



Sesión No. 6a

Velocidad de conducción nerviosa y electromiografía

PROPÓSITO GENERAL

Comprender los fundamentos fisiológicos de los estudios de velocidad de conducción nerviosa y de electromiografía.

PROPÓSITOS ESPECÍFICOS

- Definir las características de un estudio de electromiografía y un estudio de velocidad de conducción nerviosa.
- Analizar los patrones registrados en una electromiografía realizada durante una contracción isotónica y una contracción isométrica
- Analizar el patrón que se produce en una electromiografía durante la fatiga muscular
- Comprender las bases fisiológicas subyacentes a los cambios que se observan en el EMG durante un reclutamiento de unidades motoras
- Analizar los patrones de activación de músculos agonistas y antagonistas.
- Interpretar adecuadamente los parámetros de amplitud, latencia inicial y velocidad de conducción nerviosa
- Comprender las bases fisiológicas de las características morfológicas de los potenciales registrados en un sujeto sano: forma, amplitud, duración y área bajo la curva.

CUESTIONARIO PREVIO

1. ¿Qué hallazgos esperas encontrar en la electromiografía (EMG) en una contracción isométrica o en una contracción isotónica?
2. ¿Existe relación entre la masa muscular y los patrones de reclutamiento de una EMG?
3. ¿Existen diferencias entre sujetos femenino y masculino en una EMG?
4. ¿Qué diferencias existen entre la EMG del músculo agonista y el antagonista?
5. ¿Qué es una unidad motora?
6. ¿En qué consiste el fenómeno de reclutamiento de unidades motoras?
7. ¿Para qué se puede utilizar un estudio de Velocidad de Conducción Nerviosa (VCN)?
8. ¿Cómo se clasifican las fibras nerviosas considerando su diámetro, velocidad de conducción y presencia de mielina?
9. ¿De qué depende la latencia y la amplitud de un potencial registrado en un estudio de VCN?
10. ¿Hay diferencias en la latencia y amplitud de los potenciales registrados en estudios de VCN realizados en diferentes nervios?





INTRODUCCIÓN

Los estudios electrofisiológicos de electromiografía (EMG) y velocidad de conducción nerviosa (VCN), son técnicas diagnósticas de utilidad en la exploración del sistema nervioso periférico y del sistema musculoesquelético.

Velocidad de Conducción Nerviosa (VCN)

Los estudios de la conducción nerviosa son técnicas electrofisiológicas que permiten estudiar la propagación del impulso nervioso en cualquier nervio periférico que puede ser sensitivo o motor o mixto. Son especialmente útiles para el diagnóstico de la enfermedad de nervios periféricos o neuropatía, o como seguimiento de la recuperación tras una lesión. La valoración de la velocidad de conducción nerviosa permite comparar los nervios de las extremidades o de regiones más proximales. Se encuentran alteraciones en padecimientos como las neuritis, el síndrome del túnel del carpo y enfermedades desmielinizantes como la esclerosis lateral amiotrófica. Dichos estudios son considerados una extensión de la correcta exploración neurológica de un paciente y no sustituto de la misma, por lo que el diagnóstico se debe basar fundamentalmente en la historia y exploración física, siendo estos estudios útiles como apoyo al diagnóstico.

El sistema nervioso periférico se compone de dos grandes grupos de fibras nerviosas: mielinizadas y no mielinizadas. La velocidad de conducción de una neurona **depende del diámetro del axón y de la presencia de mielina** que lo recubre. Cuanto mayor es el diámetro del axón, mayor es la velocidad de conducción de los potenciales de acción.

En los humanos es posible medir la velocidad de conducción de grandes nervios, mediante el registro de los potenciales de acción, medidos extracelularmente sobre la superficie de la piel que cubre al nervio o mediante la activación del músculo que inervan. Los **potenciales sensitivos** se registran directamente sobre las fibras sensitivas del nervio con electrodos de superficie dispuestos sobre el trayecto del nervio. El **potencial motor compuesto** registra la actividad eléctrica generada por la contracción muscular resultante de la estimulación de un nervio con fibras motoras y se registra con electrodos de superficie sobre el músculo específico.

