

# Potenciales evocados motores

## Evaluación no invasiva de la vía motora en sujetos normales y en pacientes con enfermedades neurológicas

Camilo José Borrego, Segundo Lara, Mario Trujillo, Pedro Barraza

---

Se presenta por primera vez en la comunidad médica nacional un estimulador eléctrico para la obtención de PEM, utilizando un aparato de diseño y fabricación local, siguiendo una línea investigativa iniciada en 1981 y mediante la cual se diseñan y construyen algunos equipos para la aplicación en neurofisiología clínica, derivada de proyectos de investigación que integran conocimientos de la instrumentación biomédica y la neurofisiología.

El registro en 42 sujetos normales y la demostración de sus usos con algunos casos nos demuestran la validez y confiabilidad del instrumento fabricado. Se resalta la importancia de los PEM como método objetivo, reproducible, fácil de obtener y especialmente útil para la demostración de anormalidades funcionales en la vía motora tanto central como periférica. Finalmente, se hace una revisión del tema en las que se corroboran los conocimientos sobre el estudio de la función y de las vías motoras.

### INTRODUCCION

La introducción de los potenciales evocados desde comienzos de los años setenta representa un aporte significativo al estudio y diagnóstico de muchas enfermedades (1-4). Hasta hace muy poco tiempo sólo era posible estudiar las vías aferentes visuales, auditivas o somatosensoriales, factor que

limitaba sus usos y aplicaciones a esos aferentes sensoriales, y de esta manera, quedaban por fuera del estudio electrofisiológico aquellas enfermedades que presentan compromiso de la vía piramidal concomitante o en forma aislada al compromiso sensorial. Así por ejemplo, en la esclerosis múltiple, el compromiso motor piramidal es más frecuente que el compromiso sensitivo (5); en la afección de la médula espinal por trauma, el pronóstico de recuperación no tiene muchas veces relación a los resultados de los potenciales evocados somatosensoriales (6-7).

El estímulo de las vías eferentes motoras piramidales sólo había sido posible en el cráneo abierto durante una intervención quirúrgica hasta que Merton y Morton en 1980 (8-9) descubrieron por primera vez que era posible estimular a través del cráneo intacto la vía motora piramidal, mediante un pulso eléctrico proporcionado por un estimulador de diseño especial con baja impedancia de salida. El estímulo, un pulso muy breve de alta intensidad, penetra el cuero cabelludo y el cráneo, despolariza las neuronas de la corteza motora, produciendo una respuesta que se propaga por toda la vía motora y se registra desde los músculos correspondientes, mediante electrodos superficiales. Desde esta época ha existido interés creciente por este método de investigación neurofisiológica no invasiva, conocida con el nombre de Potenciales Evocados Motores (PEM) sobre la cual ha habido numerosos trabajos de investigación y de aplicación clínica.

El estímulo eléctrico aplicado al cuero cabelludo sobre las áreas motoras de la mano o del pie, se origina en, o muy cerca de la corteza motora

---

Dr. Camilo José Borrego A.: Profesor de Neurología, Universidad de Antioquia; Dr. Segundo C. Lara A.: Profesor de Física, Universidad Tecnológica de Pereira; Dr. J. Mario Trujillo V.: Profesor de Física, Universidad de Antioquia; Dr. Pedro Barraza: Residente de Neurología, Universidad de Antioquia.

Solicitud de separatas al Dr. Borrego.

desde la cual se activan impulsos que viajan por diferentes vías de las cuales la principal es el tracto cónico espinal (10). En el hombre, no hay ninguna evidencia de que otras vías eferentes participen en la producción de las respuestas registradas sobre los músculos (11, 12). El impulso nervioso originado desde la corteza alcanza las motoneuronas de la médula espinal viajando a través del fascículo cónico espinal lateral (13, 14). Con el mismo instrumento es también posible estimular las vías motoras directamente sobre la médula espinal a través de la piel, registrando sus respuestas directamente sobre los músculos de las extremidades.

Mill y Murray (15) han demostrado que el estímulo aplicado sobre la columna vertebral excita los axones motores a su salida del foramen y a más altas intensidades es también posible estimular directamente la vía piramidal dentro de la médula. El estímulo aplicado sobre las motoneuronas periféricas activa todas las fibras en vez de una pequeña fracción de éstas, tal como sucede con la respuesta F, representando así ventajas respecto de ésta en el estudio de las conducciones periféricas proximales (16, 17).

