

# 17 Estimulación de Nervios Periféricos: Técnica Abierta

*Michael Stanton-Hicks*

## RESUMEN DEL CAPÍTULO

**Sinopsis:** Aunque la estimulación del nervio periférico (ENP) ha mostrado ser efectiva en el tratamiento de muchos síntomas del dolor neuropático, no se ha tenido en cuenta en el ámbito clínico. Este capítulo considera algunos de los obstáculos del uso cada vez mayor del implante quirúrgico de los estimuladores ENP. Algunos de ellos son regulatorios: la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los Estados Unidos no ha aprobado la mayoría de los generadores de pulso implantables para el uso de la ENP; por tanto, su uso no ha sido autorizado. El dolor neuropático puede ser tratado con la ENP cuando no responde a otras modalidades. De la misma forma que en la modalidad neuroestimuladora, el éxito de la ENP radica en la adecuada selección del paciente, incluyendo su evaluación psicológica durante un periodo de prueba. En contraste a la estimulación de la médula espinal, la ENP ataca las neuronas aferentes de primer orden afectadas por la neuropatía. La anatomía e histología del nervio periférico representan consideraciones significativas en el exitoso uso de la ENP, particularmente en los nervios “mixtos” que llevan información tanto sensorial como motora. El capítulo también abarca los detalles técnicos de la implantación, muchos de los cuales son específicos de la localización -que deben ser considerados para el éxito de la ENP-. El desarrollo de electrodos específicos para la ENP, quizá incluyendo el nuevo dispositivo BION sin plomo, permitirá el avance de esta modalidad en los próximos años.

### Puntos Importantes:

- El alcance de la ENP es ilimitado
- Necesidad insatisfecha para tratar el dolor neuropático
- Uso de técnicas quirúrgicas mínimamente invasivas
- Son posibles las aplicaciones a un solo nervio o a múltiples nervios (plexos)
- Compatible con actividades de alto impacto

### Aciertos Clínicos:

- Permite una estimulación fascicular selectiva
- Utiliza una menor corriente terapéutica
- Asegura una interfaz óptima entre el nervio objetivo/electrodo
- Facilita la estabilización quirúrgica del electrodo

### Dificultades Clínicas:

- Potencial para el daño nervioso severo con trauma
- La estimulación terapéutica puede que no resulte del implante
- Puede requerir de la remoción si se requiere de una prueba IRM obligatoria

## Transfondo

Por casi 40 años la estimulación de los nervios periféricos ha sido utilizada para el control del dolor neuropático. De la misma forma que la estimulación de la médula espinal (EME), el mecanismo de la estimulación del nervio periférico (ENP) se cree que está basado en la teoría de control de entrada del dolor.<sup>1</sup> Aunque la ENP y EME han sido técnicas aceptadas para el tratamiento de dolor neuropático, la EME ha sido más ampliamente utilizada. Varios factores han impedido la evolución de la ENP, de los cuales no el menos importante es la percepción que la ENP es una modalidad huérfana. Esto ha dejado como resultado una ENP sin la atención médica que merece por parte de los fabricantes de los dispositivos implantables o cirujanos de implante. Desafortunadamente, la investigación adecuada de su alcance y aplicación continua siendo latente.

El implante quirúrgico abierto de los electrodos en la ENP, el cual ha sido descrito entre la década de 1970 y 1990, vislumbraba el interés

permanente en centros seleccionados de los Estados Unidos y en otros lugares para el manejo del dolor neuropático periférico por ENP.<sup>2-13</sup>

Otra desventaja para el desarrollo de la ENP es la carencia de cualquier esfuerzo coordinado por parte de los médicos quienes tienen el interés de promover el alcance de la ENP para entrar en discusión con la Administración de Alimentos y Drogas (FDA) de los Estados Unidos. Por ejemplo, se requiere un diálogo para extender la actual aprobación de la interfaz de la radiofrecuencia (RF) y una fuente de poder para el implantador, un generador de pulso implantable (GPI). Solo un fabricante, Medtronic (Minneapolis, Minn), cuenta con la aprobación de la FDA para proveer un electrodo en conjunto con un generador externo RF para la ENP. Todos los GPI, ya sean Medtronic, Sistemas de Neuromodulación Avanzada (SNA, Plano, Tex), o Boston Scientific (Valencia, Calif) que son utilizados en conjunto con la ENP son considerados indicaciones “no aprobadas”. El electrodo mismo de la ENP (en punto) se desarrolló originalmente como un electrodo

cuadripolar para el uso en la EME. Recientemente, la ENP ha recibido un impulso a través de los esfuerzos para desarrollar la estimulación del nervio occipital.<sup>14,15</sup>

