



## Neuroestimulación y anestesia regional

Dr. Gabriel E. Mejía-Terrazas\*

\*Anestesiólogo-Algólogo Instituto Nacional de Rehabilitación.

### INTRODUCCIÓN

La localización eléctrica de los nervios periféricos es una técnica basada en las propiedades que tienen los nervios para iniciar un potencial de acción en presencia de una despolarización local, inducida por una corriente eléctrica. Una fibra nerviosa situada en el trayecto de la corriente de salida produce una despolarización de unos pocos milivoltios en el potencial de reposo. Este cambio inicia el potencial de acción, el cual al propagarse por las fibras motoras del nervio produce una contracción muscular.

### HISTORIA

La primera demostración de la estimulación eléctrica de un nervio fue llevada a cabo por Luigi Galvani (1737-1798) quien nació en Bologna, Italia donde también estudió medicina. Galvani se hizo famoso por estudiar la “electricidad animal” como él la llamaba. Inició con la observación accidental en 1780 de la contracción de las ancas de una rana en disección, cuando el nervio “bared crural” fue tocado con un escalpelo metálico mientras se producían arcos eléctricos en una máquina electrostática cercana que había adquirido con anterioridad. Con este hallazgo comenzó a trabajar en este tema y tras once años de trabajo publicó sus resultados y su ingeniosa y simple teoría. Esta aseguraba la existencia de un fluido eléctrico nervioso, una “fuerza vital innata”, que era secretado por el cerebro y que se almacenaba en los músculos al tiempo que los estimulaba. Esta teoría fue obviamente desechada posteriormente, sin embargo, para su época, fue una forma lógica de defender las observaciones de sus experimentos: Galvani descubrió que cuando nervio y músculo tocaban dos distintos metales (latón y acero) en contacto uno con otro, una contracción en el músculo se llevaba a cabo. Esto lo hizo pionero en estudios de electrofisiología animal<sup>(1)</sup>. El primer estimulador de nervios periféricos fue desarrollado por Von Perthes en 1912, el cual

estimulaba de forma selectiva los nervios causando la contracción del músculo correspondiente. Posteriormente en 1921 Strhol describió el neuroestimulador portátil llamado L Egersimetre, más tarde Pearson, Greenblatt y Denson describieron diferentes instrumentos diseñados para la estimulación de nervios periféricos, como las agujas aisladas eléctricamente. Posteriormente se cambió la medición de amperios por volts<sup>(2)</sup>.

### ELECTROFISIOLOGÍA RELACIONADA A LA NEUROESTIMULACIÓN

Las propiedades eléctricas de los tejidos corporales, dependen del hecho de que numerosos iones están disueltos en el agua de éstos, así como también en el hecho de que las moléculas de agua son dipolos eléctricos que se adhieren a algunos compuestos iónicos y superficies para modificar su comportamiento. El balance de iones determina la carga encontrada en la superficie de las células. Todas las células tienden a mantener en su líquido intracelular altas concentraciones de iones potasio ( $K^+$ ) y bajas concentraciones de iones sodio ( $Na^+$ ). Los líquidos extracelulares contienen abundantes cantidades de ambos iones pero más  $Na^+$  que  $K^+$ . La membrana celular permite el paso de ambos iones hasta cierto grado, pero tiene además un mecanismo de transporte activo que lleva  $K^+$  hacia el interior de la célula y expelle  $Na^+$ . Esta “bomba” sodio-potasio (ATPasa) utiliza energía para mover estos iones independientemente de sus gradientes pasivos de concentración. El gradiente pasivo dependerá de la concentración relativa de cada ion en cada lado de la membrana (que tenderá a difundir de alta a baja concentración) así como también de las fuerzas eléctricas a través de la membrana. La diferencia de potencial a través de una membrana celular en reposo, conocido como potencial de membrana de reposo, tiene al interior de la célula negativo con respecto al exterior. Este potencial en las células de diferentes tejidos varía siendo entre -60 a -90 mV. En

