

Bloque 4: Electromiograma

Introducción a la Electromiografía

Luis Bote Curiel
Francisco Manuel Melgarejo Meseguer

DTSC

Curso 24-25



Índice

- ① Introducción
- ② Instrumentación
- ③ Potencial de Acción de las Unidades Motoras (MUAP)
- ④ Trastornos Neuromusculares
- ⑤ Bibliografía

Introducción

Tipos de Tejido Muscular

Definición de Músculo

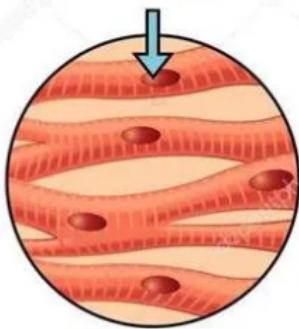
Los músculos son tejidos blandos que se contraen para producir movimiento. Se dividen en tres tipos principales:

- **Músculo esquelético** Compuesto por células multinucleadas, largas (hasta 30 cm) y cilíndricas. Facilitan el movimiento del cuerpo y sus partes.
- **Músculo cardíaco** Formado por miocardiocitos, que son células alargadas y ramificadas con un núcleo central (a veces más de uno). Se encuentran en la pared del corazón.
- **Músculo liso** Presente en las paredes de las vísceras huecas y la mayoría de los vasos sanguíneos. Sus células son fusiformes y no presentan estriaciones ni un sistema de túbulos.

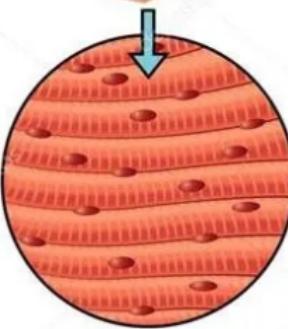
Número de Músculos en el Cuerpo Humano

El cuerpo humano tiene entre 650 y 840 músculos, dependiendo de la definición y clasificación de los músculos.

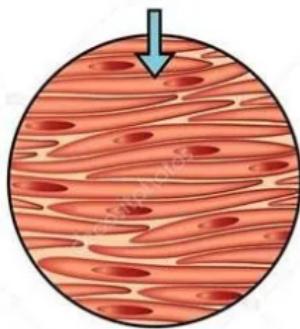
Tejidos



Tejido muscular cardiaco
(control involuntario)



Tejido muscular esquelético
(control voluntario)

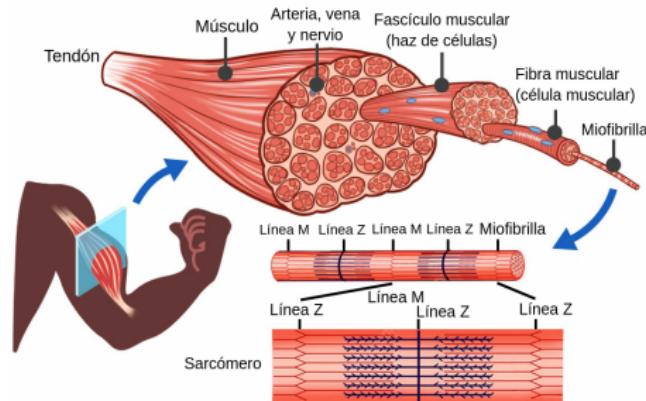


Tejido muscular liso
(control involuntario)

Organización

Organización del Tejido Muscular

- **Unidad funcional:** Los sarcómeros son conectados en serie para formar miofibrillas.
- **Cantidad de sarcómeros:** Aproximadamente 10,000 sarcómeros forman una miofibrilla.
- **Contracción:** Cada sarcómero contraído acorta la longitud de la miofibrilla completa.

