

Neuromonitoreo intraoperatorio en el manejo del paciente con afecciones asociadas al sistema nervioso

Intraoperative neuromonitoring in the management of patients with conditions associated with the nervous system

Evelio José Guillén-Cánovas¹, Lázaro Pablo Linares-Cánovas², Yeni de la Caridad Romero-Valdés².

¹Universidad de Ciencias Médicas de Pinar del Río. Hospital General Docente “Abel Santamaría Cuadrado”. Pinar del Río, Cuba.

²Universidad de Ciencias Médicas de Pinar del Río. Facultad de Ciencias Médicas “Dr. Ernesto Che Guevara de la Serna”. Pinar del Río, Cuba.

Recibido: 20 de enero de 2020 | **Aceptado:** 20 de febrero de 2019 | **Publicado:** XX de febrero de 2020

Citar como: Guillén-Cánovas EJ, Linares-Cánovas LP, Romero-Valdés YC. Neuromonitoreo intraoperatorio en el manejo del paciente con afecciones asociadas al sistema nervioso. Univ Méd Pinareña [Internet]. 2020 [citado: fecha de acceso]; 16(1):e392. Disponible en: <http://www.revgaleno.sld.cu/index.php/ump/article/view/392>

RESUMEN

Introducción: la introducción de nuevas tecnologías en el campo de la medicina aporta grandes beneficios para la salud del paciente con afecciones del sistema nervioso, donde el neuromonitoreo juega un importante rol

Objetivo: describir los métodos de neuromonitoreo intraoperatorio, su aplicación y beneficios.

Método: se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de dato Web of Science, Scopus, SciELO, Dialnet y AmeliCA. Se seleccionaron 30 artículos referentes a las diferentes modalidades del neuromonitoreo intraoperatorio, su aplicación, beneficios y factores anestésicos y no anestésicos que influyen sobre su eficacia.

Desarrollo: el neuromonitoreo intraoperatorio se ha erigido como una poderosa herramienta para el estudio de las funciones nerviosas durante el acto quirúrgico. Entre sus modalidades se encuentra el electroencefalograma, electroneuromiografía, potenciales evocados (somatosensoriales, visuales, motores y auditivos del tronco encefálico) y estimulación cortical y subcortical intraoperatoria. Los fármacos empleados, así como factores asociados a la hemodinámica y hemostasia afectan su eficacia e interpretación de estas pruebas. El neuromonitoreo intraoperatorio permite detectar en tiempo real alteraciones funcionales y estructurales, disminuir complicaciones y mejorar la calidad de vida del paciente.

Conclusiones: el empleo del neuromonitoreo intraoperatorio aporta grandes ventajas al equipo quirúrgico durante la realización de procedimientos al ofrecer información en tiempo real sobre la integridad funcional de las estructuras nerviosas involucradas en el procedimiento. Este permite disminuir la aparición de complicaciones, daño o lesión. Se deben controlar variables farmacológicas y hemodinámicas

para lograr mejor eficiencia del neuromonitoreo, lo cual se traduce en mejoras para la calidad de vida del paciente.

Palabras clave: Monitoreo; Monitoreo Fisiológico; Monitoreo Intraoperatorio; Sistema Nervioso; Fenómenos Fisiológicos del Sistema Nervioso; Cirugía; Tejido Nervioso.

ABSTRACT

Introduction: the introduction of new technologies in the medical field brings great benefits for the health of patients with nervous system conditions, where neuromonitoring plays an important role

Objective: to describe the methods of intraoperative neuromonitoring, its application and benefits.

Method: a bibliographic search was carried out in the databases of Web of Science, Scopus, SciELO, Dialnet and AmeliCA. Thirty articles were selected regarding the different modalities of intraoperative neuromonitoring, its application, benefits and anesthetic and non-anesthetic factors that influence its effectiveness.

Development: Intraoperative neuromonitoring has emerged as a powerful tool for the study of nerve functions during surgery. Among its modalities is electroencephalogram, electroneuromyography, evoked potentials (somatosensory, visual, motor and auditory of the brainstem) and intraoperative cortical and subcortical stimulation. The drugs used, as well as factors associated with hemodynamics and hemostasis affect their efficacy and interpretation of these tests. Intraoperative neuromonitoring allows real-time detection of functional and structural alterations, reducing complications and improving the patient's quality of life.

Conclusions: the use of intraoperative neuromonitoring provides great advantages to the surgical team during the performance of procedures by offering real-time information on the functional integrity of the nervous structures involved in the procedure. This allows reducing the occurrence of complications, damage or injury. Pharmacological and hemodynamic variables must be controlled to achieve better neuromonitoring efficiency, which translates into improvements for the patient's quality of life.

Keywords: Monitoring; Monitoring, Physiologic; Monitoring, Intraoperative; Nervous System; Nervous System Physiological Phenomena; Surgery; Nerve Tissue.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en pos del mejoramiento de la salud del individuo, son realizados a diario, numerosos procedimientos quirúrgicos, los cuales traen aparejado un considerable riesgo para el paciente, dado el compromiso que presuponen para la integridad y funcionamiento de diversas estructuras que conforman el sistema nervioso (SN), produciendo daños generalmente permanentes, que pueden disminuir de forma considerable la calidad de vida de los pacientes afectados.

