

## Artículo Científico

# Neuroestimulación en situaciones especiales.



RODRÍGUEZ ROBERTO FABIAN, MD  
NEUROCIRUJANO

AUTOR

ROBERTO FABIÁN RODRÍGUEZ, MD

Servicio de Neurocirugía,  
Hospital J. A. Fernández,  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

E-mail: rodriguez.roberto8@gmail.com

### Resumen

A pesar de sus casi cuarenta años de aplicación clínica, todavía son numerosos los tópicos relacionados a la estimulación de la médula espinal que generan controversias: los precisos mecanismos de acción, los mejores criterios de selección clínica de los enfermos, la duración del ensayo terapéutico, la más adecuada evaluación de los resultados, etc.

No obstante, hay un tópico en el que todos los expertos parecen estar de acuerdo y es en la necesidad de obtener parestesias inducidas por neuroestimulación en la zona de localización del dolor de manera sostenida.

Este preciado objetivo no siempre es fácil de obtener, a veces por factores anatómicos y otras por la naturaleza misma del proceso mórbido.

El presente artículo trata sobre cómo se resuelven hoy algunas situaciones clínicas complejas que se plantean en la práctica diaria.

**Palabras clave:** estimulación espinal crónica; dolor complejo

Recibido: Julio 2008

Aceptado: Septiembre 2008

## Abstract

### Neurostimulation in Special Clinical Situations

Despite of almost forty years of successful clinical application, several issues remain controversial in spinal cord stimulation yet. Among them can be included the mechanisms of action involved, the most appropriate selection criteria of patients, the duration of the therapeutic trial, the best outcome assessment, and so on.

However, there is an issue of agreement: the absolute need of over imposing neurostimulation induced paresthesias with the location of pain.

This goal is not always easy to achieve. Sometimes the reasons are some anatomic factors, sometimes due to clinical characteristics.

This review deals about the state of art of to achieve the most successful overlapping in special clinical situations.

**Key words:** spinal cord stimulation; complex pain

## Introducción

La estimulación espinal crónica, desde su implementación inicial hace ya más de treinta años, constituye una alternativa terapéutica dentro del arsenal médico que goza de creciente aceptación.

A sus indicaciones clásicas como el tratamiento sintomático del dolor de origen isquémico periférico o miocárdico y en el dolor neuropático producido por lesiones neurológicas ubicadas distalmente a la zona de entrada de la raíz dorsal espinal se han agregado últimamente el control sintomático de signos y síntomas complejos como los que constituyen el síndrome de dolor regional complejo, el dolor visceral no oncológico, etc.

Como sería de esperar en una técnica de tan rápida evolución y crecimiento, muchos son los tópicos que suscitan controversias. Para mencionar sólo algunos, plantearíamos: cuáles son sus mecanismos de acción, cuáles serían los más efectivos criterios para la selección de pacientes, cuáles serían las estructuras efectivamente involucradas en el proceso de estimulación, etc. No obstante, hay un hecho en el que parecen concordar todos los investigadores y es en la necesidad absoluta que las parestesias inducidas por la neuroestimulación cubran adecuadamente la zona de localización del dolor.<sup>1</sup>

Así, en el paciente implantado quedan definidos claramente cuatro sectores corporales: el de la localización del dolor, el de la localización de las parestesias inducidas por la neuroestimulación, un sector corporal caracterizado por la presencia de dolor sin adecuada cobertura de parestesias y otro caracterizado por cobertura de parestesias sin dolor, denominado en inglés como *extraneous paresthesias*.<sup>2</sup>

El refinamiento técnico en la prosecución de este objetivo llevó a acuñar el término "conducción de las

parestesias" (en inglés *paresthesia steering*) a fin de englobar a los complejos procesos involucrados. Estos incluyen distintos ítems que van desde la elección del sector del espacio peridural para implantar los contactos activos, la relación espacial de estos con las estructuras neurales a estimular, la utilización racional de los distintos parámetros eléctricos de estimulación, la organización espacial de los contactos de estimulación y la elección más racional y apropiada entre los cada vez más numerosos y sofisticados tipos de electrodos disponibles.