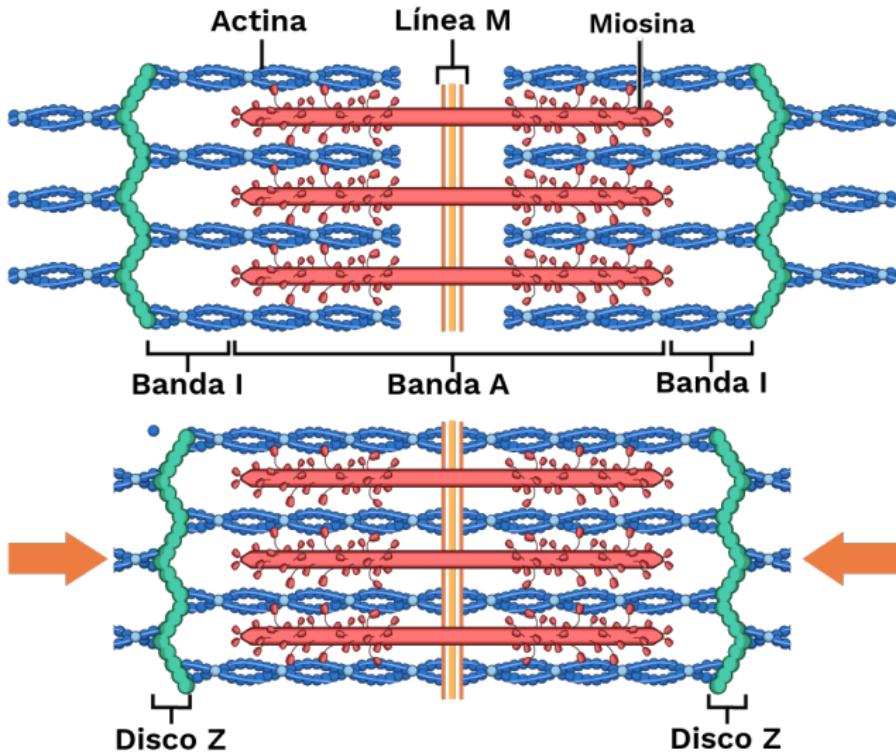


Contracción

Contracción de los Sarcómeros

- **Impulso nervioso:** Un potencial de acción viaja a lo largo de una neurona motora hasta la unión neuromuscular.
- **Liberación de calcio:** El impulso nervioso provoca la liberación de iones de calcio desde el retículo sarcoplásmico hacia el sarcoplasma.
- **Unión de calcio a la troponina:** Los iones de calcio se unen a la troponina, causando un cambio conformacional que desplaza la tropomiosina y expone los sitios de unión en la actina.
- **Formación de puentes cruzados:** Las cabezas de miosina se unen a los sitios de unión en la actina, formando puentes cruzados.
- **Golpe de fuerza:** Las cabezas de miosina pivotan, tirando de los filamentos de actina hacia el centro del sarcómero, lo que acorta el sarcómero.
- **Desprendimiento de los puentes cruzados:** El ATP se une a las cabezas de miosina, causando que se desprendan de la actina.
- **Reinicio del ciclo:** La hidrólisis del ATP proporciona la energía para que las cabezas de miosina vuelvan a su posición original, listas para unirse a otro sitio de unión en la actina.

Contracción II



Unidades Motoras

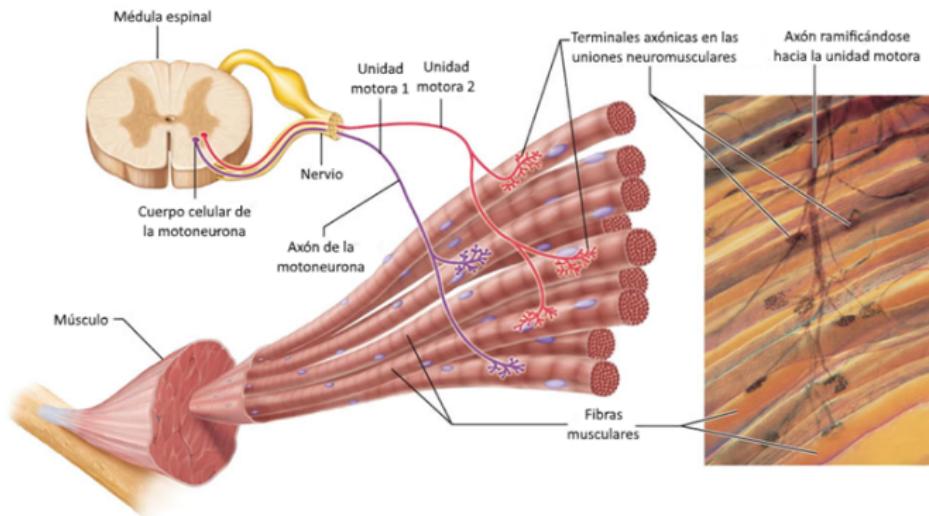
Definición de Unidad Motora

Una unidad motora está compuesta por una neurona motora y todas las fibras musculares que inerva. Es la unidad funcional básica del sistema neuromuscular.

