



## Importancia del monitoreo neurofisiológico en la cirugía de columna

Dra. Clara Luz Gutiérrez-Porras,\* Dr. Jesús Carlos Bustamante-Vidales,\*\*  
Dr. Gerardo Esteban Álvarez-Reséndiz\*\*\*

\* Anestesióloga, \*\* Neurocirujano, \*\*\*Jefe de Anestesiología.  
Hospital Ángeles Lomas

### INTRODUCCIÓN

Los pacientes con enfermedades o problemas en columna vertebral, representan una población muy diversa; aunque en general, todos estos pacientes presentan la posibilidad de daño neurológico, los requerimientos en cuanto a su manejo y vigilancia anestésicos pueden ser diferentes y estar relacionados con la posición, la patología y el procedimiento quirúrgico planeado.

Desde este punto de vista, el monitoreo electrofisiológico del sistema nervioso central y sistema nervioso periférico, se ha convertido en una ayuda de gran valor en los procedimientos de la cirugía de columna, siendo determinante en la obtención de mejores resultados y prevención de lesiones neurológicas asociadas a este tipo de la cirugía.

El monitoreo neurofisiológico se puede llevar a cabo por las propiedades eléctricas inherentes del sistema nervioso humano. Con el registro electrofisiológico continuo se puede obtener datos característicos de la estructura y función del sistema nervioso central y periférico. Estos datos se pueden obtener estando el paciente consciente, anestesiado o aún en estado de coma.

En la actualidad es incomprendible que todavía se solicite al anestesiólogo que «despierte» al paciente a mitad de la cirugía para cerciorarse de que la función motora no esté afectada por el procedimiento quirúrgico a pesar de que se puede realizar el monitoreo neurofisiológico.

Evidentemente, los resultados que se podrán obtener a través el monitoreo de las vías neurales específicas estarán relacionados con el monitoreo neurofisiológico y el efecto farmacológico del tipo de anestesia utilizada; por lo tanto

debe haber una adecuada información de la cirugía a realizar, por el cirujano, el método anestésico que va a llevar a cabo el anestesiólogo y los requerimientos para el registro neurofisiológico<sup>(1)</sup>.

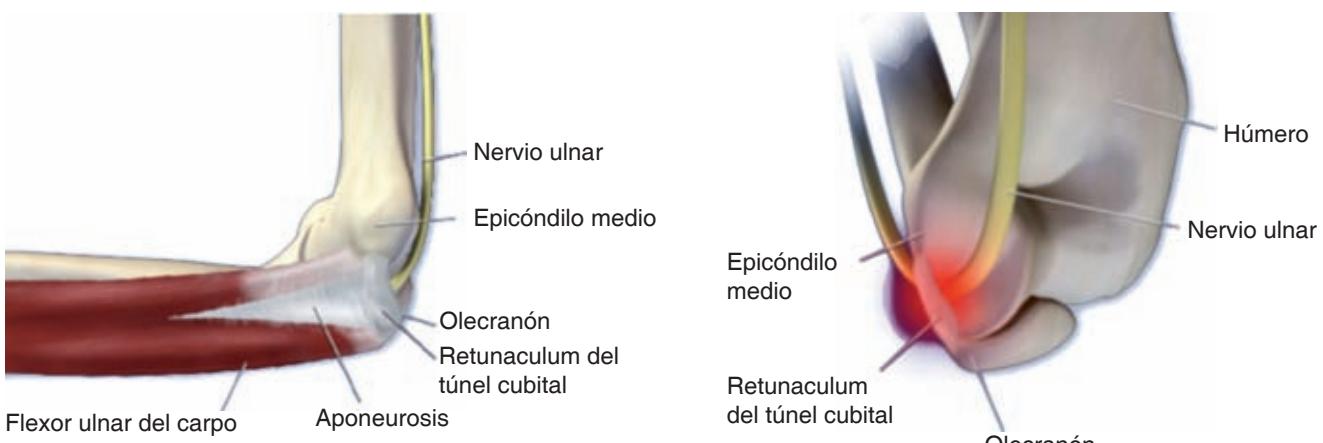
En relación a la cirugía y el cirujano es necesario considerar que la posición del paciente requerida para la cirugía puede implicar riesgos tales como: lesión de nervios periféricos (lesión de los nervios cubital, mediano y/o plexo braquial), así como lesión del nervio óptico con pérdida parcial o total de la visión.