Desde 1985, nosotros hemos estado comprometidos en una investigación con miras al desarrollo de un estimulador para PEM, siguiendo una

línea de investigación que viene desde 1981 (18). Desde el mes de noviembre de 1987 hemos venido probando con éxito el instrumento completo para aplicación clínica, tanto en sujetos normales como en pacientes con enfermedades neurológicas.

El motivo del presente trabajo es el de hacer una revisión del tema de los PEM y presentar un trabajo normativo en una muestra comparativa a los resultados obtenidos por otros, así como probar la eficacia del instrumento desarrollado por nosotros, para el diagnóstico de algunas enfermedades.

#### MATERIAL Y METODOS

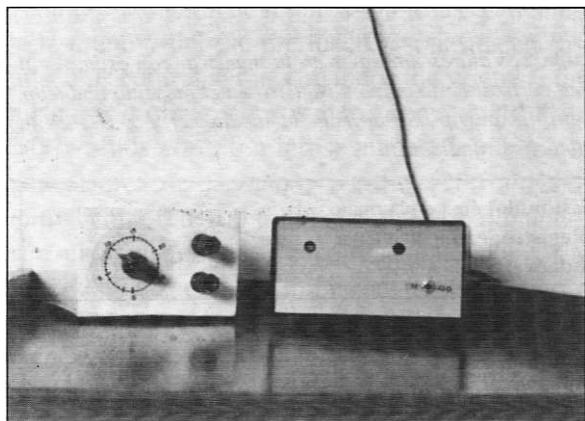
La estimulación sobre la corteza motora y sobre la médula y raíces espinales fue realizada por un estimulador especialmente diseñado y construido por los autores, mediante el cual se producen pulsos rectangulares de corriente de 50 o de 100 microsegundos de duración con un tiempo de subida de cuatro microsegundos y un tiempo de bajada de seis microsegundos (Figura 1). El voltaje máximo de 2000 voltios es producido a través de un transformador de aislamiento con baja impedancia de salida diseñado especialmente para nosotros, gracias a la colaboración de Industrias Omega, Medellín. La cantidad de corriente aplicada a un sujeto para producir una respuesta, oscila entre 400-1000 miliamperios.

#### Sujetos

La población de sujetos normales está compuesta por estudiantes de medicina, médicos y secretarías, quienes colaboraron voluntariamente con el procedimiento. La muestra de pacientes está conformada por aquellos referidos con alguna enfermedad que requería evaluación de su vía motora con miras a confirmar o descartar el diagnóstico o el compromiso motor.

#### Método

El pulso de estimulación disparado manualmente por el examinador inicia el barrido. La respuesta, registrada desde los músculos con electrodos superficiales, es digitalizada a través del equipo de Potenciales evocados diseñado por Trujillo y Borrego (18) y almacenada en memoria



**Figura 1.** Se observa a la izquierda la unidad de aislamiento del estímulo que contiene el transformador de aislamiento de diseño especial, y el botón para el control del voltaje de salida. A la derecha, la unidad generadora de los pulsos de corriente fijos de 50 o de 100 microsegundos de duración.

RAM y en diskettes para análisis posteriores.

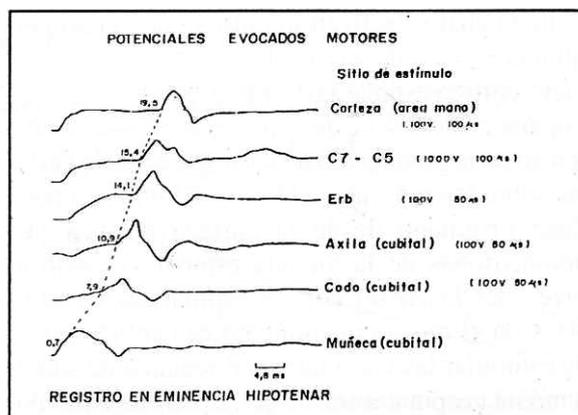
El estímulo sobre el área cortical opuesta correspondiente a los miembros superiores se aplicó con el ánodo a 6-7 cm de una línea que une al vértex con el meato auditivo externo, y el cátodo sobre el vértex. Cuando el estímulo se aplica para los miembros inferiores, el ánodo se coloca sobre el vertex y el cátodo se colocó 4 cm por delante, en la línea media. El estímulo sobre la columna cervical se aplicó con el cátodo puesto sobre TI y el ánodo sobre C5. En el estímulo sobre la columna dorso-lumbar, el ánodo se situó sobre D12, L1, L2, L3, L4, L5, o S1, y el cátodo 4 cm caudal o sobre la cresta iliaca opuesta.