Unidades Motoras

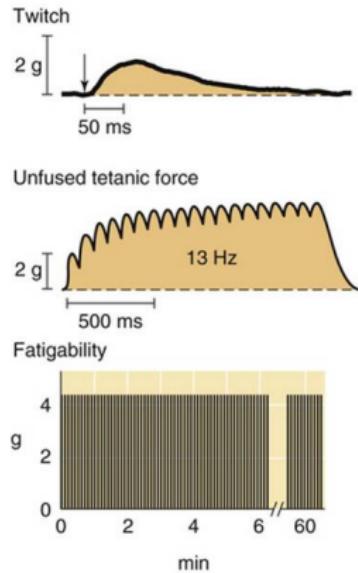
- Lentas (Tipo I):
 - Fibras musculares de contracción lenta.
 - Alta resistencia a la fatiga.
 - Utilizadas para actividades de resistencia, como correr largas distancias.
- Rápidas (Tipo IIa):
 - Fibras musculares de contracción rápida.
 - Resistencia moderada a la fatiga.
 - Utilizadas para actividades de fuerza y velocidad, como levantamiento de pesas.
- Rápidas (Tipo IIb):
 - Fibras musculares de contracción muy rápida.
 - Baja resistencia a la fatiga.
 - Utilizadas para actividades de alta intensidad y corta duración, como sprints.

Unidades Motoras

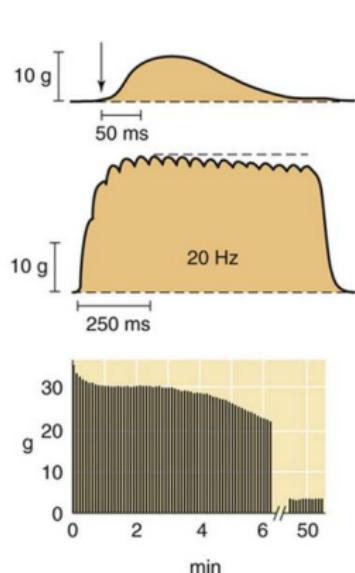


Unidades Motoras

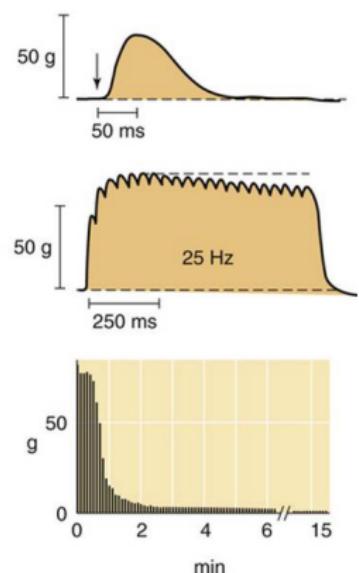
A TYPE I (SLOW)



B TYPE IIa (FAST, FATIGUE-RESISTANT)



C TYPE IIx (FAST, FATIGABLE)



Reclutamiento de Unidades Motoras

Principio del Tamaño

El reclutamiento de unidades motoras sigue el principio del tamaño, donde las unidades motoras más pequeñas y lentas se activan primero, seguidas por las más grandes y rápidas a medida que aumenta la demanda de fuerza.

Tasa de Estimulación

La tasa de estimulación se refiere a la frecuencia con la que una neurona motora envía impulsos eléctricos a las fibras musculares.

Efecto en la Contracción Muscular

- Una mayor tasa de estimulación puede aumentar la fuerza de contracción muscular.
- La suma de impulsos puede llevar a una contracción tetánica, donde el músculo se mantiene contraído sin relajación.