En cuanto a la cirugía misma, la instrumentación de la columna en cualquier nivel con la aplicación de alambres sublaminares, ganchos, tornillo pediculares, placas y/o prótesis de disco intervertebral, establece la posibilidad de lesión medular y/o raíces nerviosas segmentarias. En procedimientos de cirugía lumbosacra las complicaciones neurológicas pueden ser del 1 al 33%<sup>(1)</sup>.

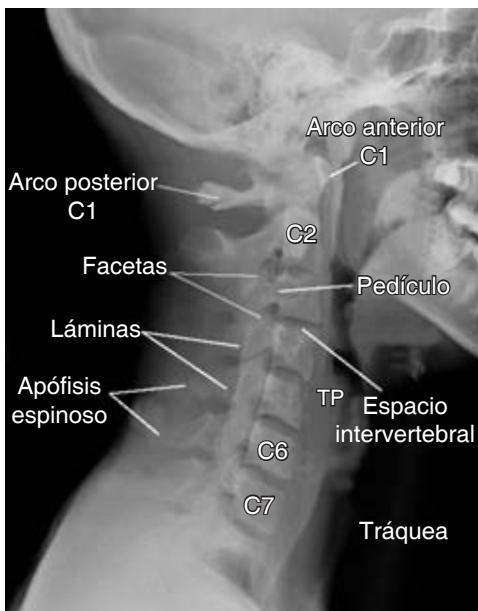
En cuanto a la técnica anestésica, el monitoreo inicia desde la intubación endotraqueal misma, pues los pacientes para cirugía de columna cervical, frecuentemente requieren manejos especiales para el control de la vía aérea. Estos pacientes pueden presentar un mayor grado de dificultad para la intubación ya sea por su enfermedad de base (pacientes con enfermedad reumática 48%, pacientes con fractura o tumor cervical 23-24%) o los requerimientos del manejo médico o quirúrgico (dispositivos para la inmovilización o fijación de la columna cervical)<sup>(2)</sup>.

En relación a los efectos de la técnica anestésica sobre el EEG, los potenciales evocados somatosensoriales, potenciales evocados motores, electromiografía y potenciales evocados visuales todos son influenciados en mayor o menor grado por

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



**Figura 1.** En la figura de la izquierda se observa que el nervio ulnar, en una flexión a 90° se encuentra libre, sin embargo con el codo a mayor flexión, el nervio es comprimido por el retinaculum del túnel cubital y se elonga debido a que la distancia entre el olecranón y el epicóndilo medial se incrementa.



**Figura 2.** La intubación traqueal en pacientes para cirugía de columna cervical, requiere de obtener una adecuada «vista» de la laringea con mínima movilización o no movilización de la columna cervical porque existe el riesgo potencial de lesión medular, pudiéndose requerir intubación asistida con endoscopía.

la profundidad de la anestesia y el uso de los bloqueadores neuromusculares.

De acuerdo al método de monitoreo electrofisiológico, será el neurofisiólogo quien de acuerdo con el cirujano y la cirugía a realizar establezca sus necesidades al anestesiólogo para realizar un monitoreo oportuno y eficiente.

Este trabajo no incluye el estudio de las técnicas de monitoreo que por sus características no tienen relevancia actual en el manejo de la cirugía de columna como son: los potenciales visuales evocados, los potenciales auditivos y de tallo cerebral o la estimulación magnética transcraneal.

