

# Estimulación magnética vs estimulación eléctrica en nervios periféricos de las extremidades superiores

Adrián Reséndiz Rossetti,\* Emilio Arch Tirado,\*\* Miguel Ángel Collado Corona,\* Óscar Sánchez Escandón,\* Miguel Ángel Collado Ortiz,\* Paul Shkurovich Bialik\*

## RESUMEN

**Introducción:** La utilidad clínica de la estimulación magnética en patología de nervio periférico no ha sido bien establecida. Estudios previos utilizando esta técnica han arrojado resultados no concluyentes. **Objetivos:** • Demostrar que las velocidades de conducción obtenidas mediante la estimulación magnética no poseen variabilidad significativa comparada con la estimulación eléctrica. • Demostrar que esta técnica produce menor dolor. **Material y métodos:** Se compararon cifras obtenidas mediante estimulación magnética de fibras sensitivas y motoras de nervios medianos y cubitales con las obtenidas por estimulación eléctrica, y se evaluó el grado de molestia percibido con ambas técnicas. **Resultados:** Las cifras obtenidas en fibras motoras no demostraron diferencia significativa al comparar ambas técnicas. Se encontraron resultados opuestos en fibras sensitivas en todos los parámetros evaluados. Existió menor dolor con la estimulación magnética. **Conclusiones:** La estimulación magnética de nervios motores tiene excelente concordancia y nula variabilidad respecto a la eléctrica. Existen limitaciones en neuroconducción sensitiva, relacionadas con la dificultad para aplicar estímulos submáximos y selectivos con las bobinas disponibles. Las menores molestias percibidas con la estimulación magnética y la nula variabilidad en neuroconducción motora constituyen una alternativa diagnóstica en casos especiales (pediátricos) y una línea de trabajo en el futuro.

**Palabras clave:** Neuroconducción, estimulación magnética.

**Nivel de evidencia:** III.

*Magnetic stimulation vs electrical stimulation of peripheral nerves in the upper extremities*

## ABSTRACT

**Introduction:** Magnetic stimulation clinical utility in peripheral nerve pathology hasn't been well established. Previous studies using this technique have shown inconclusive results. **Objectives:** • Demonstrate that conduction velocities obtained by magnetic stimulation do not have significant variability compared to electrical stimulation. • Demonstrate that this technique produces less pain compared to electrical stimulation. **Material and methods:** The values obtained by magnetic stimulation of sensory and motor fibers from median and cubital nerves were compared to electrical stimulation; the degree of discomfort was evaluated for each test. **Results:** The values obtained in motor fibers didn't show a significant difference when comparing both techniques. However, opposite results were obtained in sensory fibers in every parameter evaluated. Much less pain was found with magnetic stimulation. **Conclusions:** Magnetic stimulation of motor nerves has an excellent concordance and no variability compared to the electrical stimulation. There are limitations in sensory nerve conduction studies because of difficulties to apply submaximal and focal stimuli with the available coils. The discomfort felt with magnetic stimulation and the no variability in motor nerve conduction studies constitute an alternative diagnostic test in special cases (children) and a future work line in the future.

**Key words:** Nerve conduction studies, magnetic stimulation.

**Level of evidence:** III.

Trabajo presentado en el VI Congreso del CLA-International Federation of Clinical Neurophysiology, Punta del Este, Uruguay. Octubre, 2011.

## Abreviaturas:

EM: estimulación magnética; mA: miliamperios; m/s: metros por segundo; mV: milivoltios; NCM: neuroconducción motora; NCS: neuroconducción sensitiva; uV: microvoltios

## INTRODUCCIÓN

Los estudios de neuroconducción periférica indican la capacidad del nervio periférico para conducir impulsos eléctricos. En estos estudios se generan potenciales de acción representados en pantalla por una onda sinusoidal, sobre la cual se evalúan diversos parámetros.<sup>1</sup>

\* Departamento de Neurofisiología Clínica.  
\*\* Departamento de Investigación Clínica.

Centro Médico ABC, Campus Santa Fe

Recibido para publicación: 27/12/11. Aceptado: 18/01/12.