Dado el elevado riesgo de las lesiones neuronales transoperatorias iatrogénicas que pueden tener lugar en las cirugías de cráneo, columna, así como en neurorradiología intervencionista, otorrinolaringología, cirugías traumatológicas de cadera, cirugías vasculares como endarterectomias carotídeas, entre otras^(1,2,3,4), se hace necesario llevar a cabo un correcto manejo y vigilancia transoperatoria del acto quirúrgico, evitándose la aparición de lesiones neuronales así como lesiones vasculares que pueden afectar la perfusión de estas estructuras, de forma no intencional, durante el acto quirúrgico.

Ante tal situación, los avances en la comprensión de la función cerebral, y la posibilidad de testear las funciones en nerviosas durante procedimientos quirúrgicos, que han comenzado a ser implementados en las últimas décadas juegan un importante papel^(5,6). En este contexto, emerge el neuromonitoreo intraoperatorio (NMIO) o monitoreo neurofisiológico intraoperatorio, como una especialización dentro de la neurofisiología, que tiene entre sus metas determinar los efectos, tanto del procedimiento quirúrgico como de la anestesia, sobre los sistemas nerviosos central (SNC) y periférico (SNP), con el fin de usar esta información para preservar la fisiología cerebral y prevenir el daño cerebral^(7,8).

El NMIO se utiliza de manera sistemática en diferentes países, la evidencia publicada se muestra a favor de su empleo en los procedimientos quirúrgicos donde exista riesgo de lesión del SNC y/o SNP^(9,10); hasta el punto de ser efectivo para predecir el incremento del riesgo de eventos adversos como paraparesia, paraplejía y cuadriplejía en cirugía espinal, donde alcanza a mostrar alta sensibilidad y especificidad en la detección de la lesión nerviosa⁽¹¹⁾.

Dicho método brinda al cirujano una retroalimentación del estado funcional de las estructuras intervenidas y precozmente advierte de los cambios en la integridad de las mismas, por cuanto lanza una alerta temprana (en etapas reversibles) de posibles agresiones, lo cual permite efectuar las correcciones necesarias y así evitar cambios prolongados que causen lesiones permanentes (en etapas irreversibles)⁽⁴⁾. A ello se suma que la monitorización instrumental de las funciones encefálicas ha experimentado un progreso importante en los últimos años dado el acelerado desarrollo de nuevos equipos, algunos de ellos con nula o escasa invasividad⁽⁷⁾.

El NMIO durante los procedimientos quirúrgicos que involucran al SN ha evolucionado durante las últimas décadas, lo que no sólo permite una evaluación funcional de los nervios, sino también de las vías neurales que entrelazan al SNP con el SNC en tiempo real. Teniendo en cuenta lo planteado, surge la necesidad de realizar la presente revisión bibliográfica, la cual tuvo por objetivo describir los métodos de neuromonitoreo intraoperatorio, su aplicación y beneficios.

MÉTODO

Se realizó una revisión narrativa mediante los artículos recuperados en las bases de dato Web of Science, Scopus, SciELO, Dialnet y AmeliCA en el periodo comprendido entre septiembre de 2019 y enero de 2020. Se emplearon filtros para la selección de artículos en los idiomas inglés y español, y publicados entre 2015 y 2020. Se agregaron artículos externos al marco de tiempo, debido a su importancia para la redacción de la presente, donde la investigación presentó un porcentaje de actualización del 86,67 %.

Para la búsqueda se emplearon los términos “electroencefalograma”, “electroneuromiografía”, “potenciales evocados somatosensoriales”, “potenciales evocados visuales”, “potenciales evocados motores”, “potenciales evocados auditivos del tronco encefálico”, “estimulación cortical y subcortical intraoperatoria”; y sus traducciones al inglés. Además, se emplearon los DeCS (Descriptores en Ciencias de la Salud): “Monitoreo”, “Monitoreo Fisiológico” y “Monitoreo Intraoperatorio” y sus equivalentes en idioma Inglés, los MeSH: “Monitoring”, “Monitoring, Physiologic”, “Monitoring, Intraoperative”. Se seleccionaron 30 artículos, empleándose como referencias bibliográficas en la presente investigación.

DESARROLLO

El NMIO, es un campo formado por varias modalidades de exámenes neurofisiológicos, usados para acceder y determinar la integridad y funcionalidad del SNC y SNP durante los procedimientos quirúrgicos que ponen en riesgo dichas estructuras⁽¹⁰⁾.

Dicha técnica tiene sus orígenes en la década de los 70, cuando se comienzan a utilizar en Japón⁽¹²⁾ los potenciales evocados somatosensitivos; posteriormente, por su poco registro sobre las vías motoras, se desarrollan en los años 80 los potenciales evocados motores transcraneales, los cuales permitirían identificar el estado de las funciones motoras. En Latinoamérica hay referencias de su uso en Cuba, como uno de los primeros en emplearla, hecho que data del 2004. Desde 2008, Paraguay viene realizando publicaciones del uso de este procedimiento durante diversas neurocirugías y cirugías traumatológicas, alcanzándose en estos momentos un amplio desarrollo de esta técnica en varios países de la región⁽⁴⁾.

