



**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

-----  
Facultad de Enfermería de Soria



Facultad de Enfermería de Soria

# **GRADO EN ENFERMERÍA**

Trabajo Fin de Grado

**La Electromiografía (EMG) como método de  
valoración de la Fatiga Muscular.**

Estudiante: Elena Hidalgo Gómez

Tutelado por: Alfredo Córdova Martínez

Soria, 12 de Junio de 2015



Universidad de Valladolid

*Trabajo Fin de Grado. Facultad de Enfermería de Soria.*

***“Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto sino un hábito.”***

Aristóteles



# ÍNDICE

RESUMEN .....	4
JUSTIFICACIÓN .....	8
OBJETIVOS .....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Fisiología muscular y potenciales del músculo.....	10
1.2. Fatiga Muscular.....	13
1.2.1. Causas generales de la Fatiga .....	15
1.2.2. Diagnóstico de la Fatiga .....	15
1.3. Electromiografía (EMG).....	18
1.3.1. Origen y evolución del estudio de la señal EMG .....	19
1.3.2. El estudio EMG.....	20
1.3.3. Instrumentación en EMG y Metodología.....	20
1.3.4. La EMG de Superficie (EMGs) .....	25
1.3.5. La señal EMG .....	26
1.3.6. Riesgos del estudio EMG .....	29
2. METODOLOGÍA .....	31
3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	33
3.1. La influencia de la fatiga muscular en la EMG de Superficie. ....	33
3.2. La función de Enfermería en la Electromiografía. ....	35
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37



## RESUMEN

Fatiga es un término ampliamente utilizado que puede referirse a diversos significados y dominios. La fatiga muscular es un síntoma común que se experimenta en muchas enfermedades y se trata de una respuesta normal al esfuerzo físico o estrés, pero también puede ser un signo de un desorden físico. En individuos sanos, es una reacción fisiológica a una prolongada e intensa actividad, pero que disminuye con el reposo y no suele afectar a las actividades de la vida diaria. Sin embargo, en individuos que la padecen, es descrita como una sensación de completo cansancio en reposo, agotamiento con la actividad, falta de energía para llevar a cabo las actividades de la vida diaria, bloqueo de la resistencia o pérdida de vigor.

Los estudios electromiográficos realizados hasta hoy indican que se puede estudiar la fatiga muscular basándose en los cambios del espectro de su señal. La electromiografía (EMG) permite examinar parámetros bioeléctricos específicos relacionados con la electrofisiología del músculo. Las posibilidades de aplicación y el rendimiento diagnóstico de la electromiografía han evolucionado paralelamente al conocimiento de las propiedades de la energía eléctrica y al desarrollo de la tecnología.

Justificación: la fatiga muscular y la EMG son dos campos que aún están por desarrollar, pero conviene que conozcamos desde el punto de vista de Enfermería debido a su futura evolución.

Por ello, en este Trabajo Final de Grado nos proponemos conocer la importancia en la actualidad de la fatiga muscular y la EMG como método para analizar y valorar esta patología anteriormente descrita, además de la importancia de la función de Enfermería en esta técnica.

Se ha buscado información en los fondos bibliográficos (libros y revistas científicos) de la biblioteca de la Universidad de Valladolid que aparecen referenciados más adelante. En diferentes bases de datos como Pubmed,



Cochrane, Dialnet, Enfispo y en buscadores como Google académico, etc. La mayoría de ellos en lengua extranjera, cuya información se ha podido adaptar al trabajo.

Como conclusión, la EMG es muy utilizada para evaluar la actividad muscular y la fatiga pero son pocos los que pueden interpretar sus datos, por falta de conocimientos y dificultad,

Palabras clave: *“Valoración Electromiográfica”, “Fatiga muscular”, “Señal electromiográfica”, “Ejercicio muscular”, “EMGs con la edad” “Cinesiología “Electromiografía de Superficie”, “Enfermería”...*



## ABSTRACT

Fatigue is a widely used term that refers to several different meanings and domains. Fatigue is a common symptom experienced in many diseases and it is a normal response to physical exertion or stress, but can also be a sign of a physical disorder. In healthy individuals it is a physiologic reaction to a prolonged and intense activity, which reduces with rest and does not affect to the daily activities. On the other hand, in diseased individuals it is described as an overwhelming sense of tiredness at rest, exhaustion with activity, lack of energy to perform daily tasks, lack of endurance, or loss of vigor.

Electromyographic studies performed indicate that muscle fatigue can be studied from changes in the signal spectrum. Electromyography (EMG) allows to examine specific bioelectric parameters related to the muscle electrophysiology. EMG application possibilities and diagnostic performances have parallel evolved to the knowledge of the energy properties and the development of the technology.

*Justification:* Muscle Fatigue and EMG are both two fields which Nursing should know owing to the fact of its future development.

Therefore, in this Degree's Final Project we propose to know the importance of the muscle fatigue nowadays and the EMG as a method to analyze and value this pathology described before, besides the importance of the Nursing's function in this technique.

It has been search for information (books and scientific journals) in the Valladolid University's library, which appear referenced later; in several different databases as Pubmed, Cochrane, Dialnet, Enfispo, Google academic... besides consulting Nursery journals. The most of them in foreign languages, whose information has been adapted to the review.



In conclusion, EMG is very useful as a method to evaluate muscle activity and fatigue, but there are few who can interpret its information because of the lack of knowledge and its difficulty.

