

## Valores de referencia de potenciales evocados motores con estimulación magnética de miembros superiores en un centro de salud en Colombia

### Reference values of motor evoked potentials with magnetic stimulation of upper limbs at a health center in Colombia

Karen J. Garzón-Ortega<sup>1\*</sup>, Camila Montaña-Rodríguez<sup>1</sup>, Erika Méndez<sup>1</sup>,  
Sergio A. Gaitán-Caicedo<sup>2</sup> y Carlos E. Rangel-Galvis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Medicina Física y Rehabilitación, Universidad El Bosque; <sup>2</sup>Medicina Física y Rehabilitación, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia

#### Resumen

**Antecedentes:** Los potenciales evocados motores (pEM) con estimulación magnética (pEM-EM) son un método neurofisiológico no invasivo útil que evalúa las vías corticoespinales y corticobulbares en patologías neurológicas. A pesar de la existencia de valores de referencia en otros contextos, la literatura es limitada. **Objetivo:** Establecer los valores de referencia de los pEM-EM del músculo abductor pollicis brevis (APB) y músculo abductor digiti minimi (ADM) en sujetos sanos en un centro de salud de Colombia en 2023. **Método:** Estudio observacional descriptivo transversal que incluyó a 45 participantes y evaluó 90 músculos APB y 90 músculos ADM. Se midieron características sociodemográficas, latencia, amplitud y tiempo de conducción motora central (TCMC). Se realizó un análisis estadístico descriptivo, bivariante y multivariante comparando por subgrupos. **Resultados:** Se obtuvieron los valores de referencia de pEM-EM para un centro de salud en Colombia, el TCMC tuvo una media de 6.62 ms (DE: 1.30 ms) y 7.15 ms (DE: 1.13 ms) para el ADM y el APB, respectivamente. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre subgrupos de talla y sexo, para la latencia cortical y foraminal del pEM. También algunas diferencias al analizar por subgrupos de edad e índice de masa corporal. Se evidenció variabilidad en la amplitud de los pEM en relación con variables demográficas. **Conclusión:** Este es el primer estudio en Colombia que determina los valores de referencia de las características propias de los pEM (latencia, amplitud, TCMC) del músculo APB y del ADM. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre subgrupos por variables demográficas y antropométricas, y características propias del pEM.

**Palabras clave:** Estimulación magnética transcraneal. Potenciales evocados motores. Valores de referencia.

#### Abstract

**Background:** Motor-evoked potentials (MEPs) with magnetic stimulation (MEP-MS) are a valuable non-invasive neurophysiological method for evaluating corticospinal and corticobulbar pathways in neurological pathologies. Despite the existence of reference values in other contexts, literature is scarce. **Objective:** To establish reference values for MEP-MS of the abductor pollicis brevis (APB) and abductor digiti minimi (ADM) muscles in healthy subjects at a health center in Colombia in 2023. **Method:** Cross-sectional descriptive observational study including 45 participants evaluating 90 APB and 90 ADM muscles. Sociodemographic characteristics, latency, amplitude, and central motor conduction time (CMCT) were measured. Descriptive, bivariate, and multivariate statistical analyses were performed comparing subgroups. **Results:** Reference values for MEP-MS were obtained for the Colombian population; CMCT had a mean of 6.62 ms (SD: 1.30 ms) and 7.15 ms (SD: 1.13ms)

#### \*Correspondencia:

Karen J. Garzón-Ortega  
E-mail: kgarzon@unbosque.edu.co

Fecha de recepción: 12-11-2024  
Fecha de aceptación: 13-11-2024  
DOI: 10.24875/ANC.M24000020

Disponible en línea: 08-04-2025  
Arch Neurocién (Mex). 2025;30(1):18-27  
[www.archivosdeneurociencias.mx](http://www.archivosdeneurociencias.mx)

2954-4122 / © 2024 Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

for the ADM and APB, respectively. Statistically significant differences were found between height and sex and cortical and medullary latency of MEP. Also, some differences were found when analyzing by age and body mass index. Variability in MEP amplitude was evident with demographic variables. **Conclusion:** This is the first study in Colombia that determines reference values for the characteristics of motor-evoked potentials (latency, amplitude, CMCT) of the APB and ADM muscles. Statistically significant differences were found between demographic and anthropometric variables and characteristics of MEP.

**Keywords:** Transcranial magnetic stimulation. Motor evoked potentials. Reference values.

## Introducción

Los potenciales evocados motores (pEM) son un tipo de estudio electrofisiológico no invasivo, útil para evaluar la integridad e idoneidad funcional de las vías motoras con la identificación de parámetros de amplitud y latencia propios del pEM<sup>1,2</sup>. Sin embargo, existen múltiples factores que podrían influir en la medición del estímulo. Por ejemplo, la orientación de la bobina, los estados de contracción del músculo<sup>3,4</sup>, el campo magnético inducido por la bobina<sup>3</sup>, la forma de la bobina<sup>3,5</sup>, la forma de onda de pulso<sup>3,4</sup>, la presencia de objetos metálicos<sup>3</sup> y la atención visual<sup>6</sup>. Adicionalmente, se ha descrito una baja tasa de efectos adversos secundarios a su realización<sup>7</sup>.

A pesar de que se han estandarizado dichos valores en Japón, Alemania, EE.UU. y otros países<sup>8-10</sup>, estos parámetros no cumplen con las características étnicas y fenotípicas de la población colombiana, mientras que en México existen valores de referencia de latencia y amplitud que podrían ser comparables a nuestra población<sup>11</sup>. Sin embargo, la información disponible en Colombia es escasa. Únicamente existe un estudio de 1992 realizado en Medellín, evaluando los pEM de 42 sujetos sanos, en este caso con estimulador eléctrico<sup>12</sup>. Actualmente en nuestro país, dicho proceso se realiza con base en la presencia del pEM, asimetría de más del 50% en su amplitud o cambios en su morfología, limitando su adecuada interpretación para el uso clínico en patologías neurológicas<sup>5</sup>.

