



## INVESTIGACIÓN ORIGINAL

Vol. 38. No. 1 Enero-Marzo 2015

pp 21-26

## Nivel adecuado de relajación muscular y potenciales evocados motores confiables en cirugía de columna lumbar

Dr. Mario Suárez-Morales,\* Dra. Cecilia U Mendoza-Popoca,\* Dra. Marcela Amelia Soto-Navarro,\*  
 Dr. Paul Shkurovich-Bialik,\*\* Dr. Joel Rodríguez-Reyes,\*\*\* Dr. Francisco R Revilla-Pacheco,\*\*\*\*  
 Dr. Tenoch Herrada-Pineda\*\*\*\*

\* Anestesiólogo. Departamento de Anestesiología.

\*\* Neurólogo y Neurofisiólogo. Jefe del Departamento de Neurofisiología.

\*\*\* Anestesiólogo e Intensivista.

\*\*\*\* Neurocirujano.

Centro Médico ABC

*Solicitud de sobretiros:*

Dr. Mario Suárez-Morales  
 Sur 136 Núm. 116,  
 Col. Las Américas,  
 Del. Álvaro Obregón 01120,  
 México, D.F.  
 Tel: 5230 8203

Recibido para publicación: 11-08-14.

Aceptado para publicación: 28-10-14.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en  
<http://www.medigraphic.com/rma>

### RESUMEN

En cirugía de columna vertebral, la vigilancia neurofisiológica mediante potenciales evocados motores (PEMs), es una necesidad innegable. La presencia de relajación muscular farmacológica dificulta al neurofisiólogo esta tarea en relación directa a su intensidad, ya que estando el paciente bajo relajación completa es imposible el registro de los PEMs. El cirujano, en contraste, necesita la mejor relajación muscular posible. **Objetivo:** Encontrar el umbral en donde el paciente tenga el mayor grado de relajación muscular posible y que permita la adquisición confiable de PEMs. **Material y métodos:** Se realizó un estudio observacional, analítico, prospectivo y longitudinal en 19 pacientes no obesos, entre los 27 y 60 años ( $47.26 \pm 10$  años) a quienes, bajo anestesia total endovenosa y vecuronio como relajante muscular administrado en dosis única, se cuantificó la profundidad de la relajación muscular con tren de cuatro (TOF), cada dos minutos hasta que el neurofisiólogo obtuvo una respuesta confiable. **Resultados:** El promedio de TOF para una respuesta adecuada fue de  $15.63 \pm 3.253\%$  a los  $32.95 \pm 5.632$  minutos. **Conclusiones:** En los pacientes no obesos, se obtuvo una relajación muscular medida por TOF de alrededor de 15% y es posible obtener un registro de PEMs confiable.

**Palabras clave:** Relajación muscular, potenciales evocados motores, monitorización.

### SUMMARY

*Neurophysiological monitoring during spinal surgery using motor evoked potentials (MEPs) is essential. This task can be challenging when deep muscular relaxation is used during the procedure, since MEPs are sensitive to neuromuscular blocking agents. The surgeon, on the other hand, usually requires profound muscular relaxation for an adequate approach of the surgical field. **Objectives:** To determine the threshold of reliable MEPs when neuromuscular blocking agents are used during total intravenous anesthesia and vecuronium. **Material and methods:** A longitudinal, prospective, analytic open study, including 19 non-obese patients aged 27 to 60 ( $47.26 \pm 10$ ) years old referred for decompressive spinal surgery was performed. Using total intravenous anesthesia and vecuronium as muscle relaxant, single dose to facilitate orotracheal intubation, whose profundity was assessed through the train of four tests (TOF), every two minutes until the clinical neurophysiological team found reliable MEPs. **Results:** MEPs were observed with an average TOF of  $15.63 \pm 3.253\%$ , and the time when these responses were*

obtained was  $32.95 \pm 5.632$  minutes. **Conclusions:** MEPs can be reliably obtained in non-obese patients during spinal procedures with TOF of 15%, when total intravenous anesthesia and vecuronium is used.

