Cambiando de corriente **tus neuronas**

Pablo de J. Díaz Cruz, Pablo A. Hernández Acevedo, Diego A. Gómez Ramírez, Manuel J. Rivera

Chávez y Agustín R. Urzúa González

¿Qué esconde un tratamiento médico cuyo principio es la electricidad y el magnetismo?, ¿y si además dijéramos que se aplica en el cerebro? Esta idea trae consigo escenas de películas monocromáticas, un paciente inmovilizado, un cráneo con un tapiz de electrodos, una corriente sorpresiva que tensa el platisma como una cuerda, una sesión eterna que incluye de *soundtrack* un réquiem de alaridos y gemidos, la risa de un grupo de médicos y enfermeros. Son escenas de la terapia electroconvulsiva que sufre Jack Nicholson en *Atrapado sin salida*.

Por fortuna, estas ideas yacen en la historia de la neuropsiquiatría y donde se guardan las películas setenteras. Hoy día, terapias con este fundamento se utilizan y perfeccionan a ritmos asombrosos; es el caso de la "estimulación magnética transcraneal" (conocida por sus siglas en inglés TMS) la cual figura como una alternativa eficiente y moderna a tratamientos psiquiátricos, neurológicos y de manejo de dolor. Es un tratamiento que se basa en la estimulación de células cerebrales por medio de campos magnéticos para activar áreas específicas del cerebro según se requiera, formando parte importante (o totalmente protagónica) en el tratamiento en tales enfermedades.

Este tipo de terapia merece extensos ensayos y pruebas para su perfeccionamiento, elementos que se obtendrán con el tiempo al probar una y otra vez su aplicabilidad y la obtención de reportes minuciosos sobre distintos pacientes, enfermedades y poblaciones. Los resultados han sido positivos, lo que significa una luz verde para aquellos pacientes que buscan alternativas a padecimientos que ya han superado las medidas convencionales.

Su aplicación

La estimulación magnética transcraneal es un procedimiento de aplicación cerebral a partir de principios eléctricos y magnéticos, cuyo fundamento consiste en modular la excitabilidad de la corteza cerebral mediante incrementos o decrementos de corriente al generar campos magnéticos pulsátiles y localizados. El objetivo es llevar a cabo procesos de alteración de las células que transmiten información de una neurona a otra (llamados neurotransmisores) por medio de un cambio en la actividad eléctrica del cerebro y así proporcionar un tratamiento a enfermedades neurológicas y psiquiátricas que involucran una alteración en estos mismos procesos.

En la medicina, su uso más extendido se presenta en la psiquiatría, específicamente en pacientes con depresión re-

sistente a fármacos. Sin embargo, su uso se ha extendido al diagnóstico y tratamiento de otras afecciones psiquiátricas, neurológicas y de manejo de dolor; es el caso de la depresión resistente a fármacos, en donde hay evidencia de una mayor respuesta mediante la estimulación de zonas corticales dorsolateral y prefrontal. Otras aplicaciones incluyen el trastorno obsesivo-compulsivo, el postraumático y el control de alucinaciones auditivas y visuales.

En neurología hay avances en el tratamiento de las enfermedades de Alzheimer y Parkinson mediante la estimulación de áreas cerebrales asociadas a los problemas del lenguaje y síntomas motores respectivos de cada enfermedad. En pacientes con diagnóstico de tinnitus crónica hay respuesta positiva a largo plazo por medio de la activación de la corteza auditiva primaria, y en epilepsia actúa como terapia anticonvulsionante y tiene efecto antiepiléptico; además, existe mejoría sintomática temporal en la distonía y se ha visto que las sesiones de activación en la corteza motora proporcionan una mejoría en los pacientes con tics y mioclonías corticales.

La estimulación magnética transcraneal forma parte también de un tratamiento moderno para el dolor neuropático, como se ha visto en pacientes con esclerosis múltiple y dolor visceral, de miembro fantasma y lesión medular; algunos estudios demuestran que podría ser usado en neuralgia facial con buenos resultados. Por último, su uso está presente en terapias de neurorrehabilitación después de lesiones tales como el traumatismo craneoencefálico, el infarto cerebral, los trastornos en el andar y otras lesiones medulares que incluyan disminución en la capacidad de movimiento y parálisis.