Los potenciales de acción musculares se registraron sobre los músculos correspondientes. En cada sujeto se aplica el mínimo de estímulos posibles para obtener una respuesta, practicando un mínimo de dos ensayos para comprobar la reproducibilidad de las ondas.

Quando el examen se practica sobre el área cortical pero no sobre la columna o raíces lumbares, se emplean registros con el sujeto relajado, en reposo y posteriormente con una suave contracción del músculo a examinar. Con cada estímulo el sujeto percibe una leve molestia cuando se aplica al cráneo o a la columna cervical, y una rápida sensación de jalón cuando se aplica sobre la columna lumbar.

**Tabla 1.** Valores normales en la muestra, con estímulo al área cortical del pie y registros en los músculos tibiales anteriores. Se observan la media (x) y ± DE en la población estudiada.

Estímulo: área cortical del pie. Registro: tibial anterior. Edades: 21-46 años. Estatura: 1.65 ± 0.08 metros (rango 1.53- 1.85).		
	Contracción	Relajación
Sujetos	19	13
Lado derecho	23.7 ± 2.68 ms	26.6 ± 1.83 ms
Lado izquierdo	24.2 ± 2.95 ms	26.3 ± 2.23 ms
Diferencia D/I	0.5 ± 0.85 ms (rango 0-2.8)	0.43 ± 0.82 ms (rango 0-2.6)
Duración del PAM	26.6 ± 7.37 ms	22.1 ± 2.96 ms

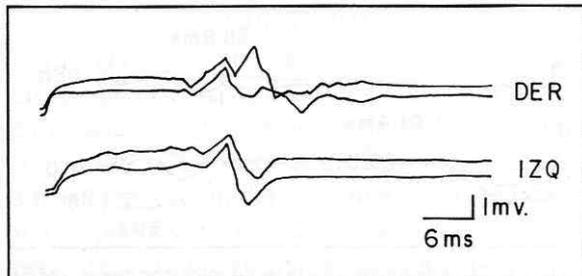


**Figura 2.** PEM de un sujeto normal con registro en la eminencia hipotenar producida al estímulo del área cortical de la mano (parte superior), a nivel cervical, plejo braquial, axilla, codo y muñeca. En cada sitio aparece el voltaje y la duración necesarios para producir la respuesta. Note la morfología similar de las respuestas centrales y periféricas, así como el progresivo acortamiento de la latencia de la respuesta con el sitio de aplicación del estímulo. En este sujeto, el TCC (corteza-cervical) es de 4.1 ms. El registro fue obtenido con una ligera contracción voluntaria del músculo para el estímulo cortical.

De cada respuesta se anota el voltaje necesario para su evocación, la latencia, la duración y la amplitud. La respuesta fue considerada anormal por una de las siguientes razones: ausencia, retardo en la latencia o reducción en la amplitud más allá de las 2.5 DE de la media en la población

**Tabla 2.** Valores normales en la muestra, con estímulo al área cortical de la mano y registro en el músculo abductor corto del pulgar. Se aprecia la media (x) y ± DE en la población estudiada.

Estímulo: área de la mano. Registro: eminencia tenar Edades: 21-24 años.		
	Contracción	Relajación
Sujetos	10	9
Lado derecho	17.6 ± 2.57 ms	19.7 ± 0.49 ms
Lado izquierdo	17.4 ± 2.57 ms	20.3 ± 2.28 ms
Diferencia D/I	1.4 ± 0.97 ms (rango 0-2.8)	1.7 ± 0.88 ms (rango 0-2.4)
Duración del PAM	19.7 ± 2.84 ms	18.3 ± 2.31 ms



**Figura 3.** Sujeto normal de 24 años. Nótese la respuesta bilateral para un estímulo unilateral, situación presente en algunos sujetos normales al estímulo en el área cortical de la mano. Estímulo: área cortical de la mano izquierda. Registro: abductor corto del pulgar. Relajación: 1000 voltios. 50 microsegundos.

normal. El tiempo de conducción central (TCC) se obtuvo al restar la latencia de la respuesta cortical, de aquella obtenida con el estímulo en la columna vertebral.

