

Implante de electrodos para la Estimulación de la Médula Espinal

Electrode implant for Spinal Cord Stimulation

Facundo Villamil¹  , Fabián César Piedimonte.²  

¹Departamento de Neurocirugía. FLENI. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.

²Fundación CENIT para la Investigación en Neurociencias. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.

Autor para correspondencia: Facundo Villamil. FLENI. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: villamilfacundo@gmail.com

Cómo citar: Villamil F, Piedimonte FC. Implante de electrodos para la Estimulación de la Médula Espinal. NeuroTarget. 2025;19(1):36-48.

Recibido: 16-09-2024

Revisado: 19-12-2024

Aceptado: 24-02-2025

Publicado: 04-03-2025

Editor: Dr. Nelson Quintanal Cordero. 

Resumen

La Estimulación de la Médula Espinal es una técnica bien establecida para el tratamiento del dolor refractario con sus indicaciones precisas. Estudios, incluidos ensayos controlados aleatorios, han demostrado resultados superiores con el uso de la Estimulación de la Médula Espinal en comparación con el manejo médico conservador y la cirugía lumbar repetida para el tratamiento de síndromes de dolor crónico, como el síndrome de cirugía de espalda fallida. Los sistemas de Estimulación de la Médula Espinal pueden utilizar electrodos percutáneos o en paleta. Los electrodos percutáneos tienen la ventaja de que pueden ser implantados por médicos intervencionistas o anestesiólogos, por lo que se usan con más frecuencia, mientras que los electrodos en paleta requieren una implantación quirúrgica mediante laminotomía o laminectomía realizada por un cirujano. Ambos tipos de electrodos tienen ventajas y desventajas. En este artículo hablaremos de las consideraciones prequirúrgicas y la técnica de implantación de los electrodos de paleta para la Estimulación de la Médula Espinal, como también de los riesgos, beneficios, y consideraciones quirúrgicas que deben tenerse en cuenta para lograr un buen resultado, siguiendo las recomendaciones del NACC.

Palabras clave: Estimulación de la Médula Espinal, electrodos percutáneos, electrodos en paleta, implante de electrodos.

Abstract

Spinal cord stimulation is a well-established technique for the treatment of refractory pain with specific indications. Studies, including randomized controlled trials, have demonstrated superior results with the use of spinal cord stimulation compared to conservative medical management and repeated lumbar surgery for the treatment of chronic pain syndromes, such as failed back surgery syndrome. Spinal cord stimulation systems can use percutaneous or paddle electrodes. Percutaneous electrodes have the advantage of being implantable by interventional physicians or anesthesiologists, which is why they are more commonly used, while paddle electrodes require surgical implantation by laminotomy or laminectomy performed by a surgeon. Both types of electrodes have advantages and disadvantages. In this article, we'll discuss preoperative considerations and the implantation technique for paddle electrodes for spinal cord stimulation, as well as the risks, benefits, and surgical considerations that must be taken into account to achieve a successful outcome, following the NACC recommendations.

Keywords: Spinal Cord Stimulation, percutaneous electrodes, paddle electrodes, electrode implant.

Introducción

La Estimulación de la Médula Espinal (EME) o (SCS, por sus siglas en inglés) es una técnica bien establecida para el tratamiento del dolor refractario con sus indicaciones precisas y se ha utilizado desde la década de 1960.¹ Estudios, incluidos ensayos controlados aleatorios, han demostrado resultados superiores con el uso de la EME en comparación con el manejo médico conservador y la cirugía lumbar repetida para el tratamiento de síndromes de dolor crónico, como el síndrome de cirugía de espalda fallida (SCEF o FBSS, por sus siglas en inglés).^{2,3} Este tratamiento generalmente implica un proceso en dos etapas, en el que los pacientes se someten a una prueba de EME con el objetivo de lograr una reducción del dolor del 50% y una mejora en la calidad de vida antes de la implantación permanente de los electrodos de EME y el generador. Los sistemas de EME pueden utilizar electrodos percutáneos o en paleta. Los electrodos percutáneos tienen la ventaja de que pueden ser implantados por médicos intervencionistas o anestesiólogos, por lo que se usan con más frecuencia, mientras que los electrodos en paleta requieren una implantación quirúrgica mediante laminotomía o laminectomía realizada por un cirujano. Ambos tipos de electrodos tienen ventajas y desventajas. Los electrodos percutáneos son menos invasivos, lo que reduce los riesgos asociados a diversos tipos de anestesia o intervención quirúrgica. Sin embargo, los electrodos en paleta pueden tener tasas más bajas de migración del electrodo y, por lo tanto, podrían asociarse con menores tasas de reoperación.⁴⁻⁷ Se estima que pueden considerarse superiores a los electrodos percutáneos, en lo que respecta a los requisitos de amplitud en relación con las tasas de cobertura, por cubrir un mayor porcentaje de superficie de contacto con la duramadre.^{4,6-8} En este artículo hablaremos de las consideraciones prequirúrgicas y la técnica de implantación de los electrodos de paleta para EME, como también de los riesgos, beneficios, y consideraciones quirúrgicas que deben tenerse en cuenta para lograr un buen resultado, siguiendo las recomendaciones del NACC.

Evaluación Preoperatoria

Educación y planificación preoperatoria

La educación del paciente ayuda a establecer expectativas realistas para la terapia de estimulación de la médula espinal y fomenta la participación del paciente, la familia y los cuidadores. Una discusión sobre el procedimiento planificado debe abordar las alternativas de tratamiento y las expectativas, una descripción del procedimiento, los componentes del neuroestimulador, los objetivos de la terapia, los posibles riesgos y complicaciones, los resultados positivos y negativos posibles, los aspectos estéticos deseados por el paciente y la importancia del seguimiento.

La planificación preoperatoria también debe incluir decisiones sobre la ubicación del generador de impulsos implantable (GII o IPG, por sus siglas en inglés) en relación con factores

como la estética, puntos de referencia óseos, forma corporal, mano dominante del paciente, lugar donde usa la ropa y movilidad articular. Se debe discutir el uso de una batería recargable versus no recargable, si esta última está disponible. Se debe estar alerta a factores de riesgo como cicatrices quirúrgicas preexistentes, diabetes (bien o mal controlada), tabaquismo, infecciones activas, falta de cumplimiento y problemas psicológicos.

Estudios de imagen preoperatorios

Antes de implantar un dispositivo, el cirujano debe evaluar la cantidad de espacio anatómico dentro del espacio epidural necesario para el electrodo en paleta; para ello también se debe tener en cuenta qué tipo de paleta se va a colocar y sus dimensiones. En la Figura 1 se ilustran las paletas más frecuentemente utilizadas en la práctica.

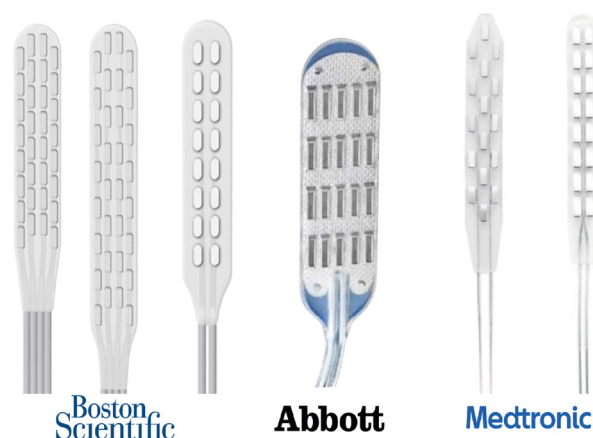


Figura 1. Principales paletas de electrodos disponibles en el mercado. A la izquierda electrodos CoverEdge, Cover Edgex32 y Artisan de Boston Scientific. En el Centro electrodo Penta de Abbot y a la derecha electrodos Specify 2x8 y Specify 5-6-5 de Medtronic.

Las imágenes preoperatorias son claves para evidenciar las diferencias regionales e individuales en la anatomía espinal que afectan la elección del nivel de entrada y la ubicación del electrodo y del GII. Las imágenes preoperatorias deben examinarse cuidadosamente para identificar cambios que puedan complicar o impedir la colocación del electrodo. Las imágenes por resonancia magnética (RM) o tomografía computarizada (TC), permiten visualizar la anatomía del canal espinal y detectar cualquier fibrosis, estenosis o deformidades que puedan complicar el acceso al espacio epidural. Estos estudios ayudan a planificar con precisión la ubicación y técnica quirúrgica a utilizar.