nervios y músculo liso es usualmente -70 mV, en músculo esquelético es -80 mV y de -90 mV en las células gliales. Este potencial eléctrico a través de la membrana es debido al hecho de que dicha membrana es más permeable al K<sup>+</sup> que al Na<sup>+</sup>. Además de que la bomba de sodio-potasio eyecta tres iones sodio por cada dos iones potasio que mete. El impulso nervioso es una onda de actividad electroquímica que pasa a lo largo de la fibra nerviosa usando energía ya almacenada como parte del potencial de membrana. Es la reversión del potencial de membrana de -70mV a +30 mV que ocurre muy brevemente (cerca de 1 ms) y se difunde a lo largo de la fibra sin decremento. A esto se le llama potencial de acción. El impulso es iniciado por la despolarización de la membrana de la fibra debido a disturbios químicos en una sinapsis o receptor o algún otro disturbio tal como un impulso eléctrico. La despolarización significa que la diferencia de potencial a través de la membrana es menos negativa que los -70mV del resto de la membrana. Sin embargo, para que un impulso sea disparado se requiere una despolarización de 10 a 15 mV (potencial de membrana igual a -55 mV). Una vez que este umbral es alcanzado el impulso o potencial de acción, es generado automáticamente y se difunde a lo largo de la fibra nerviosa. Si el impulso es iniciado normalmente tendrá una sola dirección, pero si es generado a la mitad del nervio entonces dos impulsos viajarán desde el punto de estimulación en ambas direcciones. La causa de lo anterior, es que, por efecto de la despolarización, una vez que se pasa el umbral, causa que la membrana se haga mucho más permeable al Na<sup>+</sup> por la apertura de canales para el ion sodio (debido a cambios de la configuración de proteínas de la membrana). Estas compuertas de sodio dependientes del voltaje se abren ampliamente para permitir que Na<sup>+</sup> se precipite al interior de la fibra causando una abrupta reversión de la polaridad de la membrana. Como estas compuertas son abiertas por el cambio de voltaje (despolarización) permiten una rápida aceleración del proceso de despolarización. Luego de un retardo también son abiertos canales de K<sup>+</sup> casi al mismo tiempo que los canales de sodio se cierran. Consecuentemente la precipitación de iones sodio hacia adentro de la membrana se detiene y de esta forma la membrana se repolariza nuevamente. Todo esto se repite al ir avanzando la despolarización. De esta forma el impulso eléctrico viaja a lo largo de la fibra nerviosa a causa de la despolarización. Una vez que el impulso ha pasado por una parte de la fibra esta parte se dice que es refractaria, es decir no puede ser estimulada hasta haberse repolarizado totalmente. Para sobrepassar el umbral y generar un impulso nervioso se puede hacer por dos formas de estímulo: utilizando una pequeña corriente de una relativa larga duración o bien utilizando una corriente de mayor amplitud en un periodo corto. Sin embargo, se requiere una mínima cantidad de corriente (aplicada en un relativo largo periodo)

necesaria para disparar un impulso nervioso, esta mínima amplitud de corriente (estímulo) es llamada *reobase*. Otro término importante en estimulación nerviosa es el de *cronaxia*, que se define como la duración de un estímulo en el punto donde la amplitud de éste es dos veces el valor de la *reobase*<sup>(3,4)</sup>.

## LEYES FÍSICAS RELACIONADAS CON LA NEUROESTIMULACIÓN

La estimulación de los nervios periféricos se logra al establecer un circuito eléctrico. Entre los dos polos de este circuito se coloca el nervio periférico a estimular. La corriente mínima efectiva para estimulación nerviosa se denomina umbral, un polo debe hacer contacto con el nervio. El campo eléctrico creado por las pulsaciones tendrá un efecto despolarizador máximo cuando el cátodo (polo negativo) entre en contacto con el nervio. La magnitud de esta corriente depende de la velocidad en alcanzar la cumbre y el tiempo total de su utilización. Un factor importante para determinar la magnitud de la corriente es la resistencia (impedancia) del cuerpo en el que el nervio se encuentra localizado y la resistencia interna el estimulador. Este hecho sigue la ley de Ohm donde la corriente es directamente proporcional a la diferencia de potencial o al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia. La corriente que fluye durante cada pulso sigue el camino de menor resistencia entre los electrodos. En un estimulador la corriente se dirige del ánodo, formado por un electrodo situado en la piel hacia el cátodo constituido por la aguja. Si la punta de la aguja se dirige hacia el electrodo la mayor parte de la corriente pasará hacia ella ya que está más próxima a completar el circuito, si la aguja se avanza en dirección contraria al electrodo el camino con menor resistencia será imprevisible, para evitar esta situación se aislaron eléctricamente las agujas con teflón excepto en la punta, la cual pasará la corriente y se evitarán falsas localizaciones al hacer contacto el cuerpo de la aguja. La corriente y no el voltaje es la variable más importante en la neuroestimulación, por lo que es importante la medida exacta de la corriente, ya que la corriente umbral es la misma para todos los nervios periféricos y no tiene variaciones interindividuales. Las fibras motoras tienen un umbral más bajo que las fibras sensoriales, la estimulación de baja frecuencia provoca respuestas musculares mientras que las estimulaciones de alta frecuencia producen dolor. La energía necesaria para iniciar un potencial de acción está expresada en la ley de Coulomb, donde hay una relación inversa entre la energía y el cuadrado de la distancia que va del electrodo al nervio cuando ambos están dentro de un cuerpo conductor. Lo que se traduce que a menor distancia menor energía para desencadenar un potencial de acción y por tanto una contracción muscular. El electrodo se debe colocar sobre la