Para el registro, normalmente se utilizan 2 electrodos de superficie, donde un electrodo es activo y el otro es referencial. Se ponen en contacto con el músculo o sobre el nervio sensitivo. El electrodo activo tiene una localización proximal y el referencial se localiza distalmente. Estos 2 electrodos hacen de receptores del estímulo que provocamos en el nervio correspondiente. Para la estimulación usualmente se usa un electrodo de estimulación bipolar, donde un pulso de corriente se genera entre el cátodo, y el ánodo, este pulso de corriente despolariza al nervio adyacente y genera un potencial que se propaga a través del mismo.



Dicho estímulo debe realizarse de forma creciente hasta asegurar un estímulo supramáximo es decir, un 20% superior al que evoca un potencial de amplitud máxima. En cada paciente varía la intensidad del estímulo dependiendo de varios factores: grado de relajación, condiciones de la piel, edema, tejido adiposo, etc.

Los parámetros a estudiar son los siguientes:

- **Latencia inicial:** tiempo transcurrido entre la estimulación y la aparición de la respuesta en un sitio de registro. Se mide en ms.

- **Velocidad de conducción:** se expresa en m/s y refleja la celeridad con que se propaga el estímulo a través del nervio, desde la estimulación distal hasta la proximal en la conducción motora (VCM). Se expresa como resultante de la diferencia entre las latencias iniciales del potencial registrado en un sitio proximal y uno distal entre la distancia medida en mm que hay entre ambos estímulos.

- **Características del potencial:** forma, amplitud, duración y área bajo la curva.

Las fibras nerviosas de mayor diámetro de los nervios periféricos conducen la corriente eléctrica por encima de 45 m/s transmitiendo el impulso de forma saltatoria entre los nódulos de Ranvier hasta llegar al músculo.

Electromiografía

Se utiliza el término **electromiografía (EMG)** para referirse a las técnicas utilizadas en el estudio funcional del sistema neuromuscular tanto en reposo como durante una contracción. Su fundamento eléctrico se basa en el registro de potenciales bioeléctricos. Los equipos de EMG para el registro y análisis de los potenciales de acción del músculo están compuestos por electrodos de superficie o aguja que captan la señal y una vez amplificados y filtrados son convertidos en señal digital. Hoy en día los aparatos tienen incorporados unidades de estimulación, líneas de retraso, sistemas de almacenamiento y análisis de las señales, etc. Además de la señal digital visual, los aparatos de EMG tienen altavoces para la captación acústica de la señal analógica, cuya información es fundamental para la interpretación de ciertos hallazgos como las fibrilaciones, descargas miotónicas, potenciales polifásicos, etc. Toda esta información, una vez registrada y almacenada, puede ser visualizada en la pantalla, y posteriormente impresa en papel o guardada en la memoria.

Si bien existen protocolos propuestos, según la patología, por la asociación americana de neurología y otras escuelas dedicadas al estudio de la electroneuromiografía, la electromiografía se considera un estudio dinámico que puede ser tan austero o extenso como los hallazgos se vayan presentado. Así una evaluación de un paciente con diabetes a quien se le solicita estudio de extremidades inferiores puede convertirse en un estudio de cuatro extremidades según la necesidad. Es decir, la electromiografía es una prolongación de la exploración neurológica, por lo que no existe una estandarización de la misma. Partiendo de una hipótesis diagnóstica, se planifica el estudio a realizar, para confirmar o rechazar dicha hipótesis. Así mismo, y dependiendo de los hallazgos neurofisiológicos que vayan apareciendo, se puede ir modificando el estudio





inicial y ampliarlo a otras técnicas. Una EMG se puede realizar con electrodos de superficie como primer abordaje, sin embargo, en la clínica cuando se sospecha trastornos de denervación, se emplea el electrodo de aguja coaxial y lo realiza el neurofisiólogo o el médico especialista en rehabilitación, por tratarse de una técnica muy compleja en cuanto a su interpretación y decisiva para el diagnóstico de determinadas patologías y/o localizaciones y grados de lesiones.