La base teórica sobre la que se asientan los criterios que permiten tomar decisiones racionales proviene de dos fuentes u orígenes. Por un lado, los datos provenientes de la experiencia acumulada durante más de 30 años de utilización clínica registrada<sup>2,3,4,5</sup> y, últimamente, de las inferencias obtenidas a partir del uso de modelos ciberneticos de bioingeniería que reproducen en el laboratorio las condiciones del proceso de neuroestimulación espinal.<sup>6</sup>

La combinación de estos dos factores nos ayudará a definir e identificar situaciones clínicas en las cuales será relativamente sencillo obtener una superposición satisfactoria de las parestesias con el dolor; pero también se presentarán otros casos en los cuales este resultado anhelado no será tan fácil de obtener. El presente ensayo trata sobre la identificación de estos últimos cuadros y de las diversas estrategias de manejo que existen actualmente.

Reclutamiento relativamente mayor de las fibras del cordón posterior que de las fibras de la raíz dorsal

Todo médico que tenga aunque sea una mínima experiencia en estimulación espinal distinguirá sin dificultades las parestesias inducidas por la estimulación radicular de aquellas producidas por la estimulación cordonal posterior.

Las primeras tienen un carácter nítidamente segmentario, son unilaterales; su estimulación presenta un bajo rango terapéutico [definido como la diferencia de voltaje o amperaje entre el umbral de parestesias y el de disestesias] y existe una tendencia definida al reclutamiento segmentario motor.

La estimulación selectiva de las fibras nerviosas cordoniales, por su parte, produce parestesias polirradiculares, a veces de todo un miembro o de ambos o incluso del cuerpo entero, dependiendo de la estructura estimulada. Presenta un amplio rango terapéutico y alto umbral de reclutamiento motor.

Es fácil inferir entonces que la situación ideal se aproxima a la de un reclutamiento casi exclusivo del cordón posterior, en detrimento de las raíces dorsales. Existe una serie de factores que favorecen dicha selectividad en la estimulación.

Es obvio que la ubicación medial o lateral del principal contacto determinante de la dirección de la estimulación eléctrica tendrá una notoria influencia relativamente mayor en ese segmento reclutado,

máxime teniendo en cuenta que son pocas, algunas decenas, las fibras que presumiblemente se reclutarian bajo los parámetros utilizados clínicamente. Otros determinantes del reclutamiento diferencial cordón posterior / raíz dorsal no son tan obvios.

Holsheimer<sup>6</sup> demostró que el tamaño del espacio de líquido cefalorraquídeo que separa los contactos de la médula espinal influye inversamente en dicho reclutamiento relativo. De este modo, los segmentos con mayor anchura en el espacio subaracnoidal posterior a la médula espinal, como el sector dorsal medio o cervical alto, presentan un mayor umbral de estimulación eléctrica y una mayor tendencia al reclutamiento de las raíces sensitivas. Lo inverso ocurre en los segmentos bajos de la columna cervical y en la médula torácica baja, segmentos por otra parte correspondientes a los ensanchamientos apendiculares.

Los electrodos colocados por laminectomía presentan la ventaja de aplastar ligeramente la duramadre en dirección a la médula espinal y por lo tanto agregan un factor adicional de conveniencia.

Recientemente se ha establecido que una menor longitud del contacto como una menor distancia de separación entre los contactos favorece ese reclutamiento diferencial a favor del cordón posterior.

Por otra parte, algunas configuraciones eléctricas parecen favorecerlo más que otras. La configuración conocida habitualmente como "cátodo guardado", consistente en un cátodo rodeado a los lados por dos ánodos contiguos, se caracteriza por aumentar dicha relación.<sup>2</sup> Asimismo, una organización horizontal del campo eléctrico generado por un "cátodo guardado", con una disposición perpendicular respecto a las habituales en la práctica, tiende a favorecer la estimulación preferencial del cordón posterior.

Es un hecho conocido que hay una facilidad relativa para reclutar las fibras que anatómicamente corren perpendiculares a la dirección de la corriente eléctrica, las que para esta organización eléctrica particular serían las del cordón posterior.

Recientemente, Feller describió una fórmula novedosa a la que denominó "inhibición hiperpolarizante". Consiste en aprovechar la acción inhibitoria local que ejercen los ánodos en la estimulación espinal y colocarlos lateralmente, lo que equivale decir cercanos a las raíces dorsales, mientras se estimulan vigorosamente los cordones posteriores con un sistema longitudinal de cátodos.

