

Monitoreo intraoperatorio multimodal y su aplicación en cirugía de nervios periféricos: ¿cuándo es de utilidad?

Carlos Alberto Rodríguez Aceves,* Miguel Ángel Collado Ortiz,** Lilia Isabel Correa Márquez***

RESUMEN

Introducción: En las últimas décadas, la cirugía de nervio periférico ha tenido un avance significativo debido al desarrollo e implementación de nuevas técnicas quirúrgicas que van de la mano con la evolución de la microcirugía. Los resultados clínicos obtenidos en los últimos años son considerablemente superiores a sus inicios, consecuencia del progreso tecnológico en estudios de imagen y técnicas de monitoreo neurofisiológico multimodal que en la actualidad permiten complementar el protocolo diagnóstico y la toma de decisiones intraoperatorias. **Objetivos:** Revisión de las técnicas neurofisiológicas de monitoreo y registro transoperatorio multimodal existentes y describir su utilidad en la cirugía de nervio periférico. **Material y métodos:** Revisión y análisis de la literatura médica en los últimos 20 años relacionada con el tema en las bases de datos MEDLINE/PubMed, Cochrane y Ovid. **Resultados:** La optimización de los resultados puede alcanzarse si se considera el uso de las técnicas quirúrgicas de reconstrucción y se adaptan individualmente a las necesidades de cada paciente en función de los hallazgos del monitoreo intraoperatorio multimodal. **Conclusiones:** Es un hecho que en la actualidad, debido a varios factores, el uso del monitoreo intraoperatorio multimodal permite al cirujano optimizar la toma de decisiones transoperatorias en la cirugía de nervios periféricos, particularmente en aquellos procedimientos quirúrgicos indicados para el tratamiento de lesiones traumáticas y tumores.

Palabras clave: Cirugía de nervio periférico, lesión nerviosa, lesión en continuidad, monitoreo intraoperatorio multimodal, potencial de acción nervioso, potenciales evocados somatosensoriales, electromiografía.

Nivel de evidencia: III

Multimodal intraoperative monitoring and its application in peripheral nerve surgery: when is it useful?

ABSTRACT

Introduction: In recent decades, peripheral nerve surgery has made significant progress due to the development and implementation of new surgical techniques that goes hand in hand with the evolution of microsurgery. The clinical results obtained in recent years are considerably higher than in the beginning, result of technological advances in imaging and multimodal neurophysiological monitoring techniques which currently complement diagnosis and intraoperative decision making. **Objectives:** To review the existing multimodal neurophysiological monitoring techniques and to describe its usefulness in peripheral nerve surgery. **Material and methods:** Review and analysis of medical literature in the last 20 years related with the subject in MEDLINE/PubMed, Cochrane and Ovid data bases. **Results:** Optimization of the results can be achieved when considering the use of surgical reconstruction techniques and are individually tailored to the needs of each patient based on the findings of multimodal intraoperative monitoring. **Conclusions:** It is a fact nowadays, the use of multimodal intraoperative monitoring allows the surgeon to optimize intraoperative decision making in peripheral nerve surgery, particularly in those surgical procedures indicated for the treatment of traumatic lesions and tumors, due to several factors.

Key words: Peripheral nerve surgery, nerve injury, lesion in continuity, multimodal intraoperative monitoring, nerve action potential, somatosensory evoked potentials, electromyography.

Level of evidence: III

www.medigraphic.org.mx

* Neurocirujano adscrito al Centro Neurológico ABC. Clínica de Cirugía de Nervios Periféricos y Plexos.

** Neurólogo y Neurofisiólogo Clínico adscrito al Centro Neurológico ABC. Servicio de Neurología y Neurofisiología Clínica.

*** Médico Especialista en Rehabilitación. Núcleo Reangel, Medicina de Rehabilitación. Guadalajara, Jalisco.

Recibido para publicación: 25/04/2016. Aceptado: 20/05/2016.

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

Correspondencia: Carlos Alberto Rodríguez Aceves

Centro Neurológico ABC.
Clínica de Nervio Periférico y Plexos.
Av. Carlos Graef Fernández Núm. 154,
Colonia Tlaxala, 05300, Delegación Cuajimalpa, Ciudad de México, México.
Teléfono: 16647224 Celular: +521 5527373301
E-mail: crodac@yahoo.com.mx

Abreviaturas:

CNP = Cirugía de nervio periférico.
EMG = Electromiografía.
MIOM = Monitoreo intraoperatorio multimodal.
PAN = Potencial de acción nervioso.
PESS = Potenciales evocados somatosensoriales.

INTRODUCCIÓN

La cirugía de nervios periféricos (CNP) tiene una larga historia, un progreso significativo en el tratamiento quirúrgico de esta entidad fue resultado de la experiencia obtenida durante los conflictos bélicos, debido a los avances en el conocimiento anatómico y el desarrollo de nuevas técnicas quirúrgicas, así como la evolución de la microcirugía.¹⁻⁴

Los resultados clínicos obtenidos en los últimos años son considerablemente superiores a sus inicios, consecuencia del progreso tecnológico en la obtención de estudios de imagen y técnicas de registro neurofisiológico perioperatorio que en la actualidad permiten optimizar el protocolo diagnóstico y la toma de decisiones intraoperatorias que alteren el curso de la evolución.