Correspondencia: Dr. Adrián Reséndiz Rossetti

Servicio de Neurofisiología Clínica

Centro Médico ABC, Campus Santa Fe.

Av. Carlos Graef Fernández Núm. 154, Col. Tlaxala Santa Fe,

Cuajimalpa 05300, México, D.F.

Tel: 52 30 80 00. Ext. 4202 a 4204

Celular: 044 55 41 80 65 45

E-mail: adross@yahoo.com.mx

Existen tres tipos básicos de estudios: neuroconducción motora periférica (NCM), neuroconducción sensitiva periférica (NCS) y neuroconducción de nervios mixtos. Sin embargo, esta última tiene grandes limitaciones y pocos beneficios en el estudio de nervios con fibras mixtas (mediano, cubital, radial); por consecuencia, las modalidades sensoriales de estos nervios se exploran de forma separada.<sup>2,3</sup>

**Fisiología de la estimulación:** Los estimuladores utilizados son de tipo bipolar, pues poseen un ánodo (positivamente cargado) y un cátodo (negativamente cargado). La despolarización de los axones se realiza mediante estímulos eléctricos y ocurre debajo del cátodo debido a que la negatividad en la región donde éste se coloca lleva a una reducción de la diferencia de potencial transmembrana, provocando despolarización de la membrana y, a su vez, desencadenando un potencial de acción.

Los parámetros básicos a medir en este tipo de estudios se explican a continuación y se ilustran en la figura 1:<sup>4,5</sup>

**Latencia:** Tiempo requerido para iniciar un potencial de acción, se mide en el sitio donde inicia la primera deflexión.

**Latencia pico:** Representa la conducción a lo largo de la mayoría de los axones; se mide justo en el pico del potencial registrado.

**Latencia de inicio:** Representa la conducción a lo largo de los axones más rápidos. Se mide al inicio de la deflexión inicial.

**Amplitud:** Máxima diferencia de voltaje entre dos puntos. Refleja el número de fibras activadas y su sincronización. Se mide entre ambos picos de las deflexiones máximas del potencial.

**Velocidad de conducción:** Es la velocidad en la cual el estímulo viaja a través del nervio, depende de la

integridad de la vaina de mielina, se calcula con la fórmula convencional ( $v = d/t$ ). El valor normal para los nervios de las extremidades superiores es mayor o igual a 50 m/s; en las inferiores es de 40 m/s. Disminuye en casos de daño nervioso; sin embargo, puede permanecer normal, si hay integridad de los axones más rápidos.

### Estimulación magnética

Una de las herramientas neurofisiológicas recientemente incorporadas al estudio de las enfermedades del sistema nervioso es la estimulación magnética (EM). Esta técnica permite la estimulación incruenta del tejido nervioso (cortex, médula espinal y nervios periféricos) de manera no invasiva e indolora, y permite influir en la actividad normal del cerebro.

La EM se basa en el principio de inducción electromagnética, descrito por Michael Faraday en 1838: cuando aplicamos EM, una corriente eléctrica pasa a través de una bobina de estimulación situada sobre el tejido a explorar; si ésta tiene la suficiente fuerza y precisa duración, rápidamente se generan campos magnéticos, los cuales inducen una corriente eléctrica en el tejido neural, cuyo volumen depende de la forma y diámetro de la bobina de estimulación, de la fuerza (intensidad) del campo magnético y, por último, de la frecuencia y la duración de los pulsos magnéticos producidos.<sup>6,7</sup>

La utilidad clínica de esta modalidad de estimulación en patología de nervio periférico no ha sido a la fecha bien establecida.

Existen estudios realizados en voluntarios sanos, como el realizado en el año de 1990 por Olney y colaboradores,<sup>8</sup> en donde evaluaron cinco sujetos sanos, comparando estimulación nerviosa periférica motora y sensitiva por estimulación magnética y eléctrica, realizado una comparación de las variables amplitud, velocidad de conducción y latencia. Los resultados encontrados demostraron escasa variabilidad (no significativa) en los resultados obtenidos en ambas modalidades de estimulación.

