

Aplicaciones médicas del diamagnetismo: una revisión narrativa

Pedro Romeo¹, Obando Felipe Torres², Federica di Pardo¹, Thomas Graus³

Abstracto

El magnetismo incluye la tendencia de la materia a reaccionar ante un campo magnético incidente tanto de forma atractiva como repulsiva. Con respecto a este último fenómeno, el diamagnetismo, la ultraestructura de la materia muestra electrones desapareados con un espín antiparalelo, la alta polaridad y la ausencia de un momento magnético propio. Todo esto da como resultado un efecto repulsivo que induce el movimiento de líquidos y moléculas diamagnéticas, el agua en primer lugar, lo que produce el llamado efecto diamagnético. Este efecto involucra tanto al entorno extracelular como al intracelular, con la posibilidad de mover varias moléculas diamagnéticas y el flujo de iones a través de la membrana celular, actuando sobre los procesos metabólicos de la materia biológica.

La plena realización de este fenómeno requiere una alta intensidad del campo magnético junto con la posibilidad de modular dos parámetros clave como la Frecuencia y la Amplitud del impulso.

Esta revisión analiza las aplicaciones reales y posibles del Diamagnetismo en la práctica clínica. **Palabras**

clave: Diamagnetismo, Efecto Repulsivo, Campos Magnéticos de Alta Intensidad.

Introducción

Desde los orígenes del universo, los campos magnéticos permean la materia a diversos niveles, desde el subcelular hasta el planetario, pasando por el galáctico como fenómeno físico natural [1]. En biología, los efectos más conocidos están relacionados con el transporte de iones y moléculas a través de los espacios intersticiales y la membrana celular, actuando sobre sus potenciales eléctricos. Esto, directa e indirectamente, modula los eventos metabólicos en los seres vivos, incluido el mundo vegetal [2]. Las tecnologías basadas en campos electromagnéticos pulsados (PEMFs) se han convertido en los últimos años en una realidad en desarrollo de la investigación dirigida a comprender e implementar nuevas técnicas terapéuticas no invasivas en aplicaciones médicas, principalmente regenerativas [3]. Todo esto proviene de los primeros intentos terapéuticos de utilizar PEMFs para estimular la curación ósea en casos de unión retardada y pseudoartrosis de fracturas, cuyo fundamento radica en imitar el efecto óseo piezoeléctrico relacionado con la carga según la ley de Wolff [4]. Con el tiempo, el conocimiento de los PEMFs ha ido

aplicado a diversas condiciones médicas, y actualmente, su uso está dirigido a efectos antiinflamatorios, regenerativos y de alivio del dolor [5]. Además, desde hace varias décadas se han resaltado progresivamente los mismos efectos para los Campos Magnéticos de Alta Intensidad-Baja Frecuencia (Diamagnetismo), lo que demuestra cada vez más ser un método efectivo e innovador para aplicar las potencialidades bioactivas de la inducción electromagnética, abriendo nuevos escenarios en el objetivo de crear terapias personalizadas en trastornos musculoesqueléticos, en enfermedades del sistema nervioso, en disfunción de órganos parenquimatosos y regeneración tisular [6, 7].

Esta revisión narrativa analiza el diamagnetismo como herramienta terapéutica, los principios físicos, los datos de la literatura y las perspectivas futuras.

Física y principios del diamagnetismo La estructura atómica rigiere las propiedades magnéticas de la materia, que pueden variar desde un efecto atractivo hasta uno repulsivo. El diamagnetismo es parte de este dualismo y

se relaciona con la repulsión molecular de la materia diamagnética resultante de la aplicación de un campo magnético de alta intensidad (HI-MF). Por lo tanto, los materiales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos tienen diferente aptitud para magnetizar, llamada susceptibilidad magnética (χ). En materiales diamagnéticos χ es negativo, en paramagnéticos χ es pequeño positivo, y en materiales ferromagnéticos, χ es en gran medida positivo. Esta baja tendencia de la materia diamagnética a magnetizar se compensa con HI-MF, cuyo efecto es mover la materia de niveles de energía más altos a niveles más bajos (efecto diamagnético) [8]. Esto ocurre porque las sustancias diamagnéticas tienen una "estructura de capa cerrada" en la que los electrones no están desapareados, la alineación del espín es antiparalela y el momento magnético atómico es cero [9]. HI-MF cambia este estado al actuar sobre la velocidad de rotación de los electrones alrededor del núcleo, modificando así el momento magnético dipolar en una dirección opuesta a la del campo magnético externo [10]. Por lo tanto, los electrones que tienen un momento magnético orbital alineado con el campo magnético externo disminuyen su velocidad.

