

ASPECTOS METODOLÓGICOS

ERNESTO OJEDA

INTRODUCCIÓN

Un estímulo sensorial normalmente desencadena una serie de fenómenos fisiológicos que involucra en primera instancia el receptor. Aquí, antes de que se produzca un potencial de acción, se genera un fenómeno local que no se propaga, el potencial de receptor. Por las vías correspondientes, viaja la andanada de potenciales de acción hasta su destino final en la corteza sensorial. Este último fenómeno se reproduce artificial y parcialmente al aplicar un estímulo eléctrico a un nervio periférico y registrar la respuesta cortical con electrodos dispuestos sobre el cuero cabelludo, la piel encima de las apófisis espinales o de un nervio periférico. Utilizando técnicas de promediación, las respuestas se pueden extraer y analizar bajo la forma de potenciales evocados. Ellos han demostrado de manera convincente ser un medio no invasivo para evaluar la integridad de la función sensorial del sistema nervioso central y periférico.

Dada su proximidad y el paralelismo de las vías sensoriales con las motoras y su vinculación con áreas que involucran centros vegetativos, de conciencia y cognitivos, los potenciales evocados, han representado un recurso importante, si bien indirecto, para valorar y localizar la función neurológica de sistemas paralelos no sensoriales, revelando en ocasiones disfunción no evidente por otros métodos convencionales.

METODOLOGÍA

Hay seis elementos a considerar cuando se pretende registrar cualquiera de las modalidades de potenciales evocados: estímulo, electrodos de registro, instrumentación, amplificadores

y filtros, promediación de señales, análisis y finalmente el elemento más importante, el paciente.

Estimulación: corresponde con la modalidad sensorial a explorar y la porción de la vía que se desea estimular. Es requisito esencial que el estímulo se controle en forma precisa de tal forma que se reproduzca exactamente. El proceso de promediación asume que la respuesta eléctrica evocada por cada estímulo es idéntica por lo cual el estímulo elegido debe controlarse de manera precisa. Dentro de éste marco, el estímulo debe ser de inicio abrupto, ya que los fenómenos sensoriales modificados lentamente producen una respuesta eléctrica del sistema nervioso con pobre sincronización temporal, insuficiente para que pueda ser detectada por los métodos actuales de registro.

Otro aspecto importante es la frecuencia de estimulación. Para cada tipo de estímulo la respuesta del sistema nervioso varía de acuerdo con la frecuencia de estimulación. La amplitud del potencial evocado en general disminuye con el aumento de la frecuencia. La sensibilidad de los componentes de la respuesta a los cambios de la frecuencia depende del tipo de estimulación y del nivel dentro del sistema nervioso en que se originan. Aquellos que tienen sus generadores en niveles superiores son más sensibles a los cambios de frecuencia que los más caudales. Por lo tanto deben elegirse las frecuencias de estimulación óptimas para la variedad sensorial a explorar.

Para la exploración de los potenciales evocados auditivos se utilizan una variedad de estímulos auditivos, dentro de los cuales el más comúnmente utilizado es un click producido por un pulso de onda cuadrada en conexión

a un audífono. Este método se ha difundido en la mayoría de los laboratorios por ser de fácil producción y cumple con el requisito de inicio abrupto y su duración breve es la apropiada para los fines clínicos. No contamina el potencial auditivo precoz del tronco cerebral con el artefacto eléctrico. Dado que es un estímulo de banda amplia estimula la cóclea en un rango de frecuencias entre 1000 y 4000 Hz. únicamente. Algunos equipos permiten seleccionar tonos puros para estimular.

Para evocar los potenciales visuales, también existen estímulos diversos como destellos blancos difusos entre otros. El estímulo preferido para la evaluación clínica de las vías visuales es un damero negro y blanco (disposición de cuadrículas a manera de tablero de damas o ajedrez) que se revierte a una frecuencia de 1-2 veces por segundo. El damero se presenta en un monitor a una distancia calculada para que se logre un ángulo que estimule principalmente la visión foveal. El estímulo por damero es análogo al click, en el sentido de que es un estímulo de banda amplia en el dominio visual y que estimula un rango de frecuencias espaciales.

