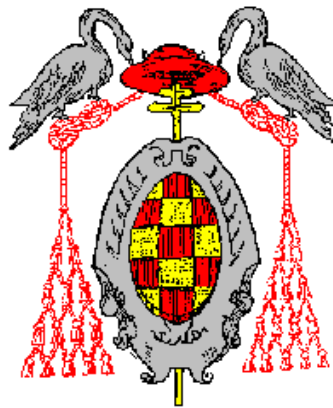


**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA**

Ingeniería en Electrónica



Instrumentación Biomédica

**Tema 5**

**Electromiografía**

## 1.- INTRODUCCIÓN.

Es el estudio de la actividad eléctrica de los músculos del esqueleto. Proporciona información muy útil sobre su estado fisiológico y el de los nervios que los activan. Permite la localización, en el caso, por ejemplo, de parálisis musculares, del lugar de la lesión, que puede estar en el encéfalo, la médula espinal, el axón, la unión neuromuscular o las propias fibras musculares. El primer estudio en profundidad del *electromiograma* (EMG) fue llevado a cabo por Piper en 1912, quien registró potenciales durante la contracción voluntaria empleando electrodos de superficie y un galvanómetro de hilo. Posteriormente, en 1929, Adrian y Broke introdujeron el electrodo concéntrico de aguja que hizo posible, conjuntamente con el osciloscopio de rayos catódicos y los amplificadores electrónicos, el estudio de potenciales de acción de unidades motrices y de fibras únicas.

## 2.- FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS.

La membrana de las células excitables se encuentra polarizada, siendo el interior de la célula negativo con respecto al exterior. En la célula muscular, con un electrodo situado en el interior de la fibra y otro en el exterior se puede detectar una diferencia de potencial de reposo de unos 90 milivoltios. Este potencial es producido por diferencias existentes en la concentración de diversos iones (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, etc.). Además, obedeciendo a señales procedentes de otras células, la fibra muscular puede sufrir despolarizaciones transitorias (potenciales de acción) que determinan la actividad de la maquinaria contráctil de la fibra. En el músculo podemos distinguir dos tipos de unidades, las anatómicas y las funcionales. La unidad anatómica es la llamada *fibra muscular* y la unidad funcional es la *unidad motora*. Una unidad motora es un grupo de fibras musculares inervado por una única motoneurona de la médula espinal o de un núcleo motor del tallo cerebral. Este concepto fue introducido por Liddell y Sherrington y comprende una motoneurona, su axón, las ramificaciones de éste y el conjunto de fibras musculares sobre los que estos hacen contacto sináptico. Si la motoneurona sufre una despolarización, ésta recorre todo el axón hasta las terminaciones sinápticas y provoca la despolarización, casi sincrónica, en todo el conjunto de fibras musculares de la unidad motora.

La unidad contráctil de la musculatura del esqueleto es la fibra muscular, que es una célula cilíndrica de unos 50  $\mu$ m de diámetro, que al ser estimulada se contrae desarrollando fuerza. Un músculo consiste en haces paralelos de fibras musculares. La activación de cada fibra muscular se hace a través del axón de la fibra nerviosa motriz que la inerva. Según la posición y la función del músculo, el número de fibras musculares inervadas por un mismo axón puede variar entre uno o más de mil. El conjunto formado por la célula nerviosa motriz en la espina dorsal, su axón y las fibras musculares que éste inerva constituye la unidad funcional básica del sistema muscular y se conoce por unidad motora –UM– (figura 1). Cuando el potencial de acción del nervio alcanza el punto en el que éste se une con el músculo, se libera una cierta cantidad de un transmisor químico (la acetilcolina) que origina la despolarización local de la membrana de la fibra muscular. El transmisor es rápidamente neutralizado por una sustancia denominada estereato de acetilcolina, quedando la unión mioneuronal libre para una nueva excitación. Al potencial complejo que originan las fibras de una UM se le conoce por potencial de la unidad motriz (PUM) y es la suma de los potenciales de acción de las distintas fibras de la UM (potenciales de acción cuasi-sincrónicos en UM normales).

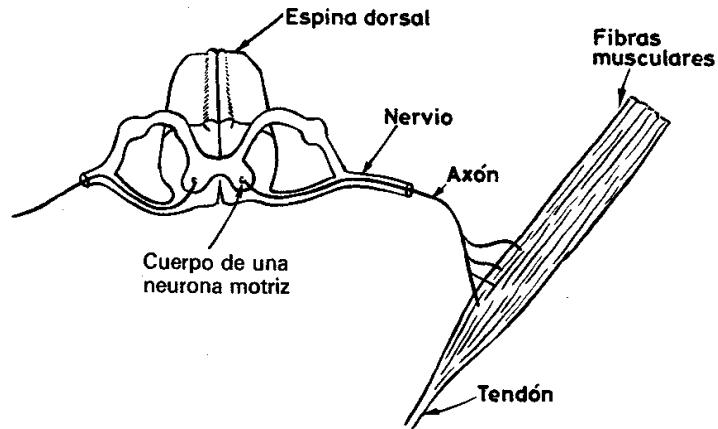


Figura 1.- Diagrama de una unidad motora.

Con todo esto, un músculo puede considerarse como un conjunto de unidades motoras dispuestas en paralelo, entre las cuales se encuentran otras fibras musculares modificadas llamadas *Husos Musculares* que contienen elementos sensoriales que perciben las tracciones en el músculo y sirven para el servocontrol de la posición del músculo (fig. 2). El significado de una orden de excitación dirigida a un músculo es que un número mayor o menor de unidades motoras recibirán una orden de despolarización. Una orden motora puede ser mínima, si solo ordena actividad a una única unidad motora, o máxima, si ordena la contracción completa del músculo. La actividad de una unidad motora es el elemento individualizable mínimo de la contracción muscular. En el electromiograma (EMG) se registra la actividad del músculo y en él se puede distinguir la activación de sus unidades motoras, las variaciones características de estas activaciones y las relaciones de unas unidades con otras.

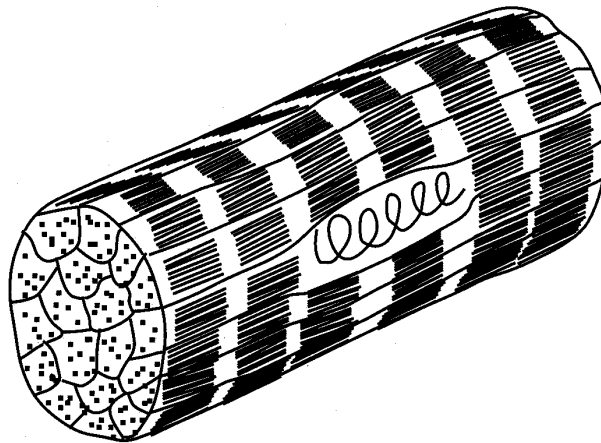


Figura 2. Segmento de un haz de fibrillas musculares mostrando un huso con la terminación sensitiva anulo-espinal.