Para conseguir este objetivo es necesario que los especialistas involucrados (neurofisiólogo, anestesiólogo, neurocirujano y rehabilitador) conformen un equipo multidisciplinario y mantengan comunicación en todo momento.⁵

El monitoreo intraoperatorio multimodal (MIOM) de los procedimientos quirúrgicos que involucran a los nervios periféricos ha evolucionado casi a la par durante los últimos 40 años; lo que es posible gracias al entendimiento de que las distintas técnicas de registro neurofisiológico que se utilizan rutinariamente en el estudio preoperatorio, pueden ser aplicadas también en el quirófano. No sólo permiten la evaluación funcional de los nervios, también evalúan las vías neurales que conectan al sistema nervioso periférico con el sistema nervioso central en tiempo real.⁶

Kline y De Jonge fueron los primeros en reportar el uso de potenciales nerviosos evocados en 1968 para evaluar las lesiones nerviosas.⁵

Objetivos

La presente revisión pretende efectuar una descripción básica e inteligible de las técnicas de registro neurofisiológico que conforman el MIOM utilizadas en la actualidad. Por otra parte, describe también las indicaciones para su utilización en CNP y algunas consideraciones generales de las lesiones nerviosas.

Algunas consideraciones de las lesiones nerviosas

Estructura de un nervio periférico

Los nervios periféricos poseen una estructura similar a la de un cable, están conformados por haces de

fibras nerviosas sensoriales y motoras, a su vez mielinizadas y no mielinizadas, vasos sanguíneos, linfáticos y células de Schwann, todas ellas envueltas en cubiertas de tejido conectivo.

El componente nervioso está representado por el axón, éste se encuentra rodeado por una vaina de mielina producida por las células de Schwann, que posee interrupciones a intervalos regulares denominados nodos de Ranvier, cuya función es optimizar la transmisión del impulso nervioso.

El componente mesenquimatoso está representado por tres cubiertas de tejido conectivo, cuya disposición define la estructura interna de un nervio. Esta disposición tiene un papel muy importante en la fisiopatología de las lesiones nerviosas y los consecuentes procesos de degeneración y regeneración. Es bien sabido que la proporción entre estos dos componentes influye en la gravedad de la lesión; a mayor cantidad de tejido conectivo, mayor protección del tejido neural. Por lo tanto, su conocimiento es fundamental para entender las distintas clasificaciones de los grados de lesión y en consecuencia definir el tratamiento más adecuado.

Se organizan del siguiente modo: el endoneuro es la vaina más interna que rodea a cada axón individualmente, el perineuro envuelve a cada fascículo (conjunto de axones) y el epineuro es la membrana más externa que envuelve a todos los fascículos, definiendo la arquitectura del tronco nervioso.^{4,7-9}

Patología quirúrgica de los nervios periféricos

Las patologías nerviosas susceptibles de tratamiento quirúrgico son: lesiones agudas (traumatismos), lesiones crónicas (síndromes compresivos), tumores, dolor neuropático y espasticidad.^{4,8,9}

Las lesiones agudas de los nervios periféricos forman parte de una entidad clínica común de etiología diversa, frecuentemente asociada a traumatismos. Los mecanismos incluyen: laceración, tracción, contusión, compresión, isquemia, lesión eléctrica, etc.⁷

La gama de lesiones puede variar desde cambios microscópicos hasta cambios más severos con alteraciones macroscópicas importantes, con interrupción completa de la integridad anatómica del tronco nervioso; esto explica la variabilidad en el cuadro clínico.

En términos generales, estas lesiones resultan en la pérdida parcial o total de la función autonómica, sensorial y motora de las áreas del cuerpo afectadas por el nervio lesionado; como consecuencia de la inte-

rrupción en la continuidad del axón, los procesos de degeneración a nivel del cuerpo celular y proximales al sitio de lesión, distales al sitio de lesión y la deneración de los órganos efectores (*Figura 1*).¹⁰

Factores que determinan los resultados y el pronóstico en cirugía de nervios periféricos

