Press, New York.

Adey, W.R., and A.F. Lawrence, eds. 1984. *Nonlinear Electrodynamics in Biological Systems* (conference proceedings). Plenum Press, New York.

Albertini, A., P. Zucchini, G. Nocra, R. Carossi, 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.

Becker, R.O., and A.A. Marino. 1982. *Electromagnetism and Life*. State University of New York Press, Albany, New York.

Becker, R.O., and J.A. Spadero. 1972. Electrical stimulation of partial limb regeneration in mammals. *Bull. N.Y. Acad. Med.* 48:627-641.

Bierbaum, P.J., and J.M. Peters, eds. 1991. *Proceedings of the Scientific Workshop on the Health Effects of Electric and Magnetic Fields on Workers*. Cincinnati, Ohio, January 30-31. National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) Report No. 91-111. NTIS Order No. PB-91-173-351/A13. National Technical Information Service, Springfield, Va.

Blank, M., ed. 1993. *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*. *Proceedings of the 1st World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*, Orlando, Fla., June 14-19, 1992. San Francisco Press, Inc., San Francisco.

Blank, M., and E. Findl, eds. 1987. *Mechanistic Approaches to Interactions of Electric and Electromagnetic Fields With Living Systems*. Plenum Press, New York.

Brayman, A., and M. Miller. 1989. Proportionality of 60-Hz electric field bioeffect severity to average induced transmembrane potential magnitude in a root model system. *Radiat. Res.* 117:207-213.

Brayman, A., and M. Miller. 1990. 60-Hz electric field exposure inhibits net apparent H-ion excretion from excised roots of *Zea mays* L. *Radiat. Res.* 123:22-31.

Brighton, C.T., J. Black, Z.B. Friedenber, J.L. Esterhai, L. Day, and J.F. Connally. 1981. A multicenter study of the treatment of nonunion with constant direct current. *J. Bone Joint Surg. (Br.)* 63A:2-12.

Brighton, C.T., J. Black, and S.R. Pollack, eds. 1979. *Electrical Properties of Bone and Cartilage: Experimental Effects and Clinical Applications*. Grune and Stratton, Inc., New York.

Brighton, C.T., M.J. Katz, S.R. Goll, C.E. Nichols, and S.R. Pollack. 1985. Prevention and treatment of sciatic denervation disuse osteoporosis in the rat tibia with capacitively coupled electrical stimulation. *Bone* 6:87-97.

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.

Chwirot, W.B. 1988. Ultraweak photon emission and anther meiotic cycle in *Larix europaea* (experimental investigation of Nagl and Popp's electromagnetic model of differentiation). *Experientia* 44:594-599.

Chwirot, W.B., R.S. Dygdala, and S. Chwirot. 1987. Quasi-monochromatic-light-induced photon emission from microsporocytes of larch shows oscillating decay behavior predicted by the electromagnetic model of differentiation. *Cytobios* 47:137-146.

Cohen, M.M., A. Kunska, J.A. Astemborsky, and D. McCulloch. 1986. The effect of low-level 60-Hz electromagnetic fields on human lymphoid cells. *Circ. Res.* 172:177-184.

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. Delpport, and N. Cheng. 1989. Effects of pulsed electromagnetic fields on rat skin metabolism. *Biochim. Biophys. Acta* 982:9-14.

Devyatkov, N.D., Y.V. Gulyaev, et al. 1991. Digest of Papers. International Symposium on Millimeter Waves of Non-Thermal Intensity in Medicine. Cosponsored by Research and Development Association "ISTOK" and Research Institute of U.S.S.R. Ministry of Electronic Industry ("ORION"). Moscow, October 3-6. (In Russian.)

Dundee, J.W., and R.G. Ghaly. 1989. Acupuncture prophylaxis of cancer chemotherapy-induced sickness. *J. R. Soc. Med.* 82:268-271.

Dunn, P.A., and D. Rogers. 1989. Transcutaneous electrical nerve stimulation at acupuncture points in the induction of uterine contractions. *Obstet. Gynecol.* 73:286-290.

Easterly, C. 1982. Cardiovascular risk from exposure to static magnetic fields. *American Industrial Hygiene Association Journal* 43:533-539.

Eisenberg, D.M., R.C. Kessler, C. Foster, et al. 1993. Unconventional medicine in the United States: prevalence, costs, and patterns of use. *N. Engl. J. Med.* 328:246-252.

Fehlings, M.G., R.J. Hurlbert, and C.H. Tator. 1992. An examination of direct current fields for the treatment of spinal cord injury. Paper presented at the 1st World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Orlando, Fla., June 14-19.