Durante el acto quirúrgico, el monitoreo debe centrarse en valorar la oxigenación, la ventilación y la presión arterial sistémica; pero el tejido cerebral, que es el más sensible a la hipoxia y donde mayores discapacidades funcionales ocurren, es el que menos se monitoriza durante el acto anestésico-quirúrgico. El control de estas variables brinda al anestesiólogo de herramientas para prevenir daños. Al respecto León-Álvarez⁽¹³⁾, aborda las diferentes modalidades de monitoreo del SN con que se cuenta en la actualidad (Fig. 1).

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hemodinámica cerebral <ul style="list-style-type: none"> • Medición de la presión intracraneal 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Monitoreo neurobioquímico del SN <ul style="list-style-type: none"> • Microdiálisis cerebral
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Monitoreo bioeléctrico del SNC y SNP <ul style="list-style-type: none"> • Electroencefalografía, índice biespectral y entropía • Electrocardiografía • Potenciales evocados • Electromiografía 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hemometabolismo cerebral <ul style="list-style-type: none"> • Saturación del bulbo de la yugular • Espectroscopía cercana al infrarrojo
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hemodinámica vascular cerebral <ul style="list-style-type: none"> • Presión de perfusión cerebral • Flujo sanguíneo cerebral • Doppler transcraneal 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Monitoreo complementario <ul style="list-style-type: none"> • Doppler precordial • Ecocardiografía transesofágica

Fuente: López-Rodríguez JJ. Monitoreo neurofisiológico intraoperatorio en cirugía de columna. Rev Mex Anest. 2017; 40(S1); 31-32.

Figura 1. Modalidades de monitoreo del SN

Si bien todas ellas permiten llevar a cabo un adecuado control del estado general del funcionamiento del SN, las técnicas de monitoreo bioeléctrico, son las principales para la detección oportuna de lesiones neuronales, erigiéndose como poderosas herramientas dentro del salón de operaciones.

Modalidades de Neuromonitoreo intraoperatorio

❖ 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 cerebral. Se mide a través de dos electrodos referenciales, dos electrodos en zona motora y dos electrodos en zona sensitiva y representan la actividad comparativa de dos regiones cerebrales que se encuentran exactamente debajo de los electrodos⁽⁴⁾. Es importante destacar la colocación de los electrodos en el cráneo, los cuales se sitúan de acuerdo al sistema 10-20 en áreas de estimulación motora y en áreas de recepción de estímulos sensitivos.

El EEG es particularmente útil en procedimientos con alto riesgo de lesión vascular, procedimientos cardiovasculares, ablación térmica con láser para la epilepsia del lóbulo temporal y mapeo de estimulación electrocortical. Sus datos se pueden usar para monitorear la función cerebral durante la cirugía, siendo además un medio valioso de detección temprana de isquemia cerebral y cambios en la profundidad de la anestesia⁽¹⁴⁾.

Los potenciales registrados en el EEG se relacionan con la actividad de las neuronas piramidales corticales, mientras su ritmo corresponde a las interacciones neuronales entre las regiones cerebrales corticales y subcorticales. Al respecto, la actividad neuronal está influenciada por el metabolismo cerebral, el flujo sanguíneo cerebral, la saturación de oxígeno, la hipocapnia / hipercapnia, el metabolismo de la glucosa y la actividad neuronal cortical misma; así como por los artefactos externos (como las corrientes eléctricas, la actividad muscular y el movimiento de los párpados), por cuanto, dichos factores influyentes deben considerarse durante la interpretación del EEG intraoperatorio⁽¹⁵⁾.

❖ Electroneuromiografía (EMG)

Esta técnica permite visualizar durante el procedimiento quirúrgico la actividad eléctrica muscular espontánea que se puede producir en los músculos inervados por las raíces consideradas en riesgo de lesión intraoperatoria debida a la posible irritación de las mismas (ya sea por isquemia, manipulación, irrigación, compresión o tracción de las mismas). Son generados una serie de potenciales irregulares de varios segundos de duración (descargas neurotónicas) en los músculos inervados por ellas ante cualquier estímulo de los antes mencionados, por lo que el cirujano debe detener toda manipulación y esperar a la desaparición de estas descargas. Si no desaparecen, se deberá investigar la causa y solucionarla siempre que sea posible. No obstante, hay que tener en cuenta que la sección total del nervio puede también no producir ningún potencial^(12,16).

El EMG registra la actividad del músculo esquelético con tres técnicas básicas⁽¹⁷⁾: la electromiografía espontánea, la electromiografía evocada y los estudios intraoperatorios de conducción nerviosa.

La electromiografía espontánea detecta irritación nerviosa mecánica y/o metabólica, no registrándose al inicio, actividad muscular en una raíz nerviosa intacta. Durante la monitorización del EMG espontáneo se pueden observar dos tipos de patrones de descarga de diferente importancia clínica: tónico y fásico. La primera consiste en una señal constante y repetitiva de conjuntos de unidades motoras que duran segundos o incluso minutos (un patrón de isquemia nerviosa relacionada con la extracción no observada e irritación térmica por electrocauterización o irrigación salina). En contraste, el patrón fásico es una

explosión sincrona breve y relativa del potencial de la unidad motora asociada principalmente con la lesión por contusión⁽¹⁸⁾.