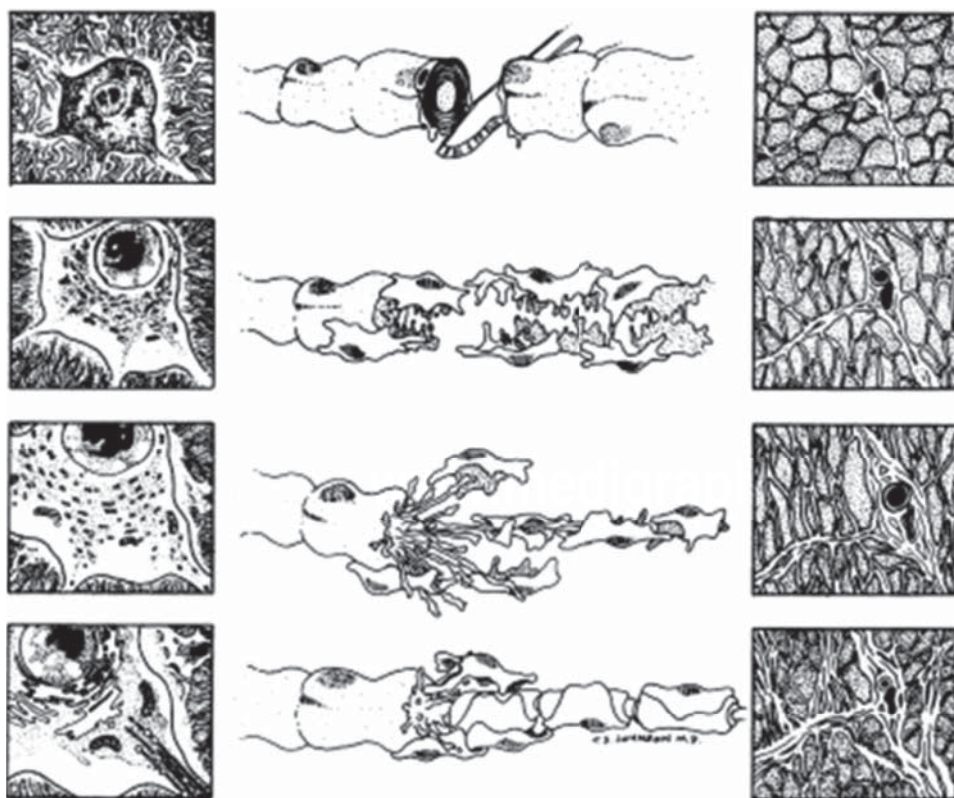
Existen diversos factores que influyen en los resultados obtenidos en CNP: tipo de nervio lesionado, edad del paciente, nivel de la lesión, extensión de la lesión, tipo de lesión, lesiones asociadas, tiempo de evolución tras la lesión, técnica quirúrgica, y el tiempo transcurrido entre la lesión y la cirugía.^{4,7,9,11}

Clasificación de lesiones

Existen en la actualidad dos clasificaciones de lesiones nerviosas que se definen de acuerdo con la afectación del tejido neural y conectivo que conforman la estructura del tronco nervioso. Ambas permiten definir la severidad de la lesión, establecer un pronóstico y determinar la necesidad de llevar a cabo un tratamiento quirúrgico.

La primera de ellas descrita por Seddon establece tres grados de lesión: 1) neuropraxia: se mantiene la continuidad estructural y sólo existe un bloqueo temporal en la conducción; por este hecho, es susceptible de presentar recuperación completa del déficit generado; 2) axonotmesis: se interrumpe la continuidad del axón cursando con degeneración Walleriana distal al sitio de lesión, pero se mantienen íntegras las cubiertas de tejido conectivo; hecho que al igual que en el anterior permite tener alguna oportunidad de regeneración con recuperación espontánea; y 3) neurotmesis: existe sección completa de todos los componentes estructurales del tronco nervioso con pérdida total de la función, y al no existir un soporte de tejido conectivo que permita guiar la regeneración del axón, es imposible esperar una recuperación espontánea de la función.

Sunderland establece una segunda clasificación haciendo más detallada la descripción del involucro en las cubiertas de tejido conectivo, estableciendo cinco grados: Grado I corresponde a la neuropraxia; Grado II corresponde a la axonotmesis; Grado III implica pérdida en la continuidad del axón y el endoneuro; Grado IV implica pérdida en la continuidad



Proceso de degeneración: cambios histológicos y metabólicos en el sitio de lesión, proximal al sitio de lesión, cuerpo celular, distales al sitio de lesión y órganos efectores. Adaptado de: Maggi S. Pathophysiology of nerve injury. Clin Plastic Surg. 2003; 30: 109-126.

Figura 1.

Degeneración de un nervio periférico tras la lesión.

del axón, endoneuro y perineuro y Grado V corresponde a la neurotmesis. A partir del grado III de lesión el pronóstico de recuperación funcional espontánea es malo y se requiere de exploración quirúrgica.

Mackinnon añade un Grado VI a esta clasificación para describir a las lesiones en continuidad, situación en la cual ocurre que en un mismo segmento lesionado, puedan coexistir varios grados de lesión.^{4,7,9,12}

El papel de la fibrosis en la fisiopatología de la lesión

Tras una lesión nerviosa, se produce una reacción del tejido conectivo que tiene como consecuencia la formación de cicatriz; esta fibrosis produce fuerzas de compresión constantes en los brotes axones que impiden la regeneración y la conducción del impulso nervioso.¹²