**Key words:** Muscle relaxant, motor evoked potentials, monitoring.

## INTRODUCCIÓN

Durante la cirugía de columna vertebral, en cualquiera de sus segmentos, se corre el riesgo de lesionar tanto las raíces nerviosas como la médula espinal. De lo anterior se desprende que la posibilidad de monitorizar estas estructuras proporciona una gran seguridad al paciente y al equipo quirúrgico.

Una de las mejores maneras de tener acceso a esta vigilancia es, entre otros métodos, a través de la monitorización de la vía motora<sup>(1)</sup>.

Los potenciales evocados motores (PEMs) son los idóneos para la monitorización de la vía motora. Éstos están basados en la estimulación a través de electrodos colocados en la piel cabelluda (transcraneales) o bien directamente en la corteza cerebral motora (corticales).

La técnica más frecuentemente utilizada es la transcraneal, en la cual se administran de 3 a 7 pulsos eléctricos de 100 a 400 v. Estos impulsos estimulan las células piramidales de la corteza motora, resultando en una onda de despolarización, que frecuentemente involucra sólo el 4 o 5% del tracto córtico-espinal. La vía motora desciende de la corteza motora a través de haces piramidales cruzando la línea media en la parte más baja y lateral del tallo cerebral, para continuar a través de cordones anteriores ipsilaterales en la médula espinal, dando como resultado una activación de nervio periférico y del músculo que inerva, lo que produce como respuesta un potencial de acción muscular compuesto, lo cual puede ser medido, a través de electrodos colocados en los músculos de la región que se quiera vigilar.

A estos potenciales de acción se les estudian principalmente dos aspectos: sus latencias absolutas y relativas o tiempo de respuesta al estímulo, así como la amplitud del potencial de acción muscular compuesto o altura del mismo, datos fundamentales para poder emitir un diagnóstico certero y rápido. Esto puede realizarse tanto en miembros superiores como inferiores<sup>(2,3)</sup>.

En la figura 1 se ejemplifica un trazo normal de los impulsos eléctricos y los PEMs resultantes.

Sin embargo, existen varios factores que pueden entorpecer y dificultar la correcta interpretación de los PEMs, entre los que se encuentran la edad del paciente, la presencia o ausencia de la neuropatía secundaria o no a diabetes mellitus, índice de masa corporal por arriba de  $40 \text{ kg/m}^2$  y principalmente el tipo de anestésicos y relajantes musculares utilizados<sup>(4)</sup>.

En cuanto al método anestésico está demostrado que la anestesia balanceada con anestésicos inhalados y narcótico altera e inclusive puede llegar a inhibir la respuesta motora desde 0.5 de CAM, aunque se acepta que en general las alteraciones se ven con concentraciones superiores a un CAM. También está probado que, en ausencia de relajantes musculares, cuando se utiliza anestesia total endovenosa con propofol el registro de los PEMs es satisfactorio en el 97% de los casos, por lo que este método anestésico es preferido para este fin por su propiedad de no alterar la adquisición de los PEMs<sup>(5)</sup>.

Resaldando lo anterior, la Sociedad Americana de Monitoreo Neurofisiológico (*American Society of Neurophysiological Monitoring*), recomienda la anestesia total endovenosa (propofol y opioide) como método anestésico óptimo para la monitorización neurofisiológica incluyendo los PEMs<sup>(6)</sup>.

Un factor muy importante que puede interferir profundamente en la posibilidad de la adquisición adecuada y útil de los PEMs es la presencia de relajantes musculares, los cuales, a pesar de que facilitan el acto quirúrgico para el cirujano permitiéndole la accesibilidad de su zona de trabajo, pueden inhibir o modificar sustancialmente la respuesta muscular fundamental para valorar la integridad de los PEMs<sup>(7)</sup>.