Feinendegen, L.E. and H. Muhlensiepen. 1987. In vivo enzyme control through a strong stationary magnetic field: The case of thymidine kinase in mouse bone marrow cells. *Int. J. Radiat. Biol.* 52(3):469-479.

Foxall, P.J.D., G.H. Neild, F.D. Thompson, and J.K. Nicholson. 1991. High-resolution NMR spectroscopy of fluid from polycystic kidneys suggests reversed polarity of cyst epithelial cells. *Journal of the American Society of Nephrology* 2(3):252.

Goldenberg, D.M., and H.J. Hansen. 1972. Electric enhancement of bone healing. *Science* 175:1118-1120.

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.

Gordon, R.T. 1986. Process for the Treatment of Atherosclerotic Lesions. U.S. Patent No. 4,622,953, November 18.

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.

Greene, J.J., W.J. Skowronski, J.M. Mullins, and R.M. Nardone. 1991. Delineation of electric and magnetic field effects of extremely low frequency electromagnetic radiation on transcription. *Biomedical and Biophysical Research Communications* 174(2):742-749.

Grundler, W., F. Kaiser, F. Keilmann, and J. Walleczek. In press. Mechanisms of electromagnetic interaction with cellular systems. *Naturwissenschaften*. From a workshop sponsored by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) at the Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, Germany, September 11-12.

Guy, A.W. 1987. Dosimetry association with exposure to non-ionizing radiation: very low frequency to microwaves. *Health Phys.* 53(6):569-584.

Hagfors, N.R., and A.C. Hyme. 1975. Method and structure of preventing and treating ileus, and reducing acute pain by electrical pulse stimulation. U.S. Patent No. 3,911,930, October 14.

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.

Herbst, E., B.F. Siskin, and H.Z. Wang. 1988. Assessment of vascular network in rat skin flaps subjected to sinusoidal EMFs using image analysis techniques. Transactions of the 8th Annual Meeting of the Bioelectrical Repair and Growth Society. Washington, D.C., October 9-12.

Hinsenkamp, M., J. Ryaby, and F. Burny. 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.

Hurlbert, R.J., and C.H. Tator. 1992. Effect of disc vs. cuff electrode configuration on tolerance of the rat spinal cord to DC stimulation. Paper presented at the 1st World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Orlando, Fla., June 14-19.

Ieran, M., S. Zaffuto, M. Bagnacani, M. Annovi, A. Moratti, and R. Cadossi. 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.

Im, M.J., and J.E. Hoopes. 1991. Effects of electrical stimulation on ischemia/reperfusion injury in rat skin. In C.T. Brighton and S.R. Pollack, eds. *Electromagnetics in Medicine and Biology*. San Francisco Press, Inc., San Francisco.

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.

Klawansky, S., A. Yueng, C. Berkey, N. Shah, C. Zachery, and T.C. Chalmers. 1992. Meta-analysis of randomized control trials of the efficacy of cranial electrostimulation in treating psychological and physiological conditions. Report of the Technology Assessment Group, Department of Health Policy and Management, Harvard University School of Public Health, August 28.

Kraus, W. 1992. The treatment of pathological bone lesion with nonthermal, extremely low frequency electromagnetic fields. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 27:321-339.

Lee, R.C., D.J. Canaday, and H. Doong. 1993. A review of the biophysical basis for the clinical application of electric fields in soft tissue repair. *J. Burn Care Rehabil.* 14:319-335.

Lee, Y.H., W.C. Lee, M.T. Chen, et al. 1992. Acupuncture in the treatment of renal colic. *J. Urol.* 147:16-18.

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 exposed 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.

Liboff, A.R., R.A. Rinaldi, eds. 1974. Electrically mediated growth mechanisms in living systems. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 238(October 11).

Liburdy, R.P., and T.S. Tenforde. 1986. Magnetic field-induced drug permeability in liposome vesicles. *Radiat. Res.* 108:102-111.

MadroZero, 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.

Marino, A.A., ed. 1988. *Modern Bioelectricity*. Marcel Dekker, Inc., New York.

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.

Mathew, R., and S. Rumar. The non-exponential decay pattern of the weak luminescence from seedlings in *Cicer arietinum* L. stimulated by pulsating electric fields. *Experientia*. In press.

McDevitt, L., P. Fortner, and B. Pomeranz. 1987. Application of weak electrical field to the hindpaw enhances sciatic motor-nerve regeneration in the adult rat. *Brain Res.* 416:308-314.

