

Alternativa factible para la neuroestimulación intraoperatoria durante la cirugía del plexo braquial

Feasible alternative for intraoperative neurostimulation during brachial plexus surgery

Antonio Ismael Aparicio Morales¹ <https://orcid.org/0000-0002-6899-342X>

Yaima Rizo Fiallo¹ <https://orcid.org/0000-0002-5564-5530>

Mario de Jesús Bernal González¹ <https://orcid.org/0000-0003-4640-3238>

¹Complejo Científico Ortopédico Internacional “Frank País”. La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia: aiam@nauta.cu

RESUMEN

Introducción: La neuroestimulación intraoperatoria constituye una técnica esencial durante la cirugía del plexo braquial, pues permite la identificación específica de las estructuras neurales. En determinadas circunstancias, la intensidad precisa de la estimulación nerviosa y la respuesta motora evocada, las cuales son fundamentales para la toma de decisiones críticas durante el acto quirúrgico.

Objetivo: Describir la utilización de un neuroestimulador de anestesia regional para la localización neural intraoperatoria durante la cirugía del plexo braquial en dos pacientes.

Presentación de casos: Caso 1: paciente con diagnóstico de lesión del fascículo lateral del plexo braquial derecho y lesión alta del nervio radial homolateral. La estimulación neural, con estímulos graduales y progresivos, permite la diferenciación adecuada de los nervios mediano, cubital, musculocutáneo y cutáneo braquial lateral, el fascículo motor del nervio cubital que inerva el músculo cubital anterior, y el fascículo motor del nervio musculocutáneo que inerva el bíceps, lo que posibilita la neurotización entre ambos fascículos.

Caso 2: paciente con diagnóstico de lesión total del plexo braquial izquierdo, posganglionar. Luego de la exploración y neurólisis, se identificó el tronco superior, se efectuó la estimulación eléctrica gradual, lo que requirió una elevada intensidad, y se registró, únicamente, como respuesta motora evocada la contracción débil del músculo pectoral mayor ipsilateral.

Conclusiones: La utilización de un neuroestimulador de anestesia regional para la localización neural durante la cirugía del plexo braquial, presenta ventajas prácticas relevantes en relación con los neuroestimuladores desechables, así como una relación costo-beneficio apropiada para su implementación en entornos y naciones de recursos limitados.

Palabras clave: lesión del plexo braquial; cirugía del plexo braquial; estimulador de nervios periféricos.

ABSTRACT

Introduction: Intraoperative neurostimulation is an essential technique during brachial plexus surgery, as it allows the specific identification of neural structures. In certain circumstances, the precise intensity of nerve stimulation and the evoked motor response are fundamental for making critical decisions during the surgical act.

Objective: Describe the use of a neurostimulator of regional anaesthesia for intraoperative neural localization during brachial plexus surgery in two patients.

Case presentation: Case 1: patient diagnosed with lesion of the lateral fasciculus of the right brachial plexus and high lesion of the homolateral radial nerve. Neural stimulation, with gradual and progressive stimuli, allows the adequate differentiation of the median, ulnar, musculocutaneous and lateral brachial cutaneous nerves, the motor fasciculus of the ulnar nerve that innervates the anterior ulnar muscle, and the motor fasciculus of the musculocutaneous nerve that innervates the biceps, which enables neurotization between both fascicles.

Case 2: patient diagnosed with total lesion of the left brachial plexus, postganglionic. After the exploration and neurolysis, the upper trunk was identified, the gradual electrical stimulation was carried out, which required a high intensity, and the weak contraction of the ipsilateral pectoralis major muscle was recorded only as an evoked motor response.

Conclusions: The use of a neurostimulator of regional anesthesia for neural localization during brachial plexus surgery presents relevant practical advantages in relation to disposable neurostimulators, as well as an appropriate cost-benefit ratio for their implementation in environments and nations of limited resources.

Keywords: brachial plexus injury; brachial plexus surgery; peripheral nerve stimulator.