**Definición**

“El dolor neuropático es un dolor causado por una lesión primaria, disfunción, o perturbación transitoria en el sistema nervioso central o periférico”.<sup>16</sup>

**Indicaciones**

La ENP está indicada para el tratamiento del dolor neuropático a lo largo de un nervio periférico o un tronco nervioso que sea crónico y que no responda al manejo médico convencional (MMC). La pérdida de función, la incapacidad para participar en la terapia de ejercicio y la no respuesta al anestésico local o bloques simpáticos, son consideraciones para la ENP. Los casos de dolor neuropático que se originan de una lesión del plexo o mononeuropatías debido a diversas causas puede tener adicionalmente una pérdida sensorial parcial o completa dentro de una región de un nervio en particular. Las indicaciones comunes para la ENP se muestran en la **Tabla 17-1**.

Varias condiciones sensibles a la ENP son las siguientes: neuralgia occipital;<sup>1,18</sup> neuralgia post-herpética;<sup>19,20</sup> dolor post-herniorrafia;<sup>21</sup> síndrome de dolor regional complejo (SDRC);<sup>22</sup> grupos de dolores de cabeza;<sup>23-26</sup> dolor de cabeza crónico diario;<sup>18,27</sup> coxigodinia;<sup>28</sup> fibromialgias;<sup>29</sup> dolor cervicogénico;<sup>30,31</sup> y migraña.<sup>32</sup> El dolor neurogénico después de una cirugía para el túnel de carpo o tarso y para el dolor post-herpético en una región del nervio periférico en la cara, tronco, o extremidades son indicaciones obvias para la ENP. Como consecuencia de las anteriores indicaciones, la no disponibilidad actual de diseños de electrodos dedicados, debería estimular la ingeniería de interfaces de electrodos específicos para los nervios. Otros campos de acción potenciales para la ENP son el ganglio esfenopalatino (GEP)<sup>26</sup> y el sistema nervioso autónomo.

Como es costumbre, en cada caso prospectivo de EME, es esencial obtener una evaluación psicológica para todos los pacientes potenciales de ENP. Esto ha sido resumido por Doleys.<sup>33</sup>

Aunque un ensayo de neuro-estimulación siempre precede la implantación de un EME, en el caso de la ENP abierta el éxito y estabilidad de esta técnica en la mayoría de los casos no justifica el riesgo de infección por tener una conexión externa a un generador de pulso por 48 a 73 horas. Adicionalmente, la elevada tasa de éxito de la modalidad imposibilita este paso inicial. Este abordaje no se utiliza en las aplicaciones percutáneas, en cuyo caso siempre es obligatoria una prueba.

**Contraindicaciones**

La PN no está asociada con muchas contraindicaciones a parte de las que se generan en todas las cirugías. Los pacientes con diátesis sangrante o aquellos en los cuales la discontinuación de anticoagulantes está contraindicada, obviamente son excluidos de la ENP. La infección activa, particularmente en los casos en los cuales la posibilidad de la bacteremia es alta y pacientes cuya condición médica o malignidad puede requerir de estudios de imagen por resonancia magnética (IRM) seriados, imposibilitaría la ENP en ese momento.