Utilizado en los estudios de conducción nerviosa de neuronas motoras, el método de EMG evocado consiste en estimular eléctricamente los nervios y registrar los potenciales generados por el músculo inervado. La ventaja del método es que proporciona al cirujano información sobre las variaciones anatómicas en los nervios motores, las funciones nerviosas pueden identificarse como motoras o sensoriales, y permite determinar la proximidad de los procedimientos o dispositivos quirúrgicos a nervios amenazados⁽¹⁷⁾.

Uno de los inconvenientes de esta técnica es que no se puede realizar en presencia de bloqueo farmacológico de la placa neuromuscular, debido a que el impulso nervioso necesita su integridad funcional para evocar respuestas musculares identificables⁽¹²⁾. No obstante, un estudio desarrollado por Ney y colaboradores⁽¹⁹⁾, arrojó que en cirugías de columna cervical, esta modalidad de NMIO, acompañada por estudio de los potenciales evocados (PE), mostró un porcentaje de complicaciones neurológicas inferior a aquellos que no las implementaron durante el acto quirúrgico; con una reducción absoluta del 0,4 % ($p = 0,05$).

❖ Potenciales evocados

Los PE reflejan la integridad de elementos funcionales específicos del SNC, incluyendo nervios craneales y tractos medulares; aportando información acerca de su estado fisiológico y por lo tanto del pronóstico de su función⁽²⁰⁾. A su vez, se dividen en potenciales evocados motores (PEM), potenciales evocados somatosensoriales (PESS), potenciales evocados visuales (PEV), y los potenciales evocados auditivos del tronco encefálico (PEATE).

Dichos potenciales son una medida de la respuesta eléctrica de las estructuras del SN a una serie de estímulos aplicados que permiten analizar la respuesta de una determinada vía nerviosa. Ellos pueden ser captar gracias a un amplificador, ya que estas son respuestas pequeñas que mediante una señal digital deben ser extraídas de una señal mayor como es el electroencefalograma, obteniendo una respuesta promedio en un lapso de tiempo⁽⁴⁾.

Los PEM son registrados con la estimulación eléctrica mediante un multipulso de alto voltaje y mínima duración, que atraviesa el cráneo, estimulando las áreas motoras de la corteza cerebral y desencadenando un impulso nervioso que desciende desde la corteza cerebral a los músculos de manos y piernas. La repetición de este estímulo sirve para controlar que los cordones anteriores y laterales de la vía piramidal no están lesionados^(18,20). Dicho registro es realizado en la médula, mostrando una onda D (por activación directa de las neuronas corticoespinales), que al mostrar una reducción de su amplitud en un 50 % y / o un aumento del 10 % en la latencia en relación con el valor inicial es motivo de preocupación, pudiendo ser causado por isquemia, cambios metabólicos, trauma mecánico o compresión⁽¹²⁾.

Su monitorización está contraindicada en pacientes con epilepsia, lesión cortical, defectos craneales o aumento de la presión intracraneal, y en pacientes que utilizan dispositivos intracraneales implantados o marcapasos⁽²¹⁾.

En la revisión sistemática desarrollado por Rijs y colaboradores⁽²⁾, en la cual son comparados 15 estudios, los PEM mostraron mayor sensibilidad y especificidad en comparación con otras modalidades de NMIO. A

su vez, estudio efectuado en pacientes con enfermedades degenerativas de columna espinal sometidos a cirugía de columna cervical, mostró que los PEM y el NMIOm, eran muy efectivos como predictores de lesiones neurológicas⁽¹⁾.

En los PESS, un nervio periférico o craneal es estimulado eléctricamente brindando información directa de la vía sensitiva dorsal de la médula espinal, así como valoran la integridad de circuitos neurales desde un nervio periférico hasta la corteza sensitiva, o la pérdida de integridad de la función nerviosa o estructuras nerviosas, su comunicación con la corteza y parte de la sensibilidad^(16,20,22).

Por lo general, los nervios tibial posterior y mediano son usados para la estimulación, recopilándose los datos desde el inicio de la intervención, para que puedan ser detectados cambios en la amplitud o latencia (los cuales sugieren daño neurológico), de modo que un cambio del 50 % en la amplitud y / o un cambio del 10 % en la latencia son señales de un posible daño⁽²³⁾.

Tanto la elección del nervio y el lugar a estimular como la de los lugares de registro vienen determinadas por el nivel de la cirugía, teniéndose como indicaciones de su uso: las cirugías cerebrales peri-rolándicas, aquellas donde son intervenidos aneurismas intracraneales o malformaciones arteriovenosas; las cirugía de fosa posterior, cirugías ortopédicas de columna, la neurocirugía espinal (para la cirugía de tumor de la médula espinal intramedular), y procedimientos aórticos descendentes. Al igual que otras modalidades de NMIO, una limitante de esta es que con el uso de anestésicos sobre todo inhalatorios, su actividad se ve deprimida o cae⁽⁴⁾.