En el año 2009, Van Soens<sup>9</sup> y colaboradores realizaron un estudio piloto en perros y gatos, comparando los valores de amplitud, latencia y velocidad de conducción por medio de estimulación eléctrica y magnética de los nervios radiales con trauma del plexo braquial, obteniendo resultados con variabilidad no significativa.

En resumen, los estudios antes citados arrojan resultados prometedores, que pueden ser aplicables en situaciones especiales; por ejemplo, en pacientes pediátricos o individuos con umbral reducido al dolor.<sup>10</sup>

Los objetivos de este trabajo son: demostrar que las cifras de latencia de inicio, latencia pico, ampli-

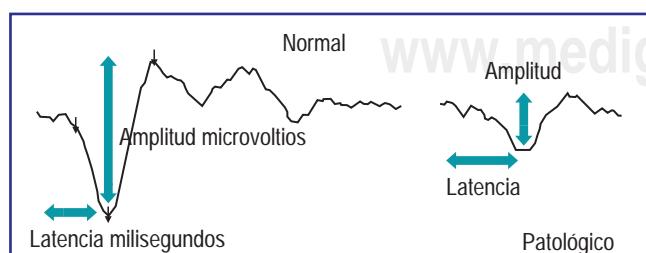


Figura 1. Potencial de acción tras la estimulación de nervio periférico, se ilustran los principales parámetros obtenidos tras la estimulación (latencia, amplitud).

tud y velocidad de conducción de fibras sensitivas no poseen variabilidad estadísticamente significativa al comparar estudios de conducción nerviosa periférica con ambas modalidades de estimulación y describir las diferencias entre ambas técnicas en función al grado de molestias percibidas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron a sujetos mayores de 18 años con ausencia de sintomatología sensitiva o motora, así como de enfermedad sistémica general crónica. Basados en la experiencia previa del investigador y en estudios previos realizados,<sup>8,9</sup> se seleccionaron a 12 individuos sanos bajo los criterios arriba señalados.

La *estimulación eléctrica* fue realizada con un equipo XCalibur EMG Versión 1.5. Copyright Excel Tech Ltd. 2002-2006.

La *estimulación magnética* fue realizada por medio de un equipo magstim (número de serie 83370092) 2 X T5 A 220-240V, 50-60 Hz. El estimulador utilizado fue de tipo circular (coil) de 14 cm de diámetro externo y 6 cm de diámetro interno.

A todos los pacientes se les registraron respuestas por estimulación eléctrica y magnética de fibras motoras de los nervios medianos a nivel de la muñeca y el codo, así como de los nervios cubitales a nivel de la muñeca y por debajo del codo. Las respuestas sensitivas de ambos nervios fueron obtenidas de modo similar a la citada anteriormente.

**Parámetros de estimulación.** La *estimulación eléctrica* se administró en forma de pulsos cuadrados a corriente constante con duración de 0.2 msec; frecuencia de estímulo de 1 a 2 Hz, mientras que la intensidad de corriente para las velocidades de conducción sensitiva osciló de 12 a 17 mA, mientras que para las velocidades de conducción motora fue de 25 a 75 mA; la cual fue aplicada por medio de un estimulador bipolar en los sitios ya mencionados.

En la *estimulación magnética*, la bobina circular fue situada con el mango de la bobina en situación paralela al eje de la extremidad y orientando la porción central del disco hacia los puntos de estimulación descritos. Las intensidades magnéticas de estimulación, expresadas en porcentaje se situaron en 30 a 35% para estimulación de fibras sensitivas y 85 a 87% para fibras motoras (*Figura 2*).

**Manejo y obtención de los datos.** Los resultados y las gráficas obtenidas tras la estimulación fueron sujetos a determinación de latencia de inicio (para fibras motoras), latencia pico (para fibras sensitivas), amplitud pico a pico utilizando los cursores

en la pantalla de registro. Por medio de la relación distancia/tiempo se determinó la velocidad de conducción nerviosa de fibras sensitivas y motoras.