Recibido: 22/03/2021

Aprobado: 28/03/2021

Introducción

La cirugía de nervios periféricos constituye una subespecialidad practicada por neurocirujanos, cirujanos plásticos, ortopédicos y traumatólogos, a la cual se le relacionan preceptos erróneos e imprecisos, tales como que el déficit neurológico en las lesiones nerviosas periféricas es permanente e irreversible, la imposibilidad de regeneración neural y la desfavorable recuperación funcional a largo plazo.⁽¹⁾ No se considera una cirugía de supervivencia sino transformadora, pues tiene un impacto sustancial en la calidad de vida del paciente, al optimizar su desempeño

en las actividades rutinarias y profesionales, así como su bienestar físico y psicológico.⁽²⁾

Las lesiones del plexo braquial (LPB), devastadoras e incapacitantes, conllevan a la pérdida parcial o completa de las funciones sensitivas y motoras del miembro superior, dolor neuropático crónico, morbilidad psíquica e implicaciones socioeconómicas considerables, con un costo indirecto estimado en \$1 113 962 anuales por paciente, solo en los Estados Unidos.⁽³⁾

La etiopatogenia clásica de las LPB en adultos, descrita por Narakas hace más de tres décadas,⁽⁴⁾ se fundamentó en una población de 1068 pacientes registrados en un período de 18 años (de los cuales se intervinieron solo 338), y formulaba la “regla de 7x70”:

- más del 70 % de las LPB fueron causadas por accidentes de tránsito
- el 70 % ocurrieron en motocicletas o bicicletas
- el 70 % del último grupo sufrieron politraumatismos
- el 70 % tuvo una lesión supraclavicular
- un 70 % presentó al menos una lesión radicular
- el 70 % de las avulsiones fueron en el plexo braquial inferior (C8-T1)
- el 70 % de los pacientes con avulsión radicular desarrolló dolor neuropático crónico.

Kaiser y otros⁽⁵⁾ realizaron una revisión sistemática y metaanálisis de artículos publicados entre 1985 y 2017, donde se registraron LPB graves que requirieron cirugía reconstructiva (n: 3032). Como datos epidemiológicos y etiopatogénicos relevantes se constata una prevalencia de LPB cerradas del 93 %, de las cuales el 67 % se debieron a accidentes de motocicletas, el 14 % a automóviles; y el 93 % de los afectados fueron del sexo masculino, con un rango de edad promedio entre 23-34 años.

Las LPB originadas durante el trabajo de parto, comúnmente denominadas como parálisis braquial obstétrica,⁽⁶⁾ lesión del plexo braquial del nacimiento,⁽⁷⁾ o la definición más recomendable, parálisis del plexo braquial neonatal^(8,9) tienen una incidencia estimada entre 1.6-2.6 cada 1000 nacimientos.⁽¹⁰⁾ Entre sus principales factores de riesgo se encuentran la distocia de hombro, macrosomía fetal, diabetes materna, parto instrumentado y la presentación podálica.⁽⁸⁾

Las LPB se pueden clasificar como altas (C5, C6, con o sin lesión de C7), bajas (C8, T1) o totales (C5, C6, C7, C8, T1). Entre las técnicas quirúrgicas principales se incluyen la reparación con o sin injerto neural, neurólisis, transferencia neural (neurotización), transferencia tendinosa, transferencia muscular, y la transferencia muscular de libre funcionamiento;⁽¹¹⁾ intervenciones que favorecen el progreso en la rehabilitación funcional,^(12,13) principalmente, si se realizan dentro de un marco temporal inferior a los 6 meses de evolución.⁽¹⁴⁾

La estimulación eléctrica de nervios periféricos o neuroestimulación, procedimiento desarrollado durante la década de 1970 para la localización neural

durante la realización de bloqueos terapéuticos,⁽¹⁵⁾ ha sido relegada a un rol secundario en la anestesia regional en favor de la ultrasonografía como método complementario para la monitorización del contacto del nervio con la aguja, o la detección de nervios difíciles de visualizar con el ecógrafo.⁽¹⁶⁾ Sin embargo, la neuroestimulación intraoperatoria constituye una técnica esencial durante la cirugía del plexo braquial (CPB), pues permite la identificación específica de las estructuras neurales, y en determinadas circunstancias (transferencias nerviosas distales, neurólisis de neuromas en continuidad), la intensidad precisa de la estimulación nerviosa y la respuesta motora evocada son fundamentales para la toma de decisiones críticas durante el acto quirúrgico.^(17,18,19)

El objetivo de la investigación fue describir la utilización de un neuroestimulador de anestesia regional para la localización neural intraoperatoria durante la cirugía del plexo braquial en dos pacientes.

Presentación de casos

Caso 1

Paciente masculino de 27 años de edad, con antecedentes de salud, que sufrió una herida por arma blanca a nivel de la cara anterior del hombro derecho. Comenzó a presentar dificultad para la movilización del miembro superior ipsilateral. Acude a consulta con 11 meses de evolución refiriendo dificultad para la flexión del codo y la extensión de la muñeca y los dedos, lo que le dificultaba la realización de sus actividades diarias.