## MÉTODOS DE REGISTRO ELECTROFISIOLÓGICO EN CIRUGÍA DE COLUMNAS

### I. Potenciales evocados

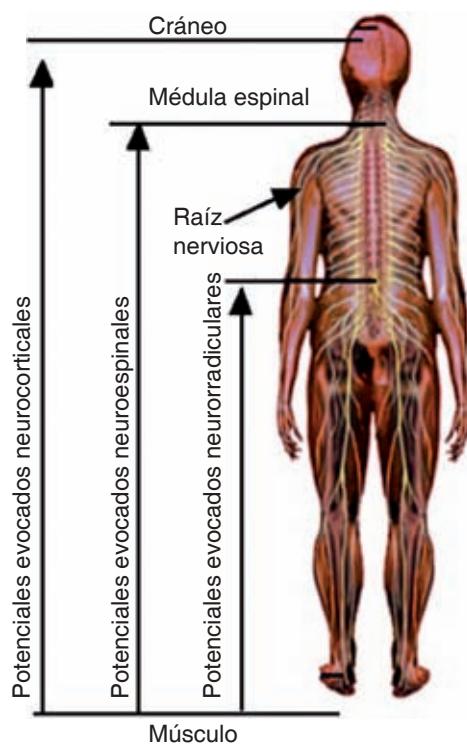
Los potenciales evocados son una medida de la respuesta eléctrica de las estructuras nerviosas provocada por una serie de estímulos que nos permiten analizar la respuesta de un vía nerviosa que de otra manera estaría «silenciosa». Debido a que la mayoría de estos potenciales eléctricos evocados son excepcionalmente pequeños, se utiliza una señal digital promedio para extraerla de una señal mucho mayor como la del electroencefalograma. En esta técnica se aplican estímulos repetidos de una vía del sistema nervioso y se mide la respuesta promedio en un segmento del tiempo. La respuesta evocada se hace evidente, debido a que se genera una respuesta específica que no forma parte de la actividad caótica de base del EEG. Las crestas y valles de la respuesta evocada son específicas de las diferentes estructuras nerviosas que conforman la vía neural específica que se está estimulando.

De forma muy semejante, los anestésicos tienen un efecto que está relacionado con la dosis y profundidad anestésica sobre los potenciales evocados de las diferentes vías neurales. Considerando estos efectos sobre las diferentes modalidades de potenciales evocados y las vías nerviosas, la aplicación selectiva en procedimientos quirúrgicos específicos ha sido exitosa para disminuir, pero no eliminar el riesgo de complicaciones neurológicas.

## II. Monitoreo del sistema nervioso sensorial.

### Potenciales evocados somatosensoriales

En esta técnica, se estimula un nervio periférico (generalmente el tibial posterior, el peroneo, el ulnar o el mediano) y se registra la respuesta (Figura 3).



**Figura 3.** Dependiendo del origen y la vía que se explore, los potenciales evocados pueden ser neurocorticales, neuroespinales y neuromediadores.

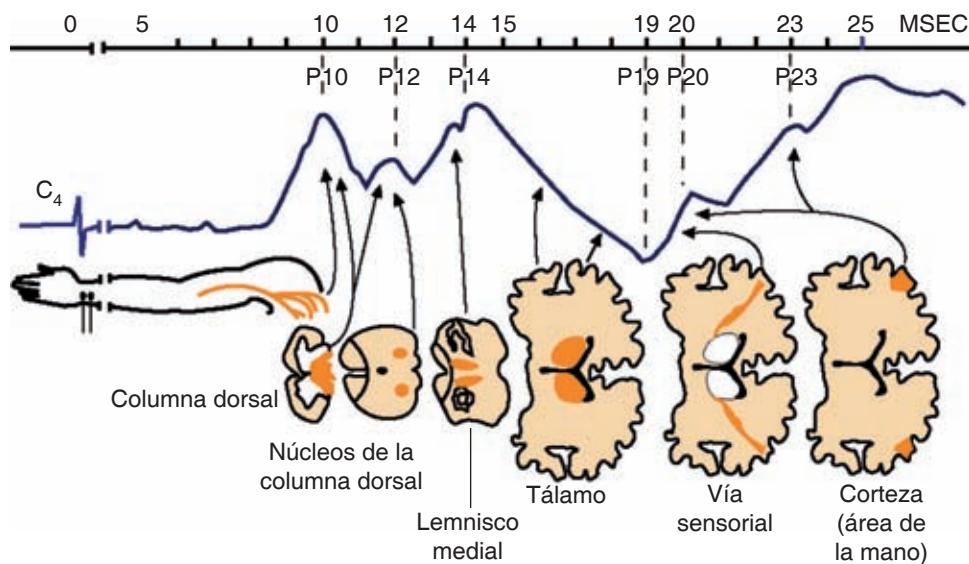
Las crestas y valles de la respuesta evocada corresponden al paso del estímulo en los diferentes niveles generadores de la vía nerviosa, como se exemplifica en el esquema (Figura 4).