## RESULTADOS

### Grupo control

Un total de 42 sujetos normales de ambos sexos fueron examinados, con edades comprendidas entre los 15 y los 46 años. Las Tablas 1 y 2 muestran los valores de la media ( $\bar{X}$ ) y la desviación estándar (DE) en las latencias de las respuestas motoras. Las Figuras 2 y 3 ilustran las respuestas obtenidas en sujetos normales.

La estimulación de las áreas motoras corticales de la mano y del pie producen respuestas en los músculos contralaterales en todos los sujetos, con pulsos de voltaje que oscilan entre los 1000 a 1200 voltios con 50 microsegundos de duración para el área de la mano, y entre 1200 a 1800 voltios con 50 ó 100 microsegundos de duración para el área del pie. La contracción voluntaria ligera del músculo a examinar incrementa el voltaje de la respuesta unas 5-10 veces y acorta la latencia de 2-4 m con relación a la latencia de ese mismo músculo examinado en condiciones de relajación o de reposo.

La estimulación espinal produce respuestas musculares en todos los sujetos con pulsos entre los 1000 a 1600 voltios y 50 microsegundos de duración para la médula cervical y registro en

miembros superiores. Con el estímulo en la región lumbar, el pulso oscila entre los 1500 a 1700 voltios con 50 microsegundos de duración. Los voltajes más altos se requirieron para el estímulo de la vía piramidal en la médula cervical y fueron del orden de 1600 a 2000 voltios con 100 microsegundos. Durante la estimulación espinal, la contracción muscular voluntaria no produjo ninguna modificación en las amplitudes o latencias de las respuestas. A pesar de la forma similar de las respuestas corticales, espinales y periféricas, las amplitudes de las dos primeras son 10-18% más pequeñas que las periféricas distales.

En algunos sujetos normales, el estímulo cortical produce respuestas de más larga duración y de morfología más variable que la periférica (Figura 3). El estímulo cortical o en la médula cervical produce respuestas simultáneas en el abductor corto del pulgar, en el abductor del dedo meñique y en el biceps con latencias más cortas en los músculos más proximales. En algunos sujetos, el estímulo del área cortical de la mano produce también respuestas en los músculos ipsilaterales al estímulo (Figura 3).

El estímulo al área cortical del pie produce respuestas en todos los sujetos en ambos músculos tibiales anteriores, pero aunque las latencias fueron similares, hubo asimetrías en la forma y en la amplitud de las respuestas a ambos lados. Se asume así, que hay estrecha proximidad en las áreas motoras del pie en el surco central. Aquí también, la contracción voluntaria del músculo incrementa 4-12 veces la amplitud y acorta la latencia.

Con el estímulo entre D2 y D9 no obtuvimos respuestas en miembros inferiores. En el estímulo aplicado a nivel lumbar preferimos emplear el cátodo distal al ánodo o bien en la cresta ilíaca. El estímulo a nivel espinal produce igualmente respuestas bilaterales que no tienen diferencias de latencias mayores de 0.8 m sobre áreas simétricas.

### Pacientes con enfermedades neurológicas

**Esclerosis Lateral Amiotrófica.** Dos pacientes tuvieron este diagnóstico final luego de múltiples estudios. En ambos se reportaron anomalías en los PEM en los TCC.