De forma adicional, se aplicó la escala análoga del dolor con valores del 1 al 10, definiendo como 1 a la ausencia de dolor y 10 como el grado máximo dolor percibido, con la finalidad de comparar el grado de molestia al emplear ambas técnicas.

## Análisis estadístico

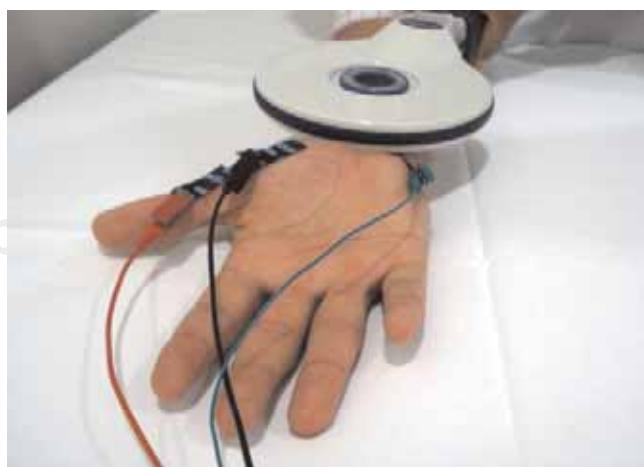
Se realizaron pruebas de estadística descriptiva e inferencial, con la finalidad de evaluar si existía diferencia significativa para un valor de  $p \leq 0.05$  entre las variables latencia de inicio, latencia pico, amplitud pico a pico y velocidades de conducción, obtenidas tras la estimulación con ambas modalidades. Asimismo, se utilizó la prueba «t» de Student para comparar los resultados obtenidos con ambas técnicas.

## RESULTADOS

Se sometieron a estudio 12 sujetos sanos, 7 del sexo masculino (53.8%) y 5 del sexo femenino (38.5%); el promedio de edad fue de  $32.66 \pm 7.64$  años (promedio  $\pm$  desviación estándar) con un rango de edades de 24 a 50 años.

### Estimulación de fibras motoras

A nivel de la muñeca para el nervio mediano, el promedio de amplitud  $\pm$  desviación estándar por estimu-



*Figura 2. Estimulación del nervio mediano con bobina magnética a nivel de la muñeca.*

lación eléctrica fue de  $9.78 \text{ mV} \pm 1.12$ , en estimulación magnética resultó en  $9.60 \text{ mV} \pm 1.67$  (*Cuadro I*).

Para el nervio cubital por estimulación eléctrica fue de  $8.55 \text{ mV} \pm 1.03$ , en estimulación magnética fue de  $8.58 \text{ mV} \pm 1.46$ .

*En estimulación a nivel del codo:* En el nervio mediano, por estimulación eléctrica, el promedio fue de  $9.23 \text{ mV} \pm 1.52$ ; en estimulación magnética resultó en  $9.27 \text{ mV} \pm 1.35$ ; para el nervio cubital resultó en  $8.44 \text{ mV} \pm 0.32$  y  $8.42 \text{ mV} \pm 0.45$ , respectivamente (*Cuadro II*).

En el análisis con la prueba «t» de Student no se encontró variabilidad en ninguno de los pares analizados, para una significancia de  $p \leq 0.05$  en los sitios de estimulación ya citados tanto en nervios medianos como cubitales.

En la *figura 3* se ilustra la mínima variación de los parámetros de morfología, latencia y amplitud de los potenciales motores obtenidos con ambas modalidades de estimulación.

#### Estimulación de fibras sensitivas

Encontramos resultados con gran variabilidad y diferencias estadísticamente significativas, los resultados se describen a continuación como promedio  $\pm$  desviación estándar:

*Amplitud:* Para los nervios medianos por estimulación eléctrica se encontró en  $33.98 \text{ uV} \pm 2.55$ ; mientras que por estimulación magnética en  $14.55$

$\text{uV} \pm 6.38$ . En los nervios cubitales resultó en  $45.23 \text{ uV} \pm 13.56$  y  $20.46 \text{ uV} \pm 9.78$ , respectivamente.