El registro inicial de la entrada del estímulo provoca o es representado por la actividad espinal de propiocepción y vibración (columnas posteriores de la médula espinal). Posteriormente asciende en la columna dorsal ipsilateral y tiene su primer sinapsis en la unión cérvico-medular, ascendiendo por la vía del lemnisco hasta su segunda sinapsis en el tálamo. De aquí, termina en la corteza.

Una de las aplicaciones más frecuentes de los PESS es en la cirugía de columna por escoliosis o para instrumentación. Diversos estudios en este tipo de cirugía han demostrado resultados predictivos en cuanto a la integridad y funcionamiento de la médula y raíces nerviosas, reduciendo la morbilidad de la cirugía<sup>(3,4)</sup>. La Scoliosis Research Society and European Spinal Deformities Society, revisó la efectividad del monitoreo en más de 51,000 cirugías de escoliosis<sup>(6)</sup>; y en esta revisión, la frecuencia de lesión nerviosa con déficit neurológico fue significativamente menor que de pacientes en quienes no se monitorearon los PESS. La frecuencia de déficit neurológico postoperatorio sin alteración (falsa negativa) de los PESS fue del 0.63%.

Estos trabajos confirman la eficacia clínica del monitoreo de los PESS en la cirugía de columna y concluye que el monitoreo neurofisiológico con PESS es de importancia clínica en la detección temprana de complicaciones y disminuye la morbilidad en pacientes de cirugía para corrección de la escoliosis, convirtiéndose en un estándar de manejo<sup>(3-5)</sup>.

Sin embargo, es necesario comentar que los PESS solamente exploran la parte sensorial de la vía nerviosa y que son altamente sensibles en cuanto a su respuesta cortical, con depresión importante de las respuestas corticales con la admisión de anestésicos.



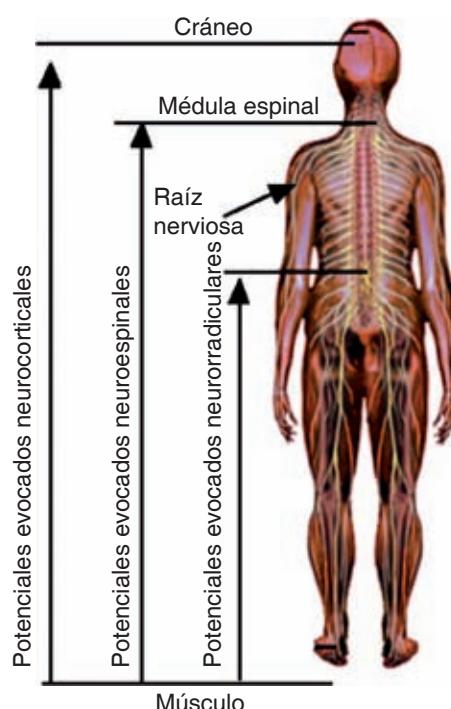
**Figura 4.** Como puede observarse en este esquema de unos PESS típicos después de estimulación del nervio mediano a nivel del carpo, las crestas y los valles corresponden a diferentes niveles de los generadores en la vía de conducción somatosensorial.

nistración de anestésicos, particularmente los inhalatorios. Las respuestas subcorticales y periféricas son menos afectadas.