**Neuroanatomía**

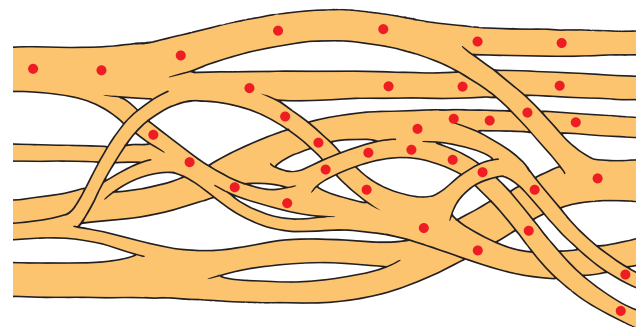
El axón es la unidad funcional de un nervio periférico. Tanto los axones aferentes y eferentes con sus células de Schwann están agrupados en una capa delicada de tejido endoneural (endoneuro). Este es un tejido conectivo que permite la difusión libre de líquidos desde y hacia las estructuras neurales. Cada haz de axones está rodeado por el perineuro. Los cuerpos celulares en el ganglio de la raíz dorsal son la fuente de un axón con una larga rama que se extiende a su fuente funcional periférica y una rama más corta que pasa desde su cuerpo celular a la médula espinal. Los axones sensoriales son unipolares y transmiten información sensorial desde los receptores en la periferia a las neuronas de segundo orden en la médula espinal. Por otro lado, las neuronas motoras que se originan de los cuerpos celulares en el cuerno central de la médula espinal, en contraste son multipolares, es decir, con muchas dendritas. En adición, el axón transporta impulsos periféricamente para activar sus órganos efectores específicos. Tanto las dendritas como los cuerpos celulares de estas neuronas están altamente especializadas para integrar las corrientes post-sinápticas que modulan los órganos efectores.

Las fibras nerviosas mielinizadas tienen muchas láminas concéntricas que forman una sola célula de Schwann. Los nódulos de Ranvier son interrupciones en la vaina de mielina donde las corrientes internas se regeneran durante la despolarización. El diámetro de un axón de una neurona sensorial varía desde tan pequeño como 2 µm a 11.75 µm.<sup>34,35</sup> Para facilitar la distribución regional y por tanto la cobertura sensorial, las fibras nerviosas se dividen en muchas ramas, permitiendo así la innervación significativa de una masa de tejido por una sola neurona. Clínicamente, esto produce un dolor que se puede originar en una sola neurona siendo transmitido por varias ramas hacia otros tejidos de la misma región. El reflejo axonal es otro mecanismo que permite que el dolor se sienta en un tejido sin alteraciones. En este caso, la transmisión anti-drómica pasa a otro tejido adyacente causando una expansión del área afectada. La **Tabla 17-2** enumera los diámetros de las fibras nerviosas, sus velocidades de conducción y función. La anatomía fascicular dentro de los troncos nerviosos se muestra en la **Fig. 17-1**. Las **Figs. 17-1** y **17-2**

**Tabla 17-1: Indicaciones para el Implante ENP Abierto (quirúrgico) Utilizando el Electrodo en un Punto (de superficie) Aprobado por la FDA**

Plexopatía braquial	
Mononeuropatía	<b>Extremidad superior</b>
	Nervio radial
	Nervio mediano
	Nervio cubital
	<b>Extremidad inferior</b>
	Nervio ciático
	Nervio peroneo
	Nervio tibial anterior
	Nervio tibial posterior

FDA, Administración de Alimentos y Drogas; ENP, estimulación del nervio periférico.



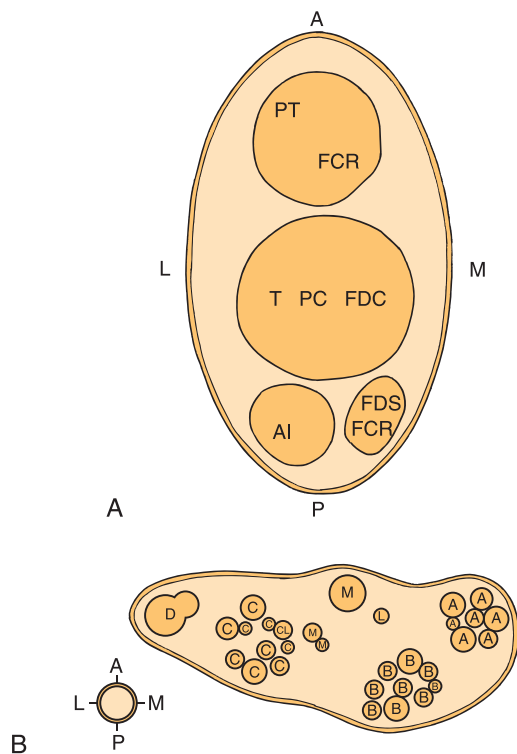
**Fig. 17-1** Patrón plexiforme de la anatomía fascicular en un nervio periférico. Los puntos muestran la distribución expansiva de las fibras nerviosas con proyección distal.