Datos positivos al examen físico

Inspección: cicatriz de herida a nivel infraclavicular, en el borde superior del hueco axilar. Marcada atrofia de los compartimentos anterior y posterior del brazo, así como de la región posterior y lateral del antebrazo. Codo en extensión, antebrazo en pronación, mano péndula con los dedos medianamente flexionados y el pulgar en flexión y aducción.

Palpación: signo de Tinel positivo a nivel de la cicatriz. Disminución del diámetro circunferencial del miembro superior derecho. Imposibilidad a la supinación y extensión activa del codo, pero no pasiva. Imposibilidad para la extensión activa de muñeca y de las articulaciones metacarpo-falángicas.

Tono y trofismo muscular: hipotonía marcada de la musculatura del brazo, tanto del compartimento anterior como posterior, así como de la región dorso lateral del antebrazo.

Fuerza muscular: grado 0/5 (método de Daniels) de los músculos flexores (braquial anterior, bíceps braquial y coracobraquial) y extensores (tríceps) del codo, así como los músculos dorsolaterales del antebrazo (extensor radial largo y corto del carpo, braquiorradial).

Reflejos: ausencia de los reflejos bicipital, tricipital, estilorradiar y estilocubital.

Sensibilidad: parestesias en el borde dorsal lateral del antebrazo, desde el codo hasta la muñeca.

Impresión diagnóstica: lesión del fascículo lateral del plexo braquial derecho, lesión alta del nervio radial homolateral.

Intervención quirúrgica: técnica de Oberlin.

Se realiza una incisión a nivel del tercio medio del brazo derecho, en su región interna, localizada a 10 cm del hueco axilar. Se profundiza por planos entre los músculos bíceps y tríceps, se localizan y diferencian los nervios medianos, cubital, musculocutáneo y cutáneo braquial lateral, mediante neuroestimulación, utilizando estímulos graduales y progresivos (Fig. 1). Se localiza el fascículo motor del nervio cubital que inerva el músculo cubital anterior, y el fascículo motor del nervio musculocutáneo que inerva el bíceps; posteriormente, se realiza la neurotización del fascículo del nervio cubital hacia el fascículo del nervio musculocutáneo.

Al momento de la redacción del manuscrito, el paciente tenía tres meses de evolución posquirúrgica, aún insuficientes para realizar una valoración de la recuperación funcional objetiva.

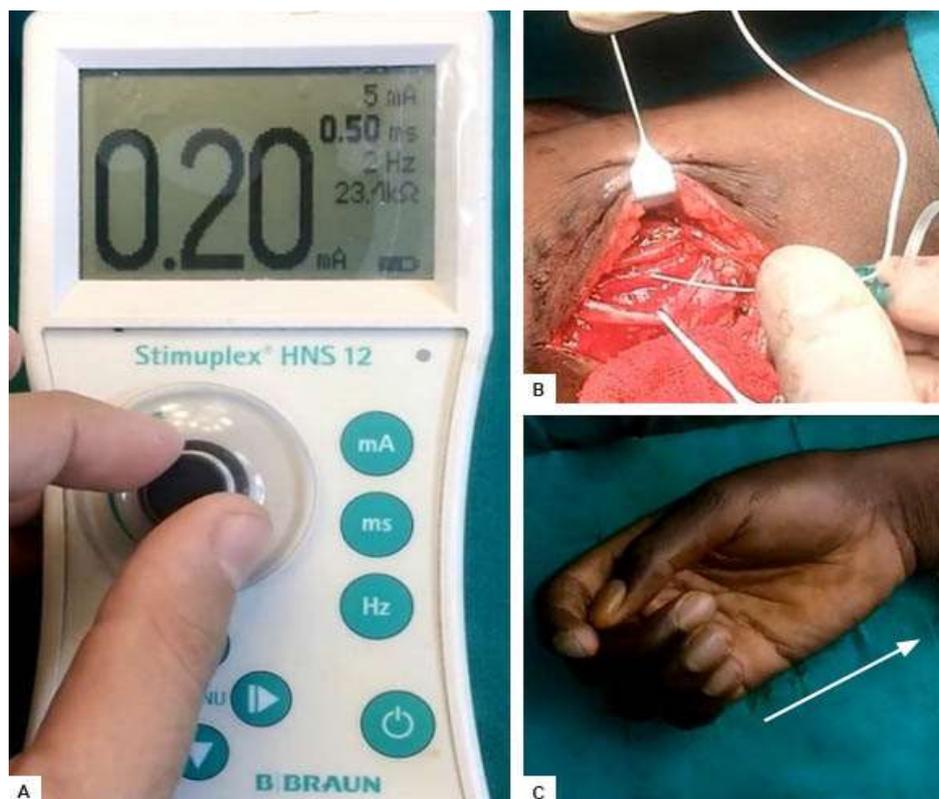


Fig. 1 - A. Manipulación del neuroestimulador por el anestesiólogo, fuera del campo quirúrgico (Intensidad: 0.20 mA; Frecuencia: 2 Hz; Duración: 0.50 ms).
 B. Estimulación del nervio mediano a nivel del tercio medio del brazo derecho, utilizando una aguja B.Braun Stimuplex® D 22 Ga.
 C. Flexión radial de la muñeca secundaria a la estimulación del nervio mediano.