Se comprende que el número de fibras musculares que contiene cada unidad motora determina la finura o la delicadeza de los movimientos que puede ejecutar. Este número de unidades recibe el nombre de «tasa de inervación» y cuanto menor sea (es decir, muchas motoneuronas y pocas fibras musculares) más flexibilidad motora tendrá el músculo. Por lo tanto, La fuerza de la contracción muscular se gradúa controlando el número de axones que se estimulan y la

frecuencia de estimulación de cada axón.

Cada unidad motora ocupa un territorio en el cual es posible registrar su actividad. Este territorio es algo mayor que el que físicamente ocupan sus fibras. De hecho, las unidades no se agavillan unas junto a otras, ni hay una frontera definida entre ellas; por el contrario, sus fibras o grupos de fibras se entrelazan con las de unidades vecinas de tal forma que en una reducida sección transversal de músculo conviven varias unidades motoras. En líneas generales, se puede afirmar que una unidad motora de un miembro superior se corresponde con un área de unos 5-7 mm de radio. En los miembros inferiores son 7-10 mm. Estos valores se han obtenido por medios electrofisiológicos.

### **3.- CUALIDADES DEL VALOR DIAGNOSTICO DEL EMG.**

La Electromiografía (EMG) y las pruebas de conducción nerviosa constituyen los métodos de electrodiagnóstico más útiles en el estudio de la función motriz. Su valor diagnóstico presenta una serie de cualidades:

- *Objetividad elevada*, especialmente si se hace uso de las técnicas electromiográficas de carácter cuantitativo.
- *Precocidad en el diagnóstico*. Se manifiesta tanto en el *diagnóstico anatomopatológico*, señalando la magnitud de la lesión (compresión, sección afónica sección de nervio, ...), como en el *diagnóstico topográfico*, pudiendo, en muchas ocasiones, concretar el asiento quote de la afección (médula, raíz anterior, plexos nerviosos, troncos nerviosos, ...).
- *Rapidez en el pronóstico*, dando cuenta de los primeros signos de regeneración nerviosa antes de cualquier manifestación clínica.

### **4.- EQUIPO INSTRUMENTAL. CARACTERISTICAS TÉCNICAS.**

Un equipo de registro electromiográfico consta de los siguientes elementos:

#### *A) Electrodo.*

Recogen la actividad eléctrica del músculo, bien por inserción dentro del mismo o bien a través de la piel que lo recubre, previo acoplamiento por medio de pasta conductora.

Según esto, una primera clasificación de electrodos puede ser entre electrodos profundos o superficiales.

a.1) **Electrodos Superficiales.** Son pequeños conos o discos metálicos (fabricados de plata o acero inoxidable) que se adaptan íntimamente a la piel.

Para reducir la resistencia de contacto se utiliza pasta conductora.

Con estos electrodos se puede obtener una idea de la electrogénesis global de músculo (estudio

de la respuesta global del músculo), pero no detectan potenciales de baja amplitud o de elevada frecuencia por lo cual su uso se encuentra bastante restringido en electromiografía: se emplean para la determinación de latencias en las pruebas de conducción y en los estudios cinesiológicos.

a.2) Electrodo Profundo o de inserción (electrodo de aguja). Pueden ser de varias clases:

- **Monopolar:** consiste en una aguja corriente cuya longitud total (excepto en la punta) ha sido aislada (fig. 3). La variación de potencial se mide entre el extremo de la punta, ubicada en el músculo y el electrodo de referencia ubicado en la piel o tejido subcutáneo.
- **Coaxial.** Este fue introducido por Adrian en 1929 y es el más adecuado para la práctica clínica. Consiste en una aguja hipodérmica a través de cuyo interior se han insertado uno o varios conductores metálicos finos aislados entre sí y con respecto a la aguja (fig. 3). Sólo el extremo de estos conductores se encuentra desprovisto de aislamiento y es por este punto por el que se captura la señal procedente del tejido muscular. En la actualidad cada vez se usa con mayor frecuencia un electrodo coaxial multicanal en el cual hay 14 conductores. Con éste se puede determinar el territorio de la unidad motora. Este territorio aumenta en los procesos patológicos de carácter neurógeno (en los cuales hay lesión del nervio motor) y disminuye en las lesiones musculares.

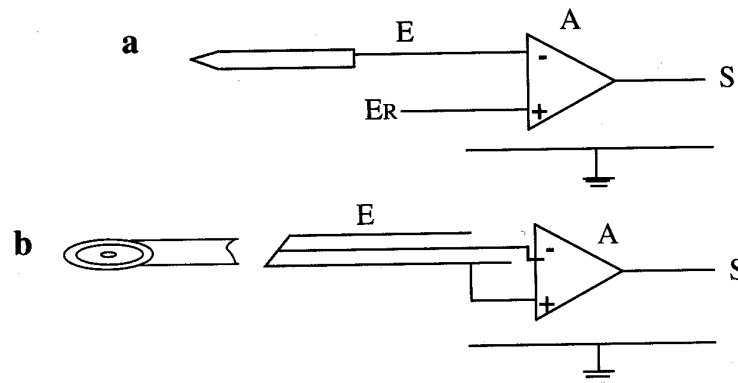


Figura 3.- Esquema de los electrodos profundos.

### B) Amplificadores.

Su finalidad es la de amplificar los diminutos potenciales recogidos en el músculo de tal forma que puedan ser visualizados en la pantalla de un osciloscopio. El factor de amplificación puede ser superior al millón de veces (60 dB), con lo cual es posible que una señal de 5 microvoltios produzca una deflexión de 1 cm en el registro.

Dado que los potenciales electromiográficos presentan una banda de frecuencia muy variable, el amplificador debe ser capaz de responder con fidelidad a señales comprendidas entre los 40 y los 10.000 Hz.

Las principales características de los amplificadores utilizados en EMG son:

Número de canales: 2 (lo más habitual).

Sensibilidad: 1 pV/div. a 10 mV/div.

Impedancia de entrada:  $100\text{ M}\Omega//47\text{ pF}$ .

CMRR a 50 Hz > 100 dB.

Filtro de paso alto: entre 0,5 Hz y 3 kHz (6 dB/octava). Filtro de paso bajo: entre 0,1 y 15 kHz (12 dB/octava). Ruido: (1 pV eficaz entre 2 Hz y 10 kHz con la entrada cortocircuitada).