En cuanto al monitoreo de cirugía de columna, la posición que se requiere puede provocar en forma inadvertida lesión del plexo braquial, por lo cual el monitoreo de los PESS es también de gran utilidad en la detección y prevención de esta complicación neurológica.

### III. Monitoreo del sistema nervioso periférico y tracto motor

El monitoreo de las raíces espinales durante cirugía de disco intervertebral o la colocación de tornillos pediculares, con registro segmentario de la actividad motora, es otra área de gran interés. La estimulación eléctrica directa sobre los tornillos es también un método confiable para el monitoreo de la integridad de las raíces nerviosas en el momento de la aplicación de los tornillos pediculares. Los potenciales evocados motores pueden ser producidos ya sea por estimulación cortical o espinal y registrarse su respuesta en los músculos o dermatomas correspondientes a la raíz nerviosa a monitorear. El monitoreo del tracto motor se registra en forma más explícita a través de la estimulación eléctrica o magnética transcraneal<sup>[6,11]</sup>.



**Figura 5.** En el esquema podemos observar que de acuerdo al sitio de la estimulación eléctrica, los potenciales evocados motores pueden ser: corticomusculares, corticoespinales o espinomusculares.

La vigilancia de los nervios periféricos, de las raíces nerviosas en la salida de la médula espinal, y la médula espinal misma puede llevarse a cabo con la «prueba del reflejo», en la cual el reflejo «H» y «F» son registrados a través de estimulación del nervio periférico correspondiente<sup>[7,12]</sup>. Similares técnicas pueden también ser utilizadas para rizotomía selectiva con objeto de disminuir la espasticidad que se observa en la parálisis cerebral espástica en la cual se seccionan raíces específicas.

### IV. Electromiografía

La ventaja de llevar a cabo el registro electromiográfico de raíces nerviosas específicas e identificadas por el neurofisiólogo, han permitido que el registro continuo de la electromiografía se haya convertido en una herramienta común de monitoreo en la cirugía de columna. Evidentemente se requiere que en este tipo de monitoreo de la actividad motora no se utilicen bloqueadores musculares.

Las técnicas que incluyen el monitoreo de los tractos motores han tomado relevancia debido a que con los PESS no puede predecirse lesión o déficit neurológico motor durante la cirugía de columna. Las técnicas iniciales incluyeron estimulación de la médula espinal y/o de las raíces nerviosas espinales con registro de los músculos y nervios periféricos correspondientes. Estas técnicas estimulan tanto las vías sensoriales como motoras.

Finalmente el registro continuo electromiográfico de los músculos inervados por las raíces nerviosas correspondientes con riesgo de ser lesionadas es de gran utilidad. El registro electromiográfico se emplea más frecuentemente en la aplicación de tornillos pediculares y aplicación de un estímulo de umbral suficiente para crear una respuesta electromiográfica en el dermatomo correspondiente.

### V. Electroencefalograma

El electroencefalograma (EEG) es el registro de la actividad eléctrica espontánea del cerebro, producida por los potenciales postsinápticos inhibitorios y excitatorios de la capa piramidal de la corteza. El EEG se mide a través de dos electrodos de registro sobre la piel cabelluda y representa la actividad comparativa de las dos regiones cerebrales que se encuentran exactamente debajo de los electrodos.

La importancia del registro electroencefalográfico durante la cirugía de columna vertebral, es importante fundamentalmente por vigilar en forma continua, segura y constante el estado de profundidad anestésica, permitiendo una concentración de anestésicos y estado de hipnosis adecuados con mínima variabilidad.