Caso 2

Paciente masculino de 22 años de edad, con antecedentes de politraumatismo consecuencia de un accidente de tránsito en un ciclomotor, que acude a consulta con una lesión del plexo braquial izquierdo de 12 meses de evolución, refiriendo dolor neuropático crónico de gran intensidad (VAS de 8-9 puntos) en las regiones dorsal de la mano y dorso lateral del antebrazo.

Datos positivos al examen físico

Inspección: miembro superior izquierdo péndulo. Movimiento ascendente del hombro por la acción del músculo trapecio. No se constata signo de Horner. Signos simpático-vegetativos: piel fina y brillante, con ausencia de pliegues, anhidrosis, uñas con estrías y curvas anormales en los planos longitudinales y transversales.

Palpación: disminución del diámetro circunferencial del miembro superior izquierdo. Se confirma la contracción de los músculos paravertebrales dorsales, romboides mayor y menor izquierdos.

Tono y trofismo muscular: hipotonía y atrofia marcada de todos los grupos musculares del miembro superior izquierdo.

Fuerza muscular: grado 0/5 (método de Daniels) de todos los músculos del miembro superior izquierdo.

Reflejos: ausencia de los reflejos bicipital, tricipital, estilorradiar y estilocubital.

Sensibilidad: dolor neuropático en las regiones dorsal de la mano y dorso lateral del antebrazo izquierdo.

Impresión diagnóstica: lesión total del plexo braquial izquierdo, post ganglionar.

Intervención quirúrgica: exploración y neurólisis.

Se realiza un abordaje supraclavicular izquierdo, mediante incisión en Z, siguiendo el borde posterior del músculo esternocleidomastoideo, y el borde inferior de la clavícula; se eleva la aponeurosis superficial con el músculo platisma, se identifica el músculo omohioideo como punto de guía y se secciona en su porción tendinosa. Se disecciona la aponeurosis del músculo escaleno anterior y se localiza el nervio frénico mediante neuroestimulación (intensidad: 0.05 mA; frecuencia: 3 Hz; duración: 0.10 ms), constatando descensos transitorios agudos en la meseta espiratoria de la capnografía (modo ventilación controlada por presión, VCP).

Se observa una zona de abundante fibrosis que dificulta la localización y disección de las estructuras anatómicas. Luego de la neurólisis, se identifica el tronco superior, se efectúa la estimulación eléctrica gradual, requiriendo una elevada intensidad (2.60 mA), tras la cual se registra, únicamente, como respuesta motora evocada la contracción débil del músculo pectoral mayor ipsilateral (Fig 2). Se identifica el tronco medio, sin evidencia de respuesta motora tras la estimulación a alta intensidad, y no fue posible localizar el tronco inferior, debido a la fibrosis circundante y el elevado riesgo de lesión de estructuras vasculares adyacentes.

A los treinta días de evolución posquirúrgica, se constata la disminución de la intensidad del dolor neuropático (VAS de 2-3 puntos), localizado en la región posterior del codo.