Habitualmente, la intensidad de la relajación muscular es cuantificada en forma clínica a través del uso de estimulación neuromuscular en la modalidad del tren de cuatro (TOF), el cual consiste en la aplicación de cuatro estímulos supramáxi-

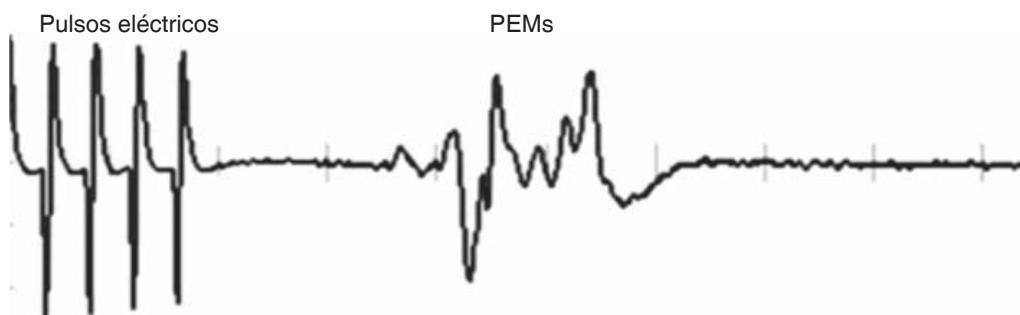


Figura 1.

Pulsos eléctricos transcraneales y la respuesta muscular (PEMs).

mos, cada uno de 0.5 segundos a 2 Hz, cuya evaluación se obtiene al dividir la amplitud de la cuarta respuesta en contraste con la primera, obteniéndose de tal división el coeficiente TOF, el cual va de 0 a 100% y es inversamente proporcional al grado de bloqueo neuromuscular<sup>(8)</sup>.

Hasta la fecha no existen muchos reportes que orienten a establecer el coeficiente TOF ideal que establezca tanto la mejor accesibilidad quirúrgica, como la posibilidad de una adecuada y segura interpretación de los PEMs, con pacientes bajo anestesia total endovenosa.

El objetivo de esta investigación fue encontrar en nuestro medio, utilizando anestesia total intravenosa y vecuronio como relajante muscular, la correlación del nivel del TOF y el umbral del grado de relajación muscular suficiente a partir del cual el neurofisiólogo obtuviera PEMs seguros y confiables, conservando la mejor relajación muscular posible en beneficio de la accesibilidad del cirujano a su zona de trabajo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para la consecución de esta investigación observacional se contó con la aprobación por parte del Comité de Investigación y Ética del Centro Médico ABC, además del consentimiento informado de los pacientes participantes.

En un estudio observacional, analítico, prospectivo y longitudinal, se incluyeron 19 pacientes adultos de ambos sexos, ASA I y II, con índice de masa corporal menor de 40 kg/m<sup>2</sup>, sin neuropatía, ni diabetes mellitus, los cuales serían sometidos a diferentes procedimientos de columna lumbar.

La monitorización de los pacientes consistió en electrocardiografía continua en derivaciones DII y V5, presión arterial media no invasiva automática, saturación de oxígeno de pulso, CO<sub>2</sub> al final de la inspiración y colocación de electrodos en el trayecto del nervio cubital para la medición del TOF.

La inducción anestésica fue efectuada con midazolam 2 mg, fentanyl 2 µg/kg de peso y propofol de 2 a 2.5 mg/kg de peso hasta conseguir la pérdida de la conciencia. Se inició la

infusión continua de propofol con una tasa promedio de infusión de  $6.2 \pm 1.1$  mg/kg/h así como de fentanyl siendo para éste la tasa de infusión de  $2.5 \pm 0.9$  µg/kg/h empleando bombas de infusión continua B Braun. Ya con el paciente bajo anestesia y antes de la administración de vecuronio se tomó una lectura basal de TOF, la cual se consideró tiempo 0; posteriormente se administró vecuronio a razón de 100 µg/kg de peso.

Una vez en pleno anestésico y con relajación muscular adecuada (TOF 0%), se procedió a la intubación orotraqueal de los pacientes con sonda armada del tamaño adecuado a cada uno de ellos.