¹Academia Periso, Lugano, Suiza,

²Organización Médica de Regeneración Celular-Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia,

³División Médica Periso, Pazzallo, Suiza.

Dirección de correspondencia

Dr. Pietro Romeo, MD

Academia Periso, Lugano, Suiza. Correo

electrónico: romeo.p@libero.it



Doctor Pietro Romeo



Dr. Obando Felipe Torres

Fecha de envío: 24 de agosto de 2022, Fecha de revisión: 30 de agosto de 2022, Fecha de aceptación: 30 de agosto de 2022 y Fecha de publicación: 10 de diciembre de 2022

© 2022 Journal of Regenerative Science | Disponible en www.jrsonweb.com | DOI:10.13107/jrs.2022.v02.i02.053

Esta es una revista de acceso abierto y los artículos se distribuyen bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros remezclar, modificar y desarrollar la obra de forma no comercial, siempre que se otorgue el crédito correspondiente y las nuevas creaciones estén licenciadas bajo los mismos términos.

hacia abajo, y los alineados en sentido opuesto se aceleran (efecto repulsivo) [11]. Históricamente, las raíces de estos conceptos se encuentran en los estudios de Faraday sobre la inducción electromagnética (1821), dada por la fuerza electromotriz generada en un circuito eléctrico por un campo magnético externo variable. Más tarde, la ley de Lenz (1834) establece que esta fuerza electromotriz se opone al campo magnético entrante. Esta sería la primera descripción del diamagnetismo, aunque numerosos académicos de la época afirmaron este hallazgo. Por lo tanto, la verdadera paternidad del diamagnetismo permanece sin definir [12].

El diamagnetismo es un fenómeno débil que, para ser efectivo, requiere un HI-MF. Es bastante sorprendente que la mayoría de las sustancias biológicas que desempeñan papeles primarios en el metabolismo de las células sean estructuralmente diamagnéticas: agua, iones, moléculas y la mayor parte de las proteínas [13]. Por lo tanto, con el tiempo, nuevas rutas de investigación en campos magnéticos pulsados, que ya no se limitan a las interacciones electroquímicas con la membrana celular, se han abierto a modelos sofisticados de comunicación entre células.

Los efectos biológicos significativos surgen modulando parámetros seleccionados del HI-MF, como el tiempo de subida, la amplitud y las bandas de frecuencia electromagnética transportadas por el campo magnético [14]. La exposición a un campo magnético homogéneo (B) modifica el momento magnético (M) del objetivo, lo que conduce a la superposición de una precesión uniforme de frecuencias angulares en la dirección del MF aplicado (precesión de Larmor) de acuerdo con la relación giromagnética del objetivo [15, 16]. Luego, para cada variación del campo magnético externo, el objetivo emite frecuencias adecuadas (frecuencia de Larmor), se produce el fenómeno de resonancia y ocurre la absorción de la energía externa. La frecuencia variable, la longitud de onda y los gradientes del campo magnético caracterizan el perfil de seguridad del diamagnetismo en aplicaciones médicas: frecuencia extremadamente baja (<50 Hz), longitud de onda alta (>6 km), gradiente del campo magnético <400 MT/m/seg [17].

Efectos biológicos del diamagnetismo La primera consecuencia del diamagnetismo es el movimiento de sustancias diamagnéticas y, en consecuencia, esta fuerza mecánica promueve el flujo de sustancias biológicamente activas.

moléculas, tanto en el entorno extracelular como intracelular. Este fenómeno regula muchas funciones de las células: cambios en el potencial eléctrico de membrana controlado por la bomba Na⁺/K⁺, cambios en la motilidad celular, división celular, interacciones intracelulares, reacciones enzimáticas y mitocondriales y señalización celular [18]; en resumen la activación de vías metabólicas específicas. Las características del campo magnético afectan significativamente el funcionamiento de las células. Se han empleado grandes gradientes de campo magnético elevados para simular la microgravedad mediante la producción de mayores fuerzas magnéticas como para inducir el fenómeno magnético extremo de la evocación magnética (intensidad del campo magnético que varía de 10 T a 16 T-Gradiente de 1300 T2/m). En tales condiciones, se producen cambios negativos en la mecanotransducción fisiológica. Las células similares a osteoblastos mostraron cambios en el retículo endoplásmico y mitocondrias, microvellosidades y agregados de filamentos de actina. Además, la viabilidad de los osteocitos, la secreción de ALP y la alteración de la estructura de Col I [19, 20]. Por lo tanto, es obligatoria una relación óptima entre la intensidad y el gradiente de MF. La combinación de una intensidad menor de MF (1 T) y un gradiente grande (1 GT/m) observa cambios positivos en el potencial de membrana de la célula y, por lo tanto, tiene un impacto significativo no solo en las propiedades y la funcionalidad biológica de las células, sino también en el destino celular. Considerando que la gran parte de las células y el tejido son diamagnéticos con una susceptibilidad muy cercana a la del agua, las diferencias en las susceptibilidades diamagnéticas de los componentes celulares son bajas y conducen a efectos minúsculos [21,22].