**Tabla 17-2: Clasificación y Características Fisiológicas de las Fibras Nerviosas Periféricas**

Clase	A $\alpha$	A $\beta$	A $\gamma$	A $\delta$	B	C
Función	Motor	Tacto/Presión	Propiocepción/ tono motor	Dolor/ temperatura	Pre-ganglio autónomo	Dolor/ temperatura
Mielina	+++	+++	++	++	+	-
Diámetro ( $\mu$ m)	12-20	5-12	1-4	1-4	1-3	0.5-1
Velocidad de conducción (m/sec)	70-120	30-70	10-30	12-30	10-15	0.5-1.2
Sensibilidad al anestésico local	‡‡	‡‡	‡‡‡	‡‡‡	‡‡	‡

+++ , Muy mielinizado; ++, moderadamente mielinizado; +, ligeramente mielinizado; -, no mielinizado; +++/+++ , más susceptible al bloqueo del impulso; +++/+++ , moderadamente susceptible; y +/-, menos susceptible.

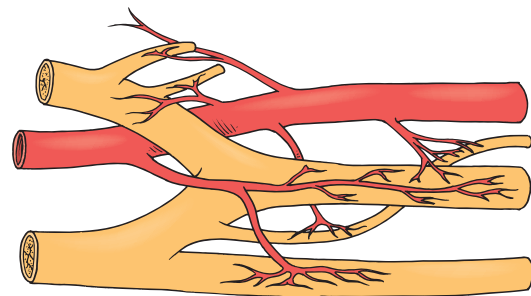
Adaptado de Strichartz, Pastijn, and Sugimoto: *Neural physiology and local anesthetic action*. In Cousins MJ et al, editors: *Cousins & Bridenbaugh 's neural blockade in clinical anesthesia and pain medicine*, ed 4, Philadelphia, 2008, Lippincott, Williams & Wilkins, pp 35.



**Fig. 17-2** **A**, Corte transversal del nervio mediano del codo. **B**, Los grupos de fascículos se muestran como círculos. Las letras AMPL reflejan la orientación. La letras dentro de cada fascículo son abreviaciones de los nervios motor distal y sensorial en el brazo y antebrazo.

muestran fibras nerviosas agrupadas dentro de una vaina laminada (epineuro) que cubre los axones.

Una acumulación de fibras nerviosas (haces de axones) se conoce como *fascículo*. Cada fascículo que contiene muchos axones está rodeado por una capa de tejido conectivo y perineuro. Todo el nervio está contenido dentro de una cubierta externa suelta, llamada epineuro. Aunque los fascículos varían en tamaño desde 0.04 a 4 mm, la mayoría se encuentra entre 0.04 y 2 mm de diámetro. A medida que los nervios proceden distalmente, estos fascículos comienzan a dividirse en unidades cada vez más pequeñas hasta volverse muy numerosos. En adición, esta organización adquiere una naturaleza topográficamente discreta, particularmente en nervios mixtos (motor y sensorial) y es responsable de proveer una vista íntima de la arquitectura fascicular.<sup>36-39</sup> Por ejemplo, en el nervio cubital detrás del epicóndilo medial, muchas fibras nerviosas están agrupadas en



**Fig. 17-3** Disección de la axila mostrando el suministro sanguíneo colateral desde la arteria axilar hasta varios nervios adyacentes.

un solo fascículo. Un hecho similar se encuentra en el nervio radial en el surco espinal, el nervio axilar detrás del humero y el nervio peroneo común en el muslo inferior.

La histología de las fibras nerviosas tiene una considerable relación con la capacidad de estimular selectivamente las fibras nerviosas sensoriales o motoras. El área transversal de un tronco nervioso está compuesta del 25% a 75% de tejido epineural, siendo la mayor cantidad en el nervio ciático en la región glútea y siendo la menor en el nervio cubita en el epicóndilo medial. Esta característica influye el efecto de la neuroestimulación. Entre mayor sea el grosor (mayor impedancia), más grande la atenuación del campo eléctrico. En una forma similar, esto afecta la difusión de los anestésicos locales y por tanto la cantidad necesaria para lograr su mecanismo de acción en el axón.