*Latencia pico:* En estimulación eléctrica del nervio mediano se demostró en  $3.20 \text{ uV} \pm 0.44$ ; mientras que en estimulación magnética en  $5.20 \text{ uV} \pm 1.06$ . Para los nervios cubitales, estos valores se encontraron en  $3.19 \text{ uV} \pm 0.28$  y  $5.28 \text{ uV} \pm 0.78$ , respectivamente.

*Velocidades de conducción nerviosa:* En estimulación eléctrica del nervio mediano en  $68.08 \text{ m/seg} \pm 7.26$ ; en estimulación magnética en  $43.33 \text{ m/seg} \pm 5.01$ . Para los nervios cubitales se hallaron en  $64.41 \text{ m/seg} \pm 4.48$  y  $41.66 \text{ m/seg} \pm 4.47$ , respectivamente.

Para estas tres variables estudiadas, se demostró diferencia estadísticamente significativa con un valor de  $p \leq 0.05$  al comparar ambas técnicas de estimulación.

#### Resultados al aplicar la escala análoga del dolor

Todos los participantes en el estudio refirieron menores molestias durante la realización de la estimulación magnética. El promedio de la escala en estimulación eléctrica fue de 5.66 con una desviación estándar de 0.8876; en estimulación magnética fue de 3.75, con una desviación estándar de 0.8660. Al realizar el análisis con la prueba «t» de Student se obtuvo diferencia para una significancia de  $p \leq 0.05$ .

**Cuadro I.** Resultados en neuroconducción motora en la muñeca.

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	DE
Amplitud mediano eléctrica	12	6.95	10.98	9.78	1.12
Amplitud mediano magnética	12	6.09	12.10	9.60	1.67
Latencia inicio mediano eléctrica	12	2.15	3.20	2.44	0.39
Latencia inicio mediano magnética	12	2.23	3.25	2.51	0.34
VC mediano eléctrica	12	59.00	78.00	67.58	4.88
VC mediano magnética	12	52.00	81.00	64.83	7.42
Amplitud cubital eléctrica	12	6.68	10.20	8.55	1.03
Amplitud cubital magnética	12	6.03	11.08	8.58	1.46
Latencia inicio cubital eléctrica	12	2.17	3.10	2.56	0.34
Latencia inicio cubital magnética	12	2.30	3.11	2.61	0.28
VC cubital eléctrica	12	57.00	86.00	63.33	7.71
VC cubital magnética	12	50.00	84.00	62.83	8.69

Resultados de latencia, amplitud y velocidad de conducción obtenidos tras estimulación de fibras motoras en la muñeca. Los resultados se expresan como valores máximo, mínimo y media.

N: número de pacientes; VC: velocidad de conducción; DE: desviación estándar.

Cuadro II. Neuroconducción motora a nivel del codo.

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	DE
Amplitud mediano eléctrica	12	6.86	12.22	9.2358	1.52
Amplitud mediano magnética	12	6.10	11.53	9.2717	1.35
Latencia inicio mediano eléctrica	12	5.83	7.53	6.6475	0.54
Latencia inicio mediano magnética	12	5.93	7.25	6.6992	0.42
Amplitud cubital eléctrica	12	8.08	8.94	8.4492	0.32
Amplitud cubital magnética	12	7.62	8.98	8.4200	0.45
Latencia inicio cubital eléctrica	12	4.67	7.83	6.3183	0.90
Latencia inicio cubital magnética	12	5.12	8.26	6.4775	1.00

Resultados de latencia, amplitud y velocidad de conducción obtenidos tras la estimulación de nervios motores en el codo tras estimulación de fibras motoras en el codo. Los resultados se expresan como valor máximo, mínimo y media.