Los efectos regenerativos del diamagnetismo han sido recientemente confirmados in vivo, en un modelo de fractura de aleta en pez cebra. El tratamiento diamagnético da como resultado longitudes diferentes de los radios de la aleta regenerada 5 días después de la amputación, con un aumento dimensional estadísticamente significativo, en comparación con los peces no tratados (P < 0,01). Además, toda la curva de crecimiento, calculada hasta el final del proceso de regeneración (10 días), indicó un efecto estimulador de los PEMF de baja frecuencia HI con respecto a los controles no tratados, con un pico de regeneración alcanzado antes y más rápido en el grupo tratado en comparación con el grupo control, 8 días frente a 10 días [23]. Además, este estudio demostró que la estimulación diamagnética en el tejido óseo a 2,9

mT en el objetivo, con un tiempo de exposición de 64 min/2 veces cada día, alcanzó un efecto biológico significativo en comparación con 9 h de estimulación continua como se observó en estudios que aplicaron campos magnéticos de baja intensidad a 1,5 mT [24]. Como en este caso, la alta intensidad del campo magnético en el origen (2T) da la posibilidad de entregar un mejor nivel de estimulación con respecto a las intensidades más bajas en la fuerza de la atenuación del flujo magnético con la distancia, de acuerdo con la ecuación de Biot-Savart para un tipo dado de solenoide. Esto significa que la estructura de la bobina electromagnética, la intensidad de MF y el gradiente de MG son elementos fundamentales de los tratamientos efectivos.

Evidencia clínica en diamagnetismo

Una serie de estudios clínicos informan sobre las aplicaciones terapéuticas del diamagnetismo. Hacen referencia a un dispositivo original, CTU Mega 20 (Periso SA, Suiza), también conocido como "bomba diamagnética". El nombre deriva del efecto principal de la HI-MF, el movimiento del agua y otras sustancias diamagnéticas. La máquina produce una HI-PEMF no ionizante de baja frecuencia (<50 Hz) (hasta 2,2 Tesla), capaz de generar un efecto diamagnético en el área corporal tratada. Los impulsos magnéticos duran 5 ms con un período de 1000 ms, y la forma de onda se puede modular para producir una estimulación selectiva del tejido objetivo del tratamiento.

Un primer ensayo clínico controlado se refiere al tratamiento del linfedema crónico en comparación con una media de compresión de 2ª clase. La fuerza diamagnética crea una repulsión mecánica capaz de resolver el desequilibrio del líquido en el espacio extracelular, más precisamente tanto el "fallo de bajo rendimiento" como el "fallo de alto rendimiento" del sistema linfático, de manera similar a otros estudios experimentales [25]. Además, la inflamación crónica se produce debido a la activación del sistema monocito-macrófago y del fibroblasto, con el consiguiente crecimiento de la matriz intersticial. En este estudio, la bomba diamagnética proporciona un doble efecto terapéutico: la reabsorción del edema intersticial dada por la estimulación diamagnética (desplazamiento de líquidos), y la reactivación del flujo linfático también debido a los efectos térmicos de la diatermia, (proporcionados por la máquina), y una microhiperemia que supera el déficit arteriolar y aumenta la velocidad del flujo.

en capilares. La combinación del tratamiento diamagnético y la compresión de las extremidades mostró la reducción de las circunferencias de las extremidades y cambios significativos con respecto a la compresión de las extremidades únicamente. La evaluación ecográfica dio la posibilidad de objetivar una menor consistencia del tejido, de edema duro a edema blando en la dermis y la estructura hipodérmica, con tejido conectivo más homogéneo y delgado, y la reducción de las sinequias entre la dermis y la hipodermis, entre la hipodermis y la fascia muscular superficial, como un posible efecto sobre la fibrosis [26].