Los pEM con estimulación magnética (pEM-EM) son un método recomendado para el estudio de patologías neurológicas (Tabla suplementaria 1)<sup>13,14</sup>. Por ejemplo, en accidente cerebrovascular existe prolongación de las latencias o ausencia del pEM, indicando esto último un peor pronóstico<sup>3</sup>. En esclerosis múltiple, retrasos en el tiempo de conducción motora central<sup>15</sup>. Datos similares se han evidenciado en la mielopatía cervical<sup>16</sup>. Por el contrario, los pEM en la enfermedad de Parkinson presentan mayor amplitud posiblemente en relación con hiperexcitación de neuronas motoras espinales o corticales<sup>17</sup>. También aportan información valiosa en el estudio de demencia, trastornos neurodegenerativos, esquizofrenia, autismo y coma<sup>18,19</sup>.

Para una adecuada interpretación del estudio, cada laboratorio de electrodiagnóstico debe estandarizar los valores de referencia, identificados en su población y con sus equipos<sup>20</sup>. De igual manera, se han establecido aplicaciones de los pEM de acuerdo con las correlaciones clínicas, como son:

- Accidente cerebrovascular. Existen diferentes investigaciones que han demostrado la importancia de los pEM como herramienta para predecir pronóstico, entre ellos un estudio realizado por Macdonell y colegas en 1989, en el cual al comparar pEM vs. potenciales evocados somatosensoriales (pESS) concluyeron que la presencia o no de estos potenciales estaba relacionada con el grado de recuperación funcional, teniendo los pEM un valor predictivo un poco mejor que los pESS<sup>21</sup>.
- Esclerosis múltiple. En pacientes diagnosticados con esta enfermedad se han hallado pEM de baja amplitud y/o latencia prolongada, además de retrasos en el tiempo de conducción motora central (TCMC)<sup>22</sup>. En un estudio publicado en 2013<sup>23</sup> recomiendan el uso de los pEM en pacientes con esclerosis múltiple fenotipo remitente recurrente y resonancia nuclear magnética (RM) cerebral no concluyente. Por otro lado, en pacientes con esclerosis múltiple fenotipo primario-progresivo recomiendan su uso en búsqueda de excluir procesos que puedan causar un cuadro de discapacidad progresiva y confirmar la presencia de lesiones desmielinizantes. La anomalía más típica en la esclerosis múltiple es la prolongación del TCMC.
- Desórdenes extrapiramidales. Hay estudios que han demostrado que la media del TCMC es normal haciendo relación a la normalidad que existe en las vías motoras descendentes<sup>24</sup>.
- Mielopatía compresiva. Se ha evidenciado prolongación en el TCMC posiblemente en relación con la conducción lenta en las fibras corticoespinales desmielinizadas<sup>16</sup>.

Por todo lo anterior, esta investigación pretende establecer los valores de referencia permitiendo su uso clínico de manera más certera y permitir el desarrollo de protocolos clínicos. El objetivo es evaluar los pEM-EM

del APB y ADM en sujetos sanos en una institución prestadora de salud especializada en medicina física y rehabilitación de Bogotá, Colombia. Se identifican variables sociodemográficas, así como latencia, amplitud y TCMC del pEM.

Por último, existen algunos factores que pueden interferir en la realización e interpretación de este método neurofisiológico, entre los cuales se destaca: la dificultad de determinar el umbral cortical motor, dada su variabilidad intraindividual (configuración técnica, posición del paciente, fármacos, edad y músculo objetivo) e interindividual, la incomodidad que supone, el aumento de intensidad que requiere la estimulación eléctrica transcraneal (TMS) para evocar un pEM de amplitud máxima y las contraindicaciones relativas que pueden impedir su realización como convulsiones, síncope, enfermedades cerebrales y embarazo<sup>25</sup>.

## Método

### Diseño y población

Estudio observacional descriptivo de corte transversal que evalúa valores fisiológicos. Se incluyeron sujetos adultos sanos que asistieron a la IPS Rangel en Bogotá, Colombia. Fueron familiares o acompañantes de pacientes que aceptaron participar en el estudio durante 2023 por muestreo no probabilístico por conveniencia. Se realizó examen físico y lista de chequeo descartando condiciones patológicas, evaluando signos o síntomas clínicos que sugirieran alteración neurológica y posibles variables de confusión. Dentro de los criterios de inclusión, se consideró que fueran personas sanas entre los 18 y 65 años de nacionalidad colombiana. Mientras que los criterios de exclusión fueron embarazo, marcapasos cardiaco, enfermedades o intervenciones: del sistema nervioso central o periférico, de columna cervical, lesión de nervio periférico de miembros superior, trastorno neurocognitivo o psiquiátrico, uso de medicamentos bloqueadores de sodio y calcio o antidepresivos.

### Recolección de datos

Se evaluaron los valores de referencia de los pEM-EM del músculo abductor *digiti minimi* (ADM) y del músculo abductor *pollicis brevis* (APB). Los potenciales de acción muscular compuesto (pAMC) y los pEM se registraron con electrodos de superficie tipo copa marca Cadwell Laboratories, modelo 302694-200 (2017) sobre el APB y el ADM, bilateralmente.

El electrodo activo de 12 x 15 milímetros de área se situó sobre el vientre muscular, cerca del punto motor: Para el APB, en el punto medio entre el pliegue distal de la muñeca y la primera articulación metacarpofalángica (MCF). Para el ADM, se situó en la eminencia hipotenar, mitad entre el hueso pisiforme y la quinta MCF. Los electrodos de referencia, tanto para el APB como el ADM, se ubicaron ligeramente distales a la primera y quinta articulaciones MCF, respectivamente. Finalmente el electrodo de tierra (25 mm diámetro) para ambas mediciones se fijó sobre el dorso de la mano.