La EMG tiene varias indicaciones clínicas y escasas contraindicaciones relativas, entre las que podemos nombrar: La presencia de marcapasos, uso de anticoagulantes orales o crisis convulsivas. Las únicas contraindicaciones absolutas son, falta de cooperación del paciente, la negativa a realizarse el estudio o tejido de la piel lesionado de forma severa donde no se pueda abordar por lesiones extensas (Quemaduras o infecciones cutáneas de cuantiosa extensión)

Dentro de las indicaciones clínicas encontramos:

- Diferenciación entre debilidad de origen central y periférico.
- Diferenciación entre debilidad de origen neurógeno y miógeno.
- Diferenciación entre radiculopatía y neuropatía
- Localización de la lesión y determinación del grado de afectación en las mononeuropatías.
- Diferenciación entre mononeuropatías múltiples y polineuropatías.
- Diferenciación entre neuropatías desmielinizantes y axonales.
- Evaluación pronóstica en las neuropatías.
- Trastornos de la unión neuromuscular.
- Identificación de signos de denervación, fasciculaciones y miotonía en músculos normales.
- Diferenciación entre calambre y contractura.

Ya que por medio de esta técnica se puede conocer la actividad de uno o varios músculos en una acción concreta, la electromiografía se aplica también en investigación o en medicina del deporte para:

- Determinar, en cada instante, si el músculo está activo o inactivo.
- Saber qué grado de actividad muestra durante los períodos en que se halla activo.
- Conocer qué tipo de relación o interacción mantiene con el resto de los músculos implicados en la acción que se va a estudiar (concepto de coordinación intermuscular).
- Realizar un análisis de la marcha o de diferentes movimientos
- Estudiar los fenómenos de fatiga muscular.
- Evaluar el rendimiento deportivo.
- Facilitar técnicas de Miofeedback.
- Análisis de coactivación de músculos.



Patrón de descarga de la unidad motora

Recordemos que la unidad motora está formada o constituida por una sola neurona motora inferior (incluyendo el cuerpo celular y sus prolongaciones) y todas las fibras musculares inervadas por las ramificaciones de su axón.

El músculo de un sujeto sano en reposo no muestra en el EMG actividad eléctrica alguna, excepto la presencia ocasional y breve de potenciales de inserción y de potenciales de placa cuando la aguja está en proximidad de la placa motora. Una contracción voluntaria media causa descargas de baja frecuencias aisladas (1 ó 2 impulsos por segundo), de una o pocas unidades motoras. El esfuerzo incrementa la fuerza muscular y se asocia con dos cambios relacionados pero separados en el patrón de descarga de la unidad motora: a) reclutamiento de las unidades previamente inactivas, y b) mayor rapidez en el disparo de las unidades ya activadas.

Un sujeto sano puede ser capaz de activar una o dos unidades motoras inicialmente. Las unidades motoras así activadas son pequeñas y probablemente representan las fibras musculares de tipo I. Aquellas que son reclutadas más tarde son considerablemente más grandes y reflejan la participación de las unidades de tipo II. Normalmente la frecuencia de disparo es de 10 a 12 Hz

Patrón de reclutamiento o interferencia

Con una mayor contracción, se van sumando un mayor número de unidades motoras activas que empiezan a disparar rápidamente. La activación simultánea de muchas unidades motoras es un fenómeno llamado reclutamiento y no permite el reconocimiento de potenciales de unidades motoras individuales, esta respuesta sumada, usualmente se refiere como patrón de interferencia. Este patrón es una medida de la densidad o número de espigas y el promedio de amplitud de todos los potenciales de la unidad motora. La configuración y la frecuencia de disparo de cada potencial de la unidad motora, depende del número de neuronas motoras capaces de estar descargando. Al analizar el patrón de interferencia, es importante determinar no sólo cómo descargan las unidades motoras, sino también el número de unidades disparando que sea apropiado para la fuerza muscular ejercida. El músculo a máximo esfuerzo es la expresión del número de unidades motoras funcionantes en el área estudiada. Durante el esfuerzo máximo, las unidades motoras aisladas descargan a frecuencias en el rango de 25 a 50 impulsos por segundo. En el músculo normal aparece un trazado muy rico o interferencial que borra la línea base como consecuencia de que las unidades motoras aumentan de frecuencia de contracción y a su vez hay un mayor reclutamiento de unidades motoras. La amplitud del trazado es de 2-4 mV.

Actualmente, los equipos digitales permiten realizar análisis cuantitativo de la electromiografía, este análisis añade objetividad al análisis visual.