Las opciones de imágenes incluyen RM, TC y mielografía por TC, siendo la RM el estudio de elección.

Selección de los Niveles Vertebrales Ideales para la Estimulación de las Distintas Regiones

La correcta colocación de los electrodos en la estimulación de la médula espinal es crucial para lograr una cobertura efectiva y congruente con las áreas dolorosas del paciente. El

conocimiento anatómico de los niveles vertebrales adecuados permite una estimulación más precisa de distintas regiones corporales. Basándonos en los estudios sobre mapas de parestesias,^{8,9} se puede determinar una distribución general de los niveles vertebrales ideales para cubrir cada región anatómica y optimizar la terapia de EME (Tabla 1).

Nivel de contacto activo (cátodo)	Región anatómica
C2	Cara, región occipital
C2-4	Cuello axial, hombro
C4-7	Extremidad superior: antebrazo a mano
T1-4	Pared torácica
T5-6	Abdomen
T7-12	Espalda media e inferior y extremidad inferior

Tabla 1. Objetivos sugeridos por nivel vertebral para la estimulación de diferentes regiones anatómicas.

Importancia de la Personalización de la Cobertura

Cada paciente puede requerir una personalización de estos niveles según su anatomía y las áreas específicas de dolor. La utilización de mapas de parestesias y herramientas como el atlas clínico de parestesias permite a los especialistas en neuromodulación seleccionar los niveles vertebrales con mayor probabilidad de cobertura en las áreas dolorosas del paciente, optimizando el alivio y minimizando las parestesias no deseadas, como las que pueden percibirse en las costillas cuando se estimulan niveles torácicos altos. La precisión en la colocación y programación de los electrodos, así como el ajuste de los parámetros de estimulación, son esenciales para lograr resultados satisfactorios en la terapia de EME.

Prácticas preoperatorias

Se deben tomar medidas adecuadas para limitar las infecciones del sitio quirúrgico (ISQ o ISQ, por sus siglas en inglés) al realizar implantes de EME. Durante la etapa preoperatoria, el enfoque debe estar en el reconocimiento de factores de riesgo conocidos para el desarrollo de ISQ y en la manera de modificar dichos factores.

Los factores de riesgo asociados con una mayor probabilidad de infección incluyen alteraciones en la respuesta inmunitaria (por ejemplo, VIH/SIDA y uso de corticosteroides), diabetes, obesidad, infecciones remotas, uso de tabaco, y ser portador de estafilococos.^{10,11} Antes de la cirugía, todas las infecciones remotas deben tratarse. El CDC recomienda mantener la glucosa perioperatoria por debajo de 200 mg/dL y niveles de hemoglobina A1C inferiores al 7%, retrasando la cirugía si supera el 8%-9%.¹²⁻¹⁵ En el posoperatorio inmediato, se sugiere un rango de glucosa entre 110-150 mg/dL.¹⁶ Para el cese del tabaquismo, se aconseja abstenerse de 4-8 semanas antes de la cirugía para reducir complicaciones de heridas, especialmente en procedimientos con implantes.¹⁶⁻¹⁸ Además, los fumadores presentan peores resultados con EME, siendo su prevalencia 2,5 veces mayor que en la población general.

La profilaxis antibiótica (categoría IB del CDC) reduce el riesgo de ISQ en un 50%, siendo clave la selección del agente, el momento, la dosis y la vía de administración. La falta de optimización aumenta el riesgo de infección entre dos y seis veces.¹⁹⁻²³ Los antibióticos intravenosos deben administrarse dentro de una hora antes de la incisión, o dos horas para vancomicina.

Manejo de Antibióticos

La profilaxis antibiótica preoperatoria es fundamental para reducir el riesgo de infecciones del sitio quirúrgico (ISQ), disminuyendo su incidencia hasta en un 50% cuando se administra adecuadamente.^{22,23} La selección del agente antibiótico debe considerar patógenos comunes como *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis*.²⁴ Se recomienda el uso de cefalosporinas como primera línea, mientras que clindamicina o vancomicina son alternativas seguras en pacientes alérgicos a β -lactámicos, reservando esta última para portadores conocidos de MRSA o pacientes con alto riesgo de colonización.²⁵ La teicoplanina ofrece una cobertura antibiótica similar a la vancomicina. El objetivo de la administración es alcanzar niveles efectivos en suero y tejidos antes de la incisión y mantenerlos durante toda la cirugía. En pacientes obesos, se recomienda ajustar las dosis a 2g de cefazolina para aquellos con un peso entre 60 y 120 kg y 3g para más de 120 kg, mientras que la vancomicina debe administrarse a 15 mg/kg. La clindamicina, única no afectada por la función renal, es una opción adecuada en ciertos casos.

La administración debe realizarse dentro de los 60 minutos previos a la incisión para cefalosporinas, sulfonamidas y aminoglucósidos, o entre 60 y 120 minutos para vancomicina y fluoroquinolonas (recomendación IB del CDC). Estudios han demostrado un aumento significativo en el riesgo de ISQ cuando la administración de antibióticos es subóptima, como la administración de vancomicina a menos de 24.6 minutos de la incisión, asociada con un riesgo cuatro veces mayor de ISQ (OR 4.281; $p < 0.001$).²⁶ Por lo general, no se requiere redosificación en procedimientos de neuromodulación, dado que la duración promedio de estos es compatible con la farmacocinética estándar de los antibióticos recomendados.

El NACC respalda el uso de antibióticos preoperatorios en procedimientos de neuromodulación según guías previas (A, I), recomienda irrigación quirúrgica con solución salina antes del cierre (B, IB), sugiere estudios adicionales antes de respaldar el uso rutinario de polvo de vancomicina (B, IB), y aconseja suspender los antibióticos dentro de las 24 horas tras implantes de EME, excepto en pacientes de alto riesgo, donde pueden considerarse antibióticos postoperatorios (A, IA).

Evaluación de la Piel y los Tejidos

Las infecciones del sitio quirúrgico afectan al 1.9% de las cirugías generales y del 1% al 9% de las de columna, impactando significativamente la morbilidad, los resultados y los costos médicos.^{27,28} Los principales patógenos son bac-

terias gram-positivas, como *Staphylococcus aureus* (30.4% de los casos reportados).²⁹ La eliminación preoperatoria de vello, aunque no es imprescindible, puede ser útil para mejorar el acceso quirúrgico y minimizar la contaminación si se realiza adecuadamente. El método recomendado es el uso de recortadoras eléctricas, que se asocian con menores tasas de ISQ en comparación con el afeitado con navajas, el cual puede causar lesiones epidérmicas que aumentan el riesgo de infección.³⁰ La preparación de la piel con antisépticos como clorhexidina (CHG) y povidona yodada, es una intervención clave para reducir la carga microbiana en el sitio quirúrgico. Ambos agentes son ampliamente utilizados debido a su acción antimicrobiana de amplio espectro, siendo la CHG más persistente y la povidona yodada más rápida en su acción bactericida.³⁰ Su combinación ha demostrado ser segura y efectiva en neurocirugía, con un protocolo que incluye limpieza con CHG seguida de povidona yodada, permitiendo un secado de 10 minutos antes de la incisión para maximizar su eficacia.^{31,32} Estas estrategias deben formar parte de un plan preoperatorio integral para minimizar el riesgo de ISQ. El NACC recomienda considerar un enfoque multiagente con clorhexidina y povidona yodada como preparación prequirúrgica en el quirófano (Grado A, evidencia IA); también se recomienda la eliminación del vello con recortadoras eléctricas en lugar de afeitar (Grado A, evidencia I). Por último, se sugiere prestar atención a la preparación antimicrobiana de la piel preoperatoria (Grado C, evidencia II).

Técnica quirúrgica.

Una vez tomados los recaudos preoperatorios correspondientes, el paciente es llevado a quirófano, donde es de suma importancia seguir un esquema de pasos pautados para evitar complicaciones intra y postoperatorias.

Posicionamiento y selección de nivel de la laminotomía

El paciente se coloca en posición de decúbito prono con el apoyo adecuado para disminuir la lordosis lumbar (Figura 2a). La selección del nivel para la colocación del electrodo paleta es similar al electrodo percutáneo y depende del área del dolor (Tabla 1).