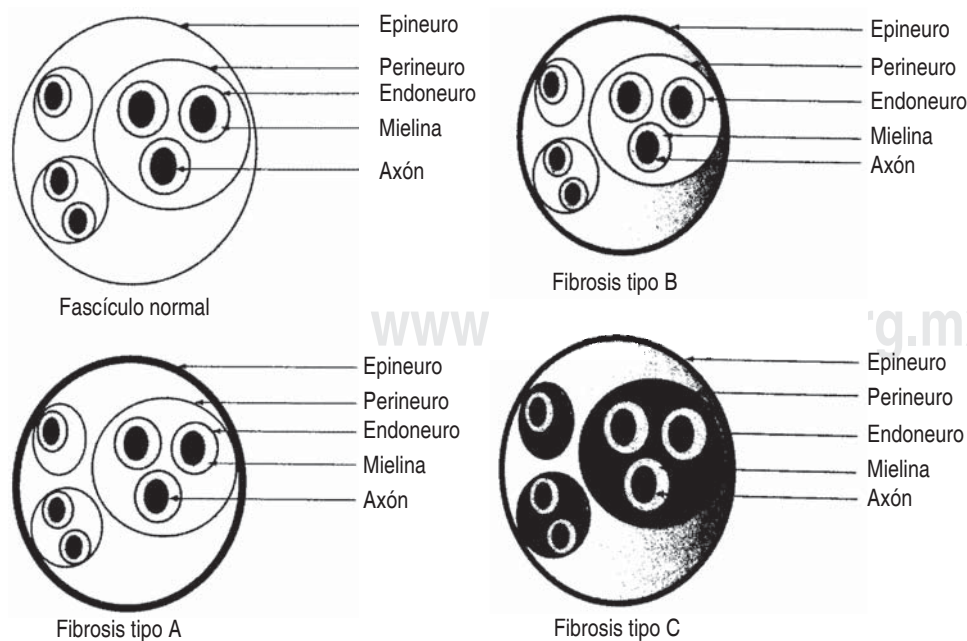
Estos cambios fueron descritos por Millesi, quien estableció una clasificación basada en el tipo de fibrosis postraumática, mediante el análisis del tronco nervioso con microscopio durante la exploración quirúrgica. Consiste en tres tipos: 1) Tipo A: fibrosis del epineuro en la que existe compresión extrínseca del tronco nervioso, teóricamente este tipo de fibrosis puede ocurrir en los grados I, II y III de Sunderland y el tratamiento consiste en hacer una neurolisis externa con epineurotomía. 2) Tipo B: fibrosis interfascicular, en la cual el

tejido fibrótico se dispone entre los fascículos del nervio; esta localización influye de manera decisiva en la conducta quirúrgica. 3) Tipo C: fibrosis intrafascicular, en la que se encuentra comprometido el endoneuro de cada fascículo y corresponde a las lesiones grados III o IV de Sunderland, no hay posibilidad de recuperación espontánea y existe el riesgo de formación de neuroma en continuidad. El tratamiento debe ser más agresivo, con resección del tejido lesionado y sustitución con injerto nervioso (*Figura 2*).^{1,8,12}

Lesión en continuidad

El neuroma en continuidad es una masa de tejido desorganizado compuesto por axones, tejido conectivo y diferentes tipos de células como macrófagos, fibroblastos, células de Schwann, etc. que puede formarse por diversos mecanismos y representa una incapacidad del nervio para concretar una regeneración adecuada (*Figura 3*).^{1,8,12}

Las lesiones en continuidad se desarrollan hasta en 70% de las lesiones nerviosas. Como su nombre lo indica, el tronco nervioso conserva la continuidad anatómica; sin embargo, ello no implica que la estructura interna esté preservada. En algunos casos la función en este tipo de lesión puede recuperarse espontáneamente, aunque no es la regla y el pronóstico es difícil de establecer.¹³



Tipos de fibrosis según Millesi: A-fibrosis epineural, B-fibrosis interfascicular, C-fibrosis intrafascicular. Adaptado de: Llusá M, Palazzi S, Valer A. Anatomía quirúrgica del plexo braquial y de los nervios de la extremidad superior. Madrid: Panamericana; 2013.

Figura 2.

Fibrosis postraumática.

Es precisamente en este tipo de lesiones en las que la utilización del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio permite evaluar la función de un nervio periférico y determinar si existe o no la posibilidad de recuperación de la función de manera espontánea, ya que la observación y palpación no son suficientes para determinar la viabilidad funcional de un tronco nervioso durante la cirugía. Por lo tanto, el único método para asegurar la función del nervio lesionado es mediante las diferentes técnicas de registro intraoperatorio, puesto que el aspecto exterior no se correlaciona con la histología (*Figura 4*).^{1,8,12}

Técnicas de monitoreo neurofisiológico intraoperatorio

La evaluación preoperatoria de una lesión nerviosa debe incluir una historia clínica completa, una exploración física adecuada y pruebas diagnósticas com-



Lesión en continuidad. Se identifican los extremos normales proximal y distal al sitio de lesión.

Figura 3. Lesión en continuidad.



El aspecto exterior no correlaciona con la histología en las lesiones en continuidad, por lo que la integridad anatómica no implica la adecuada funcionalidad del tronco nervioso. El único método fiable para su estudio es el MIOM.

Figura 4. Cambios en la estructura interna de un nervio tras la lesión.

plementarias que asistan al cirujano en la toma de decisiones (*Cuadro I*).

El MIOM es particularmente útil si consideramos que algunas lesiones de los nervios periféricos pueden resultar un reto quirúrgico interesante en virtud de que a diferencia de otros estudios complementarios brinda información funcional en tiempo real. Es indispensable tener presente y conocer detalladamente la historia clínica, el estado neurológico basal, la anatomía regional, los objetivos quirúrgicos y el tipo de anestesia utilizada, ya que la información obtenida puede alterar el curso de un procedimiento quirúrgico, como en el caso específico de las lesiones en continuidad.⁵

Para realizar el registro debe contarse con un mínimo de requerimientos para tal efecto. Es útil cualquier equipo de electromiografía, electrodos estériles para estimulación, electrodos de registro y electrodos neutros. Es imprescindible que el equipo multidisciplinario tenga conocimientos en la aplicación de los electrodos, la aplicación del estímulo, la preparación del campo quirúrgico y la manipulación transoperatoria del nervio en cuestión.