Instrumentación

Electromiografía (EMG)

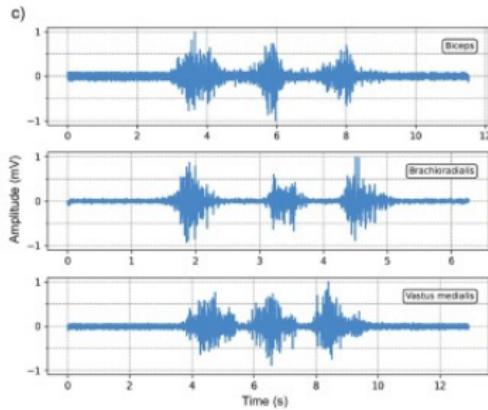
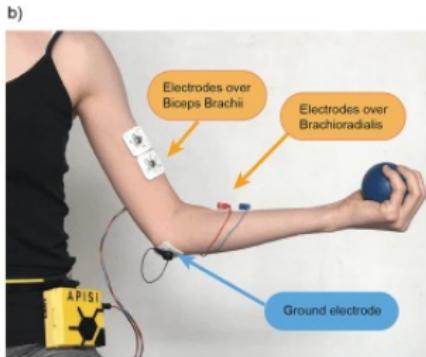
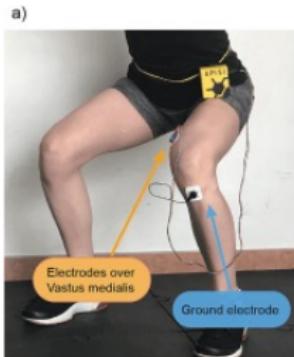
El registro básico del potencial de acción de la unidad motora (MUAP) es la EMG, una herramienta utilizada para registrar el potencial de acción de la unidad motora.

Tipos de EMG

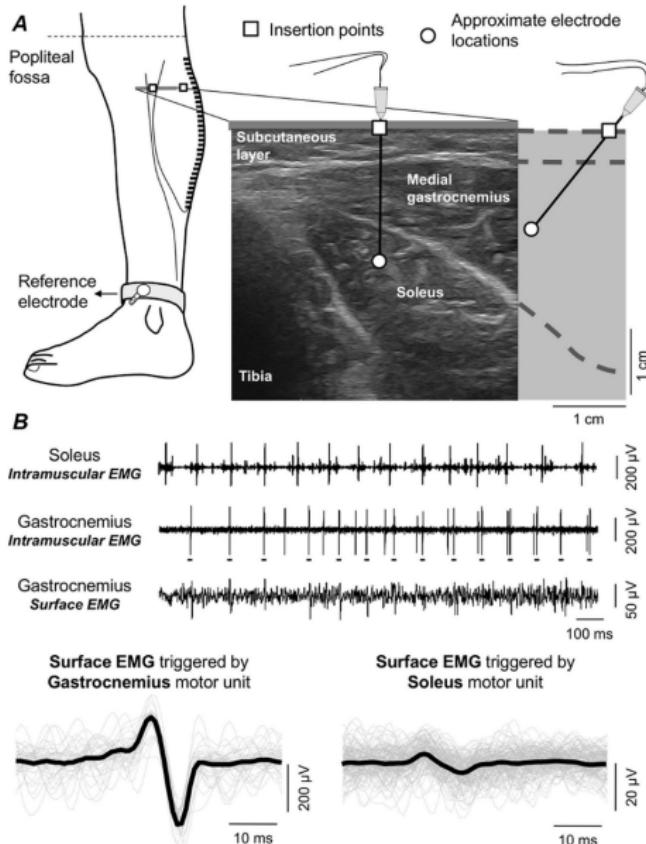
Existen dos tipos fundamentales de EMG:

- **EMG de aguja:** Preferidos sobre los electrodos de superficie porque pueden ingresar directamente a las unidades motoras individuales y evaluar los potenciales de acción con mayor precisión.
- **EMG de superficie (sEMG):** Compuestos de Ag/AgCl y se encuentran en formas de barras o discos. Se recomienda aplicar gel o pasta para obtener una interfaz deseable para la adquisición de señales.