Después de la toma basal de TOF se inició registro cada dos minutos hasta el punto en el cual el neurofisiólogo participante, estimulando con pulsos de 300 v, consideró una respuesta robusta y segura para el diagnóstico e interpretación adecuada de los potenciales motores. El monitor de TOF estuvo siempre fuera del alcance de la visión del neurofisiólogo.

Los datos obtenidos se analizaron mediante medidas de frecuencia (número y porcentaje), además de medidas de tendencia central (media, promedio, desviación estándar). La validación estadística se realizó mediante el uso de SPSS v 16, considerando una p = 0.05 como significativa.

## RESULTADOS

Se incluyeron 19 pacientes entre los 27 y 60 ( $47.26 \pm 10$ ) años de edad, con un índice de masa corporal entre los 20.76 y 30.71 ( $25.49 \pm 2.23$ ) kg/m<sup>2</sup> (Cuadro I). Once fueron masculinos (57.9%) y 8 femeninos (42.1%), 10 se clasificaron con ASA I y 9 como ASA 2.

El promedio de TOF con respuesta útil para el neurofisiólogo fue de  $15.63 \pm 3.253\%$ , (para 95% de intervalo de confianza, 14.05 a 17.0% donde p = 0.05 y con 99% de intervalo de confianza, 13.68 a 17.26% donde p = 0.01) con una r = 0.185 y r<sup>2</sup> = 0.34. Este punto se alcanzó a los  $32.95 \pm 5.632$  minutos después de la administración del relajante muscular (Cuadro II). En este momento los neurocirujanos

**Cuadro I.** Estadísticos descriptivos.

	Número	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Edad (años)	19	27	60	47.26	10.05
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	19	20.76	30.71	25.4926	2.23089

**Cuadro II.** Resultados.

	Número	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
TOF útil (%)	19	8	20	15.63	3.253
Minutos para respuesta útil	19	26	48	32.95	5.632

calificaron una relajación adecuada para poder llevar a cabo su intervención.

## DISCUSIÓN

Los PEMs se introdujeron como complemento del registro de los potenciales evocados somatosensoriales (PESS). Fue en 1980 que Merton y Morton iniciaron esta técnica con la finalidad de prevenir y disminuir el daño neurológico posible, secundario a la práctica de complejos procedimientos neuroquirúrgicos en la columna vertebral. Desde entonces, los PEMs se han convertido en una técnica de uso habitual para la monitorización neurofisiológica transoperatoria.

La técnica anestésica por sí misma tiene efecto sobre los PEMs. Sloan y Heyer, haciendo una revisión de la acción de anestésicos y relajantes musculares en relación a su acción sobre los PEMs, establecen que todos los agentes inhalados, producen por sí mismos incremento en la latencia y reducción de la amplitud de los PEMs. Este efecto es similar tanto para el isoflurano, como para sevoflurano y desflurano. Es probable que esta alteración en los PEMs se deba a la depresión de la transmisión sináptica, tanto en las células motoras del asta anterior de la médula como en las motoneuronas corticales. Esta alteración se puede observar, aunque en forma leve, desde 0.2 de concentración alveolar mínima, y se incrementa en relación directa al aumento de concentración en el anestésico inhalado. Lo anterior es válido también en lo relativo al uso del óxido nítroso. En contraste con lo anterior, los anestésicos endovenosos no alteran las manifestaciones de los PEMs. En relación con la acción de los relajantes musculares y empleando una técnica anestésica intravenosa, los autores sitúan el umbral para una monitorización de MEPs exitosa entre el 10 y 20% de TOF<sup>(9)</sup>.