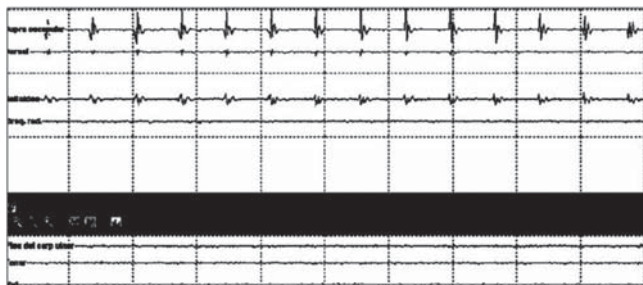
De igual manera, es necesario conocer los factores que pueden alterar la obtención del registro como la temperatura de la sala de operaciones, el uso de anestésicos, relajantes musculares y torniquetes.

En la actualidad podemos considerar las siguientes técnicas de registro intraoperatorio en la CNP, las cuales se dividen en dos grupos de acuerdo con la señal bioeléctrica: 1) obtención de actividad espon-

Cuadro I. Herramientas diagnósticas que influyen para la toma de decisiones en cirugía de nervios periféricos.

Historia clínica	Mecanismo de lesión, tiempo de evolución, síntomas, datos de recuperación, dolor, etc.
Examen físico	Sensitivo: termoalgésica, propioceptiva, discriminación, dermatomas Motor: fuerza muscular, músculos afectados
Imagen	Tomografía computarizada con mielografía Resonancia magnética nuclear
Neurofisiología preoperatoria	Estudios de conducción nerviosa sensitivo-motora Electromiografía
Neurofisiología intraoperatoria	Potencial de acción nerviosa (PAN) Electromiografía (EMG): espontánea y evocada Potenciales evocados somatosensoriales (PESS) Potenciales evocados motores (PEM)

Adaptado de: Galloway GM. Intraoperative neurophysiologic monitoring. Cambridge University Press; 2010.



Registro de EMG intraoperatoria en exploración de plexo braquial infraclavicular izquierdo con lesión de cordones medial, lateral y posterior tras luxación glenohumeral. Fuente: Archivos de Neurofisiología Clínica, Centro Médico ABC.

Figura 5. Electromiografía intraoperatoria.

tánea: electromiografía (EMG y 2) obtención de respuestas evocadas: potenciales evocados somatosensoriales, EMG evocada (potenciales de acción muscular) y potenciales de acción nerviosa. Las respuestas registradas pueden obtenerse de la corteza cerebral, médula espinal, músculo y del propio nervio periférico; la selección del estudio a realizar dependerá de la estructura y función que se desea evaluar.^{5,8,14-21}

Electromiografía intraoperatoria

Registra la actividad eléctrica de un músculo generada por la sumación temporal y espacial de los potenciales de acción musculares postsinápticos de diferentes fibras musculares. Consiste en la aplicación de un estímulo en el nervio con el posterior registro mediante un electrodo de aguja en el músculo inervado por el nervio en estudio, aparte de la generación de una señal audible.^{22,23}

Es útil para evitar dañar el tronco nervioso durante la manipulación quirúrgica que se manifiesta con el incremento de la actividad muscular, consecuencia de la irritación del nervio. Otras indicaciones son la evaluación de neuromas en continuidad cercanas al músculo blanco o cuando se requiere evaluar zonas de lesión en una longitud extensa del tronco nervioso en su trayecto hasta el músculo inervado (Figura 5).⁸

Potenciales evocados somatosensoriales

Los potenciales evocados representan una respuesta eléctrica del sistema nervioso a un estímulo externo determinado. Esta técnica consiste en emitir un estímulo periférico a nivel del tronco nervioso y el registro consecuente de la respuesta a nivel cortical

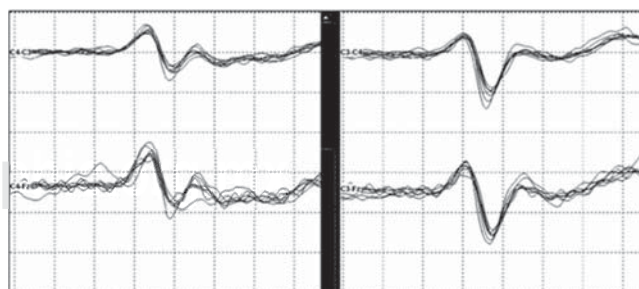
de la vía sensitiva o en las estaciones de relevo ascendentes (por ejemplo punto de Erb, hueco poplíteo y médula cervical). Las respuestas obtenidas se comparan con valores de referencia obtenidos antes de iniciar la manipulación quirúrgica; se estudia la morfología de las ondas, su amplitud y latencia. En el miembro superior la respuesta se obtiene al estimular el nervio mediano y en los miembros pélvicos a nivel del nervio tibial y la interpretación intraoperatoria se basa en la detección de cambios confiables y significativos como el decremento en la amplitud $> 50\%$ o $> 10\%$ en la latencia.