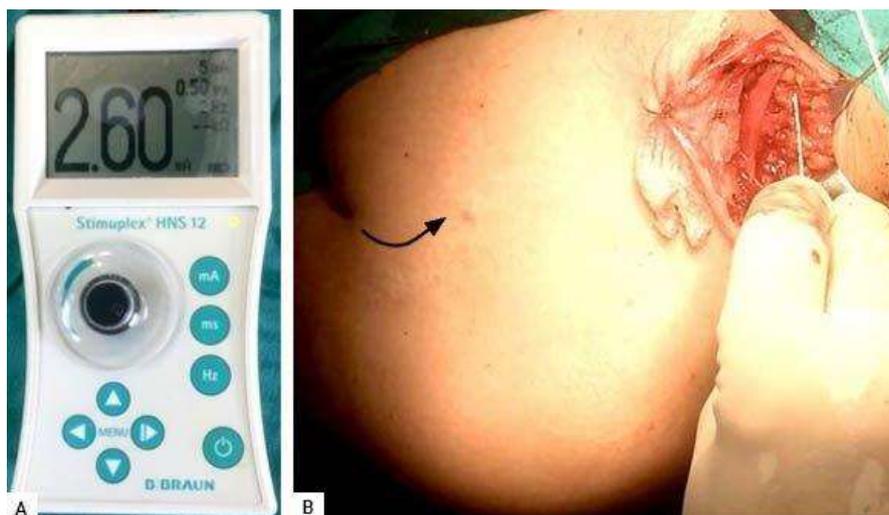


Fig. 2 - A. Neuroestimulador (Intensidad: 2.60 mA; Frecuencia: 2 Hz; Duración: 0.50 ms).
B. Estimulación del tronco superior, a nivel supraclavicular izquierdo, utilizando una aguja B. Braun Stimuplex® D 22 Ga, tras lo cual solo se registra como respuesta motora evocada la contracción del músculo pectoral mayor ipsilateral.

Conducción anestésica

En ambos pacientes se utilizó la técnica de anestesia total intravenosa y analgesia multimodal, basadas en la administración de propofol [Infusión controlada por objetivo (TCI), modelo farmacocinético Marsh, Cp 2.5-4 µg/mL], ketamina (TCI manual, modelo farmacocinético Domino, Cp 0.2 µg/mL), sulfato de magnesio (bolo de 10 mg/Kg; seguido de infusión 10-15 mg/Kg/h), lidocaína (bolo de 1 mg/Kg; seguido de infusión 1-1.5 mg/Kg/h), fentanilo (bolo de 3µg/Kg en la inducción), así como antieméticos (ondansetrón, dexametasona), analgésicos complementarios (diclofenaco, metamizol, tramadol) y la infiltración de la herida quirúrgica con bupivacaína al 0,25 %.

La utilización del neuroestimulador requiere evitar los bloqueantes neuromusculares durante el período intraoperatorio, pues imposibilitan la obtención de una respuesta motora evocada. Solo se administró una dosis única de un agente de acción intermedia (atracurio 0,5 mg/Kg) para facilitar la intubación orotraqueal.

Se realizó monitorización estándar con electrocardiograma continuo DII, tensión arterial no invasiva, SpO₂ y etCO₂.

Discusión

La elección del tipo de neuroestimulador a utilizar durante la CPB difiere según la disponibilidad de los múltiples modelos comerciales existentes en el mercado, aunque de forma general, se pueden definir tres modalidades principales: la utilización de pinzas quirúrgicas unipolares⁽²⁰⁾ o bipolares^(21,22,23) convencionales, con la desventaja de que están diseñadas para la electrocauterización tisular, no

para la localización neural, por lo que pueden ocasionar lesiones térmicas aún sin estar en contacto directo con las fibras nerviosas;⁽²⁴⁾ los neuroestimuladores desechables^(7,12,17,25) y los neuroestimuladores para anestesia regional.⁽¹⁷⁾

Además de la neuroestimulación, existen otros métodos experimentales para la localización neural intraoperatoria durante la cirugía de nervios periféricos, como la electroneurografía⁽²⁶⁾ y espectroscopia óptica de reflectancia difusa;⁽²⁷⁾ entre otras técnicas más complejas y exclusivas desarrolladas para la diferenciación de fascículos como el análisis histoquímico (acetilcolinesterasa, anhidrasa carbónica, colina acetiltransferasa), inmunohistoquímico (annexina V, agrina), métodos físicos (espectroscopia cercana al infrarrojo, radioisótopos, potenciales evocados) y la observación de puntos cuánticos.⁽²⁸⁾

Neuroestimuladores totalmente desechables *versus* neuroestimuladores para anestesia regional

Los neuroestimuladores totalmente desechables se han utilizado en la CPB debido a que todo el dispositivo es estéril y portátil, lo que facilita su inserción dentro del campo quirúrgico. El modelo de referencia es el VARI-STIM® III (Medtronic Inc., Minneapolis, Minnesota, Estados Unidos); permite administrar estímulos con una intensidad fija de 0.5, 1 y 2 mA, sin regular la duración ni la frecuencia, el ánodo se introduce mediante punción en el tejido celular subcutáneo, y tiene un precio de \$ 100 por set de 10 unidades.

Otro modelo más reciente y sofisticado es el Checkpoint® (Checkpoint Surgical Inc., Cleveland, Ohio, Estados Unidos), que administra estímulos de onda bifásica, con una intensidad fija de 0.5, 2 y 20 mA, frecuencia de 16 Hz que origina contracciones tetánicas, duración hasta 0.20 ms, y un precio de \$159 por unidad.