Ensayos cruzados, aleatorizados, doble ciego y controlados con placebo para evaluar los efectos del diamagnetismo en la modulación de la excitabilidad corticoespinal a largo plazo en sujetos sanos. Se empleó una única dosis de 15 minutos de tratamiento simulado y real, ambas dirigidas al área motora primaria, para evaluar la excitabilidad corticoespinal (índice de plasticidad cortical similar a la potenciación a largo plazo) y registrar los potenciales evocados motores del primer músculo interóseo dorsal contralateral a los 15 y 30 minutos después del tratamiento. Comparando las mediciones pre y post, la excitabilidad cortical aumentó en más del 60% en sujetos reales, durando 30 min después de la estimulación, manteniendo una diferencia significativa versus el grupo simulado ($P < 0,005$) [14]. La prueba de concepto apoya la potencialidad de la estimulación diamagnética como un nuevo enfoque para la neuromodulación cerebral, dado el mayor volumen de estimulación, hasta 27 cm³ en comparación con 1-2 cm³ para la estimulación magnética transcraneal convencional, la modulación alcanzable de una porción extendida de la superficie cortical, una máquina fácil y lista para usar gracias a programas predefinidos de estimulación seleccionada del sistema nervioso, que no requiere personal especializado.

Este sistema programable puede optimizarse para diferentes tipos de enfermedades neurológicas, como se muestra en un estudio de serie de casos que incluye varios entornos para tratar enfermedades raras y huérfanas [6], un grupo de discapacidades multiorgánicas que limitan la calidad de vida de pacientes jóvenes y adultos, lo que afecta la carga socioeconómica para las familias y la comunidad. Trece pacientes de diversas edades que padecen 2 distrofias musculares de cinturas, 1 distrofia neuroaxonal, 4 parálisis cerebrales espásticas, 1 accidente cerebrovascular hemorrágico, 1 distonía, 1 síndrome de Glass, 1 disgenesia del cuerpo

calloso, 1 hipoplasia del puente cerebeloso y 1 disgenesia de la columna dorso-lumbar fueron tratados con estimulación diamagnética individualizada (promedio de 10 sesiones), además de la atención estándar. La configuración de la Bomba Diamagnética incluyó: modo de Control del Dolor, estimulación rápida y lenta de Fibras Nerviosas, Movimiento de Líquidos, estimulación de la membrana celular y estimulación Muscular. La máquina brinda la posibilidad de entregar frecuencias electromagnéticas multibanda seleccionadas capaces de coincidir con las frecuencias de resonancia específicas de los tejidos de acuerdo con el Modelo de precesión de Larmor (ver sección Física y Principios del Diamagnetismo). Dada la complejidad y diversidad de estas patologías, solo se realizó un análisis cualitativo de la progresión clínica en términos de ausencia / presencia de mejora en comparación con las condiciones iniciales: Dificultades motoras y de relación. Dos pacientes informaron una disminución de la fuerza de las extremidades superiores: distrofia muscular de cinturas y disgenesia de la columna dorsolumbar anterior. Se describe una mejoría muscular para las otras condiciones clínicas: la reducción significativa en el número de caídas y una mejor capacidad para mantener la bipedación en otro caso de distrofia muscular de cinturas, la mejoría general en las actividades motoras espontáneas afectó a tres casos de parálisis cerebral espástica, incluida una mejor reactividad en los movimientos de la mano, el mantenimiento del control cefálico, la desaparición de los reflejos primarios y mejores habilidades cognitivas. Una mejor reactividad a los estímulos externos y la actividad continua de la mano se informa como distrofia neuroaxonal, mientras que la mejoría del gesto espontáneo afectó a un caso de disgenesia del cuerpo calloso. En el síndrome de Glass, la mejoría motora fue suficiente para permitir el tratamiento integrado con el programa de rehabilitación. Este estudio señala cómo, dadas ciertas enfermedades, las mejoras limitadas pueden cambiar la calidad de vida de los pacientes y sus familias.

Dos experiencias clínicas con tratamiento diamagnético en fibrosis pulmonar. El primer trabajo es el reporte de un caso de una mujer con fibrosis pulmonar intersticial por Síndrome Anti-Sintetasa asociado a Síndrome de Sjögren, de 19 años de evolución. Esta combinación extremadamente rara con diferentes factores etiopatogénicos