Se registró individualmente cada estímulo iniciando por el músculo APB y luego el ADM, primero derecho y después contralateral. Se configuró el protocolo de TMS con una ganancia de 5 mV por división y una velocidad de barrido de 5 ms por división.

Se utilizó el equipo Sierra Summit Cadwell laboratories, 19027205AC027053 modelo 2017 EE. UU para el registro de los pEM y PAMC. La estimulación eléctrica sobre el nervio periférico se realizó en sentido ortodrómico por medio de un estimulador (parte del equipo mencionado anteriormente) para la obtención del PAMC. Por otro lado, la estimulación magnética se llevó a cabo por medio de un equipo MagPro R20-Magventure 9016E0861 Company, Georgia, EE.UU., utilizando ondas monofásicas aplicadas con una bobina simple circular MCF-B65 de 14 cm con campo magnético máximo de 2 teslas.

Se determinó el umbral cortical motor realizando un primer estímulo con baja intensidad sobre la corteza, la cual fue aumentando hasta inducir una contracción muscular del músculo objetivo que correspondió a la generación de un pEM en cinco de cada diez ensayos. Sobre este valor se incrementó un 20% para iniciar la estimulación magnética.

Se procedió a realizar de tres a cinco estímulos ensayos (según tolerancia del participante) para cada músculo y se escogió el pEM de mayor amplitud y menor latencia.

### Estimulación distal del nervio periférico

Para el músculo APB, se realizó un estímulo eléctrico sobre el trayecto del nervio mediano, colocando el cátodo a 8 cm proximal al electrodo activo en una línea medida primero hasta el punto medio del pliegue distal de la muñeca y luego a un punto ligeramente cubital al tendón del flexor *carpi radialis*. El ánodo se ubicó proximal para realizar estimulación ortodrómica. Con respecto al músculo ADM, se realizó estimulación eléctrica, posicionando el cátodo a 8 cm proximal al electrodo activo, en una línea medida ligeramente radial al tendón

del flexor *carpi ulnaris*. El ánodo se posicionó proximal. Para los dos nervios se usó una duración de pulso eléctrico de 200 ms y una intensidad de corriente que inició a 0 mA con incrementos de a 10 mA hasta obtener el PAMC de mayor amplitud. Una vez que el PAMC alcanzó la máxima amplitud, se acrecentó la corriente un 20% para asegurar una estimulación supramáxima. Se guardaron los datos obtenidos, referentes a amplitud medida en milivoltios y latencia medida en milisegundos.

### Estimulación foraminal

La estimulación de la raíz espinal se realizó en actividad muscular. Para esto, se le indicó al participante que realizara un movimiento con el fin de contactar los pulpejos del dedo pulgar y el dedo meñique de manera leve y sin hacer presión (con el fin de activar aproximadamente el 10% de las neuronas piramidales). La bobina se situó sobre la apófisis espinosa del cuerpo vertebral cervical C7 (ubicando el centro de la bobina justo en el relieve generado por la apófisis espinosa) en dirección a la salida de la raíz cervical.

### Estimulación cortical

La estimulación de la corteza cerebral se realizó también en actividad muscular. La bobina se colocó sobre el cuero cabelludo a nivel del *vertex* punto Cz según el sistema internacional 10/20. La bobina se giró en sentido y en contra de las manecillas del reloj hasta obtener el pEM de mejor calidad. Tanto para el estímulo foraminal como cortical, se realizó la medición de los pEM de la primera onda evocada. La duración total de la prueba fue de aproximadamente 25 minutos.

### Análisis estadístico

Se evaluó la normalidad por medio de la prueba de Shapiro-Wilk e histograma. Los valores normales se presentaron en forma de valores absolutos o relativos; aplicando medias, desviaciones estándar y rangos. Se evaluó la muestra por subgrupos con la prueba de chi-cuadrado y exacta de Fisher y se aplicó una ANOVA para el análisis multivariante. Se utilizó el programa estadístico Stata 18.0, con un grado de significancia estadística  $p < 0.05$ .

### Aspectos éticos

Este estudio tuvo autorización del Comité de Investigación o Ética de la Universidad El Bosque de acuerdo con la

**Tabla 1.** Variables sociodemográficas por sexo de sujetos sanos en una institución prestadora de salud en Bogotá

Variable	Mujeres	Hombres
	Total (n = 26)	Total (n = 19)
Edad (años) media, (DE)	33.11 (9.79)	31.63 (9.42)
Edad (años), n (%)		
18-40	22 (84.6)	17 (89.47)
41-52	3 (11.5)	1 (5.26)
53-65	1 (3.8)	1 (5.26)
Peso (kg), media (DE)	60.88 (10.14)	71.76 (8.46)
Talla (cm), media (DE)	159.96 (5.37)	173.42 (5.49)
IMC (kg/m <sup>2</sup> ), media (DE)	23.78 (4.18)	23.91 (2.94)
IMC (kg/m <sup>2</sup> )		
< 18.5	1 (3.8)	-
18.5-24.9	18 (69.2)	15 (78.95)
25-29.9	5 (19.2)	4 (21.05)
> 30	2 (7.7)	-

IMC: índice de masa corporal; DE: desviación estándar.

normatividad nacional e internacional garantizando la participación libre y el consentimiento informado de los sujetos.

## Resultados

### Caracterización sociodemográfica

Se incluyeron 45 participantes, la mayoría mujeres (57.70%), con edad media de 32.5 ( $\pm$  9.56) años. Esto correspondió a un análisis de 90 músculos APB y 90 músculos ADM incluidos. Únicamente dos participantes presentaron cefalea leve posterior al estudio resolviendo inmediatamente ( $< 5\%$ ).