### *C) Sistemas de registro.*

Se puede utilizar el registro gráfico en la pantalla de un tubo de rayos catódicos (osciloscopio) o por algún medio de registro permanente. Muy corrientemente los dos tipos de registro pueden ser usados simultáneamente.

En el registro osciloscópico, la señal se presenta sobre una pantalla fluorescente. Los potenciales se inscriben como desplazamientos verticales de una línea que se mueve en sentido horizontal a velocidad ajustable.

Los registros permanentes pueden realizarse sobre papel, por medio de plumillas y tinta como en electroencefalografía, aunque este procedimiento ha caído en desuso; la elevada inercia de las plumillas impiden un registro fiel de ciertas formas de onda.

También pueden realizarse registros permanentes por medios fotográficos, sobre soportes magnéticos, en tubos de rayos catódicos de memoria (digital o de persistencia) y recientemente, el sistema de registro con impresora, del tipo de las empleadas en ordenador.

### *D) Altavoz.*

Constituye un elemento indispensable, tan útil para el registro como la pantalla o la fotografía. A veces el oído proporciona una discriminación más fina que la visión de potenciales rápidos por el osciloscopio. Algunas características del electromiograma patológico, como las fibrilaciones o las salvas miotónicas, se perciben mejor acústicamente que por visualización directa.

Todo el equipo necesario para la realización de los electromiogramas, estimuladores, amplificador(es), sistemas de registro, altavoz, suele estar integrado en un instrumento compacto con una caja de entradas y salidas que suele ser independiente y estar conectada al equipo por medio de un cable. Los equipos más sencillos tienen, como mínimo dos canales y en la actualidad muestran amplia información de los resultados del registro en la misma pantalla del oscilógrafo. Siempre es posible disparar el barrido osciloscopio por medio del mismo estimulador con lo que se consigue un registro estacionario que se inicia con el artefacto de estímulo y termina con el fin de la respuesta registrada. Además, el equipo tiene mandos que permiten situar cursores en diferentes puntos del registro. Con estos cursores el sistema entrega la información del tiempo entre dos cursores situados horizontalmente o la amplitud, si se usan cursores verticales. De esta forma pueden obtenerse los tiempos de latencia.

## 5.- POTENCIALES CARACTERÍSTICOS EN EMG.

Pueden ser debidos a la actividad voluntaria o a la espontánea.

A continuación, se muestran algunos ejemplos: La actividad de inserción es un tipo de actividad espontánea que se origina al penetrar el electrodo en el músculo y que dura, en sujetos sanos, un poco más que el movimiento del electrodo. En algunos sujetos enfermos es fácilmente inducida, presentando una duración mayor y ondas puntiagudas (figura 4).

Los potenciales de fibrilación son de pequeña amplitud (30 a 50 pV) con una duración entre 0,5 y 2 ms y con una frecuencia de repetición entre 2 y 10 por segundo. Pueden ser bifásicos o trifásicos y son consecuencia de la contracción espontánea de las fibras musculares. Son característicos de músculos en los que la continuidad entre el axón motor y la fibra muscular se ha interrumpido.

Las fasciculaciones son contracciones espontáneas de fibras musculares o unidades motrices, lo suficientemente potentes para producir una contracción visible del músculo pero sin que la articulación se mueva. Pueden presentarse en sujetos sanos y en enfermedades degenerativas muy graves de las neuronas motrices, lo que hace difícil el diagnóstico.

Otros tipos de actividad espontánea son: la respuesta miotónica, los calambres, los espasmos musculares, etc.

Dentro de la actividad voluntaria, los potenciales de unidad motriz (PUM) son el objeto principal de estudio. Consisten en la suma de distintos potenciales de acción de grupos de fibras musculares que se están contrayendo casi sincronizadamente. Pueden ser monofásicos, bifásicos o trifásicos y, en ocasiones, polifásicos con cinco o más fases. Su duración está comprendida entre 2 y 15 ms y su amplitud entre 100 pV y 2 mV, aunque estas magnitudes dependen mucho del tipo de electrodos empleado y del músculo considerado (número de fibras de la UM) (figura 5.a)

La forma y las dimensiones de los PUM pueden modificarse en gran medida en sujetos enfermos: por ejemplo, en algunas nefropatías periféricas la duración de los PUM aumenta, así como su número de fases (figura 5b).

El registro de los PUM se suele realizar contrayendo débilmente el músculo en observación. Si la contracción se hace mucho más intensa, se obtiene lo que se conoce por patrón de interferencia: los PUM se superponen siendo difícil distinguir sus características individuales. El aspecto del registro se muestra en la figura 5.c. Los PUM y el patrón de interferencia constituyen los registros principales de la actividad voluntaria.

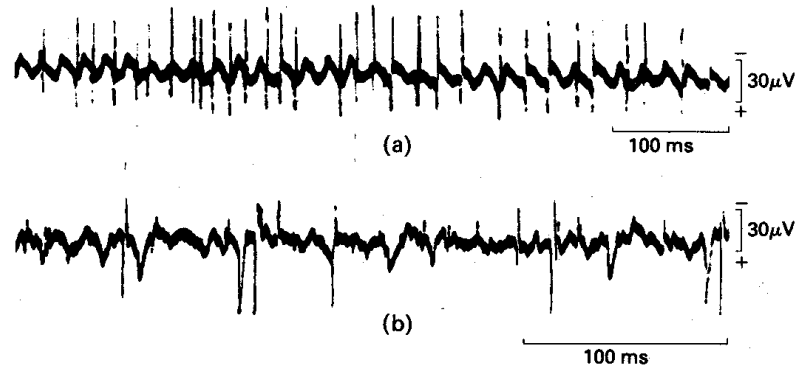


Figura 4.- Potenciales de inserción (a) y fibrilación (b) en un músculo parcialmente denervado.