El médico determinará el nivel apropiado requerido para que la laminotomía/laminectomía exponga el espacio epidural. El acceso al canal espinal suele estar justo por debajo del nivel metamérico previsto. Normalmente será 1 o 2 niveles por debajo de la metámera objetivo. Por ejemplo, si la paleta necesita colocarse en T8, la mayoría de las veces las laminectomías se harán entre T9-T10.

Una vez seleccionado el nivel de laminotomía y el sitio de bolsillo para el generador, se realizará el lavado prequirúrgico y la colocación del Campo Quirúrgico de Incisión Antimicrobiano con un campo quirúrgico que abarque ambas incisiones (Figura 2b).

Incisión

Hasta la fecha, no existe literatura que relacione el tipo de incisión quirúrgica con la tasa de complicaciones para los implantes EME. Al examinar otras especialidades, el tipo de incisión (transversal frente a vertical) no afecta los resultados postoperatorios.^{33,34} Las incisiones pequeñas pueden limitar las complicaciones de la herida; sin embargo, el acceso óptimo debe ser el objetivo principal, y en algunas situaciones, se debe extender la incisión. Hacer incisiones más grandes de lo necesario puede prolongar el tiempo quirúrgico y requerir más suturas, ambos asociados con un mayor riesgo de infección. Una planificación meticulosa de las incisiones quirúrgicas es una parte vital del proceso de implantación y puede ayudar a lograr una mejor satisfacción del paciente, y de manera indirecta, reducir el riesgo de infección (Figura 2c).

Disección del tejido, laminotomía y colocación de electrodo de paleta

En la estimulación medular (EME), se emplean disecciones aguda y roma según el tejido, sin evidencia que favorezca un método sobre otro.³⁴ Las habilidades quirúrgicas claves incluyen planificación, identificación de planos tisulares y manejo cuidadoso para evitar infecciones y daño térmico, prefiriendo la coagulación bipolar en revisiones para evitar riesgos asociados con la transferencia de calor en sistemas parcialmente aislados. Una vez realizada la incisión se procede a realizar la disección subperióstica para separar los músculos paravertebrales. (Figura 2 c-d).

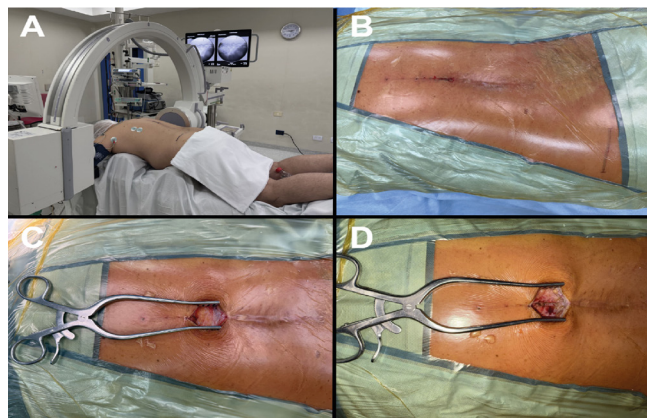


Figura 2. Consideraciones técnicas. A. Colocación del paciente en posición de decúbito prono y marcación de nivel de entrada con radioscopia. B. Colocación del Campo Quirúrgico de Incisión Antimicrobiano con un campo quirúrgico que abarque ambas incisiones. C. Incisión vertical y D. Exposición de la lámina vertebral y el espacio interlaminar del segmento en que se desea introducir el electrodo.

En el caso en que se decida realizar un abordaje unilateral, se expone la lámina vertebral y el espacio interlaminar del segmento en el que se desea introducir el electrodo, cuidando de preservar los ligamentos de línea media, como el supraespinoso e interespinoso (Figura 2d). Se lleva a cabo una interlaminotomía con un drill de alta velocidad o pinzas Kerrison, que incluye la cuidadosa resección del ligamento amarillo y

una resección mínima de las láminas inferiores y superiores, con una extensión ligera contralateral bajo las estructuras ligamentosas de la línea media sin comprometer el ligamento supraespinoso, minimizando el daño estructural y reduciendo el riesgo de inestabilidad postoperatoria (Figura 3a)

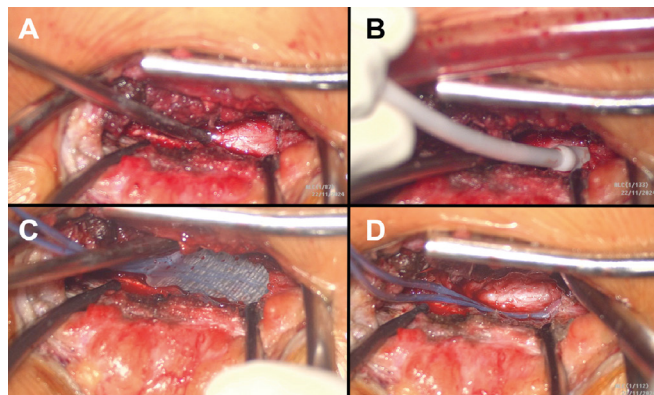


Figura 3. Colocación del electrodo de paleta dorsal. A. Hemilaminotomía parcial y exposición de espacio epidural mediante flavectomía homolateral. B. Colocación de introductor de prueba en el espacio epidural para comprobar que no haya adherencias y crear un espacio para introducir el electrodo tipo paleta. C y D. Introducción de electrodo de paleta definitivo.

Otra técnica ampliamente utilizada consiste en colocar el electrodo de paleta por la línea media. Para esto, la disección se lleva hasta los procesos espinosos, los músculos paravertebrales se separan y se exponen las láminas superior e inferior. Se retira el aspecto inferior del proceso espinoso superior y si es necesario, para proporcionar un ángulo seguro de entrada al espacio epidural, también se retira el proceso espinoso del nivel inferior.

Se realiza una laminotomía de la lámina inferior del nivel superior y/o de la lámina superior del nivel inferior, exponiendo posteriormente el ligamento amarillo. Este se abre, exponiendo el espacio epidural. Esta aproximación facilita la colocación precisa del electrodo en la línea media, mejorando su orientación y optimizando el contacto con las estructuras objetivo. Sin embargo, presenta la desventaja de interrumpir los ligamentos de la línea media, lo que podría comprometer la estabilidad de estas estructuras y aumentar el riesgo de alteraciones biomecánicas a largo plazo. Por esta razón, su uso debe evaluarse cuidadosamente en función de las características del paciente y los objetivos quirúrgicos.

Con el espacio epidural despejado (Figura 3a), primero un introductor de prueba es colocado en el espacio epidural para comprobar que no haya adherencias y crear un espacio para el posicionamiento del electrodo tipo paleta (Figura 3b), y luego el electrodo se implanta en la línea media bajo visión fluoroscópica para confirmar su ubicación y orientación, avanzando cuidadosamente en dirección cráneo-caudal hasta alcanzar el nivel de estimulación deseado, normalmente será 1 o 2 niveles por arriba del nivel de la laminotomía (Figura 3 c y d). Por ejemplo, si la paleta desea colocarse en T8, la

laminotomía estará entre T9-T10.

Una vez en el nivel deseado, se deben realizar controles estrictos con fluoroscopia en el plano anteroposterior y lateral para confirmar una correcta colocación del electrodo en la línea media (Figura 4). Para asegurarse un frente estricto (proyección AP), las apófisis espinosas deben estar alineadas en el centro de los cuerpos vertebrales equidistantes a los pedículos, los platillos vertebrales deben aparecer simétricos con sus márgenes laterales paralelos a los bordes de la imagen y los pedículos son claros (Figura 4 a y c).

Para la proyección lateral, deben hacer superposición simétrica de los cuerpos vertebrales, pedículos y procesos espinosos, y el foramen intervertebral debe visualizarse radiolúcido (Figura 4 b y d).