La media del peso fue 65.48 kg y de la talla, 165.64 cm. Por índice de masa corporal (IMC), la media fue 23.84 kg/m<sup>2</sup>. Asimismo, se encontró que la mayoría de la población se categorizó con IMC normal (73.33%). La mayoría de los participantes se encontraron en el rango de 18-40 años. Al comparar entre hombres y mujeres, la media de la edad fue similar, mientras que el peso y la talla se encontraron ligeramente superiores en hombres (Tabla 1).

### Valores de referencia para la población de estudio

Se reportan en la tabla 2 los valores obtenidos de los estímulos realizados: periférico con estimulación eléctrica,

**Tabla 2.** Valores de referencia para el APB y ADM de sujetos sanos en el estudio de potenciales evocados motores con estimulación magnética en una institución prestadora de salud en Bogotá, Colombia

Valores de referencia totales	Media	DE	Mínimo	Máximo
<b>APB</b>				
Cortical				
Latencia (ms)	19.71	1.56	16.00	23.60
Amplitud (mV)	4.76	1.76	1.30	9.30
Diferencia de amplitud lado-lado (%)	17.27	12.47	0.00	59.38
Foraminal				
Latencia (ms)	12.56	1.14	10.20	15.20
Amplitud (mV)	5.23	3.54	1.00	14.70
Diferencia de amplitud lado-lado (%)	15.87	11.82	0.00	54.72
TCMC	7.15	1.13	4.40	10.30
Periférico				
Latencia (ms)	3.04	0.42	2.20	4.10
Amplitud (mV)	10.96	2.66	6.10	18.40
Diferencia de amplitud lado-lado (%)	12.77	8.98	0.00	34.11
Relación pEM/PAMC*	45.59	18.21	8.39	90.91
<b>ADM</b>				
Cortical				
Latencia (ms)	19.24	1.65	15.50	22.60
Amplitud (mV)	4.63	1.47	1.60	7.70
Diferencia de amplitud lado-lado (%)	14.34	8.82	2.04	34.72
Foraminal				
Latencia (ms)	12.62	1.29	10.10	15.60
Amplitud (mV)	3.32	2.17	1.00	11.20
Diferencia de amplitud lado-lado (%)	18.56	11.41	0.00	37.93
TCMC	6.62	1.30	3.00	11.40
Periférico				
Latencia (ms)	2.53	0.30	2.00	3.40
Amplitud (mV)	9.52	1.69	5.70	13.30
Diferencia de amplitud lado-lado (%)	11.00	6.79	0.93	28.30
Relación pEM/PAMC*	49.29	15.18	17.02	98.67

\*Relación pEM/PAMC, corresponde a la amplitud del pEM evocado por estimulación magnética cortical dividido por la amplitud del PAMC obtenido por estimulación eléctrica del nervio periférico.

ADM: abductor *digiti minimi*; APB: abductor *pollicis brevis*; DE: desviación estándar; PAMC: potencial de acción motor compuesto; pEM: potencial evocado motor; TCMC: tiempo de conducción motora central.

foraminal y cortical con estimulación magnética. Se obtuvieron las latencias y amplitudes de los pEM, se calculó la diferencia de amplitud lado a lado, la relación pEM/PAMC y el TCMC. Se presenta la diferencia lado a lado de forma porcentual. La relación pEM/PAMC corresponde a la relación de amplitud del pEM en milivoltios dividida por la amplitud del PAMC en milivoltios. El tiempo de conducción motor central fue calculado sustrayendo la latencia del estímulo foraminal en milisegundos (correspondiente al tiempo de conducción motor periférico) a la latencia del estímulo cortical en milisegundos (correspondiente al tiempo de conducción motor total). Se encontraron valores similares de acuerdo con la lateralidad respecto a las latencias, amplitudes y TCMC para los músculos APB y ADM (Tablas suplementarias 2 y 3).

Se encontró una diferencia mayor al 50% entre las amplitudes lado a lado en dos participantes. El primero

para el estímulo cortical y foraminal del APB (56.67 y 54.72%) y el segundo para el estímulo cortical del APB (59.38%). Para el ADM, el rango de diferencia de amplitud lado a lado para el estímulo cortical estuvo entre 2.04 y 32.72% y para el foraminal entre 0 y 37.93%. La relación de amplitud pEM/PAMC demostró una media para el APB del 45.29% y del 49.29% para el ADM. Respecto al APB, dos participantes presentaron una diferencia inferior al 15% (con valores del 8.39 y 14.86%). Mientras que para el ADM se encontró un rango entre 17.02 y 98.67%. En general la amplitud del pEM del estímulo cortical fue menor respecto al foraminal.

### Comparaciones estadísticamente significativas por subgrupos

Únicamente la latencia cortical del ADM tuvo diferencias entre los estímulos de acuerdo con diferentes grupos

de edad ( $p < 0.001$ ). Por lo tanto, los demás estímulos no difirieron por edad. Al comparar por sexo, se encontraron diferencias para latencia cortical y foraminal del APB ( $p < 0.001$ ) y ADM ( $p = 0.000$ ), así como amplitud foraminal del pEM del ADM ( $p = 0.0097$ ). En la **tabla 3** se presentan los valores de referencia por subgrupos de sexo. Asimismo, la amplitud foraminal del cubital también presentó diferencias ( $p = 0.0018$ ). En la **tabla 4** se describen valores de referencia por subgrupos de talla mayor y menor a 165 cm. Respecto al TCMC, se identificaron diferencias para talla en el APB ( $p = 0.0365$ ). Comparando por IMC, únicamente se encontraron diferencias en amplitud cortical del APB ( $p = 0.0399$ ). Con respecto a la talla, se encontraron diferencias en la latencia del pEM cortical y foraminal para los dos músculos ( $p < 0.0001$ ) (**Tabla 5**).