Mertz, P.M., S.C. Davis, and W.H. Eaglstein. 1988. Pulsed electrical stimulation increases the rate of epithelialization in partial thickness wounds. Transactions of the 8th Annual Meeting of the Bioelectrical Repair and Growth Society, Washington, D.C., October 9-12.

Miklavcic, D., S. Rebersek, G. Sersa, et al. 1991. Nonthermal antitumor effect of electrical direct current on murine fibrosarcoma SA-1 tumor model. In C.T. Brighton and S.R. Pollack, eds. *Electromagnetics in Medicine and Biology*. San Francisco Press, Inc., San Francisco.

Nair, I., M.G. Morgan, and H.K. Florig. 1989. Biological Effects of Power Frequency Electric and Magnetic Fields (Background Paper). Office of Technology Assessment, Report No. OTA-BP-E-53. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

O'Connor, M.E., R.H.C. Bentall, and J.C. Monahan, eds. 1990. *Emerging Electromagnetic Medicine conference proceedings*. Springer-Verlag, New York.

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 antitumor drug. *Jpn. J. Cancer Res.* 81:956-961.

Onuma, E., and S. Hui. 1988. Electric field-directed cell shape changes, displacement, and cytoskeletal reorganization are calcium dependent. *J. Cell Biol.* 106:2067-2075.

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. McChesney. 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 (multiauthor review). *Experientia* 44:543-600.
- Popp, F.A., K.H. Li, and Q. Gu, eds. 1992. *Recent Advances in Biophoton Research and Its Applications*. World Scientific Publishing Co., Singapore and New York.
- Popp, F.A., W. Nagl, K.H. Li, et al. 1984. Biophoton emission: new evidence for coherence and DNA as source. *Cell Biophys.* 6:33-52.
- 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. Pfeleiderer. 1989. The differentiation of normal and transformed human fibroblasts in vitro is influenced by electromagnetic fields. *Exp. Cell Res.* 182:610-621.
- Rosenthal, M., and G. Obe. 1989. Effects of 50-Hz electromagnetic fields on proliferation and on chromosomal alterations in human peripheral lymphocytes untreated or pretreated with chemical mutagens. *Mutat. Res.* 210:329-335.
- 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 Ca²⁺ 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.
- Sisken, B.F. 1992. Nerve regeneration: implications for clinical applications of electrical stimulation. Paper presented at the 1st World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Orlando, Fla., June 14-19.
- 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.
- Smith, S.D. 1967. Induction of partial limb regeneration in *Arana pipicus* by galvanic stimulation. *Anat. Rec.* 158:89-97.

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. Siskin. 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 electromagnetic 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., R.G. Stevens, and L.E. Anderson, eds. 1990a. *Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: The Question of Cancer*. Battelle Press, Columbus, Ohio.

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.

Tabla 1.

Espectro Electromagnético

Intervalo de frecuencias(Hz)*	Clasificación	Efecto biológico
0	Corriente Directa	No ionizante
0 - 300	Frecuencia extremadamente baja	No ionizante
300 - 104	Baja Frecuencia	No ionizante
104 - 109	Frecuencia Radial	No ionizante
109 - 1012	Bandas de Microondas y radar	No ionizante
1012 - 4 x 1014	Banda Infraroja	No ionizante
4 x 1014 - 7 x 1014	Luz visible	Débilmente ionizante
7 x 1014 - 1018	Banda Ultravioleta	Débilmente ionizante
1018 - 1020	Rayos X	Fuertemente ionizante
> 1020	Rayos Gamma	Fuertemente ionizante

* La división del espectro EM en bandas de frecuencia se basa en su empleo convencional aun cuando arbitrario en varias disciplinas.

Tabla 2.

Referencias de literatura seleccionada sobre Efectos Biomédicos de Campos EM No térmicos.

Intervalo de Frecuencia de campos EM

Ubicación o tipo de bioefecto

CD_ELF, incluso sinusoidal, puls+atil y mixta

FR y microonda

IR, visible, y luz UV

Monografías y artículos de reseña

Bone and cartilage, including treatments for bone repair and osteoporosis_Brighton et al., 1981;

Baranowski & Black, 1987;

Papatheofanis, 1989_Bassett et al., 1982;

Barker et al., 1984;

Brighton et al., 1985;

Hinsenkamp et al., 1985;

Huraki et al., 1987;

Bassett, 1989;

MadroZero, 1990;

Sharrard, 1990;

Grande et al., 1991;

Magee et al., 1991;