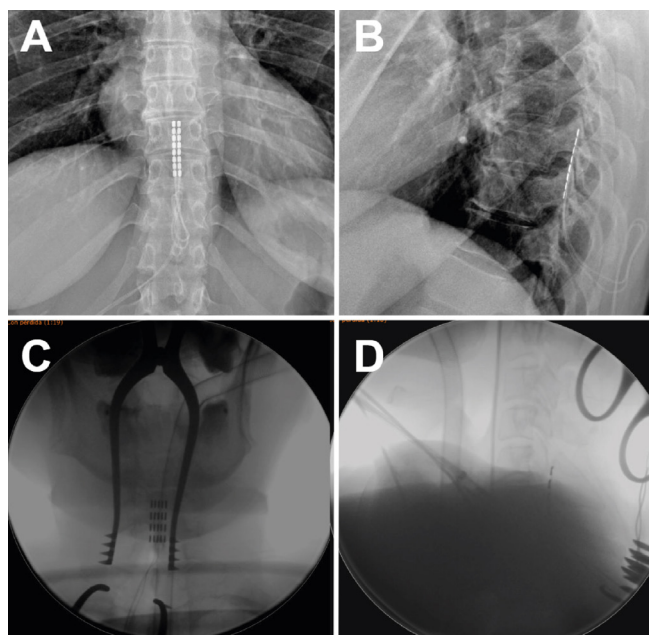


Figura 4. Confirmación radioscópica del electrodo de paleta. A y B. Ejemplo de Electrodo dorsal. C y D. Ejemplo de electrodo cervical. Para asegurarse un frente estricto (proyección AP) las apófisis espinosas deben estar alineados en el centro de los cuerpos vertebrales equidistantes a los pedículos, los platillos vertebrales deben aparecer simétricos, con sus márgenes laterales paralelos a los bordes de la imagen y los pedículos son claros. Para la proyección lateral deben hacer superposición simétrica de los cuerpos vertebrales, pedículos, procesos espinosos y el foramen intervertebral debe visualizarse radiolúcido.

Anclaje

El anclaje de los electrodos de estimulación de la médula espinal (EME) es esencial para evitar la migración, una causa común de fallo del sistema. Las estrategias de anclaje incluyen técnicas quirúrgicas con nudos, tensores y dispositivos mecánicos con bloqueo, aunque no existe un estándar en la industria. Las tasas de migración reportadas en revisiones sistemáticas informan tasas entre 2% y 25%.³⁵⁻³⁷ Estudios específicos reportan tasas como del 2% al 3% (Gazelka et al.),³⁷ 2.5% y 22.6% de migración junto con 6% de fractura (Mekhail et al.),³⁸ mientras que dispositivos novedosos han

mostrado tasas del 0% en seguimiento a 38 semanas.³⁹ La textura y firmeza de los anclajes son relevantes, especialmente en pacientes con bajo IMC, para evitar complicaciones.

El proceso de anclaje del electrodo comienza seleccionando las suturas no absorbibles adecuadas, preferiblemente compuestas de seda 2-0 ó 0, nylon trenzado o poliéster trenzado. A continuación, se guía lentamente el anclaje sobre el electrodo, asegurándose de que penetre al menos 1 cm por debajo de la fascia para garantizar una colocación adecuada (Figura 5a).

Cuando se alcance la profundidad correcta, en caso de ser un anclaje mecánico, se bloquea al electrodo girando su extremo distal hasta escuchar un ligero “clic”, lo que indica que las orejuelas y el marcador negro están alineados. Posteriormente, se gira el anclaje para que quede plano a lo largo de la fascia, asegurando que los ojales estén paralelos al plano fascial. El anclaje se fija a la fascia mediante un nudo de cirujano, fijándolo con suturas tanto en las porciones proximal como distal del barril. Para finalizar, se crea un alivio de deformación en el extremo proximal girando el cable alrededor del anclaje, formando un lazo con un diámetro de al menos 2,5 cm para garantizar estabilidad y evitar tensiones excesivas en el electrodo.

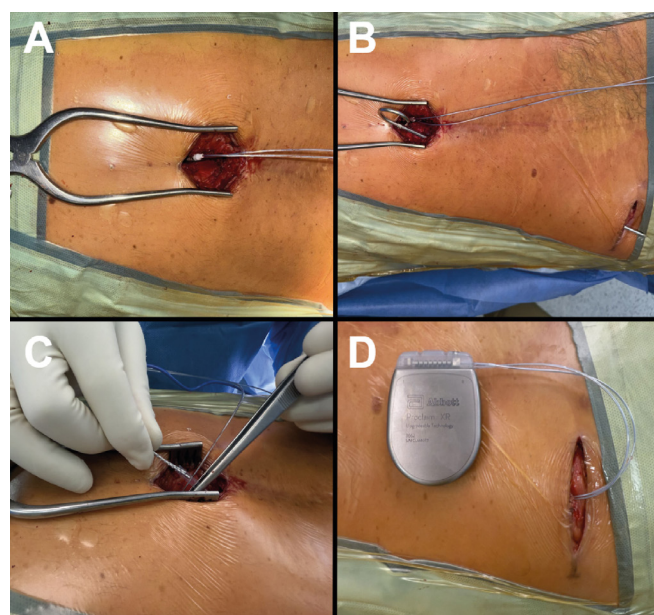


Figura 5. Anclaje y tunelización. A. Anclaje mecánico con punto de cirujano al plano del ligamento supraespinoso. B. Se observa el pasador desde la incisión espinal hasta el bolsillo. C y D. Tunelización de cables conectores hasta el bolsillo y conexión al Generador de Impulsos.

Tunelización y Conexión del GII

La tunelización conecta los electrodos al generador implantable (GII) mediante un trayecto subcutáneo planificado para evitar ángulos agudos, dobleces o fricción entre cables, reduciendo el riesgo de daño o rotura a largo plazo. Es fundamental garantizar que el trayecto sea suave y esté libre

de tensiones indebidas. Además, deben evitarse lesiones en estructuras circundantes como nervios, vasos sanguíneos y cavidades corporales.

El proceso de colocación y conexión al generador comienza con la creación del bolsillo subcutáneo para alojar el generador implantable. Una vez realizado el bolsillo, se irriga cuidadosamente la herida para prevenir infecciones. A continuación, se realiza la tunelización del electrodo, creando un túnel subcutáneo entre el sitio de anclaje del cable y el bolsillo, evitando pasar a través del músculo o comprometer el bucle de alivio de tensión (Figura 5b). Debido a que el trocar es maleable, colocar una ligera curva en el eje permitirá al operador rotar fácilmente el dispositivo, y con la mano opuesta, palpar la punta del trocar para garantizar una profundidad adecuada. Posteriormente se prepara el generador implantable. Esto incluye aflojar los tornillos de fijación, que vienen previamente apretados, utilizando el destornillador y girándose en incrementos de un cuarto de vuelta para evitar desajustes. Una vez listos, los electrodos se conectan al generador y se verifican las impedancias para asegurar una conexión adecuada (Figura 5d).

El generador se implanta en el bolsillo subcutáneo a una profundidad máxima de 2,25 cm a 4 cm, según las especificaciones de la casa comercial y el tipo de generador. Los cables o extensiones sobrantes se enrollan en grandes bucles y se colocan detrás del generador, asegurándose de que la etiqueta quede orientada hacia la superficie de la piel.

Finalmente, el cierre del bolsillo debe realizarse con una hemostasia meticulosa para prevenir hematomas o seromas, que pueden aumentar el riesgo de infección. El bolsillo se cierra en capas, asegurándose de no dejar espacios muertos para minimizar complicaciones postoperatorias.

En caso de estar realizando una prueba de estimulación, el electrodo tipo paddle se conecta a una extensión que se externaliza en un sitio alejado de la ubicación potencial del bolsillo del generador de pulsos implantable (GII). La incisión se irriga, cierra y cubre con un apósito estéril. El electrodo externalizado se conecta a un generador externo de pulsos (GEP). El GEP se fija a la piel utilizando un dispositivo de soporte proporcionado por el fabricante, un cinturón o con cinta estándar, en el lado de preferencia del paciente. Aquellos que tienen un ensayo exitoso son llevados nuevamente al quirófano para completar el implante definitivo.