N: número de pacientes; VC: velocidad de conducción; DE: desviación estándar

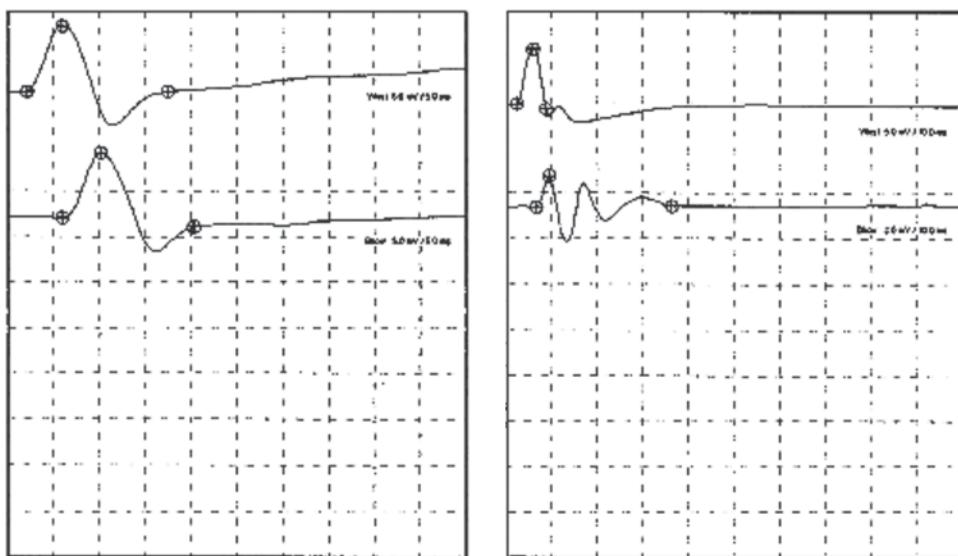


Figura 3. Gráficas obtenidas tras la estimulación eléctrica (lado izquierdo) y magnética (lado derecho) del nervio mediano motor, se observa mínima variabilidad de latencia, amplitud y morfología del potencial.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que la estimulación magnética de nervios periféricos de tipo motor tiene *excelente concordancia y variabilidad no significativa* al evaluar cifras de latencia de inicio, amplitud y velocidad de conducción nerviosa y es un método que puede ser equiparable a la estimulación eléctrica, ya que fue posible administrar estímulos supramáximos. De igual forma, las necesidades técnicas que esta prueba requiere no varían en gran forma respecto a las de la estimulación eléctrica, ya que los sitios de estimulación con la bobina magnética son análogos a los del cátodo utilizado en la estimulación eléctrica.

Por otra parte, se lograron aplicar pulsos magnéticos selectivos en nervios motores, esto debido al tamaño de la bobina empleada en nuestro estudio. Con esto podemos también concluir que la posición ideal al realizar estimulación magnética de fibras motoras es situando la región central de la bobina magnética orientada tangencialmente al eje mayor de la extremidad en estudio, en posición análoga a la del cátodo utilizado en la estimulación eléctrica.

Estos resultados cobran mayor relevancia al tomar en cuenta que nuestra serie posee un tamaño de muestra que supera en más del 50% a la reportada por otros autores,<sup>7,8</sup> los cuales obtuvieron resultados similares al comparar ambas técnicas; sin embargo,

el presente trabajo muestra menor variabilidad que la reportada en estos trabajos. Dicho hallazgo puede ser secundario a que los avances tecnológicos en el desarrollo de bobinas magnéticas permiten administrar impulsos con mayor selectividad.

Al revisar la relación amplitud/latencia en neuroconducción motora de los nervios medianos y cubitales por ambas técnicas, podemos concluir que las cifras de latencia de inicio son ligeramente mayores en la estimulación magnética; sin embargo, no superan 0.10 a 0.6 mseg y, por lo tanto, no caen dentro de límites anormales.

En relación con las cifras de velocidades de conducción motora, enfatizamos el haber obtenido variabilidad no significativa, la cual, de hecho, es mucho menor comparándola con la reportada en otras series;<sup>8,11</sup> las cuales van de 5 a 11 mseg (5 a 15%); en comparación con nuestra serie, la cual oscila de 2 a 3 mseg, es decir, del 1 al 2%.

Realizando la misma comparación en los parámetros latencia de inicio y amplitud, se obtuvieron resultados similares a los descritos por estos autores.