(síndromes de superposición) provoca, respectivamente, insuficiencia respiratoria debido a la debilidad de los músculos respiratorios y enfermedad pulmonar intersticial que conduce a fibrosis pulmonar. El protocolo consistió en ocho sesiones (no a ritmo regular) de tratamiento diamagnético centrado en el tórax, los hombros y la parte superior del abdomen (músculos intercostales, músculo serrato anterior y diafragma). Los autores informaron la mejoría en los valores de oximetría con adición de oxígeno reducida y mejores parámetros críticos, como se informó en el cuestionario MMRC [27]. La peculiaridad de este tratamiento exitoso subraya, al principio, la necesidad de terapia continua de O₂ con valores de saturación periférica de oxígeno al 90% a 4 Lt/min y disnea en reposo. Al final de los tratamientos, la solicitud de oxígeno fue solo por la noche, con saturación periférica de O₂ al 98% y solo disnea residual de esfuerzo 4 meses después del inicio de los tratamientos. El segundo artículo informa sobre una serie de casos de diez pacientes con enfermedad intersticial pulmonar en neumonía post-COVID-19. Todos los sujetos fueron tratados en la región torácica posterior y posterolateral, 3 veces por semana durante 2 semanas. A pesar de que no hubo cambios significativos en las imágenes pulmonares de la tomografía computarizada en el momento del alta hospitalaria, todos los pacientes informaron menos disnea y fatiga con mejores habilidades funcionales en la prueba de marcha de 6 minutos, la prueba de Tinetti y la puntuación de Barthel) [28]. La mejora a corto plazo es notable y prefigura la posibilidad de un empleo estandarizado de la terapia diamagnética en los programas de rehabilitación post-neumonía COVID, así como en la enfermedad COVID prolongada. De todos modos, la falta de un estudio controlado y el bajo número de sujetos limitan significativamente el valor de estos resultados.

En una serie de 12 pacientes con lumbalgia de diversos orígenes, con una duración >3 meses, el tratamiento diamagnético muestra efectos antálgicos y funcionales a nivel subjetivo y funcional. Se reportan 3 sesiones/semana de tratamientos diamagnéticos, durante 3 semanas (cada tratamiento duró 30 min con la pieza de mano colocada a nivel de la espalda baja). Se evaluaron el dolor (escala numérica de calificación [NRS]) y la función física (índice de discapacidad de Oswestry) antes de la terapia, después de la primera sesión, 1 semana y 4 semanas una vez finalizada la terapia. Ambos resultados mejoraron significativamente ($P < 0,05$).

y ningún paciente reportó molestias o eventos adversos [29]. En este caso, esta tecnología inclusiva actúa, al mismo tiempo, sobre el movimiento de líquidos (edema), vehiculización de fármacos y moléculas (FANS -Myorela x ant) , estimulación de fibras musculares, articulares y nerviosas más modo de control del dolor, lo que podría dar efectos positivos en patologías de difícil categorización, debido a diversos factores intrínsecos y extrínsecos, como es el caso del LBP. Estudios de control darían una mayor significación a este tratamiento articulado.

También se describen experiencias en casos clínicos complejos. En un paciente poliartístico de 94 años con una úlcera grave en el pie, de 1 año de evolución y sin cambios en el tiempo, el tratamiento diamagnético ha sido posible gracias al contacto directo innecesario con la piel, dando además la posibilidad de continuar con el desbridamiento necesario de la úlcera y el recubrimiento hidrocoloide. El flujo del campo magnético alcanza hasta 7 cm de profundidad, y la tecnología es efectiva sin contacto como en el caso de pacientes que llevan yesos o aparatos ortopédicos. Después de 6 sesiones, una a la semana, el paciente experimentó una reducción significativa del dolor de 8 puntos en la Escala Visual Analógica a 2 puntos ($P < 0,01$), y la dimensión de la lesión se redujo de 6×4 cm al inicio del tratamiento a 2×2 cm al final ($P < 0,01$), con curación completa progresiva en poco tiempo [7]. Al mismo tiempo, se ha observado una mejora de la autonomía y la calidad de vida en el cuestionario SF36. Lo destacable de este informe es la recuperación más rápida tras el inicio de los tratamientos.

El segundo informe se refiere a un paciente de 69 años que padecía un síndrome de dolor regional complejo tipo I (SDRC-I) en el tobillo derecho durante dos años, con un cuadro de intolerancia a múltiples fármacos. El nivel de dolor era máximo de 10/10 (NR S) y reducía significativamente la calidad de vida (cuestionario Short Form-36). El tratamiento diamagnético local consistió en 10 sesiones semanales de aplicaciones de CTU Mega 20, sin terapia farmacológica asociada. Al final del tratamiento, se observó una reducción significativa del dolor (NRS 2/10), del edema y mejoras en la calidad de vida, sin eventos adversos reportados. La estrategia de no invasividad adoptada con el uso de la máquina demostró ser útil en un escenario difícil dado por pacientes que no pueden beneficiarse de la terapia farmacológica.