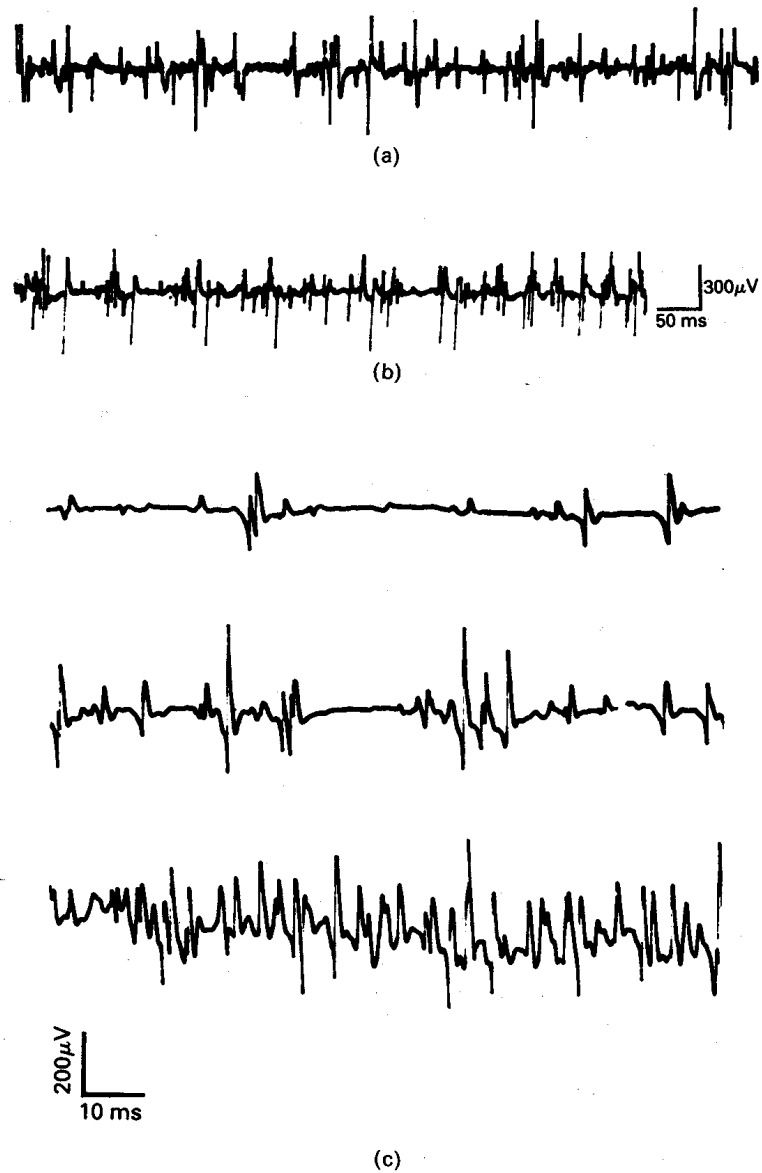


Figura 5.- a) PUM de un sujeto normal; b) PUM polifásicos en una neuropatía periférica; c) PUM de un sujeto normal al ir aumentando el nivel de contracción.



## 6.- APLICACIONES CLÍNICAS.

La electromiografía es útil en el diagnóstico de las siguientes patologías:

a) *Denervación:* La pérdida de continuidad entre un nervio y un músculo del esqueleto puede detectarse mediante la electromiografía. La presencia de potenciales de fibrilación en un músculo relajado puede ser una señal de denervación, aunque aquéllos no suelen presentarse antes de tres semanas después de producirse la lesión. La electromiografía permite conocer la extensión y, en muchos casos, la naturaleza de la patología; además, durante la reinervación permite detectar PUM antes de que se aprecie el movimiento voluntario.

b) *Desórdenes de la neurona motriz:* Comprenden desde infecciones víricas agudas tales, como la poliomelitis, hasta atrofas musculares de la espina dorsal de origen genético, pasando por lo que se conoce como enfermedad de la neurona motriz, de tipo degenerativo. Todos ellos presentan características comunes como excesiva actividad de inserción, fibrilación, reducida actividad voluntaria, aunque con PUM de amplitudes y duraciones mayores que las normales.

c) *Neuropatías periféricas:* Se caracterizan por una reducción de la actividad de las UM hasta el punto de perderse el patrón de interferencia, incluso durante un esfuerzo máximo. Los PUM son, en general, polifásicos debido probablemente a las diferencias en velocidad de conducción de las ramas que inervan las fibras de la UM. Las amplitudes y duraciones son normales o ligeramente inferiores. La medida de la velocidad de conducción es de gran ayuda en el estudio de las neuropatías periféricas, ya que los síntomas anteriores los presentan también diversas miopatías. Algunos ejemplos son el síndrome de Guillain-Barré, las neuropatías asociadas con la difteria o la diabetes y las neuropatías de tipo nutricional o tóxico.

d) *Bloqueo neuromuscular:* El ejemplo más característico lo tenemos en la miastenia grave. Las fibras musculares están normalmente inervadas pero la transmisión de impulsos a través de la unión mioneuronal se hace con mucha dificultad (las contracciones sólo pueden mantenerse durante períodos cortos). La medida del «jitter» mediante electrodos de fibra única ha demostrado su validez en el diagnóstico de la miastenia grave.

e) *Enfermedades musculares:* Incluyen enfermedades tan diversas como las distrofias musculares, las miopatías adquiridas, las miopatías de tipo endocrino y un grupo diverso de desórdenes de origen congénito. Los registros electromiográficos suelen mostrar anomalías en las características de los PUM (polifases), aunque el número de UM activadas suele ser normal.

## 6.1.- ELECTROMIOGRAMA NORMAL.

La inserción del electrodo y posterior registro en el interior de la masa muscular permite observar en el osciloscopio breves descargas de pequeños potenciales, que persisten algo más que el movimiento de implantación, y cuyo origen probable es la irritación mecánica de las fibras musculares por el desplazamiento de la aguja. Una vez disipadas las ráfagas de inserción y estando el músculo en completa relajación, no hay que observar registro de ninguna actividad en un electromiograma normal, visualizándose solamente la línea base. Es decir, cuando el músculo se encuentra en reposo no se registra ninguna actividad en el EMG. Si en estas condiciones se lleva a cabo una contracción débil por parte del músculo, se visualizará en el osciloscopio un reducido número de potenciales de unidad motora, siendo cada una de ellas fácilmente discernible de las demás, y existiendo entre ellas amplios segmentos de línea base. Estamos en actividad de *Patrón simple*. Si aumentamos la fuerza de contracción se incorporan nuevos potenciales que densifican el trazado, siendo ya escasos los trechos netos con línea de base discernible. Estamos en: el *Trazado intermedio*. Si la contracción llega a ser máxima desaparecerá por completo la línea de base y se habrá conseguido el *Patrón de interferencia* (fig. 6).

Habrà que tener en cuenta que el patrón interferencial depende de varios factores además de la intensidad de contracción. En algunos músculos, como los gemelos, es difícil conseguir un patrón interferencial tan bien integrado como en el tibial anterior. Asimismo el tipo de contracción isométrica o isotónica juega un papel importante. Por tanto, la valoración del patrón interferencial constituye una variable influida por muchos factores y que debe considerarse en el momento de instar el balance definitivo.