Los potenciales somatosensoriales se evocan por la estimulación eléctrica de cualquier nervio de la economía, utilizando para tal fin los troncos nerviosos más superficiales, como el mediano o cubital en los miembros superiores en la muñeca, y tibial posterior y peroneo en los inferiores en el de tobillo. Sitios de fácil acceso para una correcta estimulación y que se puede verificar por la actividad muscular desencadenada. Otro método utilizado es la estimulación de fibras cutáneas en diversas porciones del cuerpo circunscribiendo la activación del influjo sensorial. Anatómicamente y dado que las vías sensoriales limitan su recorrido por una o dos raíces espinales son de utilidad para localizar lesión radicular o medular específica de un nivel.

Electrodos de registro. La gran mayoría de estudios se realizan con electrodos de superficie o cutáneos, si bien hay amplia difusión de los electrodos de aguja su uso ha venido en disminución dadas las implicaciones

relacionadas con infección. Para los fines clínicos, los diferentes tipos de electrodos son equivalentes siempre que se adviertan ciertos factores. El electrodo es la interfase entre el generador de la señal y el sistema de registro. Para que pueda fluir la señal desde su generador hacia el sistema de registro la impedancia eléctrica debe ser mínima y existir continuidad con el sistema de registro. Se logra reducir la impedancia frotando el punto de registro con desengrasantes, exfoliador, o abrasivos y crema o gel con propiedades electroconductoras. Esta metodología permite obtenerse impedancias óptimas menores a 5 KOhms, las apropiadas para estos estudios. Idealmente todos los electrodos utilizados deben tener impedancias relativamente similares.

Amplificación y filtrado. La señal eléctrica recogida por los electrodos está en el orden de los microvoltios, y necesita amplificación para aumentar su amplitud y poder ser analizada.

El filtro analógico de entrada es necesario para el acondicionamiento de la señal antes del procesarla. Tiene efecto significativo sobre la calidad del registro y la morfología de las ondas obtenidas.

La entrada del amplificador es una combinación de la señal electrofisiológica evocada y de la actividad de fondo espuria conocida como ruido. Es de fundamental importancia en el registro de los potenciales evocados que la relación señal-ruido sea baja. En la práctica la señal es mucho menor en amplitud que el ruido. La promediación es un método eficaz para anular del registro el ruido y resaltar la señal de interés.

La filtración tiene por objeto suprimir la mayor parte de la contribución del ruido al registro sin distorsionar la amplitud o morfología del potencial evocado. Se logra determinando las características de los filtros que atenúan las frecuencias que contienen ruido y no afectan a aquellas provenientes de la señal evocada.

Los filtros son de paso bajo, cuando permiten el paso de frecuencias bajas y atenúan

las de frecuencias altas; y de paso alto, cuando permiten el paso de frecuencias altas y atenúan frecuencias bajas. Con la combinación de estos dos tipos básicos de filtros se construyen filtros de bandas de paso (notch), que restringen el paso de frecuencias a una banda específica como la frecuencia de línea (50 a 60 Hz). Se disminuye así problemas de interferencia pero con el inconveniente de que podrían afectar la señal cuando esta se encuentra en la misma frecuencia (Figura 1).

Los filtros de paso de banda se utilizan en todos los estudios de potenciales evocados, lo importante es seleccionar el apropiado para el tipo de frecuencia de la señal por obtener, teniendo en cuenta su amplitud y su fase.

Promediación. El filtrado sólo sirve para mejorar la relación señal-ruido, pero es insuficiente para extraer de toda la actividad de ruido o de fondo, el potencial evocado que se desea analizar. Para éste propósito se necesita la promediación. Se basa en el hecho de que con un estímulo dado se evocará, con una latencia fija y estable, una respuesta que

se sumará consecutivamente de acuerdo al número de repeticiones, a diferencia de la actividad de fondo aleatoria, cancelada por el proceso de promediación.