Los PEV permiten valorar el axis o eje visual, es decir, la vía desde la corteza occipital hacia la retina⁽²⁰⁾. Para ello se estimula la retina con destellos de luz, cuya respuesta es capturada por electrodos en la parte parietal, occipital y central del cuero cabelludo. Se utiliza para evaluar lesiones en pacientes antes de la cirugía que involucra el sistema visual (retina, nervio óptico, quiasma óptico, tracto óptico, núcleo geniculado lateral y corteza occipital)⁽¹⁸⁾. Los avances recientes en el monitoreo y las técnicas anestésicas han llamado la atención sobre la modalidad PEV, sin embargo su utilidad no ha sido profundamente estudiada. No existe un consenso claro con respecto a la correlación entre los cambios intraoperatorios en PEV, por cuanto, se necesitan estudios para estandarizar el método y determinar su papel en la atención clínica.

Los PEATE son generados en respuesta a estímulos acústicos, pudiendo usarse para monitorear estructuras auditivas que son relativamente refractarias a la anestesia quirúrgica. Los electrodos generalmente se colocan en el cuero cabelludo, pero también se pueden usar estructuras internas y nervios auditivos⁽¹⁵⁾. Dicho método evalúa el sistema auditivo, el octavo par craneal, el núcleo coclear, una pequeña parte del tronco encefálico, el colículo inferior y la corteza auditiva.

Durante el acto quirúrgico, tras la estimulación, la energía acústica se conduce a la cóclea en el oído interno, donde se convierte en una señal electroquímica codificada. Este último se transmite a lo largo de la vía auditiva a través del octavo nervio craneal hasta el tronco encefálico y hasta el cerebro medio y la corteza auditiva primaria. La cóclea convierte la onda de sonido en potenciales de acción que se pueden registrar e interpretar (electrococleografía). Los datos generalmente se interpretan de acuerdo con la latencia y / o amplitud⁽²⁴⁾.

❖ Estimulación cortical y subcortical intraoperatoria (ECIO)

Esta técnica se comenzó a usar en la década del 30 para ubicar focos epileptogénicos, pero recién en los años 70 y 80 se comenzó a realizar de forma racional para tratar tumores cerebrales⁽⁶⁾. Dentro de los procedimientos que involucran ECIO se pueden encontrar dos grandes técnicas: monitoreo con despertar intraoperatorio o bajo anestesia general; siendo esta segunda la más empleada.

Ubicada dentro de la categoría de procedimientos de localización de funciones, según Szelényi⁽²⁵⁾, en la ECIO, mediante la estimulación bipolar (técnica más utilizada por dicho autor) se pueden ubicar áreas corticales vinculadas a la motricidad voluntaria, las vías de sustancia blanca implicadas en la misma función o incluso, testear la función de nervios periféricos (ya sea para ver si la función está presente o incluso separar fascículos con una función específica dentro de un nervio)⁽⁹⁾.

Dado su bajo costo, la estimulación cortical o de sustancia blanca para ubicar zonas motoras elocuentes, es catalogada como excelente técnica, teniendo su uso múltiples ventajas⁽²⁶⁾, con una sensibilidad superior al 90 %, la posibilidad de repetición las veces que fuese necesario durante la realización del procedimiento, la posibilidad de ampliar los márgenes de resección con seguridad, así como su fácil aplicabilidad y reproducibilidad.

En este tipo de procedimientos existe ausencia de información en tiempo real durante la resección de lesiones cerebrales. A diferencia de los PEM o PESS, si no se acompaña del empleo del EMG, pueden haber respuestas motoras mínimas que pasen desapercibidas. La estimulación cortical bajo anestesia general se asocia a un alto número de crisis epilépticas intraoperatorias, pero las mismas son de muy corta duración y se yugulan rápidamente con el uso de suero frío (en nuestra serie 2 pacientes de 11 las presentaron, pero ninguno de ellos tuvo ninguna consecuencia de las mismas). La ausencia de respuesta no implica necesariamente que se está trabajando lejos de zonas motoras (por ejemplo, el área motora suplementaria), dado que puede haber factores técnicos, o funcionales que no permitan la respuesta a pesar de estar en área motora^(25,26,27).

En la experiencia de Martínez y colaboradores⁽⁶⁾, el uso de ECIO fue sumamente útil en varios aspectos, destacándose como su uso permitió preservar la función motora con un alto porcentaje de seguridad, así como permitió al cirujano ser más agresivo con el grado de resección de diversas lesiones asociadas al área motora primaria o la vía piramidal.

En la actualidad, el NMIO se está efectuando de forma combinada, lo cual propicia una valoración integral de las lesiones nerviosas y permite minimizar la ocurrencia de eventos falsos positivos y falsos negativos. Los estudios multimodales de las funciones neurológicas cobran cada vez mayor auge por la efectividad que muestran para predecir en el acto quirúrgico los resultados clínicos del mismo⁽¹⁾.

Existen factores dentro del acto quirúrgico que tienden a modificar la respuesta de estos estudios, por lo cual se debe prestar mucha atención con vistas a la correcta selección de la técnica quirúrgica y el método de monitoreo a emplear. De esta forma pudiesen ser agrupados estos factores para un mejor análisis, en factores anestésicos y no anestésicos.