por intolerancia, como en este caso, o por ineficacia. En particular, cuando es imposible iniciar una nueva terapia farmacológica o el paciente rechaza tratamientos invasivos, como por ejemplo los bloqueos simpáticos [30]. Por otra parte, es bien sabido que los PEMF reducen el nivel de citocinas proinflamatorias, incluidas las implicadas en el recambio óseo rápido y los cambios osteoporóticos que ocurren durante la fase crónica de la enfermedad [31]. Este estudio clínico confirma esta peculiaridad y destaca el rápido tiempo de curación en relación con la historia clínica. La mayoría de los logros de los campos magnéticos se han atribuido a efectos sinérgicos regenerativos y antiinflamatorios [3]. En los tejidos lesionados, las intensidades variables del campo magnético inhiben la expresión de IL-6, IL-1 β y TNF α [32] y modulan la expresión de la IL-10 antiinflamatoria en cultivos de células tendinosas [33]. Además, un efecto antiflogístico implica la expresión de adenosina A2A y A3 [34]. A diferencia de los campos magnéticos de baja intensidad, el pulso diamagnético de alta intensidad ejerce efectos biológicos regenerativos, antiinflamatorios y tróficos sobre la matriz extracelular (ECM). Además, la interacción con nanopartículas diamagnéticas de la membrana celular [13] iones, proteínas receptoras de membrana, colesterol, glicol, fosfolípidos y el citosol intracelular, los cambios de la MEC en la presión hidrostática se derivan del efecto diamagnético mecánico HI-MF, principalmente en la inflamación crónica (inflamación de bajo grado) secundaria a la actividad persistente de IL-6 que desencadena un control regulador mediado por TGF- β 1. En caso de expresión a largo plazo de TGF β 1 se produce rigidez en la MEC, por aumento del almacenamiento de los proteoglicanos y dando lugar a un fenotipo fibrótico, como se observa en COVID-19 donde ocurre la desregulación de la cronobiología fisiológica de la inflamación [35]. Varios informes clínicos ya prefiguran este posible efecto de la terapia diamagnética en la fibrosis de diversos orígenes [26, 27, 28]. Además, la terapia diamagnética puede proporcionar la vehiculización de agentes terapéuticos directamente sobre los tejidos bajo tratamiento explotando el movimiento repulsivo (diamagnético) para transportar dentro del cuerpo agentes terapéuticos como interleucinas, hormonas, neuropéptidos o

factores de crecimiento a dosis bajas de activación cinética secuencial, que ya ha demostrado un control adecuado sobre la inflamación crónica de bajo grado.

Conclusión

El fenómeno magnético repulsivo del diamagnetismo ofrece nuevas posibilidades terapéuticas para el tratamiento de trastornos músculo-esqueléticos y más. Los efectos terapéuticos se derivan de la mecanotransducción del pulso diamagnético, al mover líquidos y solutos tanto a nivel extracelular como intracelular; además, la transducción bioquímica a nivel celular, de las respuestas biológicas de las señales electromagnéticas, es similar a los campos magnéticos de baja intensidad. Aunque pertenece a la familia de los campos magnéticos de baja frecuencia, la estimulación diamagnética diverge gracias a una multiplicidad de efectos que la convierten en una interesante novedad terapéutica en el campo de la estimulación biofísica (terapia diamagnética).

Los datos de la literatura no proporcionan suficientes RCTs para permitir una validación estadística de la Terapia Diamagnética, que consiste principalmente en informes de casos pero con resultados apreciables en condiciones musculoesqueléticas comunes y perspectivas interesantes sobre el tratamiento del sistema nervioso como se muestra en enfermedades raras y huérfanas o en un tipo diferente de fibrosis pulmonar y periférica. Estos informes también se refieren a la respuesta terapéutica rápida en comparación con los informes de MF de baja intensidad. Las características técnicas y prácticas expresan el diamagnetismo como una herramienta terapéutica original y única donde es posible identificar peculiaridades interesantes en la amplitud de Alta Intensidad (Tiempo de Subida, Gradiente de Campo Magnético) y las frecuencias de ancho de banda del pulso variable que ofrecen más posibilidades terapéuticas con respecto al campo magnético convencional de baja frecuencia. Además, las ventajas prácticas se derivan de tratamientos estáticos y dinámicos, mayor volumen de estimulación, tecnología lista para usar, estimulación seleccionada de los tejidos para terapias personalizadas y menor duración de cada tratamiento, como lo muestran los datos de la literatura. Muy atractiva es la posibilidad de mover líquidos en el tratamiento del edema, así como la posibilidad de modular selectivamente la transmisión de señales dolorosas tanto en el dolor nociceptivo como en el neuropático y estimular fibras nerviosas rápidas y lentas.

Se necesitan más estudios para comprender mejor el mecanismo y la eficacia de la tecnología en la aplicación consolidada, así como más

Posibilidades terapéuticas prometedoras, incluida la investigación básica, dirigida a los efectos biológicos internos de la tecnología.