Algunos antecedentes

La primera evidencia del efecto de la corriente aplicada al cuerpo fue obtenida por el fisiólogo italiano Luigi Galvani alrededor de 1770. Son famosos sus experimentos en el campo de bioelectricidad cuando aplicó electricidad a partes de cadáveres animales y observó pequeñas contracciones inducidas que se traducían en movimientos discretos. Años después, su nieto, Giovanni Aldini, fue reconocido a lo largo de Europa por su gira, donde ponía en evidencia la teoría de que el tejido muerto podría ser reanimado.

Aldini realizó demostraciones donde exhibía músculos en contracción de animales muertos. Sin embargo, tal exhibición no se detuvo ahí, en 1803 se registró un evento sin precedentes, cuando llevó a cabo una macabra demostración en la Escuela Real de Cirugía con el cuerpo de un convicto responsable de asesinato: George Forster; este acontecimiento está considerado como un detonante de inspiración para Mary Shelley y su novela *Frankenstein*.

Después de que Du Bois Reymond expusiera la relación entre la corriente de electricidad y el comportamiento

eléctrico de la célula nerviosa y que Hans Christian Oersted describiera el electromagnetismo, el físico y químico Michael Faraday experimentó, en 1830, las propiedades de la inducción electromagnética con pares de discos de cobre y zinc en la construcción de su pila voltaica, estableciendo la relación entre una corriente eléctrica y su correspondiente campo magnético.

El primer reporte de estimulación en la corteza cerebral exitosa fue escrito por el físico francés D'Arsnoval a finales del siglo XIX, y ahí describe síntomas de vértigo y fosfenos en pacientes que recibieron inducción magnética. En el año 1930 la terapia electroconvulsiva y su uso en trastornos psiquiátricos aplicada por los físicos italianos Cerletti y Bini era ya un tratamiento popular, tanto que llegó a considerarse como "la panacea psiquiátrica". Desde luego, existe una parte oscura que yace en los anales de la estimulación cerebral, acontecimientos que no debieron suceder, reportes de su aplicación que tuvieron desenlaces fatales. Es el caso del médico Robert Bartholow quien, al aplicar corriente a la ama de casa Mary Rafferty, le ocasionó ansiedad, convulsión y coma, lo que la llevó al término de su vida en setenta y dos horas; o cuando dos investigadores de la Universidad de Tulane, intentaron "curar" a un paciente homosexual mediante estimulación cerebral e interacciones heterosexuales con prostitutas. Este tipo de sucesos dieron origen a dilemas éticos, así como a la comprensión de que nuestra percepción ética está relacionada directamente con la concepción social que tenemos de lo que es salud y enfermedad.

Fue hasta mediados de los setentas cuando Anthony T. Barker y su equipo comenzaron a explorar el uso de campos magnéticos para alterar la señalización eléctrica del cerebro y diseñaron, en 1975, el primer dispositivo magnético pulsátil. Una década después aparecen los primeros equipos de estimulación magnética transcraneal diseñados para diagnóstico, investigación y tratamiento. Finalmente, en octubre de 2008, la Food and Drug Administration autoriza el uso de tales equipos y el tratamiento con ellos.

¿Cómo funciona la estimulación magnética transcraneal?

Se sabe que el cerebro, al igual que los músculos, la conducción nerviosa y en general todos los procesos fisiológicos, funciona con electricidad. Durante una sesión, una bobina para estimulación se coloca sobre la superficie de la cabeza del paciente y produce una corriente en el cerebro por medio de electroinducción, la cual, a su vez, despolariza las neuronas y puede generar diversos cambios fisiológicos y de comportamiento dependiendo del área específica que se estimule.

Debido a que los campos magnéticos pueden atravesar el cráneo casi sin resistencia, dicha estimulación puede inducir corrientes relativamente grandes —la corriente de descarga para que ocurra un cambio, debe ser de miles de amperes se necesita aproximadamente 10 mA/cm^2 para que se produzca una alteración de corriente en el cerebro y se despolaricen los elementos neurales implicados.