Cierre de la herida y cuidados postoperatorios

El cierre quirúrgico emplea materiales como suturas, grapas y adhesivos, siendo las suturas las más versátiles para capas profundas y superficiales. Estas se clasifican en absorbibles (degradadas con el tiempo) y no absorbibles, y a su vez en monofilamento (menos fricción y trauma) o trenzadas (mayor fuerza y manejabilidad). Las suturas absorbibles como Vicryl (poliglactina 910), son comunes en cierres profundos debido a su baja reactividad tisular, aunque su versión recubierta con triclosán reduce significativamente el riesgo de infecciones

del sitio quirúrgico (ISQ) y es recomendada por la OMS y los CDC, especialmente en heridas contaminadas.^{40,41}

Alternativamente, PDS II (polidioxanona) y Monocryl (poliglecaprona 25) son opciones absorbibles para tejidos subcutáneos y epidermis, destacándose por su menor riesgo de contaminación bacteriana y rápida pérdida de fuerza tensil respectivamente.⁴²

Para el cierre de la piel, las suturas no absorbibles como Ethilon (nylon) son comunes, aunque requieren cuidado para evitar el deslizamiento de los nudos.⁴² En heridas contaminadas, el Vicryl recubierto con triclosán y el PDS II son preferidos por su eficacia en reducir ISQs, mientras que en heridas limpias se consideran seguros y efectivos.^{42,43}

El cierre en capas de los planos tisulares es esencial para aliviar la tensión, prevenir necrosis y dehiscencia y mejorar la cicatrización, especialmente en bolsillos para generadores de impulsos implantables (GII).⁴⁴ Además, esta técnica reduce el espacio muerto, minimizando la formación de hematomas y seromas, que pueden favorecer infecciones superficiales y profundas.³⁴

Consideraciones anatómicas para la estimulación de la médula espinal cervical (cEME)

Colocación de electrodos tipo paddle mediante laminotomía

El espacio epidural cervical difiere de las regiones torácica y lumbar, y estas diferencias pueden afectar la colocación del electrodo. Por ejemplo, el canal espinal es casi circular en el plano axial justo debajo del foramen magno, y luego se vuelve ovalado en el nivel de C2. La médula espinal es más grande en el ensanchamiento cervical, desde C3 hasta C7, donde surgen las raíces nerviosas que inervan el miembro superior. Por lo tanto, el área transversal de la médula espinal en relación con el canal espinal cambia a medida que desciende, siendo el punto de menor proporción de LCR a médula espinal en C4-C5. Dado que la región cervical media también es más propensa al desarrollo de osteofitos y hernias discales, es probable que se encuentre estenosis espinal cervical significativa, especialmente en pacientes de edad avanzada. Esto tiene implicaciones importantes para el paso seguro de un electrodo hacia el espacio epidural. En estos casos, puede ser necesario realizar una descompresión cervical antes de colocar de manera segura electrodos tipo paddle para EME, si la estenosis es particularmente grave.

Los electrodos tipo paleta en la región cervical también pueden colocarse mediante un abordaje unilateral preservando el ligamento supraespinoso (Figura 6a), o a través de la línea media, según la preferencia del cirujano. Sin embargo, en casos donde un abordaje previo haya generado fibrosis que imposibilite el acceso por la línea media, será necesario realizar el abordaje unilateral de forma obligatoria por el lado contrario.

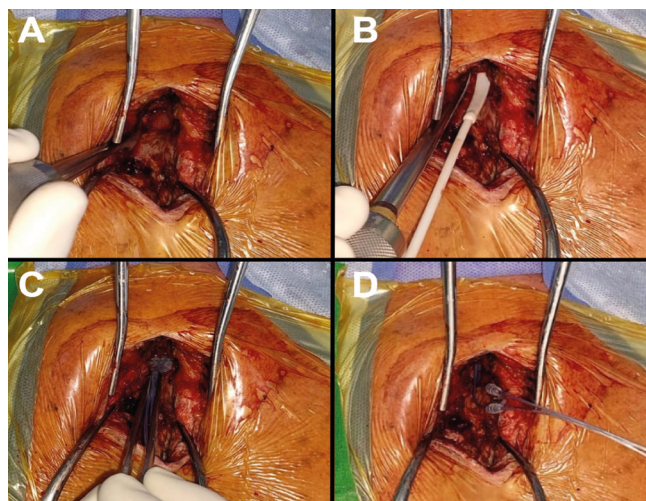


Figura 6. Colocación del electrodo de paleta cervical. A. Hemilaminotomía parcial y exposición de espacio epidural mediante flavectomía homolateral. B. Colocación de introductor de prueba en el espacio epidural para comprobar que no haya adherencias y crear un espacio para introducir el electrodo tipo paleta. C y D. Introducción de electrodo de paleta definitivo.

Indicaciones comunes para la EME Cervical (EMEC)

Una indicación común para la EMEC es el dolor neuropático persistente del cuello y/o del miembro superior tras una cirugía de columna cervical. En general, la cirugía del cuello mediante un abordaje anterior no se considera una contraindicación para la EMEC. Sin embargo, la cirugía cervical posterior puede provocar cicatrización y pérdida de la viabilidad del espacio epidural posterior, lo que dificulta o hace insegura la colocación de electrodos percutáneos. Este no suele ser el caso en la instrumentación de fusión espinal posterior sin laminectomía. Se debe considerar la colocación quirúrgica abierta en lugar de la percutánea si el paciente ha tenido una laminectomía en un nivel cervical a través del cual pasaría un electrodo percutáneo durante su colocación, ya que en este escenario existe un mayor riesgo de desgarrar dural y fuga de LCR. La Tabla 2 describe las consideraciones básicas para la planificación prequirúrgica de la colocación de electrodos tipo paleta.

Recomendaciones para los Requisitos de Imágenes Antes de la EME Cervical.

El valor de las imágenes preoperatorias antes de la colocación de los electrodos de EMEC no puede ser subestimado. El objetivo de las imágenes preoperatorias es garantizar una colocación segura y efectiva de los electrodos. Como mínimo, esto requiere una evaluación de la permeabilidad del canal en el nivel objetivo, así como a lo largo del trayecto del electrodo desde el punto de entrada en el espacio epidural hasta la posición deseada final, para asegurarse de que la inserción pueda realizarse sin causar compresión aguda o a largo plazo de la médula espinal y/o las raíces nerviosas.

La presencia de estenosis espinal o la ausencia de LCR posterior a la médula espinal no es una contraindicación absoluta

Procedimiento quirúrgico previamente realizado	Electrodos percutáneos	Electrodos tipo paleta
Abordaje anterior	Si	Si
Laminoplastia	Si	Si
Foraminotomía	Si, en el lado contralateral	Si, posiblemente en el lado ipsilateral dependiendo del alcance de la resección ósea y la consiguiente cicatrización epidural* (método rara vez utilizado)
Hemilaminectomía	No	Si
Laminectomía	No	Si

* Se recomienda realizar una resonancia magnética (MRI) antes de considerar la colocación del electrodo, evaluando cuidadosamente las posibles barreras anatómicas.

Tabla 2. Viabilidad de la inserción de electrodos epidurales en presencia de cirugías previas de columna vertebral.

para la implantación de electrodos de paleta. En pacientes con estenosis, se puede realizar una descompresión adecuada del canal espinal mediante laminotomía, laminectomía o laminoplastia antes de la inserción del electrodo de paleta, para prevenir la compresión de los elementos neurales.

La viabilidad de insertar electrodos cilíndricos en presencia de estenosis severa debe evaluarse cuidadosamente caso por caso, particularmente en presencia de mielopatía por señal de la médula espinal concomitante (es decir, mielomalacia indicada por hiperintensidad de la médula en imágenes ponderadas en T2, e hipointensidad en imágenes ponderadas en T1). En general, dado que existen alternativas más seguras, incluida la descompresión seguida de la colocación de un electrodo de paleta o la colocación retrógrada de un electrodo de paleta a nivel C1-C2, se debe desaconsejar la implantación de electrodos percutáneos en el contexto de estenosis espinal severa, especialmente con cambios en la señal de la médula espinal en la resonancia magnética.

Desde un punto de vista arquitectónico, los electrodos tipo paddle incluyen contactos eléctricos y un respaldo aislado que proporciona una dispersión unidireccional de la electricidad. Debido a su mayor volumen, los electrodos tipo paddle ocupan un volumen proporcionalmente mayor del canal espinal cervical en comparación con los electrodos cilíndricos, y tienen un mayor riesgo inherente de dañar las estructuras neurales si son demasiado grandes para caber en el espacio epidural disponible. Por lo tanto, se debe prestar especial atención a la evaluación preoperatoria del diámetro del canal y a la técnica intraoperatoria. Sin embargo, en la práctica clínica, el riesgo de lesión neurológica al usar electrodos tipo paddle puede ser menor que al usar electrodos coaxiales percutáneos.⁴⁵

Recomendaciones sobre la Técnica Quirúrgica para la Colocación de Electrodos Paddle Cervicales

El paciente debe posicionarse en decúbito prono sobre una mesa quirúrgica radiolúcida. Con anestesia general, la columna cervical puede mantenerse en posición flexionada con una fijación craneal. Las extremidades superiores deben colocarse a los lados del paciente, fuera del haz de fluoroscopia, para mejorar la visualización de la columna cervical. La limpieza

de la piel debe ser amplia y cubrir varios niveles cérvico-torácicos para permitir ajustes durante el procedimiento si es necesario.