Declaración de consentimiento del paciente: Los autores certifican que han obtenido todos los formularios de consentimiento del paciente correspondientes. En el formulario, el paciente ha dado su consentimiento para que sus imágenes y otra información clínica se publiquen en la revista. El paciente entiende que su nombre e iniciales no se publicarán y que se harán los esfuerzos necesarios para ocultar su identidad, pero no se puede garantizar el anonimato.

Conflictos de intereses: Nulo. **Fuente de apoyo:** Ninguno.

Referencias

- Zablotskii V, Polyakova T, Dejneka A. Modulación del potencial de membrana celular y transporte intracelular de proteínas por campos magnéticos elevados. *Bioelectromagnetismo* 2021;42:27-36.
- Hall LT, Hill CD, Cole JH, Stadler B, Caruso F, Mulvaney P, et al. Monitoreo de la función de los canales iónicos en tiempo real a través de la decoherencia cuántica. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2010;107:18777-82.
- Viganò M, Sansone V, d'Agostino MC, Romeo P, Orfei CP, De Girolamo L. Células madre mesenquimales como diana terapéutica de estimulación biofísica para el tratamiento de trastornos musculoesqueléticos. *J Orthop Surg Res* 2016;11:163.
- Yasuda I. Piezoelectricidad del hueso vivo. *J Kyoto Pref Univ Med* 1953;53:325-8. Yasuda. El clásico: Aspectos fundamentales del tratamiento de fracturas óseas por Iwao Yasuda, reimpreso de J. Kyoto Med. Soc., 4:395-406, 1953. *Clin Orthop Relat Res* 1977;124:5-8.
- Wade B. Una revisión de los mecanismos de los campos electromagnéticos pulsados (PEMF) a nivel celular: fundamentos para su uso clínico. *Am J Health Res* 2013;1:51.
- Obando FT, Romeo P, Vergara D, di Pardo F, Soto A. Efectos de los campos electromagnéticos pulsados de alta intensidad y baja frecuencia (terapia diamagnética) en el tratamiento de enfermedades raras: un estudio preliminar de serie de casos. *J Neurol Exp Neural Sci* 2022;4:145.
- Roberti R, Marcianò R, Casarella A, Rania V, Palleria C, Muraca L, et al. Campo electromagnético pulsado de alta intensidad y baja frecuencia como tratamiento ocasional en un paciente con úlcera mixta en el pie: informe de un caso. *Informes* 2022;5:3.
- Consejo Nacional de Investigación. Oportunidades en la ciencia de campos magnéticos elevados. Washington, DC: The National Academies Press; 2005.
- Kohout M, Savine A. Estructura atómica y número de electrones. *Int J Quantum Chem* 1996;60:875-82.
- Petrescu N, Petrescu FI. Fluidos magnéticos permanentes. *Am J Eng Appl Sci* 2019;12:402-12.
- Consejo Nacional de Investigación y Formación Educativa. Sitio web: India, libro de texto de física, parte 1, magnetismo y materia. Cap. 5. Nueva Delhi: Consejo Nacional de Investigación y Formación Educativa; 2020. Disponible en: (libro de texto <https://www.ncert.nic.in>)
- Jackson R. John Tyndall y la historia temprana del diamagnetismo. *Ann Sci* 2015;72:435-89.
- Purnell MC, Skrinjar TJ. La disociación dielectroforética de iones de cloruro y la influencia en la anisotropía diamagnética en las membranas celulares. *Discov Med* 2016;22:257-73.
- Premi E, Benussi A, La Gatta A, Visconti S, Costa A, Gilberti N, et al. Modulación de la plasticidad cortical similar a la potenciación a largo plazo en el cerebro sano con campos electromagnéticos pulsados de baja frecuencia. *BMC Neurosci* 2018;19:34.
- Edmonds DT. La precesión de Larmor como mecanismo para la detección de campos magnéticos estáticos y alternos. *Bioelectrochem Bioenerg* 1993;30:3-12.
- Barnes FG, Greenebaum B. Manual de efectos biológicos de los campos electromagnéticos. 3.ª ed. Florida: CRC Press; 2006.
- Organización Mundial de la Salud. Criterios de salud ambiental para campos magnéticos 69 (EHC 69). Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 1987.
- Blank M, Goodman R. Un mecanismo para la estimulación de la biosíntesis por campos electromagnéticos: transferencia de carga en el ADN y separación de pares de bases. *J Cell Physiol* 2008;214:20-6.
- Zablotskii V, Polyakova T, Dejneka A. Efectos de los campos magnéticos elevados en la difusión de moléculas biológicamente activas. *Cells* 2021;11:81.