Es útil para el estudio y registro de las lesiones del plexo braquial supraclavicular preganglionares; en términos generales, evalúa si la raíz nerviosa se encuentra en continuidad con el sistema nervioso central, evitando de este modo disecciones extensas que consumen tiempo en zonas cicatrizales o de difícil acceso (Figura 6).²⁴⁻²⁶

Potencial de acción nerviosa

Esta técnica consiste en estimular directamente un tronco nervioso proximal a la zona de lesión y la obtención de respuesta mediante electrodos de registro en la zona distal a la lesión del PAN; se requieren al menos 4,000 fibras nerviosas mielínicas para evocarlos. Los electrodos de estimulación están formados por dos puntas y los de registro por tres puntas en forma de «J» para estar en íntimo contacto con el nervio y disminuir la propagación del estímulo, evitando así la generación de artefactos.^{1,19,20,23}

En virtud de que permite identificar si existe o no transmisión del impulso en el tronco nervioso a este



Registro de PESS por estimulación del nervio mediano y radial durante la exploración del plexo braquial infraclavicular con compromiso de cordones medial, lateral y posterior tras luxación glenohumeral. Fuente: Archivos de Neurofisiología Clínica, Centro Médico ABC.

Figura 6. Potenciales evocados somatosensoriales.

nivel, es útil en la evaluación de las lesiones en continuidad, lo que determina la necesidad de llevar a cabo procedimientos de reconstrucción más complejos.²⁶⁻²⁸

Es posible también efectuar un mapeo por cuadrantes para diferenciar áreas sanas del tronco nervioso, lo que facilita la realización de reconstrucciones solamente parciales del nervio.⁸

Monitoreo intraoperatorio multimodal y la conducta quirúrgica

Como se ha expuesto en el apartado anterior, el MIOM permite adecuar la conducta quirúrgica de acuerdo con las necesidades en relación con las respuestas obtenidas con las distintas técnicas de registro.^{5,25}

En las lesiones nerviosas producidas por laceración en las que los extremos del nervio presentan bordes regulares y bien definidos, debe procurarse la restitución de la estructura anatómica mediante neurografía directa, siempre y cuando el intervalo entre los cabos nerviosos permita realizar una sutura libre de tensión, en caso contrario, será necesaria la reconstrucción mediante la aplicación de un injerto nervioso.^{1,29}

Cuando el mecanismo de lesión implica una afectación parcial del tronco nervioso, el desarrollo de lesiones en continuidad ya sea por tejido cicatrizal extraneural o por la formación de un neuroma en continuidad, el MIOM desempeña un papel crucial en la determinación de la técnica más adecuada para procurar restituir la función nerviosa.

La neurolisis es una técnica quirúrgica que consiste en liberar al nervio del tejido cicatrizal que lo comprime; está indicada como único procedimiento quirúrgico cuando existe evidencia de transmisión del impulso nervioso posterior a la descompresión mediante el registro de PAN. De no evidenciarse conducción, la conducta consiste en resear el segmento lesionado y llevar a cabo una reconstrucción con el uso de injertos (*Figuras 7 y 8*).³⁰



Neurolisis de lesión en continuidad. No fue necesario realizar reconstrucción debido a la obtención de PAN tras la descompresión. Adaptado de: Robla J, Domínguez M, Socolovsky M, Di G, Dimitrovic A. *Técnicas modernas en microcirugía de los nervios periféricos*. Buenos Aires: Ediciones Journal; 2014.

Figura 7. Neurolisis.

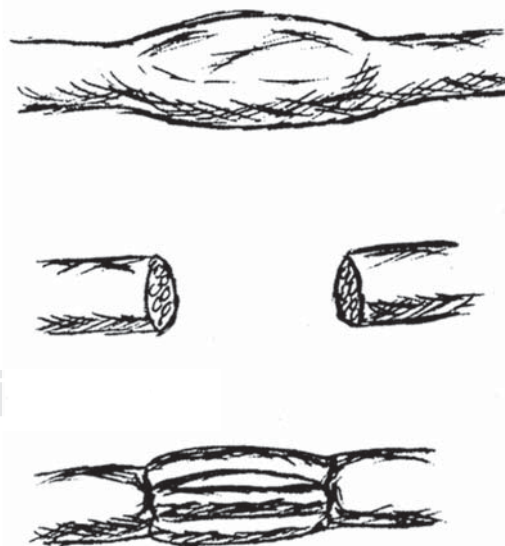
Asimismo, en las lesiones severas del plexo braquial con avulsión radicular es de vital importancia identificar la funcionalidad de los muñones proximales de las raíces afectadas, es decir, que permanezcan conectadas con la médula espinal, puesto que de mantenerse la integridad, es posible utilizarlas como dadores de axones en la reconstrucción, situación que no es factible cuando existe compromiso preganglionar.⁸

Por otra parte, el MIOM puede utilizarse para identificar grupos fasciculares específicos con el objetivo de llevar a cabo transferencias nerviosas, procedimiento que consiste en donar el cabo o fascículos proximales de un nervio sano al cabo distal de un nervio lesionado. Un ejemplo bien conocido de lo anterior es la técnica de Oberlin, en la cual se ocupan los fascículos que inervan el músculo flexor cubital del carpo del nervio cubital para anastomosarse con ramas musculares del nervio musculocutáneo al bíceps en las parálisis del codo secundarias a lesiones del plexo braquial (*Figura 9*).^{1,8}

Podemos encontrar otra aplicación en el uso del MIOM para identificar grupos fasciculares en el tratamiento de la espasticidad para realizar neurotomías selectivas.