Tipos de EMG



Tipos de EMG



Registro de Datos EMG

Proceso de Registro

Los datos EMG se registran en el laboratorio de EMG del hospital por un electro-miográfista, utilizando EMG de superficie (sEMG) no invasivo o EMG de aguja, dependiendo de la sensibilidad del equipo utilizado.

Procedimiento

- Se determina el área de irregularidades para realizar el registro EMG.
- El EMG se registra durante un tiempo planificado.
- La señal adquirida se amplifica diferencialmente, se filtra por paso de banda y se digitaliza.

Conducción de Volumen

El procedimiento donde un potencial eléctrico intracelular se envía a través del fluido extracelular y el tejido se llama conducción de volumen. Puede presentarse como potenciales de campo cercano o lejano a través de capas de piel o grasa.

Elementos de la Investigación EMG

- **Actividad de Inserción:** La inyección y movimiento del electrodo de aguja en el músculo aparece como explosiones de potenciales cortos.
- **Actividad Espontánea:** Actividad registrada con el músculo inmóvil y relajado.
- **Morfología y Estabilidad del MUAP:** La forma de los MUAP individuales puede ofrecer ideas sobre la etiología de la anomalía.
- **Reclutamiento del MUAP:** La cantidad de unidades motoras reclutadas por el SNC puede deducirse de las formas de onda EMG registradas.

Potencial de Acción de las Unidades Motoras (MUAP)

Contracción de la Fibra Muscular

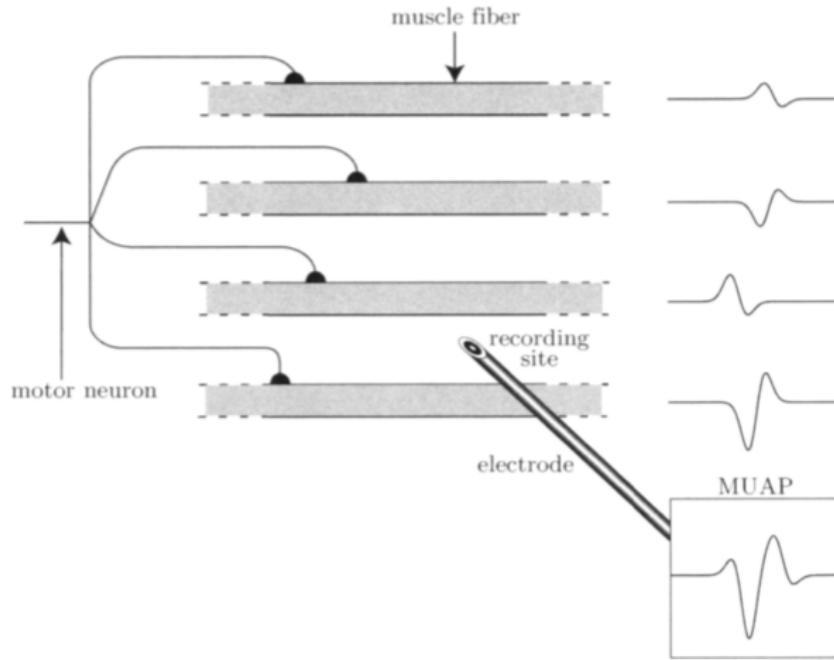
Inicio de la Contracción

La contracción de una fibra muscular se inicia cuando los potenciales de acción neuronales alcanzan la unión neuromuscular y disparan potenciales de acción que se propagan a lo largo de las membranas excitables de la fibra muscular.

Potencial de Acción de la Unidad Motora (MUAP)

Un MUAP resulta de la suma espacial y temporal de los potenciales de acción individuales a medida que se propagan a través de las diferentes fibras musculares de una sola unidad motora.

MUAP



Origen de la Señal EMG

La señal EMG resulta de la suma de los diferentes MUAPs que están suficientemente cerca del electrodo de registro.

Área de Detección

El número de MUAPs dentro del área de detección del electrodo depende del tipo de electrodo seleccionado y típicamente es mayor que uno, ya que las fibras de diferentes unidades motoras están intercaladas en todo el músculo.