Se calcula teóricamente el número de estímulos necesarios para obtener una apropiada relación señal-ruido a partir de la ecuación:

$$N = \left[\frac{(S/R) \text{ Promedio}}{(S/R) \text{ Entrada}} \right]^2$$

Esta ecuación muestra que si la relación señal-ruido de la entrada es pequeña el número de promediaciones necesarias para obtener una relación señal-ruido determinada de la promediación será alto. Para que una onda promediada sea fiable el valor de (S/R) promedio será de por lo menos de 2.0. Si la relación (S/R) entrada es de 0.05, entonces el valor calculado de N sería de 1600, de tal manera que una disminución en (S/R) entrada

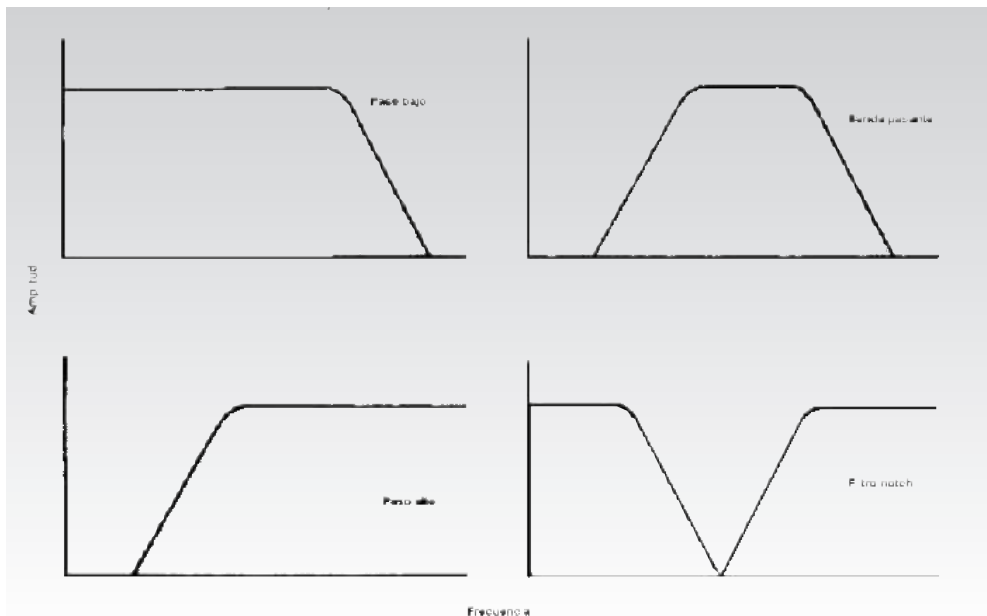


Figura 1. Tipos principales de filtros utilizados en los potenciales evocados.

por un factor de dos conlleva la necesidad de promediar cuatro veces más repeticiones para obtener la misma relación (S/R) promedio. Por lo tanto el cuidado en la colocación de los electrodos mejora la relación señal-ruido y disminuye el número necesario de promediaciones y el tiempo que requiera el estudio (Figura 2).

Un factor que puede limitar la relación señal- ruido de una onda promediada es la estabilidad de la misma, en especial la de los potenciales precoces. Particularmente, los componentes del tronco cerebral obtenidos por la estimulación auditiva y los somatosensoriales son afectados por los parámetros de frecuencia e intensidad del estímulo que controla el neurofisiólogo. Esta estabilidad de la onda no es tan puntual con los componentes tardíos o corticales, afectados significativamente por variables intrínsecas del sujeto como el nivel de conciencia, la atención y habituación que producen cambios en la amplitud, morfología y latencias. El aumento en el número de muestras puede distorsionar el resultado de

la promediación cuando las respuestas varían comportándose como ruido. Sobreponer en un análisis fuera de línea “*offline*”, promedios repetidos obtenidos en momentos diferentes, ofrece una solución para lidiar con este problema.