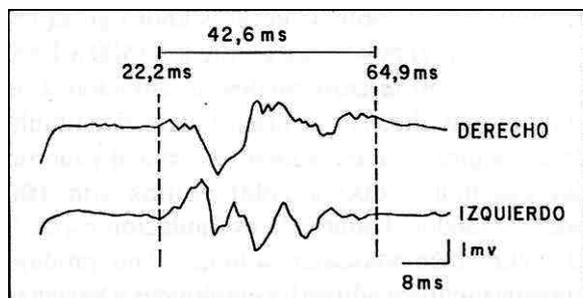


Figura 4. Mujer de 24 años, con antecedentes de polio a los 6 años el cual deja como secuelas atrofia del tronco y MSD. Hace un año nota pérdida de la fuerza generalizada, fasciculaciones, sin compromiso sensitivo ni esfinteriano. La EMC demostró potenciales gigantes en amplitud y duración, polifásicos. Iguales hallazgos se observan en esta respuesta del PEM con estímulo en área del pie y registro en tibiales anteriores. El ICC fue normal. 1200 voltios. 50 microsegundos.

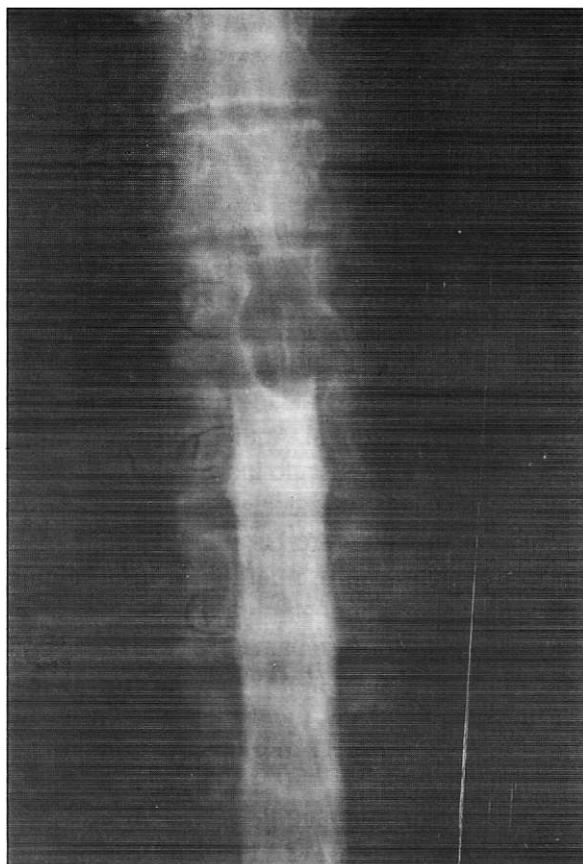


Figura 5. Muestra la mielografía dorsal de la paciente anterior, con el defecto de llenado producido por el tumor, que a la cirugía resultó ser un quiste de cisticerco.

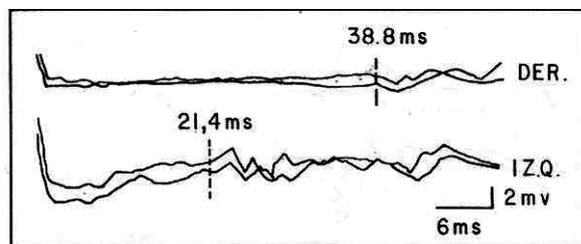


Figura 6. PEM de una paciente de 14 años con paresia MID, clonus plantar y respuesta plantar derecha extensora, hipoestesia en todo el MID. Nótese el severo retardo en la conducción central derecha. Estímulo: área del pie. Registro: tibial anterior. 1200 voltios. 50 microsegundos.

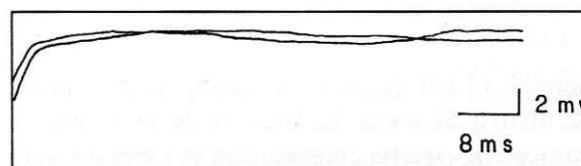


Figura 7. Muestra la superposición de dos ensayos, con ausencia de respuesta, en un paciente con trauma cervical por arma de fuego con nivel motor y sensitivo en C5. Estímulo: área de la mano derecha. Registro: abductor corto del pulgar izquierdo. 1400 voltios. 100 microsegundos\*

**Radiculopatías.** Tres pacientes con radiculopatías motoras, dos con hernias del disco intervertebral y uno con síndrome post-polio (Figura 4), les fueron encontradas anomalías. En los dos primeros por retardo en la latencia relativa al lado opuesto, y en el síndrome post-polio por respuestas de voltaje muy alto, polifásica, con duración aumentada; en todos, los TCC fueron normales.