### **Zonas corporales en donde la cobertura territorial con parestesias es más probable**

De todo lo expresado anteriormente se puede inferir que los sectores medulares ubicados en los sectores bajos de la columna cervical y columna torácica, coincidentes con los engrosamientos medulares apendiculares,<sup>3</sup> tienen más facilidad relativa para

reclutar las fibras del cordón posterior en relación a las raíces dorsales, toda vez que el electrodo se coloque en la línea media fisiológica.

Por el contrario y frente a la misma situación, los sectores correspondientes a la columna vertebral cervical alta y torácica alta y media participan de una marcada tendencia a reclutar diferencialmente las raíces dorsales con una distribución de las parestesias, por ende, más restringida.

### **Zonas corporales en donde la cobertura territorial con parestesias es difícil**

Las zonas del cuerpo en donde la producción de parestesias es más difícil se enumeran en la Tabla 1. Cada una de estas estructuras exige una estrategia de implante diferenciada que será desarrollada a continuación.

**TABLA 1- ZONAS DE COBERTURA PROBLEMÁTICA**

- Rama oftálmica del trigémino
- Rama maxilar del trigémino
- Nuca
- Hombro
- Zona raquídea dorsal
- Zona raquídea lumbar
- Ingle
- Estimulación de cuerpo entero
- Perine
- Planta del pie

#### *- Territorios trigeminal oftálmico y maxilar superior*

La afección de estos territorios, ya sea por lesiones traumáticas o infecciosas de las ramas nerviosas correspondientes, plantea un problema para su cobertura satisfactoria dado lo errático e inconstante que es su reclutamiento empleando un electrodo implantado retrógradamente en C1-C2 a través de una laminectomía.

Habitualmente, esta técnica es satisfactoria para reclutar parestesias en el hombro, el cuello y la rama mandibular trigeminal (en esta última por estimulación directa del núcleo trigemino espinal), pero su capacidad para involucrar las citadas ramas es notoriamente inferior.

Para cubrir este déficit, K. Slavin<sup>7</sup> describió una variante técnica que involucra la estimulación de dichos nervios a través del implante subcutáneo de

electrodos percutáneos un centímetro por arriba del arco superciliar y otro centímetro por debajo del arco suborbitario.

Los electrodos con un perfil estructural mínimo producen resultados estéticamente más satisfactorios.

### Región del hombro

A diferencia de lo que ocurre con los dermatomas más distales del plexo braquial, es poco probable obtener una cobertura adecuada con parestesias en las zonas del hombro, el cuello y el lado externo del brazo, que corresponden a los dermatomas C3, C4 y C5, utilizando uno o más electrodos percutáneos colocados en forma ascendente.

El resultado deseado se obtiene, no obstante, de modo relativamente sencillo al utilizar electrodos por laminectomía colocados subyacente a las láminas de C1 y C2 implantados en forma retrógrada.<sup>3</sup>

### Región de la nuca

A fin de alcanzar este objetivo, la estrategia puede ser similar al abordaje retrógrado cervical C1-C2 o también se puede efectuar el implante subcutáneo directo sobre el arco posterior del atlas, estimulando directamente los nervios suboccipitales mayores.

### Región inguinal o regiones dermatómicas

Cuando se deseé realizar una estimulación dermatómica específica, como la cobertura torácica en una neuralgia posherpética o dolor postoracotomía, dolor poslumbotomía, dolor inguinal, etc., esta se puede obtener mediante diversas estrategias:

La más convencional consiste en la colocación de un electrodo percutáneo en forma ascendente en el espacio peridural, lateralizado de forma tal que su contacto distal quede insinuado en el foramen de conjugación correspondiente; a veces puede ser complementado por un electrodo adicional colocado proximalmente sobre la zona de entrada de la raíz dorsal suprayacente.

Alo *et al.*<sup>8</sup> basándose en la técnica de anestesia radicular selectiva realizada mediante la colocación de catéteres peridurales en forma retrógrada, idearon la estimulación radicular selectiva por vía retrógrada. Consiste en colocar en forma descendente y con una doble inclinación céfalo-caudal y medio-lateral un electrodo de estimulación percutánea en el espacio peridural, habitualmente T10-T11, T11-T12, T12-L1, L1-L2, L2-L3 o L3-L4, que siga anatómicamente la proyección de la raíz nerviosa correspondiente y que o bien se insinúe en el agujero de conjunción o literalmente lo atraviese hacia el espacio extrarraquídeo, a fin de estimular los nervios raquídeos o los troncos del plexo. Esta técnica puede ser empleada para estimular la planta del pie, la región perineal, la región inguinal involucrando la raíz L1 o, como ya se dijo, múltiples blancos quirúrgicos segmentarios.