En general, la reducción asimétrica de la amplitud y la frecuencia de las ondas del EEG indican isquemia; un gran

número de factores, en los cuales se incluye la profundidad de la anestesia pueden producir reducción simétrica de la amplitud y el voltaje de las ondas cerebrales. Aunque se han reconocido cambios electroencefalográficos relacionados con la profundidad de la anestesia, los efectos pueden variar con los diferentes anestésicos utilizados en la clínica<sup>(8)</sup>. El registro EEG en estado despierto, es de alta frecuencia con amplia variabilidad en relación al tiempo y la zona de registro. Cuando aumenta la profundidad del sueño, el EEG se

observará inicialmente con una disminución de la variabilidad en forma simétrica con un aumento inicial de la amplitud y la aparición de ondas sincrónicas, posteriormente, la frecuencia de entre 8-12 Hertz disminuirá en forma progresiva hasta llegar al registro electroencefalográfico de «actividad-supresión» («burst-supression»). La transición de un EEG en estado despierto a «actividad-supresión» y el grado o tiempo de supresión en el EEG, dependerá del agente anestésico y de la dosis utilizada.

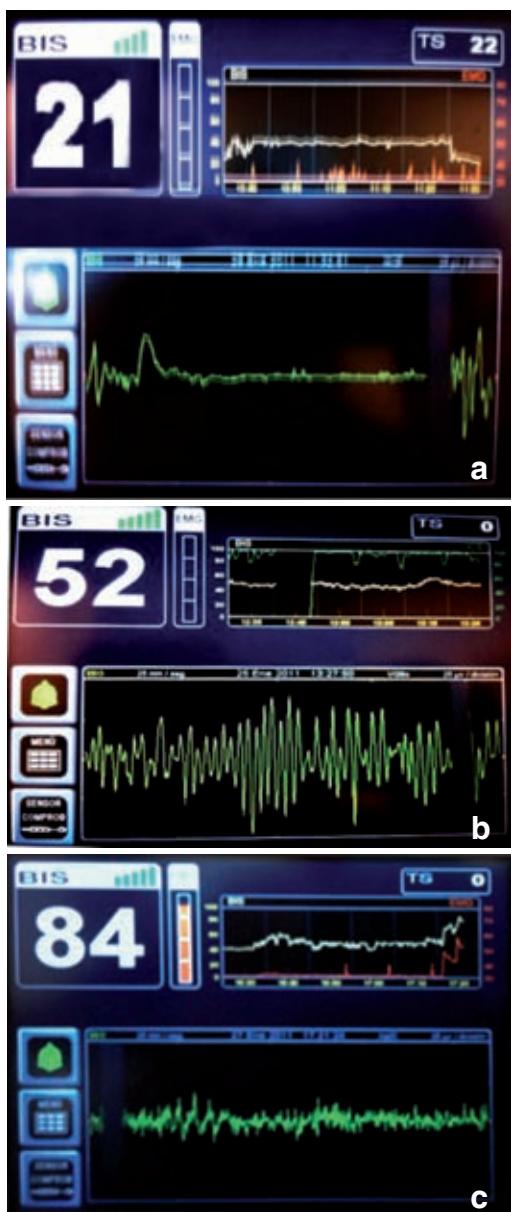
En la práctica clínica diaria de la anestesia contamos con el análisis bi-espectral (BIS) y el registro de la entropía. Estos 2 métodos están basados en las características del registro EEG durante anestesia, pero en determinadas condiciones del paciente o de los fármacos utilizados, puede ser más útil uno u otro. El registro EEG a través del BIS o la entropía en la cirugía de columna tiene su indicación para mayor control de la profundidad anestésica en pacientes que se requiere que no estén relajados para un monitoreo adecuado de los potenciales evocados motores segmentarios y/o el electromiograma.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El monitoreo electrofisiológico se ha convertido en una técnica de gran valor en la prevención y disminución de las complicaciones neurológicas asociadas a la cirugía de columna siendo determinante la integración del manejo del cirujano, neurofisiólogo y el anestesiólogo para la obtención de resultados óptimos.