Complicaciones

Complicaciones generales de la colocación de sistemas de EME y su Manejo

La colocación de electrodos para EME presenta un bajo riesgo de complicaciones, pero cuando ocurren, pueden tener un impacto significativo en los resultados del paciente. Las complicaciones más comunes incluyen infecciones, hematomas, seromas, dehiscencia y erosión de la piel, todas las cuales requieren un manejo adecuado para minimizar la morbilidad y asegurar el éxito del tratamiento. A continuación, se describen las principales complicaciones y sus estrategias de manejo basadas en la literatura disponible.

Infecciones del Sitio Quirúrgico (ISQ)

Las infecciones superficiales afectan piel y tejidos subcutáneos, mientras que las profundas comprometen músculo, fascia o estructuras neuroaxiales. Las ISQ superficiales suelen manejarse con antibióticos orales tras cultivo y seguimiento cercano.^{40,46,47} Por otro lado, las infecciones profundas, aunque menos frecuentes, requieren drenaje quirúrgico, extracción completa del hardware y terapia antibiótica intravenosa para prevenir recaídas y morbilidad grave.^{48,49}

La resonancia magnética (RM) es el método diagnóstico de elección para identificar abscesos epidurales, una complicación poco común pero potencialmente catastrófica que requiere descompresión quirúrgica inmediata en caso de deterioro neurológico.

Hematomas

El riesgo de hematomas epidurales es bajo (0.25%-0.7%), pero puede llevar a paraplejía si no se trata oportunamente.³⁵ Un hematoma sintomático exige evaluación urgente mediante RM o tomografía computarizada (TC), y evacuación quirúrgica inmediata si se confirma el diagnóstico.⁵⁰⁻⁵² El manejo adecuado incluye monitoreo neurológico postoperatorio y prevención de espacios muertos durante el cierre de la herida, para reducir el riesgo de formación de hematomas en el bolsillo del generador.

Seromas

Los seromas, acumulaciones de líquido serosanguíneo en el bolsillo quirúrgico, tienen una incidencia de aproximadamente 0.4% al año.⁵³ Se previenen mediante optimización preoperatoria de comorbilidades, evitando bolsillos grandes y trauma tisular excesivo. El manejo puede incluir observación, aspiración o drenaje quirúrgico si persisten. Es crucial diferenciar el seroma de un higroma de líquido cefalorraquídeo mediante análisis del líquido aspirado.

Dehiscencia

La dehiscencia de la herida ocurre generalmente entre los días 5 y 8 posoperatorios, y es más común en pacientes con mala cicatrización debido a diabetes, inmunosupresión o factores como tensión excesiva en la sutura. Su manejo incluye optimización preoperatoria de factores de riesgo, cierre asistido con sistemas de vacío, y en casos de infección, retiro del hardware implantado.⁵⁴⁻⁵⁹

Erosión

La erosión del hardware puede deberse a una colocación superficial o inadecuada. En ausencia de infección, se puede intentar un cierre asistido o reposición más profunda del dispositivo. Sin embargo, si hay infección profunda, el sistema debe ser retirado y reimplantado únicamente tras la resolución completa de la infección en consulta con un especialista en enfermedades infecciosas.⁶⁰

El manejo de complicaciones en neuromodulación requiere una evaluación rápida y estrategias individualizadas basadas en la naturaleza de la complicación y el estado del paciente. Informar adecuadamente a los pacientes sobre los riesgos potenciales y realizar un seguimiento estrecho, permite mitigar complicaciones y optimizar los resultados del tratamiento.

Discusión

El dolor crónico es un problema importante de salud pública que afecta a cientos de millones de personas y genera costos de miles de millones de dólares en gastos médicos asociados y pérdida de productividad. Aunque la estimulación de la médula espinal (EME) ha surgido como un tratamiento prometedor para una variedad de trastornos de dolor crónico, como el síndrome de cirugía fallida de espalda (FBSS, por sus siglas en inglés), los resultados comparativos de los electrodos en paleta y percutáneos siguen sin estar claros. En un estudio llevado a cabo por Babu et al.⁶¹ se realizó un análisis amplio de 9072 pacientes emparejados para comparar las complicaciones, las tasas de recuperación y los costos de atención médica en pacientes que se sometieron a la implantación de electrodos de EME percutáneos o en paleta. En este estudio, se confirmó la hipótesis de que la implantación de electrodos en paleta estaría asociada con más complicaciones, pero con menores tasas de reoperación que los electrodos percutáneos. Sin embargo, a pesar de estas diferencias, los costos de atención médica a largo plazo fueron similares entre ambos grupos.

La eficacia superior de la EME en comparación con el manejo médico conservador y la cirugía lumbar repetida para el tratamiento de FBSS ha sido demostrada por dos ensayos clínicos aleatorizados.^{2,3} El ensayo Prospectivo Multicéntrico Aleatorizado Controlado sobre la Eficacia de la Estimulación de la Médula Espinal evaluó a 100 pacientes con FBSS y dolor radicular en las piernas, consistiendo en 52 pacientes que recibieron EME y 48 que recibieron manejo médico.² A los

seis meses, un porcentaje significativamente mayor de pacientes con EME alcanzó el resultado primario (experimentaron una mejora del 50% o más en el dolor de las piernas), en comparación con aquellos manejados de manera conservadora (48% frente a 9%, $p<0,001$). Este efecto continuó durante dos años, con un análisis "intention-to-treat" que mostró que el 37% de los pacientes en el grupo de EME tuvieron al menos un 50% de mejora en el dolor en comparación con sólo el 2% en el grupo de manejo médico ($p=0,003$). Los pacientes tratados con EME también tuvieron resultados significativamente mejores en términos de dolor de piernas y espalda, capacidad funcional, calidad de vida relacionada con la salud y satisfacción con el tratamiento. El otro RCT, que aleatorizó a 50 pacientes para recibir EME o reoperación, demostró que significativamente más pacientes con EME lograron al menos un 50% de alivio del dolor en el seguimiento a largo plazo (47% frente a 12%, $p<0,01$).³ Además, los pacientes que se sometieron a una reoperación requirieron aumentos en los medicamentos analgésicos opioides a una tasa significativamente mayor que aquellos que recibieron EME ($p=0,025$). Al utilizar EME se debe elegir el tipo de electrodo, evaluando los pros y los contras de cada técnica. Los electrodos percutáneos se insertan bajo guía fluoroscópica utilizando la técnica de pérdida de resistencia. Como los pacientes solo requieren anestesia local, los riesgos de eventos adversos relacionados con el procedimiento se minimizan significativamente.

Además, los electrodos percutáneos pueden ser menos susceptibles a fallos del hardware debido a tasas más bajas de rotura del electrodo.⁶² En contraste, los electrodos en paleta se implantan mediante una laminotomía o laminectomía, requiriendo anestesia (monitoreada, espinal o general), mayor disección de tejido y retracción muscular. Esto puede resultar en un mayor dolor postoperatorio, desarrollo de tejido cicatricial y un mayor riesgo de complicaciones perioperatorias. Sin embargo, se ha reportado que los electrodos en paleta tienen una menor tasa de desplazamiento y fuga de líquido cefalorraquídeo, además de mejor cobertura de las áreas de dolor lumbar y mejores resultados clínicos.⁶³⁻⁷¹

Pocos estudios han comparado directamente los electrodos en paleta con los percutáneos. Un pequeño RCT que analizó ambos tipos en 24 pacientes demostró que significativamente más pacientes con electrodos por laminectomía informaron un resultado exitoso a un seguimiento promedio de 1,9 años ($p<0,05$).⁶⁶ Además, significativamente más pacientes con electrodos en paleta redujeron o eliminaron el consumo de analgésicos en comparación con aquellos con electrodos percutáneos. Sin embargo, a un seguimiento promedio de 2,9 años, no hubo diferencias significativas en las tasas de éxito entre los electrodos en paleta y percutáneos. Otro estudio que realizó una revisión retrospectiva de 27 pacientes demostró que aquellos con electrodos por laminectomía tuvieron una mayor disminución en las puntuaciones de la escala visual análoga que aquellos con electrodos percutáneos.⁶⁴ Además, los electrodos colocados mediante laminectomía proporciona-

ron un alivio del dolor significativamente mayor a largo plazo en comparación con los electrodos percutáneos ($p=0.02$). Rosenow et al. revisaron retrospectivamente 289 implantes de EME, de los cuales el 80.4% utilizó electrodos percutáneos.⁶² Encontraron que los electrodos implantados quirúrgicamente presentaban mayores tasas de infección, fractura y migración, mientras que los electrodos percutáneos mostraron mayor incidencia de cobertura insuficiente. Sin embargo, un análisis ANOVA de dos vías no reveló diferencias significativas en las causas de falla entre ambos tipos de electrodos ($p=0.34$). Otro estudio retrospectivo de 93 pacientes comparó las tasas de migración entre electrodos de lami-notomía y percutáneos con sistemas de anclaje modernos y no encontró diferencias significativas en pérdida de estimulación, evidencia radiográfica de migración ni tiempo promedio hasta la pérdida de estimulación.⁷²