piel limpia y a una distancia menor a 40 cm entre éste y el nervio a localizar, evitando las conexiones deficientes, ya que éstas producen altas resistencias que reducen la magnitud de corriente<sup>(5,6)</sup>.

## MEDICIÓN DE LA RESPUESTA MOTORA A LA NEUROESTIMULACIÓN

Si tomamos en cuenta que la contracción muscular obtenida al realizar la neuroestimulación se traduce en movimientos articulares; éstos pueden ser cuantificables en grados, debido a que durante su desplazamiento producen un ángulo. Esta medición se realiza a través de un goniómetro. Y es aplicable a todas las articulaciones y abordajes generalmente utilizados tanto del plexo braquial (interescaleno, supraclavicular, infraclavicular, axilar) como del lumbosacro (femoral y ciático). Dicha medición nos traduce que para movimientos articulares menores a 5 grados no son efectivos para depositar el anestésico local, ya la respuesta es débil y hay una mayor distancia con el nervio a bloquear, la respuesta óptima es la que va de los 10 a 15 grados que es un movimiento de intensidad moderada y deriva en una adecuada analgesia, ya que la distancia es menor entre la aguja y el nervio. Existe una excepción a esto que es el movimiento patelar debido a estimulación del nervio femoral (abordaje anterior o posterior) éste se mide colocando una aguja en la inserción tendinosa<sup>(7)</sup>.

## RESPUESTAS MOTORAS ESPECÍFICAS<sup>(8,9)</sup>

Durante la neuroestimulación de nervios periféricos se presentan respuestas motoras diversas de acuerdo con el nervio estimulado, pero se deben buscar las respuestas específicas las cuales se relacionan con el nervio que en ese momento estamos buscando con lo que la calidad anestésica es óptima.

**Nervio axilar:** Estimula el músculo deltoides y el redondo menor por lo que su respuesta es la abducción del brazo a nivel de la articulación del hombro.

**Nervio radial:** Inerva 17 músculos del brazo: tríceps, ancone, braquial anterior, supinador largo, primero y segundo radial externo, supinador corto, extensor de los dedos, extensor del meñique, cubital posterior, abductor largo del pulgar, extensor corto del pulgar, extensor largo del pulgar, extensor del índice. La respuesta esperada es la extensión del codo, extensión y abducción de la muñeca hacia radial, extensión de los dedos pulgar e índice.

**Nervio musculocutáneo:** Inerva los músculos coracobráquial, bíceps y braquial anterior, por lo que su respuesta motora es el movimiento de supinación del codo.

**Nervio cubital:** Inerva 18 músculos que son los siguientes: cubital anterior, flexor profundo dedos III y IV, palmar cutáneo, abductor del meñique, opone del meñique, flexor

del meñique, interóseos palmares, interóseos dorsales, lumbricales III y IV, aductores del pulgar, flexor corto del pulgar, debido a esto su respuesta motora es la flexión y abducción de la muñeca en dirección cubital, flexión de los dedos IV, V.

**Nervio mediano:** Inerva 12 músculos que son los siguientes: pronador redondo, palmar mayor, palmar menor, flexor superficial de los dedos, flexor profundo de los dedos I y II, flexor largo del pulgar, pronador cuadrado, abductor corto del pulgar, opONENTE del pulgar, flexor corto del pulgar, lumbricales I y II. Resulta en la pronación del antebrazo, flexión de la muñeca y oposición del dedo pulgar.

**Nervio intercostal:** Durante la colocación paravertebral torácico, la respuesta adecuada es la contracción de los músculos intercostales por estimulación del nervio intercostal, están descritas dos variantes de la programación del neuroestimulador, la primera descrita por Naja con una intensidad de 2.5 mA, 2 a 5 Hz de frecuencia y una duración de 200-300 milisegundos de duración. La segunda descrita con una intensidad de 2.5 mA, 1 Hz de frecuencia<sup>(3)</sup>, utilizando aguja de 100 mm, sin embargo Lang y Saito utilizan un modo con una estimulación supramáxima de 5.0 mA. Si se presenta una respuesta bilateral o bizarra es indicativa de colocación epidural y si se pierde la respuesta es porque puede estar interpleural.