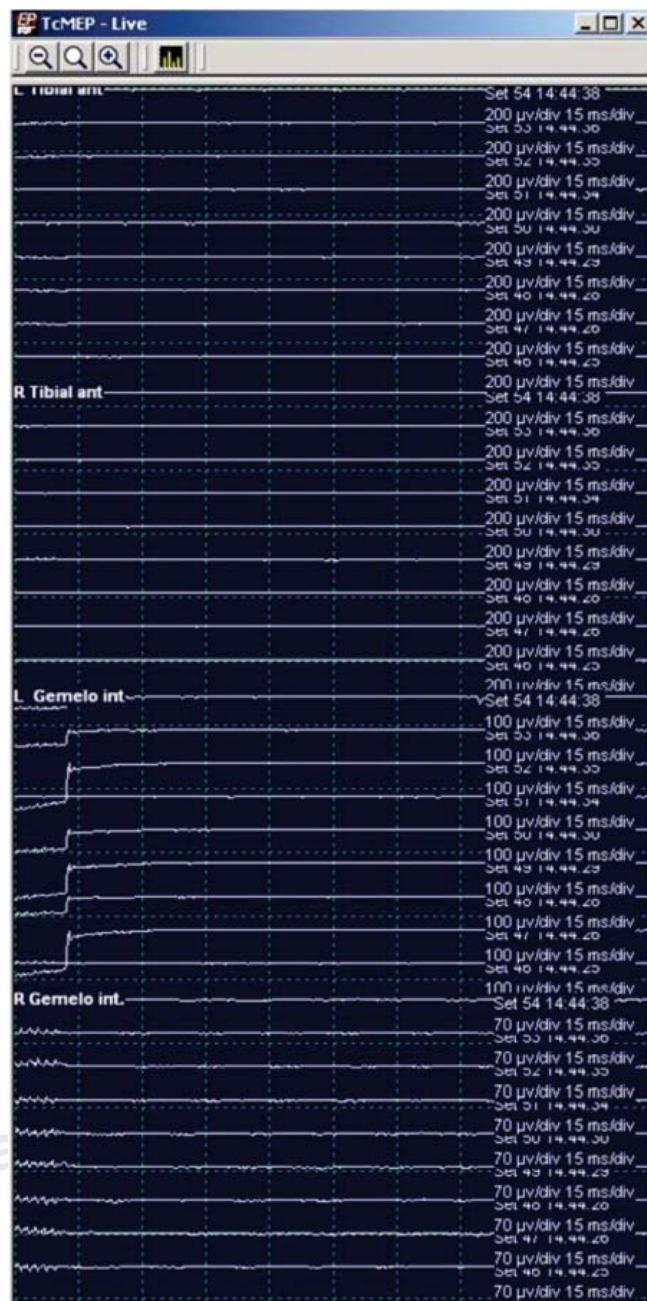
Los conceptos anteriormente establecidos en cuanto al método anestésico se ven apoyados recientemente por Tamkus y colaboradores, quienes comparan 1,303 pacientes sometidos a cirugía de columna con vigilancia de PEMs, bajo anestesia con agentes inhalados versus 511 bajo anestesia total endovenosa con propofol y encuentran un 15% de cambios falsos positivos en los pacientes bajo régimen anestésico inhalatorio, contra 3.2% bajo anestesia total endovenosa<sup>(10)</sup>.

A su vez, Li y cols. aportan más información en este sentido, ya que en 200 pacientes sometidos a cirugía cervical, bajo anestesia total endovenosa con propofol y vigilancia con PEMs, reportan que no obtuvieron alertas ni falsas positivas ni falsos negativos en ningún paciente de esa serie<sup>(11)</sup>.

En una investigación llevada a cabo en primates por Sloan y Erian, llegaron a la conclusión de que bajo anestesia general con ketamina y utilizando vecuronio en infusión continua como relajante muscular, los PEMs se ven afectados principalmente en la amplitud y secundariamente en la latencia. Buscando el umbral para obtener lecturas confiables concluyeron que se sitúan a partir de 10% de TOF<sup>(12)</sup>.

Estos mismos autores, utilizando los mismos sujetos de estudio y también con ketamina como anestésico pero ahora con atracurio como relajante muscular en infusión encontraron cambios significativos en la amplitud de los PEMs a partir de un TOF de 20%<sup>(13)</sup>.