Thallaj y otros⁽¹⁷⁾ realizaron un estudio retrospectivo donde compararon la efectividad de dos dispositivos para la neuroestimulación intraoperatoria durante la CPB (n: 60). En el primer grupo (n₁: 30) utilizaron el VARI-STIM® III, y en el segundo grupo (n₂: 30), el B. Braun Stimuplex® HNS 11 (B. Braun Medical Inc., Bethlehem, Pennsylvania, Estados Unidos), lo que constituye el primer reporte sobre el empleo de un neuroestimulador para anestesia regional en la CPB. Los dispositivos desechables presentaron mal funcionamiento al menos una vez por cirugía, requiriendo 70 unidades para las 30 intervenciones realizadas en ese grupo, y no se constataron fallas en el dispositivo para anestesia regional.

Alternativa para la neuroestimulación intraoperatoria durante la CPB

Los autores del presente artículo utilizan rutinariamente el neuroestimulador B. Braun Stimuplex® HNS 12 (B. Braun Mensulgen AG, Melsungen, Alemania) durante las cirugías del plexo braquial realizadas en su centro asistencial, pues presenta ventajas prácticas relevantes en relación a los dispositivos desechables, así como

una relación costo-beneficio apropiada para su implementación en entornos y naciones de recursos limitados.

El dispositivo, no estéril, alimentado por una batería reemplazable de 9V, aunque tiene un precio de \$1000 por unidad en el mercado internacional, el fabricante certifica una vida útil de 999 meses, lo cual le otorga una rentabilidad superior a largo plazo. Para su utilización se recomiendan las agujas de la serie Stimuplex® y Contiplex® (B. Braun Mensulgen AG, Melsungen, Alemania), con un precio promedio entre \$ 9-15 según modelo. Si bien el cable de conexión, de tipo RBW-5U o RBW-5L, posibilita su compatibilidad con agujas de otros fabricantes como Pajunk® (Pajunk GmbH Medizintechnologie, Geinsingen, Alemania) y Avanos® (Avanos Medical Inc., Georgia, Estados Unidos), y le brinda mayor versatilidad al producto.

Previo desinfección con povidona iodada y solución hidroalcohólica, se recubren los cables de conexión (cable doble de 1,25 m de longitud) con fundas estériles independientes, así el ánodo se conecta a un electrodo de electrocardiograma estándar, situado en la extremidad a intervenir, a más de 20 cm del foco de estimulación, cubierto por el campo quirúrgico, y el cátodo se enlaza a la aguja de estimulación, estéril y solo manipulada por los cirujanos. Las agujas se esterilizan posteriormente con óxido de etileno, lo que aumenta su vida útil y capacidad de reutilización.

Al contrario que los dispositivos desechables, que tienen intensidades de estimulación predeterminadas por el fabricante, (0.5, 1, 2 y 20 mA), el neuroestimulador B. Braun Stimuplex® HNS 12 suministra estímulos desde 0.1 hasta 5 mA, con incrementos progresivos de 0.01 mA (para intensidades inferiores a 1 mA) y 0.1 mA (para intensidades superiores a 1 mA), además de una frecuencia (1, 2 y 3 Hz) y duración (0.05, 0.1, 0.3, 0.5 y 1 ms) variables, que permiten individualizar la estimulación a las características específicas de las fibras nerviosas.

Ejemplos:⁽¹⁷⁾

- La intensidad mínima de los dispositivos desechables (0.5 mA) puede causar sobreestimulación de los fascículos adyacentes, particularmente, antes de la disección interfascicular, lo que requiere aumentos graduales de la intensidad comenzando desde 0.1 mA.
- La decisión intraoperatoria sobre escindir los neuromas en continuidad o realizar neurólisis se basa, principalmente, en la respuesta motora evocada, que precisa de estímulos graduales y progresivos.
- Un nervio lesionado puede necesitar duraciones del estímulo más largas para lograr una respuesta motora efectiva.
- Determinados nervios pueden requerir frecuencias superiores a 1 Hz para su adecuada localización, como el espinal accesorio.

Entre las múltiples técnicas quirúrgicas empleadas en la CPB, la reinervación del nervio supraescapular, mediante la transferencia del nervio frénico, uno de los métodos para restaurar la función del hombro, tiene características de particular interés para el anestesiólogo, debido al compromiso de la función respiratoria. Luego de la extracción del nervio frénico, se produce parálisis hemidiafragmática ipsilateral, que origina una disminución de los parámetros espirométricos durante los 12 a 24 meses posteriores a la cirugía.⁽¹¹⁾ En consideración, los pacientes con comorbilidades respiratorias asociadas, como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, obesidad, antecedentes de traumatismo de tórax o trastornos restrictivos pulmonares, no son candidatos para la transferencia del nervio frénico, por lo que deben valorarse técnicas alternativas como la transferencia del nervio espinal accesorio.