Material para la práctica

- Manual Operativo del Electromiógrafo Cadwell

(El manual será enviado a los correos de los profesores)

- Electromiógrafo Cadwell – Computadora
- Programa de captura y registro
- Juego de electrodos de superficie con cables
- Gel conductor
- Algodón – Alcohol
- Voluntarios para registros
- Cinta métrica

Desarrollo de la práctica de EMG

Obtención de un electromiograma de superficie (EMG) estándar:

1. En un voluntario, seleccione el músculo del que se obtendrá el registro, bíceps braquial, por ejemplo. La superficie deberá estar descubierta, la región deberá estar libre de ropas, pulseras, relojes, etc.
2. Limpie con algodón y alcohol la región en donde se colocarán los electrodos de superficie.
3. Coloque un electrodo cerca de la inserción proximal del músculo en estudio y otro cerca de la inserción distal, de manera que queden paralelos a las fibras del músculo (esta ubicación se puede variar dependiendo de la longitud del músculo a explorar, de hecho, puede investigar los cambios en la señal del EMG asociados con la distancia entre los electrodos).
4. Coloque un tercer electrodo en cualquier otra parte del cuerpo, alejado del sitio donde se encuentren los electrodos de registro.
5. Una vez activado el sistema de registro se puede obtener un registro inicial (Fig. 2) como el que se abajo se muestra

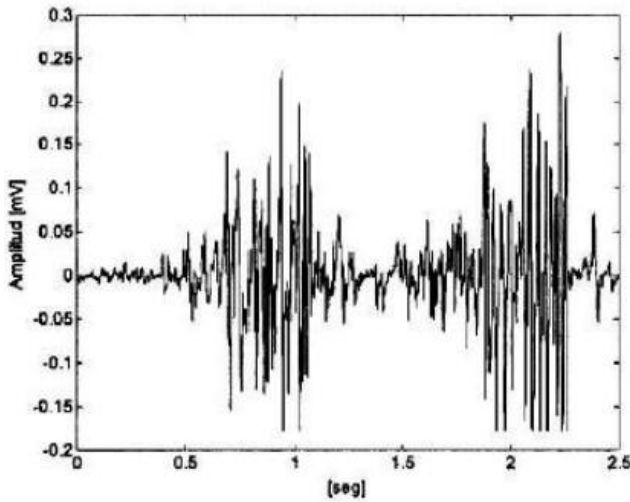


Figura 1. Electromiograma típico, En las abscisas se encuentra el tiempo (ms), en las ordenadas el voltaje (mV)

Obtención del EMG en diversas condiciones

El sistema de registro que se usará es de tipo clínico e inicia con la definición del paciente (sujeto experimental). Puede usted realizar las siguientes maniobras.

Contracción isotónica: Coloque los electrodos en los extremos del bíceps braquial y pida al paciente que levante un peso de valor conocido, registre el EMG de dicho movimiento.

Contracción isométrica: Coloque los electrodos en los extremos del bíceps braquial y pida al paciente que mantenga levantado el peso, manteniendo un ángulo de 45° entre el brazo y el antebrazo, registre el EMG de este fenómeno.

Reclutamiento de unidades motoras: Con la misma preparación se pedirá al paciente que levante un peso cuyo valor se irá incrementando paulatinamente. Registre el EMG durante toda la operación.

Fatiga de contracción: Con la misma preparación pida al voluntario que realice flexiones y extensiones del antebrazo sobre el brazo hasta que la amplitud y duración del fenómeno eléctrico que registra se reduzca en al menos un 50%.

RESULTADOS

El registro que usted obtuvo se puede analizar de varias maneras. La más sencilla es medir la duración y la amplitud (voltaje) de la descarga eléctrica que se produce cuando se contrae el músculo contra una carga cero. Es decir, cuando no se le aplica ninguna resistencia, y se compara con la magnitud y duración de esta descarga cuando se aplican resistencias sucesivas. Estos valores, de voltaje y duración de cada contracción, se pueden representar en una gráfica que relacione el peso levantado respecto a las características eléctricas de la contracción.