Aunque los estudios han comparado electrodos de paleta y percutáneos en términos de síntomas clínicos y tasas de migración, no hay investigaciones extensas que evalúen complicaciones, tasas de reoperación y costos a largo plazo. Según datos previos, los electrodos paddle tienen mayores tasas de complicaciones postoperatorias tempranas (3.4% vs. 2.2%, $p=0.0005$), pero tasas de reoperación significativamente más bajas en todos los intervalos, incluyendo a los cinco años o más (aOR: 0.33; IC 95%: 0.18-0.60; $p=0.0018$). Los costos totales a dos años fueron más altos en los sistemas percutáneos debido a mayores gastos en servicios ambulatorios ($p<0.0004$), mientras que, a cinco años, aunque los costos hospitalarios y de medicamentos fueron similares, los sistemas percutáneos presentaron costos ligeramente mayores.

Conclusiones

En conclusión, los sistemas de electrodos EME percutáneos y de paleta ofrecen distintas ventajas. Si bien los electrodos de paleta presentan una mayor incidencia de complicaciones tempranas, destacan por tener tasas significativamente más bajas de reoperación a largo plazo y una mejor cobertura eléctrica de los cordones posteriores. En pacientes con antecedentes de cirugía en la zona de colocación, especialmente en niveles cervicales, la colocación quirúrgica de electrodos de paleta puede ser una opción preferible. Consideramos que el escenario ideal es dominar ambos tipos de procedimientos, permitiendo al cirujano elegir la técnica más adecuada según las necesidades específicas de cada paciente.

Bibliografía

1. Shealy CN, Mortimer JT, Reswick JB. Electrical inhibition of pain by stimulation of the dorsal columns: preliminary clinical report. *Anesth Analg* 1967;46:489-491.
2. Kumar K, Taylor RS, Jacques L et al. Spinal cord stimulation versus conventional medical management for neuropathic pain: a multicentre randomised controlled trial in patients with failed back surgery syndrome. *Pain* 2007;132:179-188.
3. North RB, Kidd DH, Farrokhi F, Piantadosi SA. Spinal cord stimulation versus repeated lumbosacral spine surgery for chronic pain: a randomized, controlled trial. *Neurosurgery* 2005;56:98-106.
4. North RB, Lanning A, Hessels R, Cutchis PN. Spinal cord stimulation with percutaneous and plate electrodes: side effects and quantitative comparisons. *Neurosurg Focus* 1997;2:e3.
5. Villavicencio AT, Leveque JC, Rubin L, Bulsara K, Gorecki JP. Laminectomy versus percutaneous electrode placement for spinal cord stimulation. *Neurosurgery* 2000;46:399-405.
6. 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;51:381-389.
7. North RB, Kidd DH, Petrucci L, Dorsi MJ. Spinal cord stimulation electrode design: a prospective, randomized, controlled trial comparing percutaneous with laminectomy electrodes: part II-clinical outcomes. *Neurosurgery* 2005;57:990-996.
8. Taghva A, Karst E, Underwood P. Clinical Paresthesia Atlas Illustrates Likelihood of Coverage Based on Spinal Cord Stimulator Electrode Location. *Neuromodulation*. 2017;20(6):582-588. doi:10.1111/ner.12594
9. Sheldon B, Staudt MD, Williams L, Harland TA, Pilitsis JG. Spinal cord stimulation programming: a crash course. *Neurosurg Rev*. 2021;44(2):709-720. doi:10.1007/s10143-020-01299-y
10. American Academy of Orthopaedic Surgeons Patient Safety Committee, Evans RP. Surgical site infection prevention and control: an emerging paradigm. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(suppl 6):2-9.
11. Moucha CS, Clyburn T, Evans RP, Prokuski L. Modifiable risk factors for surgical site infection. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93:398-404.
12. Chen P, Hallock KK, Mulvey CL, Berg AS, Cherian VT. The effect of elevated A1C on immediate postoperative complications: a prospective observational study. *Clin Diabetes*. 2018;36:128-132.
13. American Diabetes Association. Standards of medical care in diabetes-2013. *Diabetes Care*. 2013;36(suppl 1):S11-S66.
14. Dhatariya K, Levy N, Kilvert A, et al. NHS diabetes guideline for the perioperative management of the adult patient with diabetes. *Diabet Med*. 2012;29:420-433.
15. Underwood P, Askari R, Hurwitz S, Chamarthi B, Garg R. Preoperative A1C and clinical outcomes in patients with diabetes undergoing major noncardiac surgical procedures. *Diabetes Care*. 2014;37:611-616.
16. Ban KA, Minei JP, Laronga C, et al. American Colle-

- ge of Surgeons and Surgical Infection Society: surgical site infection guidelines, 2016 update. *J Am Coll Surg*. 2017;224:59-74.
17. Møller AM, Villebro N, Pedersen T, Tønnesen H. Effect of preoperative smoking intervention on postoperative complications: a randomised clinical trial. *Lancet*. 2002;359:114-117.
 18. Sorensen LT, Karlsmark T, Gottrup F. Abstinence from smoking reduces incisional wound infection: a randomized controlled trial. *Ann Surg*. 2003;238:1-5.
 19. Beer GM, Wallner H. Prevention of seroma after abdominoplasty. *Aesthet Surg J*. 2010;30:414-417.
 20. Kumar K, Wilson JR, Taylor RS, Gupta S. Complications of spinal cord stimulation, suggestions to improve outcome, and financial impact. *J Neurosurg Spine*. 2006;5:191-203.
 21. Fletcher N, Sofianos D, Berkes MB, Obremskey WT. Prevention of perioperative infection. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89:1605-1618.
 22. Bowater RJ, Stirling SA, Lilford RJ. Is antibiotic prophylaxis in surgery a generally effective intervention? Testing a generic hypothesis over a set of meta-analyses. *Ann Surg*. 2009;249:551-556.
 23. Burke JP. Maximizing appropriate antibiotic prophylaxis for surgical patients: an update from LDS Hospital, Salt Lake City. *Clin Infect Dis*. 2001;33(suppl 2):S78-S83.
 24. Bendel MA, O'Brien T, Hoelzer BC, et al. Spinal cord stimulator related infections: findings from a multicenter retrospective analysis of 2737 implants. *Neuromodulation*. 2017;20:553-557.
 25. Matar WY, Jafari SM, Restrepo C, Austin M, Purtill JJ, Parvizi J. Preventing infection in total joint arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92(suppl 2):36-46.
 26. Malhotra NR, Piazza M, Demoor R, et al. Impact of reduced preincision antibiotic infusion time on surgical site infection rates: a retrospective cohort study. *Ann Surg*. 2020;271:774-780.
 27. Anderson PA, Savage JW, Vaccaro AR, et al. Prevention of surgical site infection in spine surgery. *Neurosurgery*. 2017;80:S114-S123.
 28. Erman T, Demirhindi H, Göçer AI, Tuna M, Ildan F, Boyar B. Risk factors for surgical site infections in neurosurgery patients with antibiotic prophylaxis. *Surg Neurol*. 2005;63:107-112.
 29. Sievert DM, Ricks P, Edwards JR, et al. Antimicrobial-resistant pathogens associated with healthcare-associated infections: summary of data reported to the National Healthcare Safety Network at the Centers for Disease Control and Prevention, 2009-2010. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2013;34:1-14.
 30. Sukul V, Lynch T, Loftus C. Optimal approaches to skin preparation prior to neurosurgery. *US Neurology*. 2010;6:14-18.
 31. Guzel A, Ozekinci T, Ozkan U, Celik Y, Ceviz A, Belen D. Evaluation of the skin flora after chlorhexidine and povidone-iodine preparation in neurosurgical practice. *Surg Neurol*. 2009;71:207-210.
 32. Yasuda T, Hasegawa T, Yamato Y, et al. Optimal timing of preoperative skin preparation with povidone-iodine for spine surgery: a prospective, randomized controlled study. *Asian Spine J*. 2015;9:423-426.
 33. Szlachta-McGinn A, Mei J, Tabsh K, Afshar Y. Transverse versus vertical skin incision for planned cesarean hysterectomy: does it matter? *BMC Pregnancy Childbirth*. 2020;20:65.
 34. Deer TR, Provenzano DA, Hanes M, et al. The Neurostimulation Appropriateness Consensus Committee (NACC) recommendations for infection prevention and management. *Neuromodulation*. 2017;20:31-50. <https://doi.org/10.1111/ner.12565>.
 35. Levy R, Henderson J, Slavin K, et al. Incidence and avoidance of neurologic complications with paddle type spinal cord stimulation leads. *Neuromodulation*. 2011;14: 412-422. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1403.2011.00395.x>.
 36. Deer TR, Mekhail N, Provenzano D, et al. The appropriate use of neurostimulation: avoidance and treatment of complications of neurostimulation therapies for the treatment of chronic pain. *Neuromodulation Appropriateness Consensus Committee*. *Neuromodulation*. 2014;17:571-597 [discussion: 597-578].
 37. Gazelka HM, Freeman ED, Hooten WM, et al. Incidence of clinically significant percutaneous spinal cord stimulator lead migration. *Neuromodulation*. 2015;18: 123-125 [discussion: 125].
 38. Mekhail NA, Mathews M, Nageeb F, Guirguis M, Mekhail MN, Cheng J. Retrospective review of 707 cases of spinal cord stimulation: indications and complications. *Pain Pract*. 2011;11:148-153.
 39. Justiz 3rd R, Bentley I. A case series review of spinal cord stimulation migration rates with a novel fixation device. *Neuromodulation*. 2014;17:37-40.
 40. Berrios-Torres SI, Umscheid CA, Bratzler DW, et al. Centers for Disease Control and Prevention guideline for the prevention of surgical site infection, 2017. *JAMA Surg*. 2017;152:784-791.
 41. World Health Organization. Global guidelines for the prevention of surgical site infection. Accessed January 6, 2021. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250680/9789241549882-eng.pdf?sequence=8>
 42. Hochberg J, Meyer KM, Marion MD. Suture choice and other methods of skin closure. *Surg Clin North Am*. 2009;89:627-641.
 43. Ahmed I, Boulton AJ, Rizvi S, et al. The use of triclosan-coated sutures to prevent surgical site infections: a systematic review and meta-analysis of the literature. *BMJ Open*. 2019;9, e029727.
 44. Azmat CE, Council M. Wound closure techniques. *Ac-*