Reclutamiento de Unidades Motoras

Proceso de Reclutamiento

El reclutamiento de unidades motoras es un proceso muscular fundamental en el que la fuerza ejercida por la contracción muscular es controlada por el sistema nervioso central a través del reclutamiento espacial y temporal de unidades motoras.

Reclutamiento Espacial

La fuerza se incrementa reclutando más unidades motoras.

Reclutamiento Temporal

La fuerza se incrementa disparando potenciales de acción a tasas más rápidas.

Alta Tasa de Disparo

Una alta tasa de disparo implica que las formas de onda individuales de los MUAP ya no pueden discernirse debido a la superposición temporal, y la señal EMG resultante exhibe una apariencia aleatoria similar al ruido, conocida como patrón de interferencia.

Reclutamiento

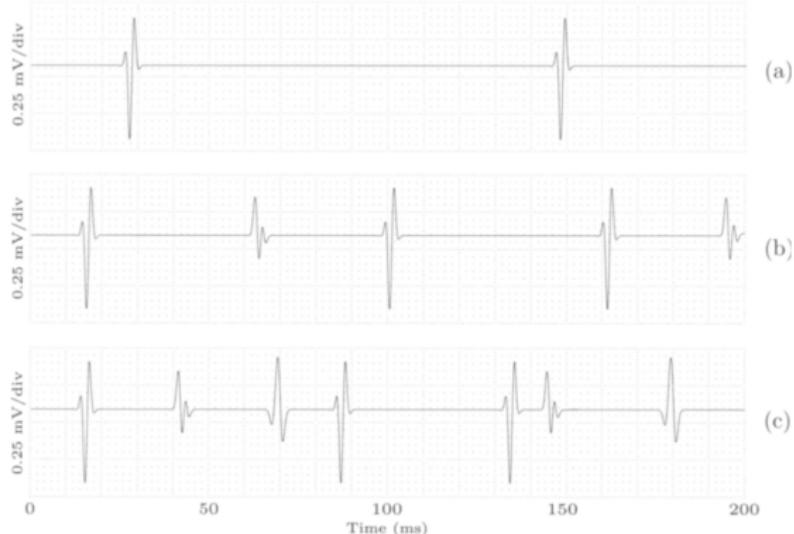


Figura: Patrón de reclutamiento normal de unidades motoras observado en el EMG intramuscular. (a) Una sola unidad motora está disparando a 8 Hz en un nivel bajo de contracción muscular. (b) El reclutamiento de una segunda unidad motora resulta en un aumento gradual de la fuerza y la tasa de disparo y (c) se incrementa aún más con el reclutamiento de una tercera unidad motora. Cada unidad motora tiene su propia morfología de MUAP y tasa de disparo particular.

Diagnóstico de Trastornos Neuromusculares

Importancia del Reclutamiento

El examen del reclutamiento de unidades motoras a bajos niveles de contracción muscular es importante para diagnosticar trastornos relacionados con el sistema nervioso (neuropatía) y el tejido muscular (miopatía).

Patrón de Reclutamiento Neuropático

Caracterizado por una tasa de disparo de la primera unidad motora que excede los 20 Hz antes de que aparezca la segunda unidad motora.

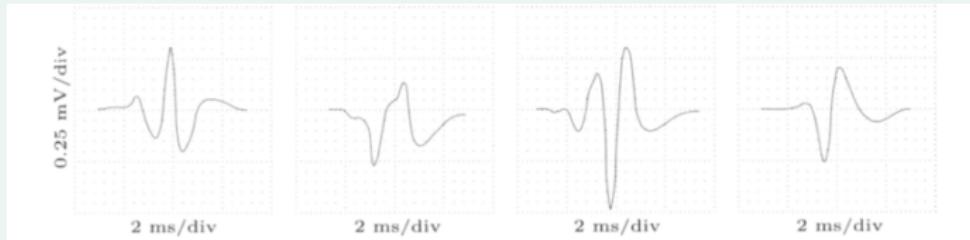
Patrón de Reclutamiento Miopático

Caracterizado por varias unidades motoras activas ya en la contracción voluntaria mínima para producir la fuerza necesaria.