Sin embargo, actualmente no es claro cuáles son los elementos neuronales que se activan, de hecho, pueden variar entre las diferentes regiones del cerebro y de un sujeto a otro. La hipótesis más plausible es que, durante la estimulación con pulsos simples, se entorpece de forma cíclica el ritmo normal de activación de grupos de neuronas corticales encargadas del desarrollo de ciertas funciones. Las corrientes inducidas por dichos pulsos despolarizan poblaciones de neuronas, induciendo en ellas períodos de actividad refractaria forzada que entorpecen sus ritmos normales de descarga y el patrón oscilatorio en redes neurales distribuidas. Un único estímulo de intensidad y orientación adecuadas despolariza la membrana neuronal e induce un potencial de acción que puede desencadenar una respuesta postsináptica excitadora (dura aproximadamente 1 ms) seguida de un potencial postsináptico inhibidor (aproximadamente 100 ms). Los estudios de neuroimagen efectuados en humanos empleando tomografía por emisión de positrones o resonancia magnética funcional describen alteraciones locales de la actividad debajo de la bobina de estimulación, así como un impacto distal a lo largo de redes bihemisféricas y corticosubcorticales.

La despolarización de neuronas y la generación de un potencial de acción depen-

den de la diferencia de potencial existente a través de la membrana axonal o dendrítica. La probabilidad de que un campo inducido active una neurona es una función de la derivada espacial del campo a lo largo de la membrana neuronal. La distinta orientación de las neuronas en la corteza cerebral y sus axones impide una traslación sencilla de las observaciones en conductores homogéneos al volumen de tejido nervioso afectado por la estimulación magnética transcraneal en el cerebro. Así pues, mientras más detallado sea el conocimiento de la anatomía de las áreas corticales estimuladas, más precisa será la correcta interpretación de sus efectos.

Numerosos reportes científicos avalan la eficacia de dicha estimulación en pacientes con distintas afecciones y características. Se ha mostrado que tiene efectos positivos en áreas cerebrales como la prefrontal (que controla parte del comportamiento, procesamiento de emociones y estados afectivos, así como la función para ejecutar o realizar acciones, por mencionar algunos); hay otros datos (por ejemplo, neurofarmacológicos) que apoyan la noción de que ésta realmente induce plasticidad sináptica y procesos de potenciación o depresión sináptica a largo plazo. Además de su función terapéutica, dicha tecnología es utilizada para investigación, ya que ha permitido el mapeo de áreas específicas de la corteza del cerebro y el estudio no invasivo del funcionamiento cerebral en condiciones normales y de enfermedad.

El tratamiento

La primera sesión dura aproximadamente una hora. No requiere ninguna preparación previa como ayuno o una dieta especial; consiste en reclinarse en una posición cómoda en un sofá donde el especialista colocará una bobina en forma de ocho sobre la cabeza del paciente y se generará un campo magnético que dará como resultado una corriente eléctrica estimulante para las células nerviosas del cerebro. En ésta se debe encontrar la potencia necesaria para la persona y determinar cuánto se usará en terapias posteriores, por lo que se irá aumentando la intensidad poco a poco hasta que se contraigan los dedos; es quizá la más larga de todas las sesiones.

En las siguientes, el paciente puede oír chasquidos (aunque se suministran tapones para los oídos) y sentir incomodad en el cuero cabelludo o golpeteo en la frente. Después de la sesión, los posibles efectos indeseables son casi imperceptibles y se puede continuar la vida y las actividades diarias. Las precauciones que se toman en este tratamien-

El equipo

El equipo utilizado consiste en un sistema de capacitores de alto voltaje que generan pulsos breves de corriente eléctrica hacia una bobina en forma de anillo. Hay un estimulador magnético que incluye un condensador, su circuito de carga y uno de descarga que utiliza un interruptor electrónico denominado thyristor, capaz de hacer fluir miles de amperios en milisegundos a través de la bobina de estimulación. Actualmente el equipo ha llegado a gran simplificación y consiste en una unidad central y una bobina de estimulación, la primera está compuesta por un sistema de carga, uno o varios condensadores de almacenamiento, un interruptor de descarga y circuitos de control para controlar la forma de pulso; este circuito básico puede modificarse para producir pulsos repetitivos de estimulación magnética transcraneal.