- Qian AR, Gao X, Zhang W, Li JB, Wang Y, Di SM, et al. Los campos magnéticos de alto gradiente afectan la ultraestructura y la función de los osteoblastos al alterar el colágeno I o la fibronectina/integrina $\alpha 1$. *PLoS One* 2013;8:e51036.
- Wang Y, Chen ZH, Yin C, Ma JH, Li DJ, Zhao F, et al. El perfil de expresión de chips genéticos revela las alteraciones de los genes relacionados con el metabolismo energético en osteocitos bajo campos magnéticos elevados de gradiente grande. *PLoS One* 2015;10:e0116359.
- Zablotskii V, Polyakova T, Lunov O, Dejneka A. Cómo un campo magnético de alto gradiente podría afectar la vida celular. *Sci Rep* 2016;6:37407.
- Carnovali M, Stefanetti N, Galluzzo A, Romeo P, Mariotti M, V. Sansone. El tratamiento con campos electromagnéticos pulsados de baja frecuencia y alta intensidad estimula la regeneración de las aletas en peces cebras adultos: un informe preliminar. *Appl Sci* 2022;12:7768.
- Lin HY, Lin YJ. Efectos in vitro de los campos electromagnéticos de baja frecuencia sobre la proliferación y maduración de osteoblastos en un entorno inflamatorio. *Bioelectromagnetismo* 2011;32:552-60.
- Morris CE, Skalak TC. La exposición aguda a un campo magnético estático de intensidad moderada reduce la formación de edemas en ratas. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2008;294:H50-7.
- Izzo M, Napolitano L, Coscia V, La Gatta A, Mariani F, Gasbarro V. El papel de la bomba diamagnética (CTU Mega 18) en el tratamiento físico del linfedema de las extremidades. Un estudio clínico. *Eur J Lymphol Rel Probl* 2010;21:24-9.
- Obando FT, Velasco JM, Soto A, Di Pardo F. Efectos de los campos electromagnéticos pulsados de alta intensidad (HI-PEMF) en la fibrosis pulmonar intersticial debida al síndrome antisintetasa asociado al síndrome de Sjögren. Reporte de un caso; 2020. p. 6.
- Obando AF, Romeo P, Visconti S. Experiencia en el programa de rehabilitación respiratoria para el tratamiento de la enfermedad intersticial pulmonar en neumonía post-COVID-19 mediante la asociación de campos electromagnéticos pulsados de baja frecuencia y alta intensidad (diamagnetoterapia): un estudio de serie de casos; 2020. p. 8.
- Obando AF, Velasco JM, Romeo P. Campos electromagnéticos pulsados de intensidad alta y baja frecuencia variables en el tratamiento del dolor lumbar: Informe de una serie de casos y revisión de la literatura. *J Orthop Res Ther* 2020;5:1174.
- Roberti R, Marcianò G, Casarella A, Rania V, Palleria C, Vocca C, et al. Terapia diamagnética en un paciente con síndrome de dolor regional complejo tipo I e intolerancia a múltiples fármacos: informe de un caso. *Informes* 2022;5:18.
- Baronio M, Sadia H, Paolacci S, Prestamburgo D, Miotti D, Guardamagna VA, et al. Aspectos moleculares del síndrome de dolor regional. *Pain Res Manag* 2020;2020:7697214.
- Chan AK, Tang X, Mummaneni NV, Coughlin D, Liebenberg E, Ouyang A, et al. Los campos electromagnéticos pulsados de Lotz reducen la inflamación aguda en el disco intervertebral de cola de rata lesionado. *JOR Spine* 2019;2:e1069.
- De Girolamo L, Viganò M, Galliera E, Stanco D, Setti S, Marazzi MG, et al. Respuesta funcional in vitro de células tendinosas humanas a diferentes dosis de campo electromagnético pulsado de baja frecuencia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23:3443-53.
- Vincenzi F, Targa M, Corciulo C, Gessi S, Merighi S, Setti S, et al. Los campos electromagnéticos pulsados aumentaron el efecto antiinflamatorio de A_2A y u_n Receptores de adenosina en condrocitos humanos T/C-28a2 y osteoblastos h FOB 1.19. *PLoS One* 2013;8:e65561.

35. El diamagnetismo como alternativa o terapia celular integradora para la COVID-19 en Conocimientos desde lo humano Métodos relevantes basados en células, tejidos y matemáticas como herramientas clave para comprender la COVID-19

Dinámica, cinética, síntomas, factores de riesgo y tratamiento no convencional en la pandemia de coronavirus y el futuro. ChemWorld; 2021. pág. 94-101.

Conflicto de intereses: NULO

Fuente de apoyo: NULA

Cómo citar este artículo

Romeo P, Torres OF, Di Pardo F, Graus T /Aplicaciones médicas del diamagnetismo. / Revista de ciencia regenerativa /Julio - Diciembre 2022; 2(2): 07-12.