Factores anestésicos que afectan la NMIO

Para el éxito de NMIO, es necesaria la participación activa del anesthesiologo, que deberá aplicar un protocolo anestésico que maximice la adquisición de las señales eléctricas⁽¹²⁾. Para ello, al monitorizar el

procedimiento anestésico en el paciente neuroquirúrgico, se debe conocer el impacto de los distintos procedimientos sobre el SN y el estado en general del paciente⁽¹³⁾.

Los medicamentos anestésicos interfieren con los potenciales evocados de una manera u otra y deben mantenerse en niveles constantes durante la cirugía. Las perfusiones intravenosas de bolo o cambios bruscos en las concentraciones alveolares mínimas de anestésicos inhalados pueden comprometer la medición de la señal^(15,18).

La anestesia propuesta para la monitorización pasaría por la infusión continua de remifentanyl y propofol. Alternativa a esta pauta podría ser la ketamina. En la intubación debería utilizarse algún relajante de vida media muy corta de cara a poder registrar las líneas de base al inicio de la cirugía. Los anestésicos inhalados como el sevoflurano no deberían utilizarse⁽¹²⁾.

Los agentes halogenados inhalados aumentan la latencia y reducen la amplitud de las ondas al producir un efecto que deprime las transmisiones axonales, causando interferencia en la interpretación de los PE, sobre todo los PEM⁽¹⁸⁾. En lugar de dichos fármacos, los cuales conducen a numerosos efectos colaterales⁽²⁸⁾, es recomendado el uso de la anestesia total intravenosa (*total intravenous anesthesia* o TIVA, por sus siglas en inglés), la cual muestra mejores resultados clínicos, así como una menor influencia sobre las diferentes modalidades de NMIO.

Por su parte, los opioides sintéticos (fentanyl, alfentanil, sufentanil y remifentanil) comúnmente empleados en pacientes con cirugía de columna, genera menor interferencia sobre los PE en comparación con los agentes inhalados. Su mecanismo de acción produce una pequeña depresión de latencia y amplitud de los potenciales corticales, característica que permite que sea usado en la anestesia, durante el monitoreo con PESS y PEM^(12,18,22).

A diferencia de la mayoría de los otros anestésicos, la ketamina aumenta los PESS, siendo una buena opción para pacientes con daño neurológico anterior (potencial basal con baja amplitud y alta latencia). Similar comportamiento muestra el etomidato. Además, la ketamina promueve la analgesia adecuada en pacientes con dolor crónico sometidos a múltiples cirugías seguidas de dolor intenso. Sin embargo, su uso está limitado por dos posibles efectos adversos: aumento de la presión intracraneal y alucinaciones^(12,18,22). Otros fármacos que muestran efectos sobre las técnicas de NMIO son los barbitúricos, las benzodiacepinas, los α -2 agonistas, el propofol, y las drogas de bloqueo neuromuscular⁽⁴⁾.

Factores no anestésicos que afectan el NMIO

La homeostasis fisiológica juega un papel importante en la función neuronal, por lo cual los PESS y PEM son sensibles a eventos producidos por isquemia vascular o compresión mecánica, así como a una reducción del flujo sanguíneo cerebral. A su vez, el aumento de la presión intracraneal debido a efectos de compresión de las estructuras corticales, da como resultado lecturas de PESS corticales reducidas^(3,18).

En cuanto a las lecturas de PEM, al principio se observa un aumento gradual a medida que aumenta la presión intracraneal hasta que ya no se produce respuesta. Igualmente, los cambios en el recuento del hematocrito pueden interferir tanto con la capacidad de oxígeno como con la viscosidad de la sangre, influyendo en los resultados de las técnicas de NMIO, ante ello, el nivel ideal para efectuar su análisis oscila entre 30 % y 32 %^(3,18).

Por otra parte, la hipoxemia puede deteriorar los PE incluso antes de que se modifiquen otras variables clínicas. Los niveles de PCO₂ por debajo de 20 mmHg causan vasoconstricción cerebral excesiva e isquemia del tejido neural seguido de cambios en las lecturas corticales de PESS y PEM. Por ende son necesarias la normocapnia y los niveles normales de oxigenación del tejido cerebral, para obtener lecturas adecuadas de estas técnicas. A su vez, la hipotermia puede aumentar las lecturas falsas negativas en la cirugía de columna, lo que se asocia con cambios en las lecturas de los PE, lo que lleva a una mayor latencia y una velocidad de conducción reducida^(20,28,29).

Igualmente, otros cambios en variables fisiológicas pueden interferir con las lecturas durante NMIO, por ejemplo, los cambios en la glucemia, los electrolitos, la reducción del volumen de sangre circulante y el aumento de la presión en la excavación superior han estado asociados con cambios en los PE^(23,30).

El NMIO debe ser utilizado para brindar al paciente la mayor seguridad en el tratamiento quirúrgico reduciendo los riesgos de lesión neurológica posoperatoria, y para proporcionar al médico información en tiempo real sobre la integridad funcional de las estructuras nerviosas involucradas en el procedimiento.