Pollack et al., 1991;

Skerry et al., 1991;

Ryaby et al., 1992___Brighton et al., 1979__

Soft tissue, including wound healing, regeneratrion, and vascular tissue effects_ Becker, 1987;

Becker, 1990;

Becker, 1992;

Vodovnik & Karba, 1992_Gordon, 1986;

Herbst et al., 1988;

Mertz et al., 1988;

YenPatton et al., 1988;

Albertini et al., 1990;

Ieran et al., 1990;

Im & Hoopes, 1991;

Kraus, 1992;

Liboff et al., 1992b;

Stiller et al., 1992;

Vodovnik & Karba, 1992_Devyatkov et al., 1991__Vodovnik & Karba, 1992__

Neural tissue, including nerve growth and regeneration__Wilson et al., 1974;

Rusovan & Kanje, 1991;

Subramanian et al., 1991;

Horton et al., 1992;

Rusovan & Kanje, 1992;

Rusovan et al., 1992_____

Neural stimulation effects, including TENS and TCES__Hagfors & Hyme, 1975;

Hallett & Cohen, 1989;

Anninos & Tsagas, 1991;
Klawansky et al., 1992____
Psychophysiological and behavioral effects____Pasche et al., 1989;
Devyatkov et al., 1991;
Hajdukovic et al., 1992_Thomas et al., 1986_O'Connor & Lovely, 1988__
Electroacupuncture_McDevitt et al., 1987_Pomeranz et al., 1984;
Christensen & Noreng, 1989;
Dundee & Ghaly, 1989;
Lee et al., 1992____
Neuroendocrine effects, including melatonin modifications_Feinendegen & Muhlensiepen, 1987_Lerchl et al., 1990;
Wilson et al., 1990a, 1990b____O'Connor & Lovely, 1988__
Immune system effects__Cadossi et al., 1988a;
Cadossi et al., 1988b;
Cossarizza et al., 1989a;
Cossarizza et al., 1989b;
Rosenthal & Obe, 1989;
Phillips & McChesney, 1991;
Walleczek, 1992____
Arthritis treatments__Grande et al., 1991;
Trock et al., 1993_Devyatkov et al., 1991____
Cellular and subcellular effects, including effects on cell membrane, genetic system, and tumors_Easterly, 1982;
Liburdy & Tenforde, 1986;
Foxall et al., 1991;
Miklavcic et al., 1991;
Short et al., 1992_Cohen et al., 1986;
Takahashi et al., 1987;
Adey, 1992;
Marron et al., 1988;
Onuma & Hui, 1988;

Brayman & Miller, 1989;
Cossarizza et al., 1989a, 1989b;
De Loecker et al., 1989;
Goodman et al., 1989;
Rodemann et al., 1989;
Brayman & Miller, 1990;
Lerchl et al., 1990;
Omote et al., 1990;
Greene et al., 1991;
Liboff et al., 1991_Guy, 1987;
Chen & Ghandi, 1989;
Brown & Chattpadhyay, 1991;
Devyatkov et al., 1991__Adey & Lawrence, 1984;
Marino, 1988;
Blank & Findl, 1987;
Ramel & Norden, 1991;
Grundler et al., in press__
Endogenous EM fields, including biophotons__Mathew & Rumar, in press_Mathew & Rumar, in press_Popp et al., 1984;
Chwirot et al., 1987;
Chwirot, 1988;
Popp et al., 1988_Wijk & Schamhart, 1988;
Popp et al., 1992__

Nota: Los estudios en la Tabla 2 fueron seleccionados de publicaciones médicas y científicas arbitradas, monografías de múltiples autores, anales de conferencias y patentes. Véase Referencias para identificación de fuentes. Esta constituye una selección representativa a partir de una gran cantidad de fuentes relevantes, y no pretende ser exhaustiva o definitiva.

Una introducción más detallada al campo del BEM y una reseña de los avances en investigación se encuentra disponible en las siguientes monografías y anales de conferencias: Adey, 1992; Adey and Lawrence, 1984; Becker and Marino, 1982; Blank, 1993; Blank and Findl, 1987; Brighton and Pollack, 1991; Brighton et al., 1979; Liboff and Rinaldi, 1974; Marino, 1988; O'Connor et al., 1990; O'Connor and Lovely, 1988; Popp et al., 1992; and Ramel and Norden, 1991.

Gauss es una unidad de densidad de flujo magnético. Para términos comparativos, un imán típico empleado para sostener papeles en forma vertical sobre la puerta de un refrigerador suele tener 200 G.