### Análisis multivariante de valores de referencia por subgrupos

Se realizó un análisis multivariante para comparar por sexo y talla, encontrando diferencias estadísticamente significativas para la latencia foraminal y cortical del APB ( $p = 0$ ) y ADM ( $p = 0$ ). Incluso, la amplitud del estímulo foraminal del ADM presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.0065$ ).

### Discusión

Este es el primer estudio en Colombia que determina los valores de referencia de los parámetros de los pEM (latencia, amplitud, TCMC) de los músculos APB y ADM. En comparación, los resultados del actual estudio son consistentes con investigaciones previas<sup>9,11,25-31</sup> (**Tabla suplementaria 1**)<sup>25,32</sup>. Por ejemplo, el TCMC tuvo una media de 6.62 ms (desviación estándar [DE]: 1.30 ms) y 7.15 ms (1.13 ms) para el ADM y APB, respectivamente. Adicionalmente, se realizó un análisis por subgrupos con las variables evaluadas, encontrando que las latencias presentan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de sexo y talla ( $p < 0.01$ ). Se ha reportado como anormal una diferencia de amplitud lado a lado mayor al 50%<sup>4,28</sup>. Sin embargo, en este estudio dos participantes presentaron esta diferencia, lo que conllevaría una tasa de falsos positivos del 4.4%, por lo que es prudente considerar la posibilidad de un punto de corte mayor en nuestra población. En este sentido, es llamativo que una participante presentó un valor de diferencia lado a lado mayor al 50% del pEM cortical.

**Tabla 3.** Valores de referencia de latencia por sexo para los músculos APB y ADM de sujetos sanos en el estudio de potenciales evocados motores con estimulación magnética en una institución prestadora de salud en Bogotá, Colombia

Latencias (ms)	Media	DE	Mínimo	Máximo
<b>APB</b>				
Mujeres				
Cortical	19.04	1.35	16.00	22.10
Foraminal	11.98	0.94	10.20	14.60
Hombres				
Cortical	20.61	1.35	18.20	23.60
Foraminal	13.36	0.88	11.80	15.20
<b>ADM</b>				
Mujeres				
Cortical	18.59	1.45	15.50	21.90
Foraminal	11.92	1.02	10.10	14.10
Hombres				
Cortical	20.13	1.49	15.70	22.60
Foraminal	13.58	0.95	11.30	15.60

ADM: abductor *digiti minimi*; APB: abductor *pollicis brevis*; DE: desviación estándar.

**Tabla 4.** Valores de referencia de latencias por talla para los músculos APB y ADM de sujetos adultos sanos en el estudio de potenciales evocados motores con estimulación magnética en una institución prestadora de salud en Bogotá, Colombia

Latencias (ms)	Media	DE	Mínimo	Máximo
<b>APB</b>				
≤ 165 cm				
Cortical	18.74	1.15	16.00	20.90
Foraminal	11.82	0.86	10.20	13.90
> 165 cm				
Cortical	20.71	1.27	18.20	23.60
Foraminal	13.33	0.85	11.80	15.20
<b>ADM</b>				
≤ 165 cm				
Cortical	18.35	1.37	15.50	21.90
Foraminal	11.70	0.86	10.10	14.10
> 165 cm				
Cortical	20.17	1.38	15.70	22.60
Foraminal	13.58	0.89	11.30	15.60

ADM: abductor *digiti minimi*; APB: abductor *pollicis brevis*; DE: desviación estándar.

En principio, la media de la edad del presente estudio fue de 32 años, semejante a lo que reporta la literatura previamente<sup>9,11,26,27,30,31</sup>. Esto se justifica por la inclusión de participantes sanos, así como en la relación directa entre edad y enfermedades del sistema nervioso como: enfermedades de motoneurona, enfermedad de Alzheimer o Parkinson<sup>33-35</sup>. Asimismo, la talla media en hombres fue

**Tabla 5.** Diferencias por sexo, talla, IMC y por edad en los potenciales evocados motores en los músculos APB y ADM

Diferencias por variables	Por sexo Valor de la diferencia (p)	Por talla Valor de la diferencia (p)	Por IMC Valor de la diferencia (p)	Por edad Valor de la diferencia (p)
<b>APB</b>				
Cortical				
Latencia (ms)	-1.571 ( $< 0.001$ )	-1.961 ( $< 0.001$ )	-0.1917 (0.2996)	0.28 (0.393)
Amplitud (mV)	-0.362 (0.279)	0.026 (0.4719)	-0.7180 (0.0399)	-0.309 (0.408)
Foraminal				
Latencia (ms)	-1.383 ( $< 0.001$ )	-1.463 ( $< 0.001$ )	0.030 (0.5457)	0.070 (0.771)
Amplitud (mV)	(0.997)	(-0.735)	(-0.7317)	(0.9967)
TCMC	-0.188 (0.438)	-0.498 (0.0365)	-0.2224 (0.2005)	0.2113 (0.3788)
Relación de amplitud pEM/PAMC	-1.465 (0.354)	0.439 (0.9099)	-5.493.574 (0.0981)	0.6110 (0.8747)
<b>ADM</b>				
Cortical				
Latencia (ms)	1.542 ( $< 0.000$ )	-71.276 ( $< 0.001$ )	-11.433 (0.256)	-0.3351 ( $< 0.001$ )
Amplitud (mV)	0.207 (0.512)	0.8927 (0.3745)	-0.5537 (0.5812)	-0.2613 (0.4034)
Foraminal				
Latencia (m.s)	1.666 ( $< 0.000$ )	-97.626 ( $< 0.001$ )	-0.0242 (0.9358)	-0.1543 (0.286)
Amplitud (mV)	(0.0097)	(0.0018)	(0.9645)	(0.7806)
TCMC (ms)	0.1244 (0.656)	-0.5015 (0.6173)	-13.718 (0.1736)	-0.1808 (0.5127)
Relación de amplitud pEM/PAMC* (%)	2.249 (0.490)	-0.6473 (0.5191)	-10.332 (0.3044)	-1.673.527 (0.3019)