### Suministro Sanguíneo

Los vasa nervorum proveen nutrición a los nervios periféricos derivados de los vasos colaterales, los cuales son ramificaciones de las venas y arterias adyacentes (Fig. 17-3). Debido a la naturaleza dinámica de los tejidos y los movimientos de traslación de los nervios, los vasa nervorum son muy intrincados. La magnitud de este movimiento aumenta en la vecindad de las articulaciones. Hay una variación considerable del suministro sanguíneo colateral a través de la longitud de cada nervio. Esto tiene el efecto de crear varias zonas limítrofes en cada nervio entre las fuentes colaterales. Estas zonas relativamente pobres en nutrición, pueden poner en peligro la integridad del nervio y causar un alto grado de estrés hasta el punto de que la compresión puede comprometer la función nerviosa. A pesar de los riesgos anteriores, Ogata y Naito 1996<sup>40</sup> y Smith<sup>41</sup> reportaron que un flujo sanguíneo inter-neural reducido durante y/o después, por ejemplo, de una resección quirúrgica de un nervio, se restablece generalmente a los 3 días.

Muchas de las complicaciones que resultan de la estimulación nerviosa durante su evolución puede estar atribuidas principalmente a la

morbilidad inducida en el momento de la colocación del electrodo, la inexperiencia del médico y el lento desarrollo técnico general de los sistemas ENP. Una de las causas, puede deberse a la interfaz de anclaje electrodo-neural, un aspecto que ha sido en gran parte resuelto.

Ciertamente, la lesión de compresión o la contusión a un nervio es un factor grandemente disminuido subyacente a una morbilidad contemporánea ENP. El trauma pre-existente causado por un trauma congénito, ocupacional o incidental ahora es el responsable en gran medida de cualquier morbilidad ENP asociada.

### Física y Fisiología Subyacente a la Neuroestimulación

El mecanismo por el cual la ENP logra su efecto es la activación de las fibras periféricas A $\beta$  de umbral bajo, las cuales en cambio inhiben la actividad de los nociceptores de poco diámetro A $\beta$  y las fibras-C. La modulación de la entrada del nociceptor es directa a través de una activación selectiva de las fibras A $\beta$ , dando lugar a potenciales inhibitorios post-sinápticos o vía indirecta a través de las interneuronas espinales inhibitorias.<sup>42</sup> La actividad de las fibras periféricas A $\beta$  involucra probablemente los trayectos del lemnisco medial, los cuales por su parte proveen una entrada al núcleo medial ventral posterior del tálamo, anulando así la entrada aferente desde los tractos espinotálamicos.<sup>43-45</sup> Estos mecanismos propuestos tendrán el efecto de modular la actividad de la sensibilización central en el cuerno dorsal. Como consecuencia, la sensibilización de las estructuras suprasensoriales como aquellas involucradas en las dimensiones cognitiva y perceptual en el sistema límbico, podrían generar una neuroestimulación menos efectiva o ausente. De esta forma, la pronta aplicación de esta técnica sería crucial para lograr su máximo potencial efectivo. En contraste a la EME, los electrodos de la ENP están ubicados en los nervios afectados por donde el proceso neuropático está en curso; la acción principal de la neuroestimulación periférica tiende a ser la inhibición directa de los nociceptores de primer orden y no de las neuronas de segundo orden o de categoría más alta. Es claro que tanto la alodinia y hiperalgnesia, si se presentan, son frecuentemente reducidas o eliminadas por la ENP. Esto sugiere que la sensibilización puede ser subvertida mediante la actividad supresora del nociceptor periférico en la médula espinal y la anulación de la entrada del nociceptor al tálamo. Dadas las limitaciones de desacelerar cualquier intento temporal en la progresión de la nocicepción, la ENP puede ser más efectiva que la EME en inhibir el nivel inter-neuronal.