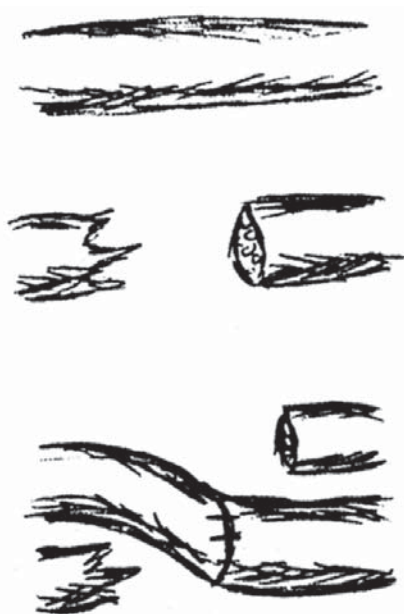
DISCUSIÓN

La clasificación de lesiones de los nervios periféricos facilita la interpretación de los hallazgos clínicos,



Lesión en continuidad sin conducción de potencial de acción nerviosa. Tras la ausencia de respuestas es necesario resear el segmento lesionado y reconstruir con injertos de nervio sural.

Figura 8. Reconstrucción con injerto.



Representación esquemática de una transferencia nerviosa (neurotización) en la que se dona el extremo proximal sano de un nervio contiguo y se transfiere al segmento distal del nervio lesionado.

Figura 9. Transferencia nerviosa.

proporciona una guía para la reconstrucción quirúrgica e información respecto al pronóstico.²⁹

En opinión de algunos autores, puede alcanzarse la optimización de los resultados si se considera el uso de las técnicas quirúrgicas de reconstrucción y se adaptan individualmente a las necesidades de cada paciente en función de los hallazgos del MIOM, cuyos componentes inicialmente fueron utilizados para reducir la morbilidad neurológica asociada a los procedimientos neuroquirúrgicos.

Aplicado a la CNP y dependiendo de la técnica de registro utilizada, si se aplican correctamente permiten al cirujano: 1) identificar nervios lesionados o áreas específicas de lesión dentro de un tronco nervioso, 2) establecer la severidad y localización de la lesión nerviosa, 3) prevenir una posible lesión nerviosa por manipulación transoperatoria en la resección de tumores, 4) dirigir la conducta quirúrgica para la aplicación de las distintas técnicas de reconstrucción (descompresión, neurolisis o resección y aplicación de injerto), 5) evidenciar avulsiones radiculares, 6) identificar una topografía segura para toma de biopsias nerviosas, 7) identificar fascículos sanos susceptibles de ser seccionados y 8) aportar información respecto al pronóstico de una lesión nerviosa.^{5,11,20}

Existen algunas situaciones en las que el uso del MIOM no es indispensable, tal es el caso de las lesiones tardías con más de un año de evolución en las que la probabilidad de restablecer la función nerviosa con las distintas técnicas de reconstrucción es limitada debido a los cambios irreversibles producidos en el tronco nervioso y sus órganos efectores tras el proceso de degeneración.¹

CONCLUSIÓN

Es un hecho que en la actualidad y debido a varios factores, el uso del MIOM permite al cirujano mejorar la toma de decisiones transoperatorias en la CNP, particularmente en aquellos procedimientos quirúrgicos indicados para el tratamiento de lesiones traumáticas y tumores.

En primer lugar, las lesiones cerradas en las cuales encontramos neuromas en continuidad permiten establecer la necesidad de realizar reconstrucciones nerviosas más complejas con la resección del segmento lesionado y aplicación de injerto, en contraposición con la descompresión mediante neurolisis simple. En consecuencia, la modificación en las conductas quirúrgicas que conlleva a realizar procedimientos quirúrgicos más sencillos acorta el tiempo quirúrgico de manera significativa, a la par de evitar la manipulación excesiva del tejido nervioso, reduciendo así las probabilidades de una lesión iatrogénica, además nos da la posibilidad de conocer el estado funcional de los troncos nerviosos involucrados en la lesión y sus órganos efectores. No menos importante, permite establecer con un buen margen de seguridad el pronóstico funcional a largo plazo con los datos obtenidos durante el registro.

BIBLIOGRAFÍA

1. Socolovsky M, Siqueira M, Malessy M. Introducción a la cirugía de los nervios periféricos. Buenos Aires: Ediciones Journal; 2013. p. 148.
2. Colli O. Aspectos gerais das lesões traumáticas agudas nos nervos periféricos/General aspects of acute peripheral nerve injuries. Arq Bras Neurocir. 1993; 12 (3): 171-200.
3. Campbell WW. Evaluation and management of peripheral nerve injury. Clin Neurophysiol. 2008; 119 (9): 1951-1965.
4. Rodríguez-Aceves CA, Cárdenas-Mejía A. Experiencia de un año en el Hospital General "Manuel Gea González" en las lesiones nerviosas del miembro superior y plexo braquial. Arch Neurocién (Mex). 2013; 18 (3): 120-125.
5. Skinner SA, Cohen BA, Morledge DE, McAuliffe JJ, Hastings JD, Yingling CD et al. Practice guidelines for the supervising professional: intraoperative neurophysiological monitoring. J Clin Monit Comput. 2014; 28 (2): 103-111.