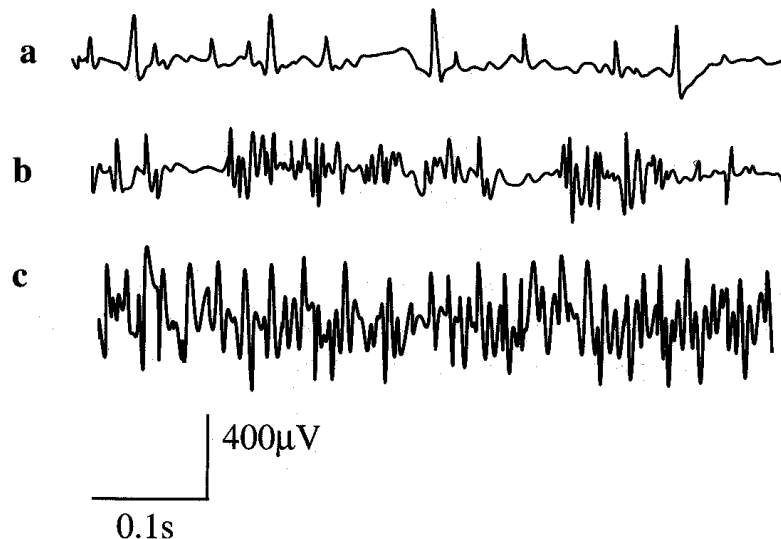


Figura 6.- Patrones de actividad en la contracción progresiva muscular. a. Patrón simple; b. Patrón intermedio; c. Patrón interferencial.

### 6.1.1.- Electromiograma de fibra única

El electromiograma derivado por electrodos concéntricos capta potenciales formados por varias fibras musculares. Con el fin de registrar una única fibra se han puesto en marcha unos electrodos especiales, los llamados electrodos de fibra única. El electrodo de fibra única se compone de una cánula de acero inoxidable en cuyo interior hay un hilo de platino. La superficie de conducción del platino tiene un diámetro de 2,5  $\mu\text{m}$ , y emerge a un lado de la extremidad distal de la aguja (fig. 7). Precisa amplificadores con unas prestaciones especiales.

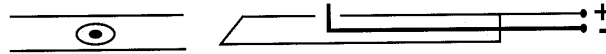


Figura 7.- Esquema de los electrodos de fibra única.

El electromiograma de fibra única es utilizado predominantemente para el diagnóstico de la *Myasthenia grave*. Desde un punto de vista práctico, el músculo utilizado para este tipo de exploraciones suele ser el extensor común de los dedos y cada potencial dispara el barrido del osciloscopio. Se utiliza asimismo una línea de retraso que permite fijar el potencial en el mismo lugar de la pantalla en todos los barridos. La velocidad de barrido fijada es de 1 milisegundo por división.

Hay tres elementos que caracterizan la Fibra Única:

A) *Morfología del potencial.*— Se trata de una forma bifásica con fase terminal de poca amplitud y larga duración. La duración es de 1 milisegundo y la amplitud es de 1 milivoltio.

B) *El Jitter.*— Cuando se estimula una fibra única es corriente que el estímulo también alcance a una segunda fibra de la misma unidad motora. Esta, normalmente responde con un potencial similar al registrado en la primera fibra, aunque suele presentar menor amplitud. El tiempo que transcurre entre los dos potenciales es el intervalo interpotencial y puede alcanzar varios milisegundos. Una propiedad de este intervalo es que normalmente es muy estable entre descargas sucesivas. Esto se ve muy bien si el primer potencial es utilizado para disparar el barrido del registro oscilográfico. En estas circunstancias, el primer potencial se registra perfectamente estable al principio de cada barrido, pero el segundo se ve oscilar levemente, dependiendo de las pequeñas variaciones en el intervalo interpotencial (fig. 8). Esta variación es el llamado «jitter». En los casos en los que la sinapsis neuromuscular se encuentra perturbada, el intervalo entre las dos respuestas es más variable y se puede ver el segundo potencial adelantándose unas veces y retrasándose otras, es decir, el intervalo aumenta en variabilidad.

Para registrar el «jitter» es preciso obtener un registro en el que se activen claramente dos fibras pertenecientes a una misma unidad motora. Entonces se tomarán medidas del intervalo entre un cierto número de casos restándose cada vez un intervalo del siguiente y anotándose el valor absoluto de estas diferencias. Estos valores absolutos se suman y se dividen por el número de casos estudiados con lo que se obtiene la diferencia promedio. Para un músculo normal este promedio es de 20 microsegundos y valores superiores a los 50 microsegundos en más del 5-10% de las unidades se deben considerar patológicos. Otro método consiste en superponer diez registros sobre el mismo oscilograma y medir el rango de variación entre la segunda respuesta más rápida y la más tardía. Este rango multiplicado por 0.37 da una

estimación bastante precisa del valor del «jitter». Algunos equipos miden el «jitter» automáticamente.

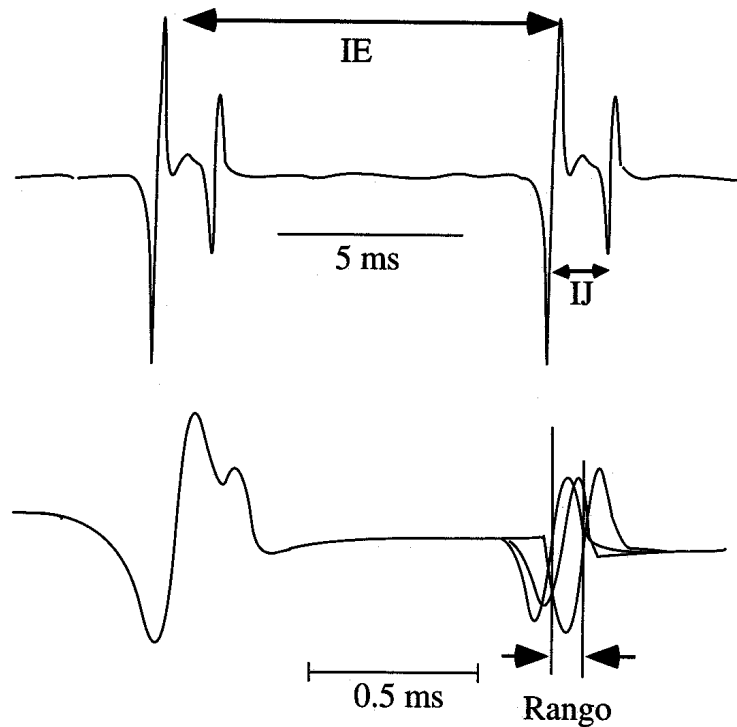


Figura 8.- Registro electromiográfico de fibra única. Se observa el potencial de acción de la fibra principal de la unidad motora con un intervalo entre espigas IE y la respuesta de una segunda fibra colateral con un retardo IJ. En el registro inferior se representan las dos respuestas con escala de tiempo ampliada. El rango de variación del intervalo entre dos respuestas es el «jitter».