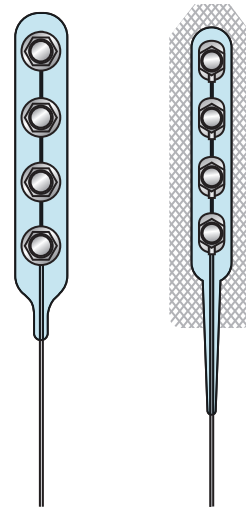
### Equipo

Solo los electrodos en punto y Quad plus fabricados por Medtronic (Minneapolis Minn) son aprobados por la FDA para la ENP abierta (Fig. 17-4). Otros electrodos como el Resume, Resume II, o Resume TL de Medtronic; el Artisan de Boston Scientific (Valencia, Calif); y el Quattrode y Axxes 6 de Sistemas St. Jude (Plano, Tex) también son usados de forma no aprobada. Para la ENP percutánea, las aplicaciones y los electrodos cilíndricos tipo cable de prueba, como los Quad, Quad plus, o Quad compact de Medtronic y el Quattrode, Octrode, o Axxes de St.Jude y Artisan de Boston Scientific también se utilizan en una base no aprobada.

Mientras que el RF-acoplado transmisor receptor, hecho por Medtronic está aprobado por la FDA como una fuente de energía para la ENP, los GPI hechos por los sistemas de St.Jude y Boston Scientific y Medtronic son utilizados como fuentes de energía para ENP sin aprobación alguna.

### Técnica Quirúrgica

Esta descripción está relacionada con el procedimiento quirúrgico abierto de un nervio periférico. Si se requiere una prueba de ENP, ésta puede llevarse a cabo utilizando un electrodo percutáneo que a



**Fig. 17-4** Dos electrodos Quad y En-punto, aprobados por la Administración de Comida y Drogas para el uso en la estimulación del nervio periférico.

través de una aguja penetra el nervio seleccionado. Si el ultrasonido se utiliza como guía, se puede introducir un electrodo percutáneo precisamente al nervio que se requiera. Una prueba de 2 a 3 días será suficiente para determinar si la función ha mejorado o si la alodinia/hiperalgnesia, si está presente, se ha reducido y qué grado de alivio del dolor es evidente. Se debe demostrar al menos el 50% o más de mejoría sintomática y, lo más importante, se debe demostrar la restauración funcional.

Un proceso alternativo a una prueba percutánea es la exposición quirúrgica (primera etapa quirúrgica) del nervio afectado; la fijación del electrodo de placa (de superficie) y el paso de la extensión, la cual está conectada a un generador de pulso externo. Esto le permitirá al paciente probar el dispositivo por un período de 2 a 3 días. La demostración del alivio del dolor es una cosa, pero lo más importante, es la restauración de la función de la extremidad afectada, hecho que debe tenerse en cuenta para determinar si un resultado fue exitoso. En la segunda etapa de la cirugía la herida se vuelve a abrir; la extensión se remueve del sitio en la piel; y, después de crear un túnel, la extensión del electrodo se pasa al lugar de la bolsa que se ha hecho para el GPI. Para la ENP del nervio radial, mediano y cubital, usualmente se fabrica una bolsa para el GPI por debajo de la clavícula. El dispositivo puede ser asegurado a la fascia subyacente del pectoral mayor. En individuos delgados, el GPI puede ser colocado por debajo de la fascia, pero no debe exceder la profundidad que provoque la interrupción de un generador recargable. Los GPI no recargables pueden ser suturados a la fascia subyacente de las costillas por debajo del músculo del pectoral mayor. Debido a las actuales limitaciones del diseño del electrodo, los únicos nervios en la extremidad inferior sensibles a la ENP son el femoral, ciático, peroneo común y tibial.

El acceso al nervio ciático se da por una incisión en el muslo lateral posterior a la banda iliotibial. La disección se lleva a cabo hasta el compartimento de los isquiotibiales, donde el nervio ciático se ubica entre el aductor mayor y la cabeza larga del bíceps. Una vez identificado, el nervio ciático es cuidadosamente disecado de su lecho mientras que se retienen los vasa nervorum y se protegen las ramas musculares relacionadas por una longitud suficiente para acomodar dos electrodos en punto (Figs. 17-5 y 17-6). Cada electrodo se coloca de forma adyacente a los componentes tibial y peroneo. Para estabilizar los dos electrodos en punto, los Gore-Tex adyacentes son suturados juntos utilizando suturas nylon 4.0. Los dos electrodos luego se envuelven alrededor del nervio como un 'sandwich', asegurándose que cada banco de contactos está adyacente a las divisiones peronea y tibial, respectivamente. Los bordes Gore-Tex libres, luego se fijan al