Registro de los datos. Para propósitos de investigación, legales, clínicos de comparación y otros, los registros deben archivar de manera permanente en los diferentes medios disponibles, de tal manera que puedan revisarse en cualquier momento los trazados o bien en pantalla o en copia “*dura*” en papel. Los registros archivados digitalmente brindan la posibilidad de confirmar los valores de los parámetros al revisarlos diferentes observadores, o efectuar cambios en la amplificación, filtrado, realizar nuevas promediaciones y consignar información clínica relevante del paciente.

El paciente. Obviamente, el elemento esencial. Debe recibir una explicación comprensible del procedimiento a realizar, e inducir tranquilidad y reposo dentro de las limitaciones

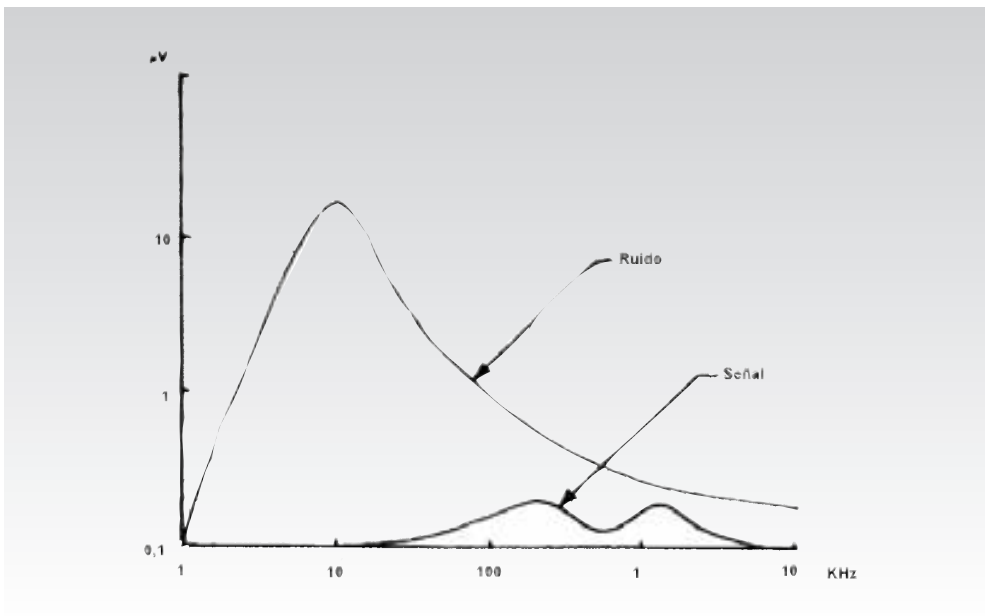


Figura 2. Relación entre la actividad de fondo (ruido) con la señal de alta frecuencia de pequeña amplitud del potencial evocado

del examen. Facilita la conducción del estudio y disminuye artificios y mejoran la calidad del registro. Un paciente tenso aumenta la actividad de fondo, los movimientos generan artificios que interfieren con el registro. El manejo adecuado de la relación con el paciente es un componente esencial dentro del contexto del estudio.

LECTURAS RECOMENDADAS

- [1] **CHIAPPA KH.** Evoked Potentials in Clinical Medicine, 3d Ed., Lippincott-Raven Publishers. Philadelphia 1997.
- [2] **DONCHIN E, CALLAWAY E, COOPER R, DESMEDEDT JE, GOFF WR, HILLYARD SA, SUTTON S.** Publication Criteria for studies of evoked potentials in man. Report of a committee. *Prog Clin Neurophysiol* 1977;1:1-11.
- [3] **JOHNSON EW.** Practical Electromyography. Baltimore: Williams & Wilkins. 1988:369-410.
- [4] **EISEN AA.** The somatosensory evoked potentials. Minimonograph No 19. Rochester, MN, American Association of Electromyography and Electrodiagnosis. 1982.
- [5] **CRACCO JB, CRACCO RQ, GRAZIANI LJ.** The spinal evoked response in infants and children. *Neurology* 1975;25:31-36.
- [6] **STARR A, ACHOR LJ.** Auditory brainstem responses in neurological disease. *Arch Neurol* 1975; 32:761-768.