CONCLUSIONES

El empleo del neuromonitoreo intraoperatorio aporta grandes ventajas al equipo quirúrgico durante la realización de procedimientos donde se intervienen estructuras relacionadas al sistema nervioso. La técnica ofrece al médico información en tiempo real sobre la integridad funcional de las estructuras nerviosas involucradas en el procedimiento. Este permite disminuir la aparición de complicaciones, daño o lesión y favorece la calidad de vida del paciente.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la redacción, revisión y aprobación del artículo y su versión final.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Appel S, Biron T, Goldstein K, Ashkenazi E. Effect of Intra- and Extraoperative Factors on the Efficacy of Intraoperative Neuromonitoring During Cervical Spine Surgery. *World Neurosurg* [Internet]. 2019 [citado 24 Dic 2019]; 123(3):646-651. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.11.244>
2. Rijs K, Klimek M, Scheltens-de Boer M, Biesheuvel K, Harhangi BS. Intraoperative Neuromonitoring in Patients with Intramedullary Spinal Cord Tumor: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Case Series. *World Neurosurg* [Internet]. 2019 [citado 24 Dic 2019]; 125(5):498-510. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.01.007>

3. Thomas B, Guo D. The Diagnostic Accuracy of Evoked Potential Monitoring Techniques During Intracranial Aneurysm Surgery for Predicting Postoperative Ischemic Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurg* [Internet]. 2017 [citado 24 Dic 2019]; 103:829-840. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2017.04.071>
4. Norma E. Mena, Luke Sorrick. Monitoreo Neurofisiológico Intraoperatorio: Utilidad y Ventajas en cirugía de columna. *Rev Ecuat Neurol* [Internet]. 2013 [citado 24 Dic 2019]; 22: 1-3, 2013. Disponible en: <http://revecuatneurol.com/wp-content/uploads/2015/06/12-MonitoreoNeurofisiol-Intraoperatorio.pdf>
5. Yang S, Zhou L, Lu Z, Ma B, Ji Q, Wang Y. Systematic review with meta-analysis of intraoperative neuromonitoring during thyroidectomy. *International Journal of Surgery* [Internet]. 2017 [citado 12 Sep 2019]; 39: 104-113. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743919117300900>
6. Martínez F, Salle F, Moragues R, G Bertullo. Utilidad de la estimulación intraoperatoria en cirugía de procesos expansivos intracraneanos bajo anestesia general. *Rev Urug Med Inter* [Internet]. 2017 [citado 24 Dic 2019]; 1: 58-63. Disponible en: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/rumi/v2n1/2993-6797-rumi-2-01-00058.pdf>
7. Rodríguez Aceves CA, Collado Ortiz MÁ, Correa Márquez LI. Monitoreo intraoperatorio multimodal y su aplicación en cirugía de nervios periféricos. *An Med (Mex)* [Internet]. 2016 [citado 24 Dic 2019]; 61(2): 123-131. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=66299>
8. Alberto García Giró, Manuel Sánchez Castillo, Tania Aznielle Rodríguez, Vivian Martín Reyes. Desarrollo de un estimulador eléctrico trans-craneal para monitoreo intra-operatorio. *RIELAC* [Internet]. 2019 [citado 24 Dic 2019]; 40(1): 1-17. Disponible en: <http://rielac.cujae.edu.cu/index.php/rieac/article/download/625/322>
9. Walter Daniel J, Vieira Botelho R, Buzetti Milano J, Rolemberg Dantas F, Jooji Onishi F, Rusafa Neto E, et al. Intraoperative Neurophysiological Monitoring in Spine Surgery. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Spine* [Internet]. 2018 [citado 13 Dic 2019]; 43(16): 1154-1160. Disponible en: https://journals.lww.com/spinejournal/Abstract/2018/08150/Intraoperative_Neurophysiological_Monitoring_in.10.aspx
10. Gertsch JH, Moreira JJ, Lee GR, Hastings JD, Ritzl E, Eccher MA. Practice guidelines for the supervising professional: intraoperative neurophysiological monitoring. *Journal of Clinical Monitoring and Computing* [Internet]. 2019 [citado 13 Nov 2019]; 33:175-183. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10877-018-0201-9>
11. De la Maza-Krzepitowsky LC, Romero-Esquiliano G, Ramírez-Segura EH, De Obieta-Cruz E, Vega-Sosa A, Cárdenas-Mejía A, et al. Implementación del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio en niños y adultos en el segundo y tercer nivel de atención. *Cir Cir* [Internet]. 2018 [citado 24 Dic 2019]; 86 (2): 132-139. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/circir/cc-2018/cc182c.pdf>
12. López-Rodríguez JJ. Monitoreo neurofisiológico intraoperatorio en cirugía de columna. *Rev Mex Anest* [Internet]. 2017 [citado 24 Dic 2019]; 40(S1): 31-32. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2017/cmas171l.pdf>