Morfología del MUAP

Morfología

- **Amplitud** La amplitud es la amplitud pico a pico del MUAP y varía de 0.25 a 5 mV para un sujeto normal. La amplitud está determinada por el número de fibras musculares activas en las inmediaciones del electrodo.
- **Número de Fases** El número de fases de una forma de onda MUAP refleja el grado de desalineación de los potenciales de acción que se propagan en diferentes fibras individuales. Los MUAPs polifásicos tienen más de cuatro fases y se observan principalmente en condiciones neuropáticas y miopáticas.
- **Duración** La duración se define por el inicio y el final de la forma de onda del MUAP, generalmente tomada como el primer y último instante en que la señal se desvía del nivel base por una cierta amplitud fija. La duración normal del MUAP es de 2-10 ms.



Estabilidad de la Morfología del MUAP

Estabilidad

En un sujeto normal, la morfología del MUAP generalmente permanece estable de una descarga a otra. La morfología inestable puede surgir cuando la unión neuromuscular está deteriorada, causando que ciertos potenciales de acción nerviosos sean bloqueados.

Cambios Graduales

Los cambios graduales en la morfología del MUAP se observan cuando cambian las propiedades bioquímicas de una unidad motora, por ejemplo, durante la fatiga muscular, o cuando cambia la ubicación relativa del electrodo respecto a la unidad motora.

Patrón de Disparo

Definición

Una contracción muscular se mantiene a través de la activación repetida de las unidades motoras, con cada unidad motora asociada a un tren particular de MUAPs.

Patrón de Disparo Regular

El patrón de disparo es normalmente regular (rítmico) con una variabilidad relativamente pequeña de los intervalos entre disparos sucesivos.

Tasa de Disparo

Tasa de Disparo Promedio

La tasa de disparo promedio para un músculo normal puede ejemplificarse con el bíceps braquial, donde las unidades motoras tienen una tasa de 7-12 Hz en el nivel más bajo de contracción muscular.

Control Voluntario

Durante el control muscular voluntario, una unidad motora normalmente comienza a disparar a una tasa de 4-5 Hz y aumenta su tasa a medida que aumenta la fuerza.

Tasa de Disparo del Bíceps Braquial

Aumento de la Tasa de Disparo

Con el aumento de la fuerza isométrica, la tasa de disparo promedio del bíceps braquial aumenta hasta alcanzar un máximo de aproximadamente 20 Hz al 100% de la contracción voluntaria máxima (MVC).

Variabilidad entre Músculos

Al evaluar las anomalías de las unidades motoras, es necesario tener en cuenta que diferentes músculos tienen sus propias tasas de disparo específicas, así como las tasas a las que se reclutan unidades motoras adicionales.

Limitaciones de la Tasa de Disparo Promedio

Contracciones Dinámicas

Aunque la tasa de disparo promedio es un parámetro esencial para el análisis de EMGs intramusculares, no es adecuada para caracterizar patrones de disparo irregulares observados durante contracciones dinámicas con cambios rápidos en el nivel de fuerza.

Transmisión Neuromuscular Deteriorada

La misma limitación se aplica a la caracterización de patrones de disparo asociados con la transmisión neuromuscular deteriorada, donde los intervalos entre disparos muestran una mayor variabilidad.

Parámetros Alternativos

Por lo tanto, se requieren parámetros de ritmo alternativos que reflejen más adecuadamente las propiedades transitorias de un patrón de disparo.

Trastornos Neuromusculares

Trastornos Neuromusculares

Definición

Los trastornos neuromusculares son anomalías que se encuentran comúnmente alrededor del sistema nervioso periférico (SNP). Se pueden categorizar según la ubicación y la causa de los trastornos.

Principales Trastornos

Dos trastornos principales son la neuropatía y la miopatía.

Neuropatía

Definición

La neuropatía es un término que define una enfermedad de los nervios que causa dolor y alguna discapacidad. Las causas incluyen lesión, infección, diabetes, abuso de alcohol y quimioterapia.

Tipos de Neuropatía

- **Mononeuropatía:** Mal funcionamiento de un solo nervio.
- **Polineuropatía:** Afecta múltiples nervios.

