



Estimulación medular. El viaje *Spinal stimulation. The journey*

En 1838, un médico escocés, John Dalziel, presentaba un dispositivo que consistía en una caja en cuyo interior podía alojarse un paciente en posición sentada y sobre la que era posible generar una presión negativa o positiva mediante una bomba accionada manualmente; acababa de nacer la ventilación mecánica. El uso de aparatos de ventilación mecánica con presión negativa se mantiene durante el resto del siglo XIX y XX, cobrando gran importancia en el tratamiento de pacientes en la epidemia de poliomielitis, que asoló al mundo desde 1930 a 1960 [1].

A mediados del siglo XX aparecieron los primeros aparatos de ventilación mecánica con presión positiva, tal y como los conocemos en nuestros días. Estos modelos, aún muy rudimentarios, tan solo contaban con una modalidad ventilatoria (ventilación controlada con volumen), así como una nula capacidad para ajustarse a la ventilación espontánea del paciente y, por tanto, una escasa posibilidad de adecuarse el tratamiento. Constituyen la primera generación de ventiladores mecánicos.

A partir de este punto existe un rápido desarrollo tecnológico, apareciendo en los años 70 y 80 una segunda generación de ventiladores que se caracterizan por adaptarse al esfuerzo inspiratorio del paciente. Una tercera generación surgió también en los años 80, en los que se añadió el control por medio de microprocesadores y sensores. Posteriormente, desde los años 90 hasta el presente, apareció una cuarta generación en la que se desarrolló una auténtica plétora de modos ventilatorios, y no solo los clásicos de control volumen o control presión.

El avance actual de la ventilación mecánica incluye algoritmos de decisión que ajustan de una forma "inteligente" la ventilación del paciente.

El año 2017 supuso el 50 aniversario del primer implante de un estimulador medular con el objetivo de paliar el dolor. Es en 1967 cuando Shealy y Mortimer, para buscar el alivio a un paciente con dolor secundario a cáncer, utilizan unos electrodos implantados en el espacio subaracnoideo que se conectan a un generador externo mediante unas agujas que atraviesan la piel [2].

Solo tuvo que pasar un año hasta que surgió el primer sistema de estimulación medular comercial. Salió al mercado en 1968 y consistía en un receptor de radiofrecuencia acoplado a unos electrodos de estimulación medular y un generador eléctrico externo.

La arquitectura actual de los sistemas de estimulación medular se desarrolló en los años 70 y 80, con el diseño de sistemas completamente implantables y con acceso percutáneo al espacio epidural [3]. En 1981 se comercializó el primer estimulador espinal con generador implantable y, posteriormente, en 2004 aparecieron los primeros generadores de pulsos recargables con la consiguiente miniaturización del sistema.

Hasta muy recientemente, y de forma muy similar a la evolución histórica de la ventilación mecánica, la estimulación medular ha contado con un solo "modo" de estimulación: la estimulación tónica con frecuencias entre 40 y 100 Hz con las que el paciente percibe una sensación parestésica. También de forma análoga a los primeros dispositivos de ventilación mecánica, este "modo clásico" de estimulación medular es escasamente configurable, pudiendo tan solo modificar parámetros como la frecuencia, amplitud y anchura de pulso para adecuar el tratamiento al paciente.

Actualmente estamos asistiendo a una auténtica explosión en la innovación tecnológica y, por tanto, en las opciones de estimulación medular. Similar a lo ocurrido en la ventilación mecánica, han aparecido nuevos modos de estimulación medular que no solo mejoran resultados con respecto al tratamiento convencional, sino que posiblemente amplíen el campo de indicaciones al poseer distintos mecanismos de acción. Tradicionalmente, la estimulación

medular se ha visto reservada a los casos de dolor regional complejo refractario a otros tratamientos [4] y al dolor postcirugía fallida de espalda [5]. Actualmente la estimulación medular se ha mostrado útil también en casos seleccionados de dolor lumbar neuropático [6], dolor de origen isquémico [7], neuralgia postherpética [8], neuropatía diabética dolorosa [9] e incluso en el dolor postquimioterapia [10]. Algunas de estas nuevas indicaciones vienen recogidas en el análisis de las indicaciones de la neuroestimulación presentado por Kot y cols. en este número.

A la estimulación tónica convencional se le han sumado modos como la estimulación de alta frecuencia [11], la estimulación en burst [12], la estimulación de alta densidad [13] o incluso la estimulación aleatoria o estocástica [14]. Esta expansión en los modos de estimulación es lo que podríamos considerar como una segunda generación en la estimulación medular.

De forma paralela, se están desarrollando y comercializando los dispositivos que formarían parte de una hipotética tercera generación. Dispositivos con distintos modos de estimulación que además serían capaces de autorregularse como respuesta a la lectura de distintos sensores, como por ejemplo sensores de posición [15] o incluso midiendo la respuesta que la propia estimulación produce mediante la detección de potenciales de acción evocados compuestos [16].