\*Relación pEM/PAMC, corresponde a la amplitud del pEM evocado por estimulación magnética cortical dividido por la amplitud del PAMC obtenido por estimulación eléctrica del nervio periférico. ADM: abductor *digiti minimi*; APB: abductor *pollicis brevis*; IMC: índice de masa corporal; PAMC: potencial de acción motor compuesto; pEM: potencial evocado motor.

mayor respecto a las mujeres (173.42 vs. 159.96 cm). Por lo cual se trata de un resultado consistente con estudios previos y con las características poblacionales<sup>29,30</sup>.

Con respecto a los efectos secundarios, únicamente dos participantes presentaron cefalea leve posterior a la estimulación magnética. De manera similar, se ha reportado dicho fenómeno en otros estudios<sup>8,11,30</sup>. También algunos análisis sugieren que el uso de la estimulación magnética parece ser segura en pacientes con epilepsia o trauma craneoencefálico previo<sup>4,5</sup>. No obstante, en la literatura se recomienda excluir dichas patologías por riesgo de convulsiones focales aisladas durante o después del estudio, en pacientes que usaban medicamentos con disminución del umbral convulsivo<sup>7</sup>. Por otro lado, no hubo diferencias al comparar entre las lateralidades de los sujetos de estudio. Estudios en Alemania, Francia y México tuvieron resultados similares en participantes sanos<sup>9,11,30</sup>.

Adicionalmente, se analizó la relación pEM/PAMC obteniendo una media para el APB del 45.29% y del 49.29% para el ADM, sin encontrar diferencias, coincidiendo con la literatura previa<sup>28</sup>. También hubo dos participantes con una diferencia menor al 15%. La literatura internacional<sup>25</sup> indica que en músculos de la mano, si la relación es inferior a este porcentaje o si los valores están 2.5 o 3 DE por debajo de la media de los datos normativos se podría considerar anormal al representar una pérdida de células cortico-motoneuronales.

En general, la amplitud del pEM del estímulo cortical fue menor respecto al foraminal consistente con un estudio en Taiwán de 1980<sup>29</sup>. Mientras que no se observaron diferencias en la amplitud del pEM del APB entre hombres y mujeres, lo cual coincide con un estudio en México de 2010<sup>11</sup>. Por otro lado, la amplitud media del pEM cortical y foraminal del ADM fue sutilmente mayor en mujeres, con una diferencia significativa para el pEM

foraminal. En contraste, un estudio en Francia no reportó diferencias por sexos<sup>30</sup>.

Por otra parte, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la latencia del pEM cortical y foraminal entre sexos para los dos músculos, con una relación directamente proporcional entre talla y latencia. Asimismo, se estimó que la estatura media en hombres fue superior obteniendo latencias más prolongadas. Previamente, se ha descrito este fenómeno en estudios con diferentes contextos<sup>26,29,31</sup>. Una de las hipótesis indica que la envergadura tiene una relación directa con la estatura<sup>29</sup>. Por lo cual, si una persona es más alta, será mayor su envergadura. Entonces, el tiempo desde el estímulo cortical o foraminal hasta el sitio de registro de la mano va a ser mayor debido a un mayor trayecto de conducción. De manera similar, se ha reportado la correlación entre la longitud del brazo y la latencia del pEM de la eminencia tenar<sup>13</sup>.

Es importante tener en cuenta un estudio en Italia de 1991, que explica que los pEM transcraneales se correlacionan mejor con altura del cuerpo que con la longitud del brazo<sup>31</sup>. Por lo cual se recomienda considerar esa variable en la práctica clínica. Por otro lado, un estudio en Francia de 1991 indicó que a pesar de la existencia de la relación entre la altura y el tiempo de conducción cortical y foraminal, estas no se debían a una correlación entre la corteza, el tiempo de conducción cervical y la estatura; sino que se debía a la relación entre la corteza y el tiempo de conducción lumbar<sup>30</sup>, lo que sugiere que las latencias de los pEM son dependientes de longitud. En el análisis multivariante por sexo y talla, ambas se asocian de manera significativa con la latencia foraminal y cortical de ambos músculos, y con la amplitud del estímulo foraminal del ADM. En contraste, otros estudios no encontraron diferencias<sup>29</sup>.

En cuanto a la edad, tuvo una tendencia a menor amplitud y mayor latencia en los participantes mayores. Únicamente se presentaron diferencias estadísticamente significativas para la latencia cortical del nervio cubital. Diferentes autores han descrito un hallazgo similar<sup>11,28,31</sup>. Esto se atribuye a la pérdida gradual de neuronas corticales (36-60%) y de las células del asta anterior (aproximadamente 25%) con el envejecimiento fisiológico.

La media del TCMC de los músculos evaluados fue similar entre los subgrupos de sexo, edad, talla e IMC. Únicamente se observaron diferencias estadísticas en el APB al comparar por talla, de forma concordante con la literatura<sup>31</sup>. Por el contrario, diferentes autores no encontraron diferencias<sup>9,14,29</sup>. Probablemente se deba a que la longitud de la cabeza al cuello no se relaciona con la altura<sup>29</sup>.

Respecto al IMC, únicamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la amplitud del pEM cortical del APB. En la literatura no se evalúa el IMC identificando un vacío en la evidencia. Finalmente, se describió variabilidad en la amplitud en relación con las variables demográficas, incluso se ha establecido que la amplitud puede no ser muy confiable para el análisis de los pEM-EM<sup>5</sup>. Por tal razón, se resalta la importancia de obtener la relación pEM/PAMC.