En nuestro trabajo encontramos que a un TOF de  $15.63 \pm 3.253\%$ , el neurofisiólogo obtenía una respuesta motora que a su juicio y experiencia le permitía una satisfactoria y sólida

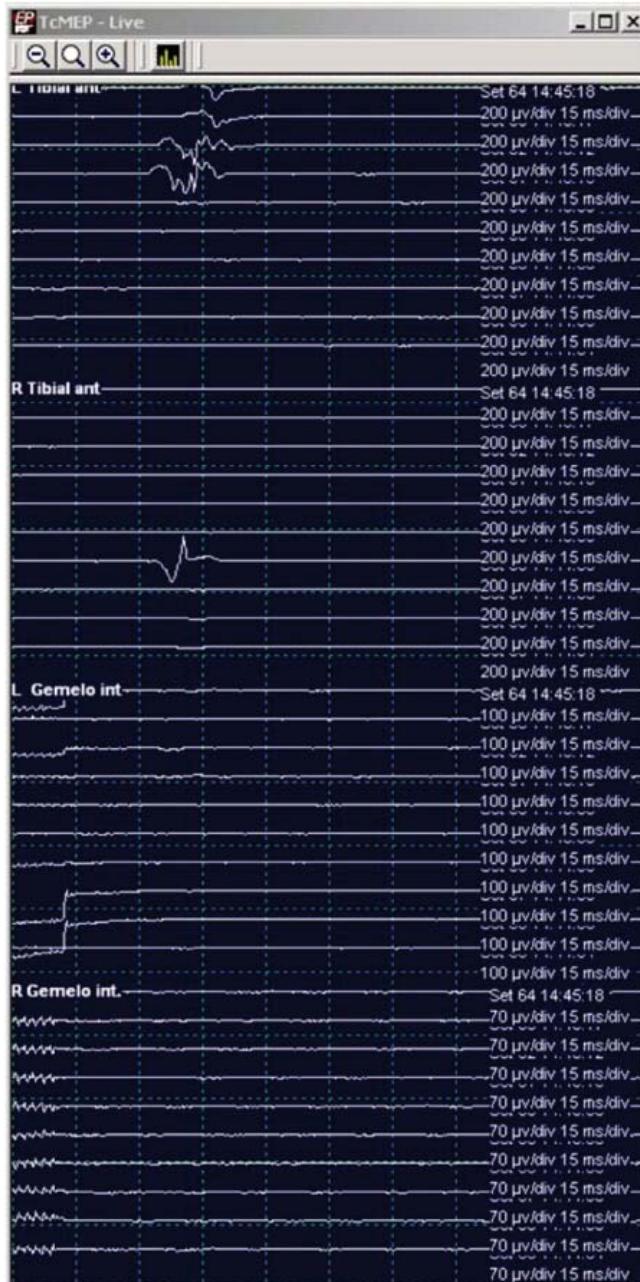


**Figura 2.** PEMs de músculos tibial anterior y gemelo interno en paciente número 16 con TOF 0%.

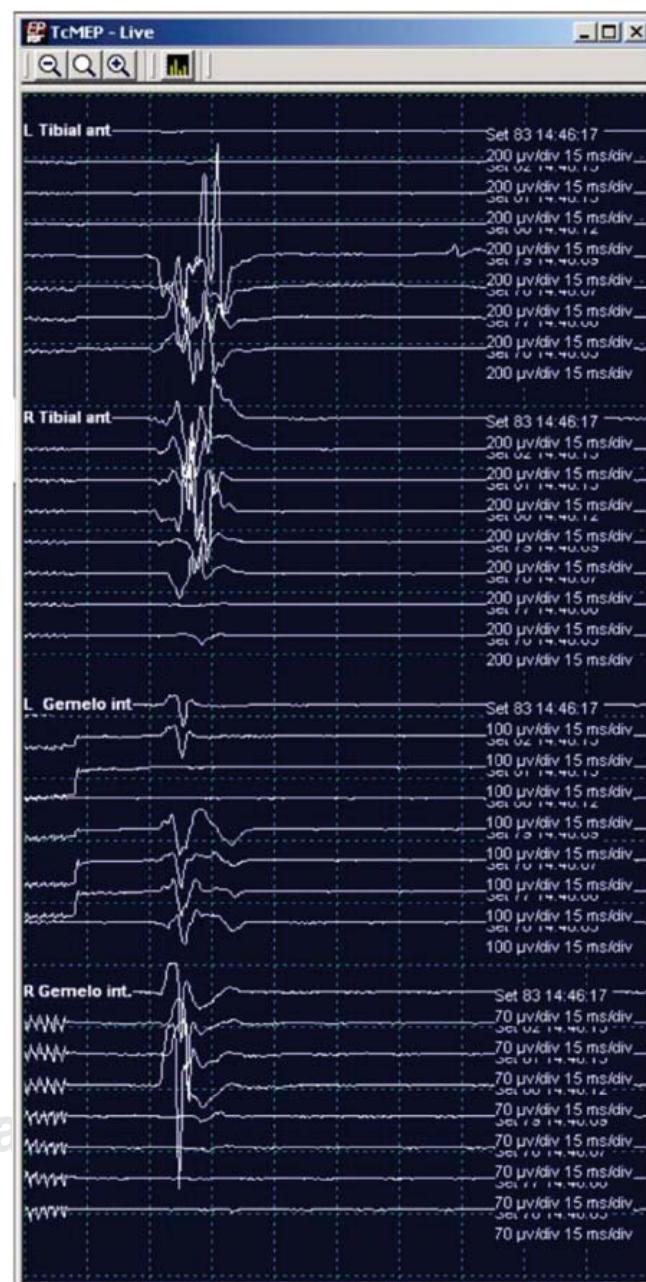
interpretación. Ofrecemos los trazos del paciente número 16 como ejemplo del comportamiento de los PEMs con TOF a 0, 6 y 15% de TOF, siendo este último el admisible (Figuras 2, 3 y 4 respectivamente).

Nuestros resultados coinciden con los de Li y colaboradores, quienes encontraron que con el uso de cisatracurio con valores de TOF entre los 10 y 15% se obtenía una buena relajación muscular y a la vez permitía la adecuada moni-

torización de PEMs<sup>(14)</sup>. También Kalkman y colaboradores coinciden con nuestros hallazgos, ya que en 11 pacientes sometidos a cirugía de columna lumbar bajo anestesia general mediante infusión de sufentanil y utilizando vecuronio como relajante muscular recogen las respuesta evocadas motoras en el músculo tibial anterior y sitúan el umbral para la obtención de datos confiables de los PEMs en un TOF  $15.1 \pm 7.4\%$ <sup>(15)</sup>.



**Figura 3.** PEMs de músculos tibial anterior y gemelo interno en paciente número 16 con TOF 6%.



**Figura 4.** PEMs de tibial anterior y gemelo interno en paciente número 16 con TOF 15%.

El presente estudio está limitado a los pacientes no obesos, sin neuropatía, por lo que existe un campo de investigación pendiente en relación a aquellos pacientes que se encuentren con estas características.

Actualmente, la utilización de los PEMs en cirugía de columna vertebral a cualquier nivel es una necesidad insoslayable. No sólo en relación a la aplicación de los conocimientos actuales médicos, sino por implicaciones legales de importancia que suelen presentarse. Está comprobado que la profundidad de la relajación muscular influye de manera directa en la interpretación de los PEMs, de tal manera que es indispensable mantener una relajación muscular adecuada,

aunada a una técnica anestésica que no interfiera con el trabajo del neurofisiólogo, fomentando así un campo quirúrgico cómodo para el cirujano. Esto promueve una integración del equipo, lo que sin duda, redundará en seguridad real y ostensible para los pacientes<sup>(16,17)</sup>.