Sin duda somos espectadores de un cambio apasionante y de cómo la tecnología nos ofrece cada vez más y mejores soluciones para nuestros pacientes con dolor. ¿Qué podremos esperar de la siguiente generación?, ¿sistemas cerrados apoyados en inteligencia artificial?, ¿sistemas basados en la optogenética? Sea como fuere, el camino será emocionante para comprobar finalmente, al igual que en el caso de la ventilación mecánica, cómo ideas como la que tuvo Dalziel en el siglo XVIII o cómo más recientemente la que protagonizaron Shealy y Mortimer, acaban por desarrollar auténticas subespecialidades dentro de la medicina. Disfruten del viaje.

M. J. Muñoz Martínez

Unidad del Dolor, Hospital Universitario de la Princesa. Madrid, España

Correspondencia: Manuel José Muñoz Martínez
manueljosemunozmartinez@gmail.com

BIBLIOGRAFÍA

1. Kacmarek RM. The mechanical ventilator: past, present, and future. *Respir Care*. 2011;56(8):1170-80. DOI: 10.4187/respcare.01420.
2. Shealy CN, Mortimer JT, Reswick JB. Electrical Inhibition of Pain by Stimulation of the Dorsal Columns: Preliminary Clinical Report. *Anesth Analg*. 1967;46(4):489-91.
3. North RB, Fischell TA, Long DM. Chronic stimulation via percutaneously inserted epidural electrodes. *Neurosurgery*. 1977;1(2):215-8. DOI: 10.1097/00006123-197709000-00024.
4. Visnjevac O, Costandi S, Patel BA, Azer G, Agarwal P, Bolash R, et al. A Comprehensive Outcome-Specific Review of the Use of Spinal Cord Stimulation for Complex Regional Pain Syndrome. *Pain Pract*. 2017;17(4):533-45. DOI: 10.1111/papr.12513.
5. Nissen M, Ikäheimo TM, Huttunen J, Leinonen V, von Und Zu Fraunberg M. Long-Term Outcome of Spinal Cord Stimulation in Failed Back Surgery Syndrome: 20 Years of Experience With 224 Consecutive Patients. *Neurosurgery*. 2019;84(5):1011-8. DOI: 10.1093/neuros/nyy194.
6. Al-Kaisy A, Van Buyten JP, Smet I, Palmisani S, Pang D, Smith T. Sustained effectiveness of 10 kHz high-frequency spinal cord stimulation for patients with chronic, low back pain: 24-month results of a prospective multicenter study. *Pain Med*. 2014;15(3):347-54. DOI: 10.1111/pme.12294.
7. Simpson EL, Duenas A, Holmes MW, Papaioannou D, Chilcott J. Spinal cord stimulation for chronic pain of neuropathic or ischaemic origin: systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess*. 2009;13(17):iii-154. DOI: 10.3310/hta13170.
8. Dong DS, Yu X, Wan CF, Liu Y, Zhao L, Xi Q, et al. Efficacy of Short-Term Spinal Cord Stimulation in Acute/Subacute Zoster-Related Pain: A Retrospective Study. *Pain Physician*. 2017;20(5):E633-E645.
9. van Beek M, Geurts JW, Slangen R, Schaper NC, Faber CG, Joosten EA, et al. Severity of Neuropathy Is Associated With Long-term Spinal Cord Stimulation Outcome in Painful Diabetic Peripheral Neuropathy: Five-Year Follow-up of a Prospective Two-Center Clinical Trial. *Diabetes Care*. 2018;41(1):32-38. DOI: 10.2337/dc17-0983
10. Cata JP, Cordella JV, Burton AW, Hassenbusch SJ, Weng HR, Dougherty PM. Spinal cord stimulation relieves chemotherapy-induced pain: a clinical case report. *J Pain Symptom Manage*. 2004;27(1):72-78. DOI: 10.1016/j.jpainsymman.2003.05.007.

11. Kapural L, Yu C, Doust MW, Gliner BE, Vallejo R, Sitzman BT, et al. Novel 10-kHz High-frequency Therapy (HF10 Therapy) Is Superior to Traditional Low-frequency Spinal Cord Stimulation for the Treatment of Chronic Back and Leg Pain: The SENZA-RCT Randomized Controlled Trial. *Anesthesiology*. 2015;123(4):851-60. DOI: 10.1097/ALN.0000000000000774.
12. de Ridder D, Vanneste S, Plazier M, van der Loo E, Menovsky T. Burst spinal cord stimulation: toward paresthesia-free pain suppression. *Neurosurgery*. 2010;66(5):986-90. DOI: 10.1227/01.NEU.0000368153.44883.B3.
13. Yearwood TL, Hershey B, Bradley K, Lee D. Pulse width programming in spinal cord stimulation: a clinical study. *Pain Physician*. 2010;13(4):321-35.
14. Dideriksen JL, Laine CM, Dosen S, Muceli S, Rocon E, Pons JL, et al. Electrical Stimulation of Afferent Pathways for the Suppression of Pathological Tremor. *Front Neurosci*. 2017;11:178. DOI: 10.3389/fnins.2017.00178.
15. Schultz DM, Webster L, Kosek P, Dar U, Tan Y, Sun M. Sensor-driven position-adaptive spinal cord stimulation for chronic pain. *Pain Physician*. 2012;15(1):1-12.
16. Parker JL, Karantonis DM, Single PS, Obradovic M, Cousins MJ. Compound action potentials recorded in the human spinal cord during neurostimulation for pain relief. *Pain*. 2012;153(3):593-601. DOI: 10.1016/j.pain.2011.11.023.