**Otras enfermedades neurológicas**

En un caso, el estudio normal de PEM sirvió para corroborar la impresión clínica de parálisis histérica. En tres casos con tumor, uno dorsal (Figuras 5 y 6), otro cervical y tercero, de la fosa posterior, se encontró retardo en los TCC concomitante con el compromiso piramidal en ambas extremidades. Tres casos de lesiones medulares traumáticas en la fase crónica sin ninguna respuesta motora voluntaria distal, mostraron ausencia de respuestas, un ejemplo de los cuales es mostrado en la Figura 7.

## DISCUSION

En esta serie y en la de diversos autores ningún efecto adverso se ha encontrado con el estímulo empleado para la obtención de PEM. En forma transitoria se ha reportado ligera molestia en el sitio de aplicación del estímulo, y con exámenes muy repetidos en la misma zona, se ha presentado cefalea transitoria por contracción muscular. Nunca se han reportado cambios locales o en el EEG (14).

No obstante la seguridad de su aplicación, el uso de este instrumento no se ha aconsejado en pacientes con marcapasos cardíaco, con ECV hemorrágico, en pacientes con lesiones hipóxicas severas o en epilépticos descontrolados, a pesar que se ha empleado en epilépticos controlados sin ningún problema. De la totalidad de corriente aplicada al cuero cabelludo, la cantidad que llega a la corteza resulta atenuada más de 30 veces (19), dando así márgenes muy seguros de estimulación.

La molestia producida en el sitio de la aplicación del estímulo limita su utilización a pacientes con patología psiquiátrica severa (hiperansiosos, paranoides y negativistas, por ejemplo). A pesar de la restricción anterior, creemos que el estímulo es perfectamente tolerable y completamente libre de riesgos aún con el uso repetido en el mismo individuo. Recientemente, Baker y col. (20) lograron estimular la vía motora con un dispositivo electromagnético que ha sido ensayado con éxito y cuyos resultados son enteramente comparables a los del estímulo eléctrico.

Para nuestro medio creemos que el principal inconveniente de la estimulación magnética es el costo del instrumento de 5-10 veces superior al presentado en este trabajo. Un estimulador eléctrico cuesta US\$1.800 y uno magnético alrededor de US\$10.000. La principal ventaja de la estimulación magnética es la de ser completamente indolora.

Diversos estudios (9-12, 21) muestran que la respuesta producida al estímulo eléctrico se origina en la capa V de la corteza, mediada por axones de conducción rápida principalmente, los cuales tienen conexión directa a las motoneuronas del asta anterior, siendo así monosinápticas. La

respuesta obtenida de esta manera es conocida como respuesta directa o D. Hay también, aunque en menor proporción, respuestas originadas multisinápticamente con conducción más lenta las cuales se conocen con el nombre de respuestas indirectas o I.

La contracción voluntaria incrementa el voltaje y acorta la latencia del potencial de acción muscular (PAM) cuando se estimula la corteza cerebral (22). La respuesta del sujeto con contracción muscular está conformada por descargas de motoneuronas de conducción rápidas que producen las ondas D. Las respuestas del PAM con el sujeto en condiciones de relajación muscular contienen ambos tipos de ondas o sea, ondas D y ondas I, producidas estas últimas por tractos piramidales vía de sus axones e interneuronas (23).

En las respuestas con contracción muscular voluntaria es a veces difícil determinar el instante donde se inicia la respuesta, debido al artefacto de la contracción muscular, lo cual da como resultado algunas variaciones en las latencias. No siempre las respuestas obtenidas con el sujeto relajado son más retardadas que aquellas obtenidas con contracción y esto puede depender del grado de contracción muscular de base del individuo. El instante donde se inicia la respuesta es con frecuencia más nítido con el sujeto relajado.

La estimulación cortical produce respuestas en varios grupos musculares de esa extremidad, debido a que el estímulo abarca un área muscular amplia, y los axones producen respuestas a diferentes niveles espinales (24). El estímulo espinal produce respuestas en los axones a su salida del foramen (15) y sólo a más altas intensidades de estimulación se activa la vía piramidal.