C) *Bloqueo de la transmisión.*- El estudio del «jitter» no solo implica la medida de su variabilidad sino también el número de casos en los que la segunda respuesta no se produce por bloqueo de la sinapsis neuromuscular. En músculos normales nunca ocurre el bloqueo.

También puede medirse la *densidad de fibra*, o número de fibras de una unidad motriz en el campo de un electrodo. El incremento de la densidad de fibra es un signo, entre otros, de reinervación por adopción colateral.

## 6.2.- ELECTROMIOGRAMA PATOLÓGICO.

Se puede distinguir entre Patrón Neurógeno y Patrón Miógeno, diferenciación que en algunos casos dista de ser simple. Incluso algunos autores ponen en duda el mismo concepto de enfermedad miógena. Las técnicas de electrodiagnóstico constituyen uno de los pilares de investigación de estas enfermedades, siendo, junto con la clínica, el estudio del laboratorio y el estudio anatomopatológico (biopsia), las que nos darán el diagnóstico diferencial entre enfermedad Neurógena y Miógena.

### a) Patrón miógeno

*En este caso la lesión primaria está ubicada en la fibra muscular que degenera y se sustituye por tejido fibroso. No hay lesión ni destrucción de axones. El resultado es la visualización de trazados interferenciales que en condiciones fisiológicas determinarían sólo la visualización de unos pocos potenciales. Aparte de este fácil patrón de interferencia para esfuerzos sencillos, hay otros hallazgos que permiten etiquetar de miógeno un registro:*

- Voltaje de interferencia reducido
- Elevada incidencia de potenciales polifásicos
- Duración media y amplitud de potenciales disminuidos
- Indemnidad de las velocidades de conducción motoras y sensitivas.

Estas características no se presentan por igual en todos los músculos, sino que predominan en aquellos con debilidad y atrofia. Incluso en un mismo músculo pueden presentarse áreas indemnes y áreas con intensa afectación. Ellos supone que el estudio de una Miopatía es un proceso que comporta un grado elevado de minuciosidad, con análisis de múltiples músculos, en inúltiples localizaciones, sin olvidar ningún punto o referencia por insignificante que parezca, ya que el análisis exhaustivo es el único que puede dar el diagnóstico.

### b) Patrón neurógeno

*Corresponde a todas las lesiones nerviosas situadas desde la motoneurona inferior hasta la placa motora, excluyendo esta última que tiene sus rasgos electrofisiológicos peculiares. Cualquiera que sea la localización de la enfermedad, la destrucción de una motoneurona se traduce a nivel muscular en la pérdida de inervación por parte de una unidad motora. Este déficit de unidades activables, condiciona un problema de reclutamiento espacial cuando son reclamadas más unidades motoras para el esfuerzo común, siendo imposible realizar un trazado interferencial al esfuerzo máximo.*

*El patrón neurógeno posee tres características básicas:*

1. Empobrecimiento del trazado a la contracción máxima.
2. Aumento del reclutamiento espacial
3. Aumento de amplitud y duración de los potenciales de unidad motora.

Estos signos neurofisiológicos se manifestarán en contracción voluntaria.

Hay otros potenciales que aparecen durante el reposo muscular, potenciales espontáneos, sugestivos también del patrón neurógeno:

1. Potencial de fibrilación (de corta duración y bajo voltaje). Corresponde a músculos denervados.
2. Ondas positivas o potenciales bifásicos, con fase negativa de baja amplitud y amplia duración.
3. Fasciculaciones, potenciales trifásicos o más complejos, similares a los de Unidad Motora, y que permanecen poco modificados a lo largo de su exploración.

Estos potenciales contrastan con la ausencia de los potenciales espontáneos (en reposo) que caracterizan al proceso miógeno, con la salvedad de las descargas miotónicas, que por sus características tanto acústicas como de presentación son absolutamente inconfundibles y propias de los procesos miotónicos. Se caracterizan por ser ráfagas de alta frecuencia, de inicio y final progresivo, con un ruido típico de «bombardeo en picado» en el altavoz.

Debe asimismo destacarse que en el estudio de los procesos neurógenos es esencial la práctica de neurográficas y reflexología, ya que mediante la combinación de estas técnicas con la electromiografía puede tipificarse de forma efectiva el nivel de lesión neuromuscular.

### **6.3.- DIAGNÓSTICO DE LAS ALTERACIONES EN LA UNIÓN NEUROMUSCULAR.**

La sinapsis neuromuscular, o placa motora, es el lugar en el cual el axón de la motoneurona hace contacto con la fibra muscular. En este lugar, un potencial de acción procedente del soma de la motoneurona y que ha descendido por su axón, al llegar a la unión neuromuscular desencadena la liberación del neurotransmisor. Este (Acetil-Colina) difunde a través del espacio sináptico y llega hasta la membrana de la fibra muscular. Allí origina un potencial postsináptico, el cual invade toda la membrana de la célula muscular, y a través de un complejo sistema tubular, llega incluso hasta el interior de la célula. La despolarización de la membrana así inducida, ocasiona una activación de la maquinaria contráctil del músculo.

La sinapsis neuromuscular, a diferencia de otras sinapsis del sistema nervioso, presenta un elevado factor de seguridad. Esto significa que la activación presináptica siempre ocasiona un potencial de placa motora superumbral, es decir, siempre eficaz para determinar un potencial de acción en la fibra muscular. Por esta razón, en condiciones fisiológicas, la sinapsis neuromuscular nunca deja de producir contracción en el músculo. Sin embargo, existen algunas situaciones patológicas en las cuales el factor de seguridad queda reducido y la sinapsis neuromuscular pierde eficacia. Estas situaciones se clasifican, dependiendo del lugar en el cual aparece la anomalía, en postsinápticas y presinápticas.

Entre las anomalías postsinápticas la más corriente es la Miastenia. Clínicamente se caracteriza por la fatigabilidad. Es decir, en el primer esfuerzo no se aprecia ningún déficit; en cambio, se encuentran déficits claros después de esfuerzos repetidos o mantenidos.

El sustrato fisiopatológico de la miastenia consiste en una destrucción de los receptores postsinápticos para la acetil colina. En estas circunstancias, la terminación presináptica funciona normalmente y libera el neurotransmisor, pero una vez que éste llega a la membrana

postsináptica, al existir un número reducido de receptores para el mismo, se reduce el factor de seguridad de la sinapsis y de hecho termina por fallar en una proporción más o menos elevada de los casos. La reducción en el número de receptores postsinápticos se atribuye a un proceso autoinmune.

Los síntomas clínicos de la miastenia son la fatigabilidad general, caída del párpado a lo largo del día, diplopía (visión doble), pérdida progresiva (vespertina) de la voz, etc.