La corriente se aplica en un pulso muy breve por medio de la bobina (con una duración aproximada de 1 ms y se transfieren aproximadamente 500 J a la bobina en menos de 100 μs). El pulso puede ser monofásico o polifásico, lo que determina ciertas propiedades biológicas del estímulo, en cualquier caso la variación en el tiempo es alta, ya que ésta determina la magnitud del campo magnético y de la corriente secundaria inducida (el campo magnético pasa de 0 a 2.5 T en aproximadamente 50 μs).

to son parecidas al de una resonancia magnética, ya que se intenta evitar algún implante, fragmento ferromagnético o algún dispositivo electrónico en la cabeza porque se podría causar un movimiento o calentamiento de tales objetos; es por esto que tales objetos constituyen contraindicaciones absolutas para dicho tratamiento.

Para personas con historial personal o familiar de epilepsia se debe tener precaución, ya que hay riesgo de desencadenar convulsiones, además de que el uso de medicamentos que reduzcan el umbral convulsivo puede considerarse una contraindicación relativa.

Asimismo, a pesar de ser un procedimiento no invasivo, éste puede tener efectos secundarios en las células cerebrales y provocar ciertas molestias, de leves a moderadas, tales como: dolor de cabeza y cuello, picazón o dolor en la piel, y cuando se colocan los electrodos, hormigueo en la cara, espasmos en los músculos de la cara y sensación de mareo. Otros menos deseables y poco frecuentes son: convulsiones y pérdida temporal de la audición, lo cual ocurre cuando no se ha colocado adecuadamente la protección en los oídos.

Estas reacciones se presentan en las primeras sesiones y van mejorando conforme avanza el tratamiento; los efectos a largo plazo no se han estudiado con detenimiento por lo que no se cuenta con información suficiente. No obstante, en 2007, O'Reardon y sus colaboradores publicaron un artículo que incluyó 301 pacientes con depresión mayor y antecedentes de fallo de respuesta al tratamiento antidepresivo. Las sesiones se llevaron a cabo cinco veces por semana durante cuatro a seis semanas, y su conclusión muestra que dicha terapia fue efectiva para el tratamiento de depresión mayor con mínimos efectos secundarios. Además, ofrece una alternativa novedosa para este tratamiento.

Conclusión

Junto con otras técnicas de estimulación cerebral, la estimulación magnética transcraneal va en camino de formar parte de un tratamiento psiquiátrico. Es importante no sólo explorar su aspecto terapéutico y su aplicación en otras enfermedades; está también su utilidad en el mapeo de las áreas corticales con fines de investigación y profundización.

Esta terapia es un avance reciente de la medicina y cuenta con un respaldo científico que robustece su eficacia, por lo que su difusión forma parte del deber del profesional de la salud, ya que esto permitirá eliminar falsas ideas al respecto y se contribuirá a la formación de un paciente que domine su padecimiento y esté informado al momento de elegir, junto con su médico, el tratamiento más adecuado.

La estimulación magnética transcraneal ha aportado resultados positivos en dosis y aplicación adecuadas, mostrando ser útil para padecimientos diversos, con un grado de mejoría distinto en cada uno. Es un tratamiento personalizado y seguro, por lo que es probable que alcance una distribución amplia en poco tiempo.

Finalmente, si bien ha mostrado resultados alentadores, éstos no son definitivos; aun así ofrece a los profesionales de la salud un gran campo de perfeccionamiento en nuevas terapias psiquiátricas, neurológicas y de manejo de dolor. A su vez, otorga a los pacientes una alternativa terapéutica donde el tratamiento farmacológico pasa a segundo plano, mostrando que acciones terapéuticas distintas son posibles, reales y cercanas, y abriendo puertas hacia un futuro que en otros tiempos no era más que un sueño.

Pablo de Jesús Díaz Cruz, Pablo Antonio Hernández Acevedo y Diego Armando Gómez Ramírez
Licenciatura en Médico cirujano, Departamento de medicina y nutrición, Universidad de Guanajuato.