Los PEM son un medio objetivo, reproducible, para demostrar anomalías en la vía motora central y periférica. Tal como otras pruebas electrofisiológicas, proporcionan información complementaria, esta vez del estado funcional de la vía motora. Un tiempo de conducción central anormal es un hallazgo útil en un paciente con signos o síntomas equívocos de compromiso orgánico. En uno de nuestros casos, el resultado

normal en los PEM sirvió para corroborar el diagnóstico de "parálisis" histérica en la paciente. De los dos casos con ELA examinados, ambos fueron anormales. Curiosamente, en esta enfermedad, caracterizada por degeneración axonal, se han reportado algunos casos con PEM normales. Esto no debe sorprendernos, pues las fibras intactas restantes conducen a velocidad normal. En esta enfermedad, la anormalidad más característica es la reducción en el voltaje de los PEM. En la gran mayoría de los casos se ha visto que la respuesta está ausente o muestra sólo ligero retardo en los TCC. Para encontrar anomalías debe examinarse el mayor número posible de músculos.

Nuestros casos también confirmaron las anomalías encontradas por otros en la compresión medular (25-27) y en las radiculopatías. Nuestros hallazgos de ausencia de respuesta en lesiones medulares crónicas preludian un mal pronóstico de recuperación motora en esos pacientes. Ninguno de los casos examinados tenía trazas de movimientos voluntarios por debajo de la lesión. A este respecto, conviene resaltar lo que las investigaciones actuales han revelado acerca de la constitución de la vía motora y sobre lo que los PEM realmente evalúan. El tracto piramidal tiene un origen cortical amplio del cual el área 4 sólo aporta el 25% de las fibras. El resto, proviene de las áreas 6 (premotora), del área parietal (sensitiva) y del área motora suplementaria. Aún no se conoce si otras vías motoras descendentes son activadas por los PEM, pero se supone que algunas vías motoras descendentes multisinápticas contribuyen a la respuesta I más tardías, como por ejemplo las vías córtico-rubral, córtico-reticular, etc. La mayor parte del tracto córtico espinal se decusa al lado opuesto a nivel del foramen magno. Aquellas fibras no decusadas forman el tracto cónico espinal ventral, que en humanos llega sólo hasta el nivel dorsal. Las fibras decusadas que cursan por el tracto córtico espinal lateral, constituyen la mayor parte de las fibras que producen los PEM. Las fibras no decusadas contribuyen en algunos casos a la respuesta ipsilateral que se registra de éste y otros trabajos (9, 10).

Desde que Merton y Morton (8) demostraran

por primera vez los PEM, las respuestas motoras son consistentes, identificables, estables y de suficiente amplitud para ser registradas desde la superficie: Este trabajo de investigación corrobora estos hallazgos y nos demuestra la confiabilidad de nuestro instrumento, presentado hoy a la comunidad médica.

#### SUMMARY

For the first time a stimulator for Motor Evoked Potentials (MEP) using a device of local design and manufacture is presented to the national medical community. It is the result of a research that began in 1981 by which some devices, for application in clinical neurophysiology, were designed and built. The recordings of 42 normal subjects and the demonstration of its uses in some cases are evidence of the validity and reliability of this locally manufactured device. The importance of MEP as an objective, reproducible, easy to obtain, and of great usefulness method for the demonstration of functional abnormalities, either in the central or in the peripheral motor pathways, is remarkable and discussed.