La respuesta evocada a la estimulación eléctrica del nervio frénico puede monitorizarse, indirectamente, a través de la capnografía, las curvas de presión-tiempo y flujo-tiempo del ventilador. La capnografía muestra descensos transitorios agudos en la meseta espiratoria (modo ventilación controlada por presión, VCP) o reducción gradual de su amplitud (modo ventilación controlada por volumen, VCV). Las curvas de presión-tiempo exhiben elevaciones sucesivas en “forma de sierra”; y las curvas flujo-tiempo evidencian cambios variables en la línea basal, como ciclos respiratorios “en miniatura” luego del flujo espiratorio (VCP), u ondulaciones súbitas en el flujo inspiratorio (VCV).⁽²⁹⁾

La utilización de un neuroestimulador de anestesia regional para la localización neural durante la cirugía del plexo braquial, presenta ventajas prácticas relevantes en relación a los neuroestimuladores desechables, así como una relación costo-beneficio apropiada para su implementación en entornos y naciones de recursos limitados.

Referencias bibliográficas

1. Rasulić L. Peripheral nerve surgery: the road less traveled. *Acta Neurochir.* 2018;160:1587-9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00701-018-3569-x>
2. Rasulic L, Savic A, Zivkovic B, Vitosevic F, Micovic M, Bascarevic V, *et al.* Outcome after brachial plexus injury surgery and impact on quality of life. *Acta Neurochir.* 2017;159:1257-64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00701-017-3205-1>
3. Hong TS, Tian A, Sachar R, Ray WZ, Brogan DM, Dy CJ. indirect cost of traumatic brachial plexus injuries in the United States. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101:e80. DOI: <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.18.00658>
4. Narakas AO. The treatment of brachial plexus injuries. *Int Orthop.* 1985;9:29-36. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00267034>
5. Kaiser R, Waldauf P, Ullas G, Krajcová A. Epidemiology, etiology, and types of severe adult brachial plexus injuries requiring surgical repair: systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev.* 2018;10 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10143-018-1009-2>

6. Coroneos CJ, Voineskos SH, Christakis MK, Thoma A, Bain JR, Brouwers MC. Obstetrical brachial plexus injury (OBPI): Canada's national clinical practice guideline. *BMJ Open*. 2017;7:e014141. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2016-014141>
7. Vu AT, Sparkma DM, Belle CJ, Yakuboff KP, Schwentker AR. Retropharyngeal contralateral C7 nerve transfer to the lower trunk for brachial plexus birth injury: technique and results. *J Hand Surg Am*. 2018;43(5):417-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2017.12.001>
8. Looven RVD, Roy LL, Tanghe E, Samijn B, Roets E, Pauwels N, *et al*. Risk factors for neonatal brachial plexus palsy: a systematic review and meta-analysis. *Dev Med Child Neurol*. 2020;62(6):673-83. DOI: <https://doi.org/10.1111/dmcn.14381>
9. Smith BW, Daunter AK, Yang LJS, Wilson TJ. An update on the management of neonatal brachial plexus palsy. replacing old paradigms. a review. *JAMA Pediatr*. 2018;172(6):585-91. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2018.0124>
10. Coroneos CJ, Voineskos SH, Coroneos MK, Alolabi N, Goekjian SR, Willoughby LI, *et al*. Primary nerve repair for obstetrical brachial plexus injury: a meta-analysis. *Plast Reconstr Surg*. 2015;136:765-79. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/PRS.0000000000001629>
11. Hsueh YH, Tu YK. Surgical reconstructions for adult brachial plexus injuries. Part I: Treatments for combined C5 and C6 injuries, with or without C7 injuries. *Injury*. 2020;51:787-803]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.02.076>
12. Pages L, Hanneur ML, Cambon-Binder A, Belkheyar Z. C5/C6 brachial plexus palsy reconstruction using nerve surgery: long-term functional outcomes. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2020;106:1095-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.03.033>
13. Siqueira MG, Heise CO, Alencar GC, Martins RS, Foroni L. Outcomes from primary surgical reconstruction of neonatal brachial plexus palsy in 104 children. *Childs Nerv Syst*. 2019;35:349-54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00381-018-04036-5>
14. Martin E, Senders JT, DiRisio AC, Smith TR, Broekman MLD. Timing of surgery in traumatic brachial plexus injury: a systematic review. *J Neurosurg*. 2019;130:1333-45. DOI: <https://thejns.org/doi/abs/10.3171/2018.1.JNS172068>
15. Smith BL. Efficacy of a nerve stimulator in regional analgesia; experience in a resident training programme. *Anaesthesia*. 1976;31:778-82. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.1976.tb11869.x>
16. Gadsden JC. The role of peripheral nerve stimulation in the era of ultrasound-guided regional anaesthesia. *Anaesthesia*. 2021;76(Suppl. 1):65-73. DOI: <https://doi.org/10.1111/anae.15257>
17. Thallaj A, Alotaibi WM, Zahrani TA, Abaalkhail AS, El-Sayed AAF, Al-Qattan MM. Intraoperative nerve stimulation during brachial plexus surgery: comparison between a totally disposable nerve stimulator and nerve stimulator normally used for nerve blocks. *plast surg*. 2017;25(3):171-4. DOI: <https://doi.org/10.1177/2292550317716120>