13. León-Álvarez E. Neuromonitoreo. Rev Mex Anest [Internet]. 2017 [citado 24 Dic 2019]; 40(S1): 240-242. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2017/cmas171bt.pdf>
14. Michels P, Bräuer A, Bauer M, et al. Neurophysiological monitoring during surgical procedures. Der Anaesthetist [Internet]. 2017 [citado 24 Dic 2019]; 66(9): 645-659. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00101-017-0356-7>
15. Yu T, Li QJ, Zhang XW, Wang Y, Jiang QY, Zhu XJ, et al. Multimodal intraoperative monitoring during surgical correction of scoliosis to avoid neurologic damage. Medicine [Internet]. 2019 [citado 24 Dic 2019]; 98(15): e15067. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000015067>
16. Jameson LC. Transcranial motor-evoked potentials. In: Kohta A, Sloan TB, Toleikis JR, editors. Monitoring the nervous system for anesthesiologists and other healthcare professionals, 2nd ed. Cham: Springer; 2017. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-1-4614-0308-1.pdf>
17. Dias Anderson A, Lanna Rachel AB, Ferreira Junior MA, Duarte Marcelo G, Falcon Roberto S, Porto Filho MA, et al. Electromyography and instrumentation in patients with idiopathic scoliosis. Coluna/Columna [Internet]. 2017 [citado 24 Dic 2019]; 16(1): 29-32. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1808-8512017000100029&script=sci_arttext
18. Nunes RR, Bersot CDA, Garritano JG. Intraoperative neurophysiological monitoring in neuroanesthesia. Curr Opin Anesthesiol [Internet]. 2018 [citado 13 Dic 2019]; 31(5): 532-538. Disponible en: https://journals.lww.com/co-anesthesiology/Abstract/2018/10000/Intraoperative_neurophysiological_monitoring_in.8.aspx
19. Ney JP, Kessler DP. Neurophysiological monitoring during cervical spine surgeries: Longitudinal costs and outcomes. Clinical Neurophysiology [Internet]. 2018 [citado 24 Dic 2019]; 129(11): 2245-2251. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138824571831188X>
20. Morales León N, Gómez Ramírez Y, Agramante Rodríguez MA, Domínguez Pérez B, Niedo Rojas M. Neuromonitoreo en pacientes sometidos a cirugía cerebral. Gac Méd Espirit [Internet]. 2007 [citado 24 Dic 2019]; 9(3): [aprox. 9 p.]. Disponible en: <http://www.revgmepirituana.sld.cu/index.php/gme/article/view/810/672>
21. MacDonald DB. Overview on criteria for MEP monitoring. J Clin Neurophysiol [Internet]. 2017 [citado 24 Dic 2019]; 34(1): 4-11. Disponible en: https://journals.lww.com/clinicalneurophys/Abstract/2017/01000/Overview_on_Criteria_for_MEP_Monitoring.2.aspx
22. MacDonald DB, Dong C, Quatralè R, Sala F, Skinner S, Soto F, et al. Recommendations of the International Society of Intraoperative Neurophysiology for intraoperative somatosensory evoked potentials. Clinical Neurophysiology [Internet]. 2019 [20 Oct 2019]; 130(1): 161-179. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.10.008>
23. Thirumala PD, Crammond DJ, Loke YK, Cheng HL, Huang J, Balzer JR. Diagnostic accuracy of motor evoked potentials to detect neurological deficit during idiopathic scoliosis correction: a systematic

review. *J Neurosurg Spine* [Internet]. 2016 [citado 24 Dic 2019]; 26(3): 374-383. Disponible en: <https://thejns.org/spine/view/journals/j-neurosurg-spine/26/3/article-p374.xml>

24. Park SK, Joo BE, Lee S, Lee JA, Hwang JH, Kong DS, *et al.* The critical warning sign of real-time brainstem auditory evoked potentials during microvascular decompression for hemifacial spasm. *Clin Neurophysiol* [Internet]. 2018 [citado 24 Dic 2019]; 129(5): 1097-1102. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138824571731221X>

25. Szelényi A. Intraoperative neurophysiological monitoring under general anesthesia. In: Duffau H (Ed): *Brain Mapping: from neural basis of cognition to surgical applications*. Viena: Springer, 2011.

26. Duffau H. Surgery for diffuse low grade gliomas. Functional considerations. In: Duffau H (Ed): *Diffuse low grade gliomas in adults*. London: Springer, 2017. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-55466-2.pdf>

27. Martínez F, Moragues R. Cirugía tumoral con despertar intraoperatorio: es posible en Uruguay? *Opción Médica* 2016;64:4-8

28. Benuska J, Plisova M, Zabka M, Horvath J, Tisovsky P, Novorolsky K. The influence of anesthesia on intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgeries. *Bratisl Med J* [Internet]. 2019 [citado 24 Dic 2019]; 120 (10): 794-801. Disponible en: http://www.elis.sk/download_file.php?product_id=6404&session_id=2ca8h5pfcicv2pgbv7pji6pa57

29. Traynelis VC, Abode-Iyamah KO, Leick KM, Bender SM, Greenlee JD. Cervical decompression and reconstruction without intraoperative neurophysiological monitoring. *Neurosurg Spine* [Internet]. 2012 [citado 24 Dic 2019]; 16(2): 107–113. Disponible en: <https://doi.org/10.3171/2011.10.SPINE11199>

30. Marafona AF, Machado HS. Intraoperative evoked potentials: a review of clinical impact and limitations. *J Anesth Clin Res* [Internet]. 2018 [citado 24 Dic 2019]; 9(1): [aprox. 9 p.]. Disponible en: www.anestesiologiachp.com/DevPort/modules/dGC/files/artigos/Intraoperative%20Evoked%20Potential%20A%20Review%20of%20Clinical%20Impact%20and%20Limitations.pdf