#### REFERENCIAS

1. **Borrego, CJ, Trujillo JM, Ospina OL, Medina MP.** Dermatomal somatosensory evoked potentials: Normative study and usefulness for the evaluation of radicular injury. *J Electrophysiol Tech* 1987; **13**: 63-80.
2. **Hallyday AM, McDonald WI, Mishin J.** Delayed visual evoked response in Optic neuritis. *Lancet* 1972; (i): 982-985.
3. **Satomi K, Okuma T, Kenmotsu K, Nakamura Y, Hirabayashi K.** Level diagnosis of Cervical Myelopathy using evoked spinal Cord Potentials. *Spine* 1988; **13**: 1217-1223.
4. **Barrs DM, Brackmann DE, Olson JE, House WE.** Changing concepts of acoustic Neuroma Diagnosis. *Arch Otolaryngol* 1985; **111**: 17-21.
5. **King PJ, Chiappa K H.** Motor Evoked Potentials. En: Evoked potentials in clinical medicine. Editor: Keith H. Chiappa. second Editions. Raven Press, New York. *Chapter* 1990; **10**: 509-561.
6. **Grundy BL.** Monitoring of sensory evoked potentials during neurosurgical operations: Methods and applications. *Neurosurgery*, 1982; **11**:556-575.
7. **Ryan TP, Britt RH.** Spinal and cortical somatosensory evoked potential monitoring during corrective spinal surgery with 108 patients. *Spine* 1986; **11**:352-361.
8. **Merton PA, Morton HB.** Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature* 1980; **285**: 227.
9. **Cracco RQ.** Evaluation of conduction in central motor Pathways: Techniques, pathophysiology, and clinical interpretation. *Neurosurgery* 1987; **20**: 199-203.
10. **York DH.** Review of descending motor pathways with transcranial stimulation. *Neurosurgery* 1987; **20**: 70-73.
11. **Rothwel JC, Thompson PD, Day BL, et al.** Motor cortex stimulation in intact man. I. General characteristics of EMG responses in different muscle. *Brain* 1987; **110**: 1173-1190.
12. **Day BL, Rothwel PD, Thompson PD, et al.** Motor cortex stimulation in

- intactman.2. Multiple descending volleys. *Brain* 1987; **110**:1191-1209.
13. **Levy WJ.** Spinal evoked potentials from the motor tracts. *J Neurosurg* 1983; **58**: 38-44.
  14. **Levy WJ, Mills KR, McCaffrey M, Hill DK, Marsden CD.** Motor evoked potentials from transcranial stimulation of the motor cortex in humans. *Neurosurgery* 1984; **15**: 287-302.
  15. **Mills KR, Murray NM.** Electrical stimulation over the human vertebral column: which neural elements are excited. *Electroenceph. Clin Neurophysiol* 1986; **63**: 582-589.
  16. **De Noordhout AM, Rothell JC, Thompson PD, Day BL, Marsden CD.** Percutaneous electrical stimulation of lumbosacral roots in man. *J Neurol Neurosurg Psych* 1988; **51**: 174-181.
  17. **Hess CW, Mills KR, Murray NM.** Measurement of central motor conduction in multiple sclerosis by magnetic brain stimulation. *Lancet* 1986; (i): 355-358.
  18. **Trujillo JM, Borrego CJ.** A low cost versatile interface module for evoked potentials and other neurophysiological applications. *J Electro-physiol Tech* 1984; **10**: 77-81.
  19. **Agnew WF, McCreery DB.** Considerations for safety in the use of extracranial stimulation for motor evoked potentials. *Neurosurgery* 1987; **20**: 143-147.
  20. **Barker AT, Fug FF, Jalinos R, Eng B, 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**: 100-109.
  21. **Rossini PM, Caramia MD, Zarola F.** Mechanisms of nervous propagation along central motor pathways: Noninvasive evaluation in healthy subjects and in patients with neurological disease. *Neurosurgery* 1987; **20**: 183-191.
  22. **Merton PA, Morton HB, Hill DK, Marsden CD.** Scope of a technique for electrical stimulation of human brain, spinal cord, and muscle. *Lancet* 1982; (i): 597-600.
  23. **Inghillry M, Berardelli A, Cruccu G, Priori A, Manfredi M.** Corticospinal potentials after transcranial stimulation in humans. *J Neurol Neurosurg Psych* 1989; **52**: 970-974.
  24. **Rossini PM, Di Stefano E, Stanzione P.** Nerve impulse propagation along central and peripheral fast conducting motor and sensory pathway in man. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1985; **60**: 320-334.
  25. **Owen JH, Jenny AB, Naito M, et al.** Effects of spinal cord lesioning on somatosensory and neurogenic-motor evoked potentials. *Spine* 1988; **14**: 673-682.
  26. **Thompson PD, Dick JPR, Asselman P, et al.** Examination of motor function in lesions of the spinal cord by stimulation of the motor cortex. *Ann Neurol* 1987; **21**: 389-396.
  27. **Abbruzzese G, Dall'Agata D, Morena M, et al.** Electrical stimulation of motor tracts in cervical spondylosis. *J Neurol Neurosurg Psych* 1988; **51**: 796-802.