En cuanto a la pérdida de la visión, es una complicación rara de la cirugía de columna espinal, en los que se requiere la posición en decúbito ventral, que oscila entre 0 a 0.1% de los casos. La pérdida de la visión es más frecuentemente debida a neuropatía por isquemia del segmento posterior. Los factores de riesgo incluyen enfermedad aterosclerótica, pérdida sanguínea con anemia, hipotensión y cirugía prolongada. En cuanto a la posición se recomienda que la cabeza se encuentre a nivel del corazón o ligeramente más elevada, así como que la cabeza no esté flexionada y se encuentre en posición neutral. El uso de los potenciales evocados visuales es poco práctico y éstos son muy sensibles a los cambios con el uso de anestésicos inhalados<sup>(9)</sup>.

Los potenciales evocados somatosensoriales y motores son usados en pacientes para cirugía de columna con riesgo de lesión medular, sea por la posición para la cirugía, problemas hemodinámicos o circulatorios o por trauma quirúrgico. Los potenciales evocados somatosensoriales y motores se ven limitados en su uso por el efecto que sobre ellos tienen la concentración o dosis de los anestésicos inhalatorios. La técnica anestésica más frecuentemente utilizada es la endovenosa con propofol, narcóticos, benzodiacepinas y dosis bajas o concentraciones bajas de anestésicos inhalatorios. El aspecto más importante cuando se obtiene registros de los



**Figura 6.** Imagen electroencefalográfica en el BIS. a. Paciente en inducción pre-intubación; b. Paciente en transoperatorio; c. Paciente en proceso de emersión.

potenciales evocados somatosensoriales y motores, es que la concentración de los anestésicos no fluctúe y se mantenga constante. Con el uso de estimuladores de multipulsos, la determinación y mantenimiento de parámetros óptimos de estimulación y respuesta para cada paciente, los potenciales motores evocados han ganado en confiabilidad y éxito en el monitoreo en la cirugía de columna.

La electromiografía se registra cuando se establece la posibilidad de lesión de las raíces nerviosas de los segmentos correspondientes de la cirugía. El procedimiento en el que más frecuentemente se utiliza la electromiografía es en la estabilización de columna sacrolumbar. La electromiografía requiere que no se usen bloqueadores neuromusculares durante el registro<sup>(10)</sup>.

Recientemente se está utilizando un equipo en el que a través de los instrumentos utilizados y los tornillos transpediculares que se van a aplicar, se provocan potenciales motores evocados y registro electromiográfico con estimulación constante y dinámica con control por el cirujano para detectar en forma simple, rápida y en tiempo real la respuesta motora del miótomo correspondiente y confirmar la adecuada aplicación de los tornillos pediculares. En la pantalla del monitor se observa el umbral de respuesta en forma numérica y codificada con color la cercanía o no de la raíz nerviosa correspondiente.

La sensibilidad, especificidad, proporción de falsas negativas e inclusive fallas en el monitor de las diferentes modalidades de registro transoperatorio se ven en el cuadro I<sup>(3,4)</sup>.

El monitoreo electrofisiológico en los procedimientos de columna vertebral es una técnica que disminuye la posibilidad de daño neurológico, sin embargo no es utilizado consistentemente en todos los Centros Hospitalarios. En un estudio del 2007, solamente el 11% de los centros reportados utilizaron monitoreo neurofisiológico en la cirugía de descompresión lumbar, 26% en cirugías de instrumentación lumbar y 12% en cirugías de abordaje anterior de columna lumbar<sup>(13)</sup>.