**Nervio femoral:** Inerva los músculos iliaco, pectíneo, sartorio y cuadríceps. La primera respuesta que se presenta es la contracción del músculo sartorio lo que produce contracción del músculo cuadríceps con lo que la patela presenta un movimiento rítmico denominado “patela bailarina”.

**Nervio ciático:** Las fibras más proximales inducen flexión de la pierna debido a la estimulación de los músculos semitendinoso, semimembranoso, y bíceps, así como los de la región glútea (cuadrados y glúteos), la estimulación de las fibras del ciático poplíteo interno inducen inversión planar y flexión del pie y dedos, debido a que inerva los músculos de la parte posterior de la pierna. Cuando se estimula el ciático poplíteo externo se induce flexión dorsal y eversión del pie.

## NEUROESTIMULACIÓN EPIDURAL

La neuroestimulación epidural es una técnica que donde a través de un catéter que en punta cuenta con una zona de estimulación, el catéter se avanza cranealmente y se va observando la respuesta motora obtenida desde las respuestas de los músculos de las piernas, de la pared abdominal, de la pared torácica, hasta colocarlo en el sitio deseado. Esta técnica ha demostrado ser útil para realizar una colocación adecuada y específica de catéteres a nivel epidural, además puede ser una alternativa a la guía radiológica. El neuroestimulador se programa a una frecuencia de 1 Hz y con una

anchura de pulso de 200 msec., se inicia la estimulación entre 1 y 10 mA, a la cual debe haber una contracción motora segmentaria ya sea del tronco o las extremidades lo cual es indicativo de su colocación en el espacio epidural, pero si las contracciones son muy intensas a corrientes muy bajas

(< 1 mA) se realiza la siguiente prueba: Se pone en cero y se comienza a aumentar hasta que se inicie la respuesta motora, si es menor a 1 mA se relaciona con colocación subdural y si es menor a 0.3 mA se relaciona con una colocación subaracnoidea.<sup>10-12</sup>

## REFERENCIAS

1. Lain E. Historia de la medicina moderna y contemporánea 2da edición. Editorial científica médica Barcelona España 1993:153-55.
2. Galindo A. Estimulación eléctrica. En: Galindo A. Anestesia regional ilustrada R M Scientific publications, Florida USA p 34-39.
3. Hadzic A, Vloka J, Peripheral nerve stimulator for unassisted nerve blockade anesthesiology 1996;84:1528-29.
4. Urmey W, Grossi P. Percutaneous electrode guidance a no invasive technique for prelocation of peripheral nerves to facilitate peripheral plexus or nerve block. Reg Anest Pain Med 2002;27:21-67.
5. Devera H. Use of the nerve stimulator in teaching regional anesthesia techniques Reg Anest 1991;16:188-90.
6. Peralta E. Evaluación clínica de los neuroestimuladores en la práctica de la anestesia regional. Rev Mex Anest 2005;28:supl 1:110-13.
7. Zaragoza G, Mejía G, Sánchez B, Gaspar S. Escala de la respuesta motora a la neuroestimulación. Reporte técnico Revista Mexicana de Anestesiología 2006;29:221-225.
8. Brown D. Bloqueo interescaleno En: Brown D. Atlas de anestesia regional 3era edición, Masson Madrid España 2006: 37-44.
9. Kendall F. Cuadros de plexos, nervios y músculos espinales En: Kendall F, Kendall E, Geise P. Músculos, pruebas, funciones y dolor postural Marban 4ta edición Madrid España 2005: 375-440.
10. Tsui B, Wagner A, Cave D, Keamey R. Thoracic ad lumbar epidural analgesia via the caudal approach using electrical stimulation guidance in pediatric patients. Anesthesiology 2004;100:683-9.
11. Tsui B, Guenther C, Emery D, Fincane B. Determining epidural catheter location using nerve stimulation with radiological confirmation. Regional Anesthesia and Pain Medicine 2000;25:321-3.
12. Tsui B, Gupta S, Emery D, Finucane B. Detection of subdural placement of epidural catheter using nerve stimulation. Canadian Journal of Anesthesia 2000;47:471-73.