Otra patología relativamente frecuente de la unión neuromuscular es la enfermedad de Lambert-Eaton. En ésta, el déficit es presináptico; la liberación de la acetil colina se encuentra disminuida. A diferencia de la miastenia hay dolor muscular y un efecto típico de esta enfermedad es que, tras el ejercicio moderado, la fuerza muscular se normaliza de forma transitoria.

Los síntomas clínicos de la enfermedad de Lambert-Eaton consisten en un déficit muscular mas persistente que el hallado en la miastenia y que se manifiesta, sobre todo, en las extremidades inferiores más que en la superiores y más a nivel proximal (es típico en los músculos cuádriceps) que a nivel distal.

#### **6.4.- TÉCNICAS DE ESTUDIO DE LA UNIÓN NEUROMUSCULAR.**

En general, el estudio de la unión neuromuscular implica el estímulo del nervio y el registro de la actividad muscular subsiguiente. Puesto que con la estimulación siempre se producirá algún movimiento, es precisa la aplicación de una técnica muy depurada que impida que el movimiento de los electrodos produzca respuestas falseadas. Las pruebas que se realizan rutinariamente para el estudio de la unión neuromuscular son la respuesta a un estímulo único y la respuesta a la estimulación repetitiva, a baja frecuencia (3 Hz), registrándose las cinco primeras respuestas, y a frecuencia alta (20 Hz) registrándose entre 60 y 120 respuestas. Cualquiera de estas. pruebas puede ser repetida, con o sin la realización de esfuerzos en el intervalo, para observar los efectos de la fatiga y la sensibilización.

##### **6.4.1.- Respuesta a estímulo único.**

Se colocan los electrodos de registro sobre el músculo bajo estudio, uno sobre el vientre y el otro distalmente. Los electrodos de estimulación se colocan sobre el nervio que gobierna el músculo estudiado. El electrodo de tierra se coloca entre los electrodos de estímulo y de registro. Se estudiarán los músculos en los que se hayan apreciado síntomas clínicos. En caso de que éstos no se manifiesten claramente, se estudia el músculo abductor V, el abductor del pulgar o el primer interóseo. dorsal. El estímulo se aplicará sobre el nervio cubital a nivel del codo y el electrodo de tierra, en la muñeca (fig. 9).

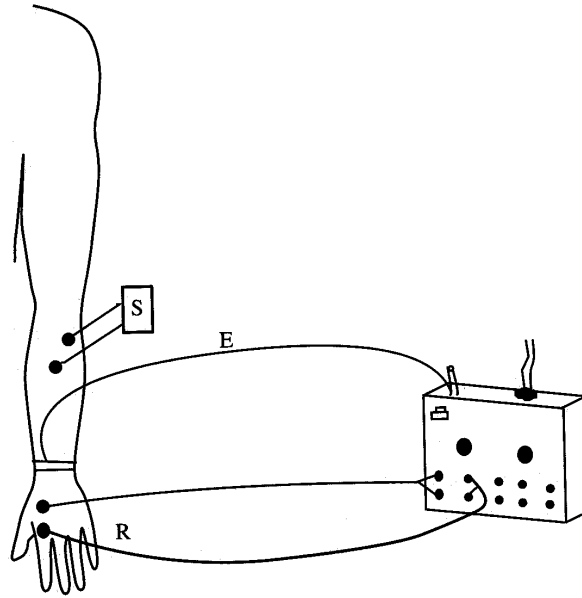


Figura 9.- Localización de electrodos y estimulación. Electrodo de registro bipolar (R): 1 er. interoseo dorsal. Tierra (E): en la muñeca. Estimulación (S): en el nervio cubital.

El músculo normal responde a un estímulo único de intensidad supramáxima (que active a todas las fibras) con una despolarización que alcanza entre 5 y 15 mV de amplitud. Esta respuesta se llama un Potencial de Acción Muscular Compuesto (PAMC), porque está producida por la respuesta de un conjunto de fibras musculares que se encuentran en el radio de captura del electrodo. Cuando esta amplitud descienda por debajo de 1 mV se puede sospechar la enfermedad de Lambert-Eaton (fig. 10). La baja amplitud de la respuesta en esta enfermedad es debida a que mientras el músculo está en reposo un gran número de sinapsis están bloqueadas.

El registro de la amplitud (valor pico a pico) del PAMC suele dar una buena idea del diagnóstico de una anomalía en la función neuromuscular. Sin embargo, es mejor calcular el área bajo la curva del PAMC en su porción negativa que corresponde a la despolarización de las fibras musculares. Se considera que este procedimiento da una idea mejor del número de fibras activadas por el estímulo.

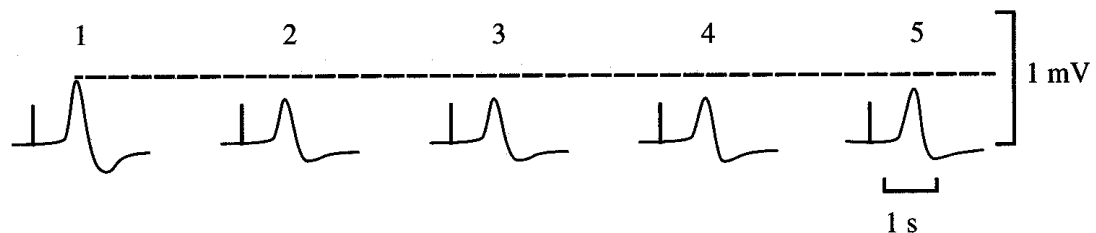


Figura 10.- Respuesta obtenida en un paciente afecto de la enfermedad de Lambert-Eaton mediante estimulación supramáxima del nervio cubital a una frecuencia de 3Hz.



### 6.4.2.- Respuesta a la estimulación repetitiva.

La placa motora normal es capaz de responder a la estimulación a frecuencias de más de 20 Hz en una relación uno a uno, es decir, produciendo un PAMC en respuesta a cada estímulo: veinte estímulos, veinte PAMC. Además, en individuos normales, la amplitud de la respuesta se reduce muy poco con la estimulación repetitiva. En cambio, si la sinapsis se encuentra deteriorada, bien se apreciará una respuesta decremental entre el primero y el último estímulo de una serie o peor, comenzarán a fallar algunas respuestas incluso a frecuencias mucho menores de los 20 Hz.

a) Estimulación a baja frecuencia.

Se utiliza la misma disposición que la descrita para la aplicación de estímulos únicos, con la diferencia de que se estimula a una frecuencia de 3 Hz y no suelen registrarse mas de cinco respuestas. La prueba puede repetirse después de un minuto de ejercicio a máximo esfuerzo del músculo bajo estudio.