### Región lumbar

La localización de las parestesias inducidas por neuroestimulación en la zona lumbar ha sido tradicionalmente un objetivo difícil de alcanzar. Varios son los factores que determinan esta condición:

Primero, la localización profunda y adyacente al asta dorsal que presentan las fibras correspondientes a la zona lumbar, de por sí escasas, en los dermatomas D8-D9. Otro factor, y por cierto no menor, lo constituye la anchura del espacio subaracnoidal a ese nivel espinal, que determina una clara tendencia a reclutar de manera preferencial las fibras de las raíces dorsales antes que las del cordón posterior; esto predispone a la aparición clínica de disestesias y/o contractura muscular refleja como producto de la estimulación de fibras aferentes propioceptivas a ese nivel.

En la actualidad no existe consenso entre los diferentes autores acerca de cuál sería la mejor estrategia quirúrgica que permita cumplimentar dicho objetivo. Teniendo en cuenta que el dolor lumbar de origen neurogénico (por fibrosis peridural y/o aracnoiditis posoperatoria) es epidemiológicamente frecuente, al que se le debe agregar el dolor crónico de origen discogénico no mecánico, es que se entiende la singular importancia de este punto.

### Cuatro son las principales estrategias:

La más simple de ellas, sostenida por la experiencia clínica del grupo de la Universidad John Hopkins, consiste en colocar un electrodo percutáneo con cuatro contactos exactamente en la línea media fisiológica a nivel segmentario D8-D9.<sup>9</sup> Datos provenientes de modelos ciberneticos de bioingeniería avalan esta técnica relativamente sencilla.

Por otro lado, el grupo de la universidad T. Jefferson sostiene que estos últimos datos pueden ser verdaderos pero solamente si consideramos el corto plazo.<sup>10</sup> A posteriori y por factores aún no conocidos del todo, los pacientes tratados con este esquema pierden la habilidad de producir parestesias en la zona afectada, con la consiguiente caída en el resultado del tratamiento. Este grupo sostiene la necesidad de implantar múltiples electrodos, con dos hileras de ocho contactos, conectados a un sistema activado externamente por radiofrecuencia, a fin de sostener eléctricamente programas complejos que puedan incluso ir variando en el transcurso del tiempo.

Otros enfoques similares que comprenden la implantación guías aparentadas de electrodos percutáneos son sostenidos por otros grupos.<sup>11</sup> Recientemente, estudios sobre modelos ciberneticos de bioingeniería sostienen la ventaja relativa de utilizar electrodos aparentados en oposición a los electrodos desfasados.<sup>6</sup> La producción de un campo eléctrico homogéneo cuando se utiliza una combinación tripolar con un "cátodo guardado" favorecería un mejor reclutamiento de fibras ubicadas en estratos más profundos del cordón posterior.

Un enfoque diferente es el denominado "tripolo transverso" propuesto por Holsheimer.<sup>6</sup>

Consiste en el diseño de un electrodo colocado por laminectomía con un cátodo central, ubicado en la línea media fisiológica y flanqueado por un ánodo a cada lado. Bajo este esquema se seleccionan las fibras del cordón posterior en detrimento de las correspondientes a las raíces dorsales, produciendo un aumento en el rango terapéutico de estimulación. Los mecanismos a través de los cuales se logra este efecto serían la construcción de un campo eléctrico perpendicular a las fibras del cordón posterior, que por ende tienden a reclutarse con un menor umbral, y la inhibición hiperpolarizante que la proximidad de la corriente anódica ejerce sobre las raíces en su proximidad (ver Figura 1). Feller ulteriormente refinó esta técnica, con el diseño de un electrodo específico y versátil.