Manuel José Rivera Chávez
Facultad de Medicina, Universidad de Guanajuato y Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío.

Agustín Ramiro Urzúa González
Unidad Coronaria, Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío.

Referencias bibliográficas

American University of Beirut Medical Center. 2013. *Neuromodulation: Transcranial Magnetic Stimulation*, en www.aubmc.org

Gónzalez Samano, A. A., L. Zárate Hidalgo y N. A. Estrada Venegas. 2017. "Costo y porcentaje de efectividad con estimulacion magnetica transcraneal, en:

www.doctoralia.com.mx/pruebamedica/estimulacion+magnetica+transcraneal-29207/

Holtzheimer, P. E. 2018. "Depression in adults: Overview of neuromodulation procedures", en *UpToDate*.

_____, 2018. "Tecnique for performing transcranial magnetic stimulation", en *UpToDate*.

_____, 2018. "Unipolar depression in adults: Indications, efficacy, and safety of transcranial magnetic stimulation (TMS)", en *UpToDate*.

Rossi, S., M. Hallett *et al.* 2009. "Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research", en *Clinical Neurophysiology*, núm. 1, pp. 32.

Wassermann, E. M. 1997. "Risk and safety of repetitive transcranial magnetic stimulation: report and suggested guidelines from the International Workshop on the Safety of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, en *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, núm. 1 p. 16.

Imágenes

P. 54: Clara Bow, Eugene Robert Richee. P. 56: The three stooges en *I'll Never Heil Again*, Jules White, 1941, Columbia Pictures; Eddie Bracken en *Hold that blonde*, George Marshall, 1945, Paramount Pictures. P. 57: Greta Garbo en *Torrent*, Monta Bell, 1926, MGM. P. 58: Francis Bruguiere, *Modernist masterworks to 1925: From "The deLIGHTed eye" a private collection*, New York City: International Center of Photography, 1985; Douglas Fairbanks Jr. en *Our Modern Maidens*, Jack Conway, 1929, MGM. P. 59: José Ferrer en *The Shrike*, José Ferrer, 1955, Universal-International. P. 60: Charles Chaplin en *The Great Dictator*, Charles Chaplin, 1940, United Artists.

Changing the Neuronal Current

Palabras clave. Estimulación, magnética, transcraneana, dolor, depresión.
Key words. Stimulation, Magnetism, Transcranial Therapy, Pain, Depression.

Resumen. La terapia médica con electricidad y magnetismo ha ido más allá de lo que solía ser en la década de los treinta. La aplicación de estos fenómenos físicos en la medicina ha dado nacimiento de tratamientos modernos y con gran evidencia. La estimulación magnética transcraneal (TMS) utiliza estos principios, y aparece, además, como una respuesta hacia grupos de pacientes con enfermedades neurológicas y psiquiátricas, a quienes el tratamiento con fármacos y psicoterapia resultó insuficiente, no aplicable o desconocido.

Abstract. Medical therapy utilizing electricity and magnetism has gone far beyond its state of development in the 1930s. The use of these physical forces in medicine has given birth to modern treatments with a strong scientific basis. *Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)* utilizes these principles and is used on patients with neurological and psychiatric ailments for whom the results of pharmacological treatment and therapy were inadequate, not applicable or unknown.

Pablo de Jesús Díaz Cruz, Pablo Antonio Hernández Acevedo y Diego Armando Gómez Ramírez son estudiantes de la Licenciatura en Médico cirujano, Departamento de medicina y nutrición, Universidad de Guanajuato.

Dr. Manuel José Rivera Chávez es médico internista-intensivista con Maestría en Educación e Innovación en la Práctica Docente. Se desempeña como jefe de servicio de Terapia Intensiva, Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío y es profesor titular del módulo de Medicina Interna, de la licenciatura de Médico cirujano, Universidad de Guanajuato.

Dr. Agustín Ramiro Urzúa González es médico internista y de cardiología con Maestría en Teoría Cardiovascular y Administración de Hospitales y Servicios de Salud. Es jefe de la Unidad Coronaria, Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío.

Recibido el 11 julio de 2018; aceptado el 25 de enero de 2019.