- cessed May 20, 2020. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470598/>
45. Chan AK, Winkler EA, Jacques L. Rate of perioperative neurological complications after surgery for cervical spinal cord stimulation. *J Neurosurg Spine*. 2016;25:31-38
 46. Mangram AJ, Horan TC, Pearson ML, Silver LC, Jarvis WR. Guideline for prevention of surgical site infection, 1999. Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 1999;20:250-278.
 47. Deer TR, Stewart CD. Complications of spinal cord stimulation: identification, treatment, and prevention. *Pain Med*. 2008;9(suppl 1):S93-S101.
 48. Follett KA, Boortz-Marx RL, Drake JM, et al. Prevention and management of intrathecal drug delivery and spinal cord stimulation system infections. *Anesthesiology*. 2004;100:1582-1594. <https://doi.org/10.1097/00000542-200406000-00034>.
 49. Yusuf E, Bamps S, Ursi JP, et al. Characteristics of infections associated with a spinal cord stimulator system. *J Infect*. 2016;73:515-517. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2016.08.012>.
 50. Franzini A, Ferrolì P, Marras C, Broggi G. Huge epidural hematoma after surgery for spinal cord stimulation. *Acta Neurochir (Wien)*. 2005;147:565-567.
 51. Pahapill PA, Lownie SP. Conservative treatment of acute spontaneous spinal epidural hematoma. *Can J Neurol Sci*. 1998;25:159-163.
 52. Brown MW, Yilmaz TS, Kasper EM. Iatrogenic spinal hematoma as a complication of lumbar puncture: what is the risk and best management plan? *Surg Neurol Int*. 2016;7(suppl 22):S581-S589.
 53. Labaran L, Jain N, Puvanesarajah V, Jain A, Buchholz AL, Hassanzadeh H. A retrospective database review of the indications, complications, and incidence of subsequent spine surgery in 12,297 spinal cord stimulator patients. *Neuromodulation*. 2020;23:634-638.
 54. Wernick B, Nahimiak P, Stawicki SP. Impaired wound healing. Accessed December 15, 2020. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482254/>
 55. Ismael H, Horst M, Farooq M, Jordon J, Patton JH, Rubinfeld IS. Adverse effects of preoperative steroid use on surgical outcomes. *Am J Surg*. 2011;201:305-308.
 56. Zhu J, Gutman G, Collins GJ, Colonna JA. Review of surgical techniques in spinal cord stimulator implantation to decrease the post-operative infection rate. *J Spine*. 2014;4:1-12. <https://doi.org/10.4172/2165-7939.1000202>.
 57. Mehta SK, Breitbart EA, Berberian WS, Liporace FA, Lin SS. Bone and wound healing in the diabetic patient. *Foot Ankle Clin*. 2010;15:411-437.
 58. Stechmiller JK. Understanding the role of nutrition and wound healing. *Nutr Clin Pract*. 2010;25:61-68. <https://doi.org/10.1177/0884533609358997>.
 59. Silverstein P. Smoking and wound healing. *Am J Med*. 1992;93:22S-24S.
 60. Deer TR, Russo M, Grider J, et al. The Neurostimulation Appropriateness Consensus Committee (NACC): recommendations for therapy salvage and persistent outcome optimization. *Neuromodulation*. In press.
 61. Babu R, Hazzard MA, Huang KT, et al. Outcomes of percutaneous and paddle lead implantation for spinal cord stimulation: a comparative analysis of complications, reoperation rates, and health-care costs. *Neuromodulation*. 2013;16(5):418-427. doi:10.1111/ner.12065
 62. Rosenow JM, Stanton-Hicks M, Rezai AR, Henderson JM. Failure modes of spinal cord stimulation hardware. *J Neurosurg Spine* 2006;5:183-190
 63. North RB, Lanning A, Hessels R, Cutchis PN. Spinal cord stimulation with percutaneous and plate electrodes: side effects and quantitative comparisons. *Neurosurg Focus*. 1997;2:e3.
 64. Villavicencio AT, Leveque JC, Rubin L, Bulsara K, Gorecki JP. Laminectomy versus percutaneous electrode placement for spinal cord stimulation. *Neurosurgery*. 2000;46:399-405.
 65. 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;51:381-389.
 66. North RB, Kidd DH, Petrucci L, Dorsi MJ. Spinal cord stimulation electrode design: a prospective, randomized, controlled trial comparing percutaneous with laminectomy electrodes: part II-clinical outcomes. *Neurosurgery*. 2005;57:990-996.
 67. Kumar K, Wilson JR. Factors affecting spinal cord stimulation outcome in chronic benign pain with suggestions to improve success rate. *Acta Neurochir Suppl*. 2007;97:91-99.
 68. North RB, Ewend MG, Lawton MT, Piantadosi S. Spinal cord stimulation for chronic, intractable pain: superiority of "multi-channel" devices. *Pain*. 1991;44:119-130.
 69. Barolat G. Experience with 509 plate electrodes implanted epidurally from C1 to L1. *Stereotact Funct Neurosurg*. 1993;61:60-79.
 70. Cameron T. Safety and efficacy of spinal cord stimulation for the treatment of chronic pain: a 20-year literature review. *J Neurosurg*. 2004;100:254-267.
 71. Turner JA, Loeser JD, Deyo RA, Sanders SB. Spinal cord stimulation for patients with failed back surgery syndrome or complex regional pain syndrome: a systematic review of effectiveness and complications. *Pain*. 2004;108:137-147.
 72. Kim DD, Vakharia R, Kroll HR, Shuster A. Rates of lead migration and stimulation loss in spinal cord stimulation: a retrospective comparison of laminotomy versus percutaneous implantation. *Pain Physician* 2011;14:513-524.