Como puede observarse en el cuadro I, el monitoreo para cirugía de columna vertebral es muy confiable, sin embargo algunos autores recomiendan para este tipo de cirugía el monitoreo electrofisiológico multimodal, con el cual, el diagnóstico de daño neurológico es menor y más precoz<sup>(3,4)</sup>. Podría especularse que la detección temprana de lesión neurológica durante la cirugía de columna vertebral, permite al cirujano modificar su técnica o maniobras y disminuir la severidad de las lesiones. El monitoreo electrofisiológico en la cirugía de columna se lleva a cabo con el objetivo de disminuir o abolir la posibilidad de daño neurológico. El monitoreo debe realizarse en los diferentes momentos críticos con posibilidad de daño medular o de nervios periféricos de la cirugía e incluyen: 1. La intubación orotraqueal, con posibilidad de daño a nivel medular cervical por canal cervical estrecho o inestabilidad de la columna cervical; 2. Instalación de la posición requerida para la cirugía, en la que hay que vigilar fundamentalmente la lesión del nervio cubital a nivel del codo y la elongación del plexo braquial, y 3. Lesión medular o de las raíces nerviosas durante la cirugía.

Como puede observarse los pacientes que serán sometidos a cirugía de columna representan para el anestesiólogo diversos retos. Del entendimiento del proceso patológico, los requerimientos del cirujano y del neurofisiólogo, dependerá el manejo anestésico, monitoreo electrofisiológico y los cuidados transoperatorios con objeto de obtener resultados óptimos y disminuir la morbilidad en estos pacientes.

**Cuadro I.** Análisis del monitoreo en cirugía de columna.

Modalidad	Sensibilidad	Especificidad	Falsa negativa	Falsa positiva
PESS	50-99	27-98	0-9	0-23
PEM	81-100	91-100	0	2-40
EMG	100	90-96	0	0

## REFERENCIAS

- Pajewski TN, Arlet V, Phillips LH. Current approach on spinal cord monitoring: the point of view of the neurologist, the anesthesiologist and the spine surgeon. Eur Spine J 2007;16:S115-S129.
- Calder I, Calder J, Crockard HA. Difficult direct laryngoscopy in patients with cervical spine disease. Anaesthesia 1995;50:756-63.
- Collado-Corona MA, De Leo Vargas R, Sandoval-Sánchez V, Díaz-Hernández A, Gutiérrez-Sougarret BJ, Shkurovich-Bialik P. Vigilancia neurofisiológica transoperatoria multimodal en cirugía de columna. Cir Ciruj 2009;77:385-390.
- Kelleher Mo, Tan G, Sarjeant R, Fehlins H, Stolke D. The impact of neurophysiological intraoperative monitoring on surgical decisions: a critical analysis of 1,055 consecutive patients. J Neurosurg 2008;8:215-221.
- Nuwer MR, Dawson EG, Carlson LG, et al. Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: Results of a large multi-center survey. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1995;96:6-11.
- Owen JH. Intraoperative stimulation of the spinal cord for prevention of spinal cord injury. Adv Neurol 1993;63:271-88.
- Leppanen R, Maquire J, Wallace S, et al. Intraoperative lower extremity reflex muscleactivity as an adjunct to conventional somatosensory-evoked potentials and descending neurogenic monitoring in idiopathic scoliosis. Spine 1995;20:1872-7.
- Sloan T. Anesthetic effects on electrophysiologic recordings. J Clin Neurophysiol 1998;15:217-26.
- Ho VTG, Newman NJ, Song S, Ksiazek S, Roth S. Ischemic optic neuropathy following spine surgery. J Neurosurg Anesthesiol 2005;17:38-44.
- Lyon R, Feiner J, Lieberman JA. Progressive suppression of motor evoked potentials during general anesthesia. J Neurosurg Anesthesiol 2005;17:13-9.
- Manninen PH. Monitoring evoked potentials during spine surgery in one institution. Can J Anaesth 1998;45:460-5.
- Owen JH. The application of intraoperative monitoring during surgery for spinal deformity. Spine 1999;24:2649-62.
- Magit DP, Hilibrand AS, Kirk J, Rechtine G, Albert TJ, Vaccaro AR, Simpson AK, Grauer JN. Questionnaire study of neuromonitoring availability and usage for spine surgery. J Spinal Disord Tech 2007;20:282-289.