Tipos Comunes de Mononeuropatía

Neuropatía del Nervio Mediano

La neuropatía por atrapamiento del nervio mediano es la mononeuropatía más común en los brazos y manos. El nervio se comprime o se coloca en una posición inusual, lo que perturba la función y causa dolor.

Neuropatía Ulnar

Causada por la compresión del nervio ulnar en el codo. Es difícil encontrar la ubicación exacta utilizando EMG u otros métodos de diagnóstico electrofisiológico.

Otros Tipos de Mononeuropatía

Neuropatía Radial

Afecta al nervio radial, que se extiende desde el plexo braquial hasta la muñeca. Menos estudiada que la neuropatía ulnar.

Neuropatía Peroneal

La neuropatía más común en las extremidades inferiores. Problema con el nervio peroneo en el cuello del peroné de la pantorrilla.

Neuropatía Femoral

Afecta al nervio femoral, que corre paralelo a la arteria femoral e inerva el músculo cuádriceps.

Mononeuropatía Facial y Trigeminal

Mononeuropatía Facial

Conocida como parálisis facial o parálisis de Bell. Relacionada con otros trastornos como diabetes, lepra, accidente cerebrovascular y herpes zóster.

Neuropatía Trigeminal

Afecta al nervio trigémino, que lleva el impulso nervioso a la cara y las fibras motoras. Dificultad para masticar y entumecimiento en la cara ipsilateral.

Polineuropatía

Definición

Cuando un grupo de nervios o todos los nervios de un nervio periférico se ven afectados, se denomina polineuropatía. Las polineuropatías son similares debido a la forma insuficiente en que los nervios sensoriales reaccionan al fallo.

Diagnóstico EMG

El diagnóstico EMG no es beneficioso para la polineuropatía, ya que los pacientes con polineuropatía tienen características electrofisiológicas normales.

Miopatía

Definición

La miopatía es un trastorno generalmente relacionado con el músculo esquelético causado por una lesión de un grupo muscular o alguna mutación genética. La miopatía impide la función normal de los músculos afectados.

Síntomas

Los pacientes con enfermedades miopáticas tienen músculos débiles y, dependiendo de la gravedad del trastorno, tienen problemas para realizar tareas regulares o encuentran imposible realizar cualquier movimiento utilizando los músculos afectados.

Tipos Comunes de Miopatías

Distrofia Muscular (MD)

La forma más común de miopatía, que causa debilidad y degeneración muscular. Puede ser hereditaria o adquirida.

Distrofia Muscular de Becker (BMD)

Similar a la DMD, pero comienza en la adolescencia y puede causar insuficiencia cardíaca.

Distrofia Muscular de Duchenne (DMD)

Influye en los músculos involuntarios como el corazón. Es grave y la supervivencia después de los 30 años es sombría.

Otros Tipos de Miopatías

Distrofia Muscular Congénita (CMD)

Ocurre antes del nacimiento debido a una mutación genética. Los músculos no producen las proteínas necesarias.

Distrofia Muscular de Emery-Dreifuss (EDMD)

Ocurre en niños de todas las edades y es causada por una mutación genética. Causa debilidad y desgaste en la parte superior del cuerpo.

Distrofia Muscular Miotónica (MMD)

Aparece en la edad adulta y es causada por un defecto genético. Comienza con debilidad en los músculos faciales y se extiende a otras partes del cuerpo.

Miopatías Adicionales

Distrofia Muscular Distal (DD)

Afecta a adultos jóvenes y de mediana edad y es causada por una mutación genética. Ocurre en la pierna pero no es una enfermedad fatal.

Distrofia Muscular de Cintura (LGMD)

Ocurre en la cintura y las extremidades inferiores. Crece lentamente y causa problemas cardiopulmonares y desgaste de las extremidades.

Distrofia Muscular Facioescapulohumeral y Oculofaríngea (OPMD)

Causada por una deficiencia o mutación genética y afecta la cara y los ojos.

Bibliografía

Bibliografía

-  L. Sörnmo and P. Laguna, *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications.* Academic Press series in biomedical engineering, Elsevier Science, 2005.