- ¿Puede usted medir la intensidad de la contracción con el registro obtenido? De ser así, ¿de qué magnitud es? Si la respuesta es negativa ¿cuál es la razón? ¿Qué otro tipo de análisis se puede hacer?
- ¿Cómo se modifica el EMG al aumentar la carga? ¿Qué cambios ocurren cuando se fatiga el músculo?
- ¿El EMG cambia según el músculo?
- ¿Si cambia la posición de los electrodos también lo hace la forma del EMG?

Desarrollo de la práctica de VCN

Obtenga los registros de la actividad nerviosa a diferentes distancias de la ubicación de los electrodos de estimulación. Debe haber medido dichas distancias para poder calcular. Obtenga registros de velocidad de conducción de fibras motoras y mida las velocidades de conducción. Si es posible, se puede sumergir el brazo en agua helada vs brazo eutermico o incluso con aplicación de calor, para que se evidencien los cambios de VNC con los cambios de temperatura.

Mediante el programa del equipo puede usted medir para ambos tipos de potenciales la latencia inicial, la latencia terminal, amplitud base y amplitud pico. Y en base a ellos obtener duración del potencial, área del mismo y al ingresar la distancia entre estímulos proximal y distal obtener también la velocidad de conducción.

Colocación de los electrodos

En la sección de ayuda del programa (ver manual operativo) se señalan claramente los puntos de estimulación y registro para la exploración de diferentes nervios.

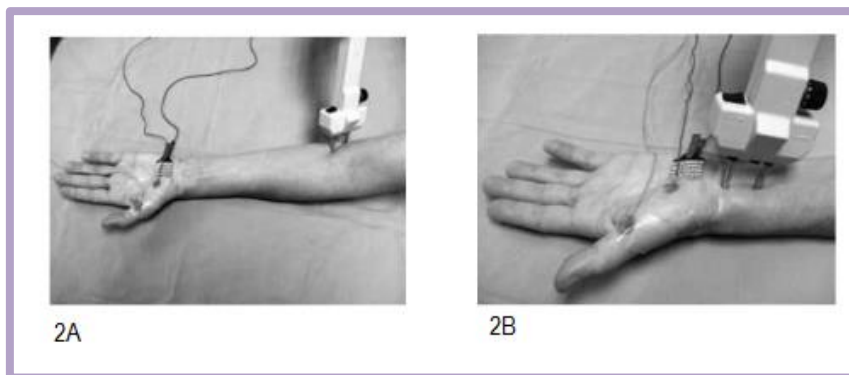


Figura 2. Ejemplo de técnica adecuada de estimulación, proximal 2A y distal 2B de nervio mediano.



RESULTADOS

- Tabule sus resultados y compare los registros obtenidos para los diferentes estímulos utilizados y para vías motoras y sensoriales. Compárelos con otros integrantes del grupo.
- Evalúe si los valores de latencia, velocidad y amplitud se encuentran distribuidos de acuerdo a los estándares comunes (**el programa muestra los valores de referencia, ver el manual operativo**).
- ¿Qué diferencias son evidentes en la morfología, amplitud, duración y latencias de los potenciales motores contra los sensoriales?
- ¿Encuentra alguna diferencia entre los registros de un voluntario masculino y un femenino?

EVALUACIÓN

Dar un valor a la fase de discusión del grupo y otro al reporte.

BIBLIOGRAFÍA

- Berne & Levy. *Fisiología*. 7ª Edición. Madrid: Elsevier. 2018.
- Derrickson. *Fisiología Humana*. Editorial Panamericana, 2018.
- J. Ibarra Lúzar, E. Pérez Zorrilla, C. Fernández García. Electromiografía clínica. *Rehabilitación (Madr)* 2005;39(6):265-76 ([Artículo de libre acceso](#))
- Núria Massó, Ferran Rey, Dani Romero, Gabriel Gual, Lluís Costa y Ana Germán, Aplicaciones de la electromiografía de superficie en el deporte, *Apunts Med Esport*. 2010;45(165):127-136 ([Artículo de libre acceso](#))
- Emilio Villanueva Cajigas; Conducción nerviosa periférica sensitiva de miembros inferiores en deportistas del equipo nacional de patinaje. ([Texto en línea PDF de libre acceso](#)).

Práctica revisada por Dr. Vito Hernández, Dra. Virginia Inclán, Dra. Elsi Nohemí Garrido, Dr. Marco Antonio Mendoza Ojeda y MPSS: José Llano y Jorge Díaz