## AGRADECIMIENTOS

Dra. Itandehui Mejía por su dirección en el procesamiento de datos en las pruebas estadísticas.

Técnica en Neurofisiología, Isabel Fernández, por su apoyo durante la elaboración de este trabajo.

## REFERENCIAS

1. Sloan TB, Jameson L, Janik D. Evoked potentials. En: Cottrell J, Young WL, Ed. Neuroanesthesia. 5th edition, Philadelphia PA. Mosby Elsevier, 2010, pp. 115-130.
2. MacDonald DB, Al Zayed IZ, Khourdeh I, Stigsby B. Monitoring scoliosis surgery with combined multiple pulse transcranial electric motor and cortical somatosensory-evoked potentials from lower and upper extremities. Spine. 2003;28:194-203.
3. Devlin VJ, Schwartz DM. Intraoperative neurophysiologic monitoring during spinal surgery. J Am Acad Orthop Surg. 2007;15:549-560.
4. Kim DH, Zaremski J, Kwon B, Jenis L, Woodward E, Bode R, et al. Risk factors for false positive transcranial motor evoked potential monitoring alerts during surgical treatment of cervical myelopathy. Spine. 2007;32:3041-3046.
5. Wang AC, Than KD, Etame AB, LaMarca F, Park P. Impact of anesthesia on transcranial electric motor evoked potential monitoring during spine surgery: a review of the literature. Neurosurg Focus. 2009;27:E7.
6. MacDonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C. Intraoperative motor evoked potential monitoring- a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. Clinical Neurophysiology. 2013;124:2291-2316.
7. Kim WH, Lee JJ, Lee SM, Park MN, Park SK, Seo DW, Chung IS. Comparison of motor-evoked potentials monitoring in response to transcranial electrical stimulation in subjects undergoing neurosurgery with partial vs no neuromuscular block. Br J Anaesth. 2013;110:567-576.
8. McGrath CD, Hunter JM. Monitoring of neuromuscular block. CEACCP. 2006;6:7-12.
9. Sloan TB, Heyer EJ. Anesthesia for intraoperative neurophysiologic monitoring of the spinal cord. J Clin Neurophysiol. 2002;19:430-443.
10. Tamkus AA, Rice KS, Kim HL. Differential rates of false-positive findings in transcranial electric motor evoked potential monitoring when using inhalational anesthesia versus total intravenous anesthesia during spine surgeries. Spine J. 2014;14:1440-1446.
11. Li F, Gorji R, Allott G, Modes K, Lunn R, Yang ZJ. The usefulness of intraoperative neurophysiological monitoring in cervical spine surgery: a retrospective analysis of 200 consecutive patients. J Neurosurg Anesthesiol. 2012;24:185-190.
12. Sloan TB, Erian R. Effect of vecuronium-induced neuromuscular blockade on cortical motor evoked potentials. Anesthesiology. 1993;78:966-973.
13. Sloan TB, Erian R. Effect of atracurium-induced neuromuscular block on cortical motor evoked potentials. Anesth Analg. 1993;76:979-984.
14. Li CX, Song FH, Wang Y, Jing DD, Song DM, Chen L. Effect of the degree of muscle relaxation on motor-evoked potential elicited by transcranial electrical stimulation in spine surgery. Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao. 2010;30:2686-2688.
15. Kalkman CJ, Drummond JC, Kennelly NA, Patel PM, Partridge BL. Intraoperative monitoring of tibialis anterior muscle motor evoked responses to transcranial electrical stimulation during partial neuromuscular blockade. Anesth Analg. 1992;75:584-589.
16. Møller AR. Anesthesia and its constraints in monitoring motor and sensory systems. In: Intraoperative Neurophysiological Monitoring. Third Edition. Springer 2011, pp. 321-327.
17. Jameson LC. Transcranial motor evoked potentials. In: Kohl A, Sloan TB, Tolekis JR. Monitoring the nervous system for anesthesiologists and other health care professionals. Editors. Springer. 2012:27-45.