## Fortalezas y limitaciones

Como limitaciones, se considera el sesgo de selección teniendo en cuenta que la mayoría de los participantes se encontraban en el rango de edad entre los 18 a 40 años y un IMC entre 18.5 y 24.9 kg/m<sup>2</sup>, lo que puede conducir a una representación inexacta de la muestra; así como el sesgo de confusión, de información y respuesta dado que surgieron resultados inesperados referente a la diferencia de amplitud lado a lado y a la relación pEM/PAMC que sugerían anormalidad en pacientes sanos, quienes pudieron modificar la información durante la captura de datos iniciales. Factores locales, estilos de vida y cambios temporales pueden sesgar los resultados, afectando su aplicabilidad a poblaciones más amplias. Se realizó el primer estudio para determinar valores de referencia de pEM-EM en Colombia. También obtuvimos una muestra mayor a la calculada teóricamente. Los estudios fueron realizados por personal entrenado (médico fisiatra y residentes). De manera complementaria, se realizó un control de calidad y riesgo de efectos adversos con la lista de chequeo y un examen físico previo al estudio que sirvió para descartar antecedentes, disminuyendo sesgos en el presente estudio. Todos los participantes toleraron el estudio, presentando efectos adversos sin relevancia clínica. Como factor innovador, se dieron a conocer valores de referencia para las características de los pEM con respecto a la talla, IMC y sexo, además se realizó análisis multivariante para sexo y talla.

## Conclusiones y recomendaciones

Se realizó el primer estudio en Colombia determinando valores de referencia de pEM-EM para los músculos APB y ADM. Se obtuvieron datos semejantes a los reportados en la literatura internacional. Se encontró una relación significativa entre las variables demográficas de talla y sexo, y la latencia cortical y foraminal

del pEM, lo que permitió describir adicionalmente valores de referencia para estos subgrupos. La edad e IMC parecen influir en los pEM. Dada la variabilidad de la amplitud de los pEM obtenidos, es importante analizar la relación pEM/PAMC. Se necesitan más estudios que evalúen otros músculos de miembros superiores e inferiores, además de investigaciones que incluyan población pediátrica.

## Contribución de los autores

Conceptualización: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, C.E. Rangel-Galvis. Curación de datos: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, S.A. Gaitán-Caicedo. Análisis formal: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, S.A. Gaitán-Caicedo. Adquisición de fondos: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, E. Méndez, C.E. Rangel-Galvis. Investigación: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, E. Méndez, S.A. Gaitán-Caicedo, C.E. Rangel-Galvis. Metodología: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, E. Méndez, S.A. Gaitán-Caicedo, C.E. Rangel-Galvis. Administración del proyecto: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, E. Méndez, S.A. Gaitán-Caicedo, C.E. Rangel-Galvis. Recursos: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, E. Méndez, S.A. Gaitán-Caicedo, C.E. Rangel-Galvis. Software: E. Méndez, C.E. Rangel-Galvis. Supervisión: E. Méndez, C.E. Rangel-Galvis. Validación: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, E. Méndez, S.A. Gaitán-Caicedo, C.E. Rangel-Galvis. Visualización: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, E. Méndez, S.A. Gaitán-Caicedo, C.E. Rangel-Galvis. Escritura-borrador original: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, S.A. Gaitán-Caicedo. Escritura-revisión y edición: K.J. Garzón-Ortega, C. Montaña-Rodríguez, E. Méndez, S.A. Gaitán-Caicedo, C.E. Rangel-Galvis.

## Financiamiento

La presente investigación no ha recibido ninguna beca específica de agencias de los sectores públicos, comercial o con ánimo de lucro.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Consideraciones éticas

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que los procedimientos seguidos se

conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki. Los procedimientos fueron autorizados por el Comité de Ética de la institución.

**Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética.** Los autores han seguido los protocolos de confidencialidad de su institución, han obtenido el consentimiento informado de los pacientes, y cuentan con la aprobación del Comité de Ética. Se han seguido las recomendaciones de las guías SAGER, según la naturaleza del estudio.

**Declaración sobre el uso de inteligencia artificial.** Los autores declaran que no utilizaron algún tipo de inteligencia artificial generativa para la redacción de este manuscrito.

## Material suplementario

El material suplementario se encuentra disponible en DOI: 10.24875/ANC.M24000020. Este material es provisto por el autor de correspondencia y publicado *online* para el beneficio del lector. El contenido del material suplementario es responsabilidad única de los autores.