18. Teboul F, Kakkar R, Ameer N, Beaulieu JY, Oberlin C. Transfer of fascicles from the ulnar nerve to the nerve to the biceps in the treatment of upper brachial plexus palsy. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86(7):1485-90. DOI: <https://doi.org/10.2106/00004623-200407000-00018>
19. Clarke HM, Al-Qattan MM, Curtis CG, Zuker RM. Obstetrical brachial plexus palsy: results following neurolysis of conducting neuromas-in-continuity. *Plast Reconstr Surg.* 1996;97(5):974-82. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006534-199604001-00014>
20. Lee DY, Chi J-Y, Seok J, Han S, Lee M-H, Jeong W-J, *et al.* Feasibility of Brachial Plexus Schwannoma Enucleation With Intraoperative Neuromonitoring. *Clin Exp Otorhinolaryngol.* 2020;13(2):203-8. DOI: <https://doi.org/10.21053/ceo.2019.01207>
21. Pondaag W, Driest FY, Groen JL, Malessy MJA. Early nerve repair in traumatic brachial plexus injuries in adults: treatment algorithm and first experiences. *J Neurosurg.* 2019;130:172-8. DOI: <https://thejns.org/doi/abs/10.3171/2017.7.JNS17365>
22. Jung IH, Yoon KW, Kim YJ, Lee SK. Analysis according to characteristics of 18 cases of brachial plexus tumors: a review of surgical treatment experience. *J Korean Neurosurg Soc.* 2018;61(5):625-32. DOI: <https://doi.org/10.3340/jkns.2018.0045>
23. Pondaag W, Veken Lvd, Someren Pv, Dijk Jv, Malessy M. Intraoperative nerve action and compound motor action potential recordings in patients with obstetric brachial plexus lesions. *J Neurosurg.* 2008;109:946-54. DOI: <https://doi.org/10.3171/JNS/2008/109/11/0946>
24. Ohya S, Takahashi S, Tamai K, Hori Y, Hirakawa Y, Hoshino M, *et al.* Prevention of nerve root thermal injury caused by bipolar cauterization near the nerve roots. *Spine.* 2019;44(6):321-8. DOI: <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002846>
25. Dibble CF, Khalifeh JM, Voorhis AV, Rich JT, Ray WZ. Novel nerve transfers for motor and sensory restoration in high cervical spinal cord injury. *World Neurosurg.* 2019;128:611-5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.04.264>
26. Pei YC, Chen TY, Hsu PC, Lin CH, Huang JJ. An electroneurography-based assay for identifying injured nerve segment during surgery: design and in vivo application in the rat. *J Neural Eng.* 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aaff90>
27. Langhout GC, Kuhlmann KFD, Wouters MWJM, Hage JAVd, Coevorden Fv, Müller M, *et al.* Nerve detection during surgery: optical spectroscopy for peripheral nerve localization. *Lasers Med Sci.* 2018;7 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2433-1>
28. Agarwal P, Bajaj J, Sharma D. Techniques for differentiating motor and sensory fascicles of a peripheral nerve. a review. *Indian J Neurotrauma.* 2020;17:28-32. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0040-1713458>

29. Georgoulis G, Papagrigoriou E, Bracho GFP, Mertens P, Sindou M. Intraoperative monitoring of diaphragm neural pathways during cervical surgery by electrical stimulation and recordings of ventilator waveforms: physiological bases and pilot study. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2017;29(1):30-6. DOI: <https://doi.org/10.1097/ANA.0000000000000253>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

Trabajo de campo o asistencial, revisión, análisis y selección bibliográfica, confección del informe final, revisión y corrección del informe: Antonio Ismael Aparicio Morales.

Trabajo de campo o asistencial, confección del informe final, revisión y corrección del informe: Yaima Rizo Fiallo.

Revisión, análisis y selección bibliográfica, confección del informe final, revisión y corrección del informe: Mario de Jesús Bernal González.