En individuos sanos la respuesta entre el primer estímulo y el cuarto sufre un decremento menor de un 10%. A partir del quinto estímulo suele aparecer un incremento en la amplitud (fig. 11). Este incremento no suele superar el 10% en la fase negativa del PAMC, pero en la positiva puede alcanzar el 50%. Este fenómeno se llama pseudofacilitación. En realidad, el número de sinapsis activadas no se ha modificado, pero ha aumentado la velocidad de conducción del potencial de acción en la membrana de la fibra muscular.

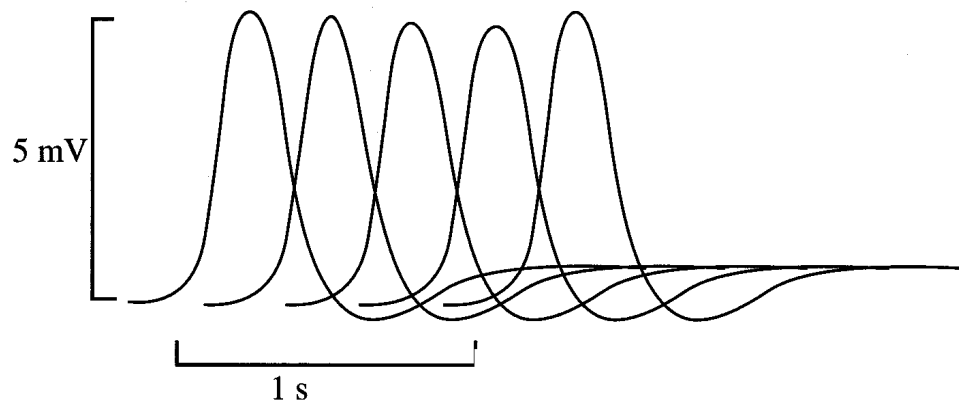


Figura 11. Estimulación repetitiva a baja frecuencia en un individuo sano. Se estimula con una frecuencia de 3 Hz.

El decremento se calcula en forma de porcentaje para la reducción entre la respuesta al primero (A1) y al quinto estímulo (A5), según la fórmula:

$$\text{Decremento (\%)} = -100 (A1-A5)/A1$$

Cuando el PAMC se reduce en mas de un 10% se debe sospechar alguna anomalía. En el caso de la miastenia el PAMC se mantiene reducido o incluso aún disminuye más en una segunda serie de estimulaciones si ha habido una serie de esfuerzos musculares entre ambas. En cambio,

en la enfermedad de Lambert-Eaton, el PAMC después del ejercicio adquiere valores mas próximos a los normales o incluso puede superar los valores iniciales.

b) Estimulación a alta frecuencia.

En este análisis se utiliza la misma disposición descrita en los casos anteriores, si bien la estimulación se aplica a 20 Hz. Con ésto el músculo se tetaniza, es decir, se contrae de forma sostenida con realización de un esfuerzo máximo. Se estudian entre 60 y 120 estimulaciones y sus correspondientes PAMC. En individuos sanos la respuesta a los primeros 60 estímulos no se modifica o se incrementa levemente (fig. 12.A). En la miastenia comienza reduciéndose para luego incrementarse, aunque nunca se consiguen los niveles obtenidos para el primer estímulo. Este incremento es debido en parte a la pseudo facilitación y en parte a una auténtica facilitación que sigue a la activación repetitiva de las uniones neuromusculares.

En el síndrome de Lambert-Eaton todas las respuestas presentan una amplitud muy baja, aunque se producen importantes incrementos entre los primeros y los últimos estímulos. En el estímulo A120 se alcanzan amplitudes que superan en mas del 300% a la amplitud de A1 (fig. 12.B).

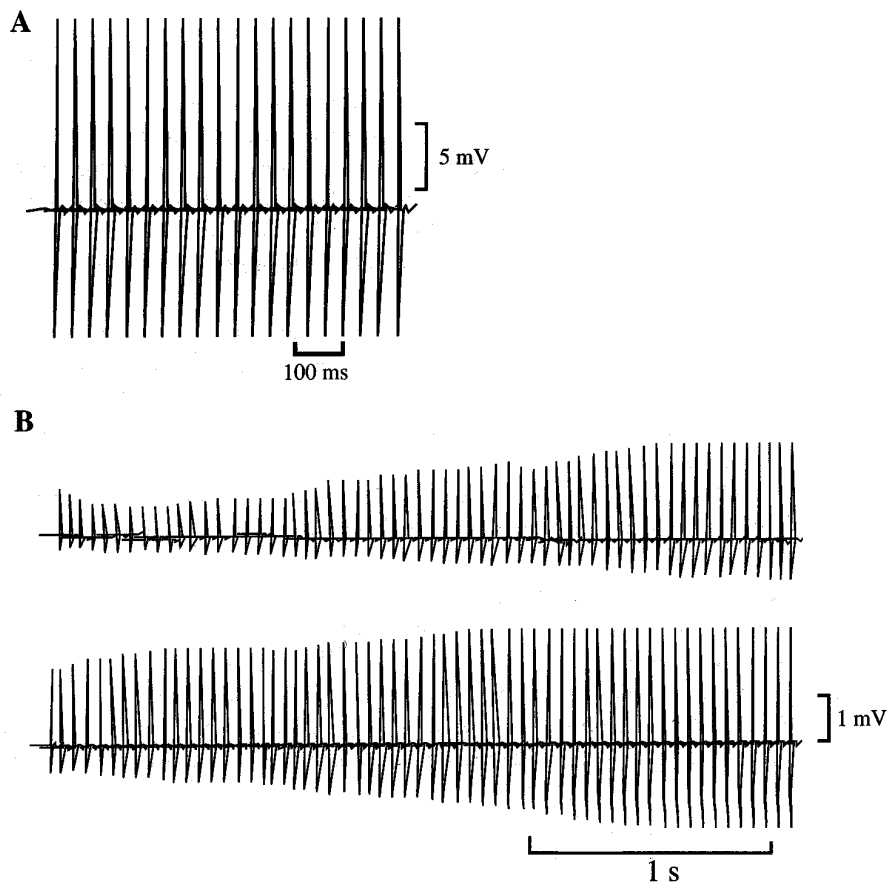


Figura 12.-. Registro de las respuestas obtenidas por estimulación a alta frecuencia (20 Hz). A. En condiciones normales. B. En el síndrome de Lambert-Eaton. Tengase en cuenta la diferencia de escala en mV.

La estimulación repetitiva a alta frecuencia es bastante dolorosa, por lo que no es conveniente su aplicación si no hay indicios de una enfermedad de Lambert-Eaton. Para la obtención de pruebas claras de miastenia suele bastar con la aplicación de la estimulación a 3 Hz.