## Bibliografía

- Maertens De Noordhout A, Rothwell JC, Thompson PD, Day BL, Marsden CD. Percutaneous electrical stimulation of lumbosacral roots in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1988;51(2):174-81.
- Hahn CD, Emerson RG. Electroencephalography and evoked potentials. En: Jankovic J, Mazziotta JC, Pomeroy SL, Newman NJ, editores. *Bradley and Daroff's Neurology in Clinical Practice*. 8ª edición. Elsevier; 2022. pp. 430-446.e10.
- Kheith C. Evoked motor potentials. Lippincott Williams & Wilkins; 1997.
- Lefaucheur JP. Transcranial magnetic stimulation. *Handb Clin Neurol*. 2019;160:559-580.
- Kimura J. Motor evoked potentials. Oxford University Press; 2013.
- Bell SJ, Lauer A, Lench DH, Hanlon CA. Visual attention affects the amplitude of the transcranial magnetic stimulation-associated motor-evoked potential: a preliminary study with clinical utility. *J Psychiatr Pract*. 2018;24(4):220-9.
- Classen J, Witte OW, Schlaug G, Seitz RJ, Holthausen H, Benecke R. Epileptic seizures triggered directly by focal transcranial magnetic stimulation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1995;94(1):19-25.
- Uozumi T, Tsuji S, Murai Y. Motor potentials evoked by magnetic stimulation of the motor cortex in normal subjects and patients with motor disorders. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1991;81(4):251-6.
- Claus D. Central motor conduction: method and normal results. *Muscle Nerve*. 1990;13(12):1125-32.
- Livingston SC, Ingersoll CD. Intra-rater reliability of a transcranial magnetic stimulation technique to obtain motor evoked potentials. *Int J Neurosci*. 2008;118(2):239-56.
- Arturo J, Leyva D, Cecilia D, Añorve Borquez R, Eugenio J, Rojas D, et al. Potenciales evocados magnéticos. Estandarización de valores de referencia. *Neurol Neurocir Psiquiat*. 2010;43(1-4):26-38.
- Borrego JC, Lara S, Trujillo M, Barraza P. Potenciales evocados motores. Evaluación no invasiva de la vía motora en sujetos normales y en pacientes con enfermedades neurológicas. *Acta méd colomb*. 1992;17(2):86-93.
- Vucic S, Stanley Chen KH, Kiernan MC, Hallett M, Benninger DH, Di Lazzaro V, et al. Clinical diagnostic utility of transcranial magnetic stimulation in neurological disorders. Updated report of an IFCN committee. *Clin Neurophysiol*. 2023;150:131-75.
- Udupa K, Chen R. Central motor conduction time. *Handb Clin Neurol*. 2013;116:375-86.

15. Bejarano B, Bianco M, Gonzalez-Moron D, Sepulcre J, Goñi J, Arcocha J, et al. Computational classifiers for predicting the short-term course of Multiple sclerosis. *BMC Neurology*. 2011;11:67.
16. Yu Z, Pan W, Chen J, Peng X, Ling Z, Zou X. Application of electrophysiological measures in degenerative cervical myelopathy. *Front Cell Dev Biol*. 2022;10:1536.
17. Kandler RH, Jarratt JA, Sagar HJ, Gumpert EJ, Venables GS, Davies-Jones GA, et al. Abnormalities of central motor conduction in Parkinson's disease. *J Neurol Sci*. 1990;100(1-2):94-7.
18. Calvo-Merino B, Haggard P. Transcranial magnetic stimulation. Applications in cognitive neuroscience. *Rev Neurol*. 2004;38(4):374-80.
19. Escudero Torrella J. Potenciales evocados motores por estimulación magnética cerebral transcraneal en la enfermedad vascular cerebral isquémica [tesis en Internet]. [Valencia]: Ciencias de la vida, Universidad de Valencia; 1993. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=227134>
20. Day BL, Rothwell JC, Thompson PD, Dick JPR, Cowan JMA, Berardelli A, et al. Motor cortex stimulation in intact man. Multiple descending volleys. *Brain*. 1987;110(5):1191-209.
21. Macdonell RAL, Donnan GA, Bladin PF. A comparison of somatosensory evoked and motor evoked potentials in stroke. *Ann Neurol*. 1989;25(1):68-73.
22. Hess CW, Mills KR, Murray NM. Responses in small hand muscles from magnetic stimulation of the human brain. *J Physiol*. 1987;388(1):397-419.
23. Fernández V, Valls-Sole J, Relova JL, Raguer N, Miralles F, Dinca L, et al. [Recommendations for the clinical use of motor evoked potentials in multiple sclerosis]. *Neurologia*. 2013;28(7):408-16.
24. Cantello R, Gianelli M, Bettucci D, Civardi C, De Angelis MS, Mutani R. Parkinson's disease rigidity: magnetic motor evoked potentials in a small hand muscle. *Neurology*. 1991;41(9):1449-56.
25. Groppa S, Oliviero A, Eisen A, Quartarone A, Cohen LG, Mall V, et al. A practical guide to diagnostic transcranial magnetic stimulation: Report of an IFCN committee. *Clin Neurophysiol*. 2012;123(5):858-82.
26. Barker AT, Freeston IL, Jalinous R, Jarratt JA. Magnetic stimulation of the human brain and peripheral nervous system: an introduction and the results of an initial clinical evaluation. *Neurosurgery*. 1987;20:100-9.
27. Tabaraut F, Hugon J, Salle JY, Boulesteix JM, Vallat JM, Dumas M. [Study of central motor pathways using cortical magnetic stimulation and spinal electrical stimulation: results in 20 normal subjects]. *Rev Neurol (Paris)*. 1989;145(10):690-5.
28. Eisen AA, Shtybel W. AAEM minimonograph# 35: clinical experience with transcranial magnetic stimulation. *Muscle Nerve*. 1990;13:995-1011.
29. Chu NS. Motor evoked potentials with magnetic stimulation: correlations height. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1989;74(6):481-5.
30. Furby A, Bourriez JL, Jacquesson JM, Mounier-Vehier F, Guieu JD. Motor evoked potentials to magnetic stimulation: technical considerations and normative data from 50 subjects. *J Neurol*. 1992;239(3):152-6.
31. Ghezzi A, Callea L, Zaffaroni M, Zibetti A, Montanini R. Study of central and peripheral motor conduction in normal subjects. *Acta Neurol Scand*. 1991;84(6):503-6.
32. Rossini PM, Burke D, Chen R, Cohen LG, Daskalakis Z, Di Iorio R, et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: Basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I.F.C.N. Committee. *Clin Neurophysiol*. 2015;126(6):1071-107.
33. van Es MA, Hardiman O, Chio A, Al-Chalabi A, Pasterkamp RJ, Veldink JH, et al. Amyotrophic lateral sclerosis. *Lancet*. 2017; 390(10107):2084-98.
34. Atri A. The Alzheimer's disease clinical spectrum: diagnosis and management. *Med Clin North Am*. 2019;103(2):263-93.
35. Homayoun H. Parkinson disease. *Ann Intern Med*. 2018;169(5):ITC33-47.