Uno de los problemas que enfrenta esta técnica es la dificultad para proporcionar estímulos adecuados en la región axilar y en el punto de Erb, donde no es posible aplicar estímulos con adecuada selectividad con las bobinas circulares disponibles; este hallazgo puede constituir una limitante en la aplicación rutinaria de esta técnica.

Al evaluar la neuroconducción sensitiva por ambos métodos, encontramos enorme variabilidad y diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros evaluados, siendo el de mayor variabilidad el correspondiente a la latencia pico, la cual tiene diferencia, por lo menos del 50% respecto a las cifras obtenidas en estimulación eléctrica, hallazgo atribuible a la escasa selectividad del estímulo sobre las fibras sensitivas.

Un aspecto importante y no estudiado en series previas es el grado de dolor experimentado en la realización de estos estudios. Todos los participantes en el estudio refirieron menores molestias con la estimulación magnética, lo cual representa una ventaja sobre la estimulación eléctrica.

El hallazgo de menores molestias en la realización de la estimulación magnética puede ser una ventaja en casos especiales, como el caso de pacientes en

edad pediátrica o sujetos sanos con un umbral reducido al dolor. Por último, en relación con la aplicabilidad de esta técnica en población pediátrica, no se han reportado efectos deletéreos como trauma acústico o pérdida auditiva.<sup>12</sup>

En conclusión, la evaluación de la neuroconducción periférica por estimulación magnética puede ser una técnica aplicable en nervios motores, ya que confiere resultados comparables a los obtenidos en la estimulación eléctrica; sin embargo, consideramos que esta técnica aún requiere avances tecnológicos relacionados con el tamaño de las bobinas magnéticas.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Kandel ER, Schwartz JH. *Principles of neural science*. 4a ed. Nueva York: McGraw Hill; 2000: 182-188.
2. Aminoff MJ. *Electrodiagnosis in clinical neurology*. 5a ed. Filadelfia: Elsevier; 2005: 593-598.
3. Kimura J. *Electrodiagnosis in disease of nerve and muscle: Principles and practices*. 2a ed. Filadelfia: Lippincott Williams and Wilkins; 1989: 92-100.
4. Caress J. *Neurophysiology of nerve conduction studies*. In: Blum A. *The Clinical Neurophysiology Primer*. New Jersey: Humana Press Inc; 2007: 207-217.
5. Gregory J. Technical, physiological and anatomic considerations in nerve conduction studies. In: Blum A. *The Clinical Neurophysiology Primer*. New Jersey: Humana Press Inc; 2007: 217-229.
6. Evans BA. The utility of magnetic stimulation for routine peripheral nerve conduction studies. *Muscle Nerve* 1988; 11: 1074-1078.
7. Amassian VE, Maccabee PJ, Cracco RQ. Focal stimulation of human peripheral nerve with the magnetic coil: A comparison with electrical stimulation. *Exp Neurol* 1989; 103: 282-289.
8. Olnay RK, So YT, Goodin DS, Aminoff MJ. A comparison of magnetic and electrical stimulation of peripheral nerves. *Muscle Nerve* 1988; 13: 957-963.
9. Van Soens I, Struys MM, Polis IE, Bhatti SF, Van Meervenne SA, Martínez VA, Nollet H, Tshamala M, Van Ham LM. Magnetic stimulation of the radial nerve in dogs and cats with brachial plexus trauma: a report of 53 cases. *Vet J* 2009; 182(1): 108-113.
10. Barker A. An Introduction to the basic principles of magnetic nerve stimulation. *J Clin Neurophysiol* 1991; 8: 26-37.
11. Halar EM, Venkatesh B. Nerve conduction velocity measurements: improved accuracy using superimposed response waves. *Arch Phys Med Rehabil* 1988; 57: 451-457.
12. Collado-Corona MA, Mora-Magaña I, Cordero GL, Toral-Martínez R, Shkurovich-Zaslavsky M, Ruiz-García M, González-Astizazán A. Transcranial magnetic stimulation and acoustic trauma or hearing loss in children. *Neurol Res* 2001; 23 (4): 343-346.