6. Zouridakis G, Papanicolau A. A concise guide to intraoperative monitoring. CRC Press LLC; 2012.
7. Kim D, Midha R, Morovic J, Spinner R, Kline y Hudson. Lesiones nerviosas. 2a edición. Spain S.L.: Elsevier; 2010.
8. Llusá M, Palazzi S, Valer A. Anatomía quirúrgica del plexo braquial y de los nervios de la extremidad superior. Madrid: Panamericana; 2013.
9. Mackinnon SE, Yee A, Ray WZ. Nerve transfers for the restoration of hand function after spinal cord injury. *J Neurosurg*. 2012; 117 (1): 176-185.
10. Burnett MG, Zager EL. Pathophysiology of peripheral nerve injury: a brief review. *Neurosurg Focus*. 2004; 16 (5): E1.
11. Spinner RJ, Kline DG. Surgery for peripheral nerve and brachial plexus injuries or other nerve lesions. *Muscle Nerve*. 2000; 23 (5): 680-695.
12. Penkert G, Fansa H. Peripheral nerve lesions: nerve surgery and secondary reconstructive repair. New York: Springer; 2004.
13. Pretto-Flores L. The importance of the preoperative clinical parameters and the intraoperative electrophysiological monitoring in brachial plexus surgery. *Arq Neuro-Psiquiatr*. 2011; 69 (4): 654-659.
14. Iriarte J, Artieda JA. Manual de neurofisiología clínica. México: Panamericana; 2012.
15. Scialabassi J, Donald C, Miguel H. Technological advances in intraoperative neurophysiological monitoring. *Handbook of Clinical Neurophysiology*. 2008; 8: 464-480.
16. Gavaret M, Jouve JL, Péréon Y, Accadbled F, André-Obadia N, Azabou E et al. Intraoperative neurophysiologic monitoring in spine surgery. Developments and state of the art in France in 2011. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013; 99 (6 Suppl): S319-S327.
17. Jameson LC, Sloan TB. Neurophysiologic monitoring in neurosurgery. *Anesthesiol Clin*. 2012; 30 (2): 311-331.
18. Kim SM, Kim SH, Seo DW, Lee KW. Intraoperative neurophysiologic monitoring: basic principles and recent update. *J Korean Med Sci*. 2013; 28 (9): 1261-1269.
19. Slimp JC. Intraoperative monitoring of nerve repairs. *Nerve Repair Recon*. 2000; 16 (1): 25-36.
20. Wang H, Spinner R. Intraoperative testing and monitoring during peripheral nerve surgery. *Handbook of Clinical Neurophysiology*. 2008; 8: 764-773.
21. Collado-Corona MÁ, Leo-Vargas R, Sandoval-Sánchez V, Díaz-Hernández A, Gutiérrez-Sougarret BJ, Shkurovich-Bialik P. Vigilancia neurofisiológica transoperatoria multimodal en cirugía de columna. *Cir Cir*. 2009; 77 (5): 385-390.
22. Holland NR. Intraoperative electromyography. *J Clin Neurophysiol*. 2002; 19 (5): 444-453.
23. Malessy MJ, Pondaag W, van Dijk JG. Electromyography, nerve action potential, and compound motor action potentials in obstetric brachial plexus lesions: validation in the absence of a "gold standard". *Neurosurgery*. 2009; 65 (4 Suppl): A153-A159.
24. Salengros JC, Pandin P, Schuind F, Vandesteene A. Intraoperative somatosensory evoked potentials to facilitate peripheral nerve release. *Can J Anesth*. 2006; 53 (1): 40-45.
25. Sutter M, Eggspuehler A, Muller A, Dvorak J. Multimodal intraoperative monitoring: an overview and proposal of methodology based on 1,017 cases. *Eur Spine J*. 2007; Supp 2: S153-S161.
26. Wang H, Bishop AT, Shin AY. Intraoperative testing and monitoring during brachial plexus surgery. *Handbook of Clinical Neurophysiology*. 2008; 8: 720-730.
27. Robert EG, Happel LT, Kline DG. Intraoperative nerve action potential recordings: technical considerations, problems, and pitfalls. *Neurosurgery*. 2009; 65 (4 Suppl): A97-A104.
28. Pondaag W, van der Veken LP, van Someren PJ, van Dijk JG, Malessy MJ. Intraoperative nerve action and compound motor action potential recordings in patients with obstetric brachial plexus lesions. *J Neurosurg*. 2008; 109 (5): 946-954.
29. Robla J, Domínguez M, Socolovsky M, Di G, Domitrovic A. Técnicas modernas en microcirugía de los nervios periféricos. Buenos Aires: Ediciones Journal; 2014.
30. Pindrik J, Chhabra A, Belzberg AJ. Update on peripheral nerve surgery. *Neurosurgery*. 2013; 60 Suppl 1: 70-77.