Finalmente, existen varios estudios clínicos comparativos sobre la utilización de electrodos por laminectomía [o "aislados", como se los tiende a denominar alternativamente en la actualidad] y electrodos percutáneos.<sup>12,13</sup> Varios grupos reportan resultados terapéuticos más sostenidos en el tiempo,

con una menor tasa de migraciones y menor tasa de recambio de baterías. Nuevamente, estudios de bioingeniería demuestran una menor impedancia en dichos sistemas y, siempre y cuando los contactos tengan dimensiones pequeñas, un reclutamiento más profundo de las fibras del cordón posterior.

## Conclusiones

Desde su descripción original hace más de tres décadas, las técnicas de neuroestimulación han experimentado una enorme innovación. A pesar que inicialmente y mediante la exclusiva implementación de la estimulación espinal tradicional quedaban vedados el reclutamiento de parestesias para algunas zonas corporales significativas, el enorme avance registrado, tanto en los aspectos referentes a la implementación técnica, la descripción de nuevas técnicas con nuevas dianas y el entendimiento de los mecanismos subyacentes al reclutamiento relativo de los diferentes elementos neurales, las posibilidades terapéuticas han variado en forma muy importante. En la actualidad, mediante la elección adecuada de la estrategia quirúrgica es posible estimular de manera sostenida prácticamente todas las regiones corporales.



Figura 1. Construcción del campo eléctrico denominado "tripolo transverso" mediante el implante percutáneo de tres electrodos alineados.

## Referencias

1. North RB, Ewend MG, Lawton MT, Piantadosi S. Spinal cord stimulation for chronic, intractable pain: superiority of "multi-channel" devices. *Pain*. 1991 Feb;44(2):119-30.
2. North RB, Kidd DH, Zahurak M, James CS, Long DM. Spinal cord stimulation for chronic, intractable pain: experience over two decades. *Neurosurgery*. 1993 Mar;32(3):384-94.
3. Barolat G, Massaro F, He J, Zeme S, Ketcik B. Mapping of sensory responses to epidural stimulation of the intraspinal neural structures in man. *J Neurosurg*. 1993 Feb;78(2):233-9.
4. Barolat G. Current status of epidural spinal cord stimulation. *Neurosurg Quarterly*. 1995; 5(2):98-124.
5. Law JD. A new method for targeting a spinal stimulator: quantitatively paired comparisons. *Appl Neurophysiol*. 1987;50(1-6):436.
6. Holsheimer J, Wesselink WA. Optimum electrode geometry for spinal cord stimulation: the narrow bipole and tripole. *Med Biol Eng Comput*. 1997 Sep;35(5):493-7.
7. Slavin KV, Christian Wess C. Trigeminal Branch Stimulation for Intractable Neuropathic Pain: Technical Note. *Neuromodulation*. 2005 Jan;8(1):7-13.
8. Aló KM, Esperanza McKay E. Selective Nerve Root Stimulation (SNRS) for the Treatment of Intractable Pelvic Pain and Motor Dysfunction: A Case Report. *Neuromodulation*. 2001 Jan;4(1):19-23.
9. North RB. Spinal cord and Peripheral Nerve Stimulation: Technical Aspects. In: Simpson BA, editor. *Pain Research and Clinical Management Series, Volume 15. Electrical Stimulation and the Relief of Pain*. Amsterdam: Elsevier Health Sciences; 2003. p. 183-195.
10. Barolat G, Oakley JC, Law JD, North RB, Ketcik B, Sharan A. Epidural Spinal Cord Stimulation with a Multiple Electrode Paddle Lead Is Effective in Treating Intractable Low Back Pain. *Neuromodulation*. 2001 Apr;4(2):59-66.
11. Holsheimer J, Nuttin B, King GW, Wesselink WA, Gybels JM, de Sutter P. Clinical evaluation of paresthesia steering with a new system for spinal cord stimulation. *Neurosurgery*. 1998 Mar;42(3):541-7.
12. Villavicencio AT, Leveque JC, Rubin L, Bulsara K, Gorecki JP. Laminectomy versus percutaneous electrode placement for spinal cord stimulation. *Neurosurgery*. 2000 Feb;46(2):399-405.
13. North RB, Kidd DH, Olin JC, Sieracki JM. Spinal cord stimulation electrode design: prospective, randomized, controlled trial comparing percutaneous and laminectomy electrodes-part I: technical outcomes. *Neurosurgery*. 2002 Aug;51(2):381-9.