Keywords: *“Electromyography assessment”, “Muscle Fatigue”, “Electromyographic signal”, “Muscle exercise”, “sEMG in aging” “Kinesiology” “Surface Electromyography”, “Nursery”...*



## **JUSTIFICACIÓN**

La fatiga muscular es un problema amplio y no por ello más conocido hasta el punto que todavía es insuficientemente diagnosticado debido a su complicada detección. Actualmente se le está dando cada vez más importancia al uso de la Electromiografía (EMG) como medio diagnóstico, por lo que resulta interesante abordar este tema. Además, es un método llevado a cabo por médicos especialistas junto a enfermeros, y sin embargo no se le da la suficiente relevancia a los cuidados de este colectivo.

Pese a los estudios que se están realizando, nos encontramos con una técnica que está aún por desarrollar, y considero que los graduados en Enfermería podríamos abordar su estudio y utilización como medida de apoyo al diagnóstico de la fatiga muscular.



## **OBJETIVOS**

### **❖ Objetivo General**

- Conocer la importancia de la Electromiografía muscular como método de valoración de la fatiga muscular.

### **❖ Objetivos Específicos**

- Describir las bases anatómicas y funcionales del sistema músculo-esquelético.
- Entender la fatiga muscular, de qué trata, signos y síntomas, causas, e incidencia en la actualidad.
- Entender la importancia de la Electromiografía, indicaciones, evolución, instrumentación, factores que afectan a su registro y riesgos de su realización.
- Reconocer la función de Enfermería en la realización de la EMG.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Fisiología muscular y potenciales del músculo

Para abordar el tema de la Electromiografía y su relación con enfermedades como la fatiga muscular, primero es conveniente que conozcamos el sistema músculo-esquelético y sus diferentes potenciales eléctricos.

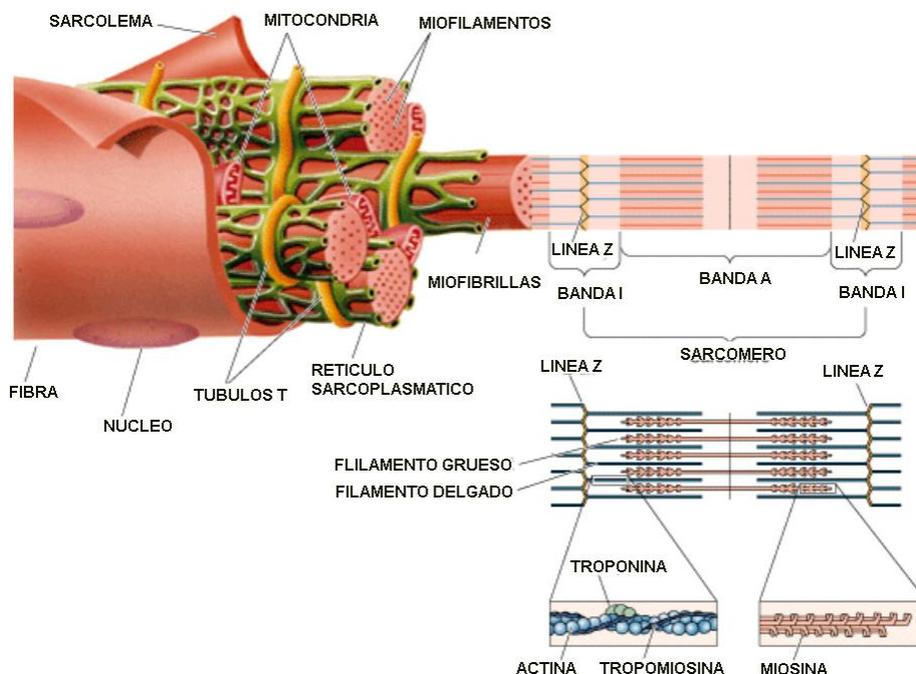
El cuerpo humano contiene más de 600 músculos esqueléticos, los cuales constituyen entre un 40 y un 50% del peso corporal total. Los músculos esqueléticos realizan tres importantes funciones: 1) generación de fuerza para la locomoción y la respiración; 2) generación de fuerza para el soporte postural; 3) producción de calor durante períodos de estrés por frío.

Los músculos esqueléticos están compuestos por varios tipos de tejido, entre los que se incluyen las propias células musculares (o fibras musculares), el tejido nervioso, la sangre y varias clases de tejido conectivo.

Los músculos individuales están separados entre sí y se mantienen en posición gracias a la acción del tejido conectivo llamado *fascia*. El músculo esquelético está envuelto en tres capas: epimisio, perimisio y endomisio. Este último rodea a las fibras musculares. Cada fibra muscular individual es un cilindro fino y alargado, y está rodeada por una membrana celular llamada sarcolema. Por encima de estas fibras musculares se extiende un grupo de células precursoras del crecimiento y la reparación de los músculos denominadas células satélite.

Debajo del sarcolema se sitúa el sarcoplasma que consiste en proteínas celulares, orgánulos y miofibrillas. Estas últimas son estructuras numerosas similares a filamentos que contienen proteínas contráctiles: miosina y actina. La disposición de estos filamentos proteicos confiere al músculo esquelético su aspecto estriado.

Las miofibrillas se pueden subdividir en segmentos individuales denominados sarcómeras, que están separados entre sí por una fina lámina de proteínas estructurales llamada *línea Z* o *disco Z*. Los filamentos de miosina en la parte oscura de la sarcómera, o *banda A*, mientras que los de actina aparecen principalmente en las zonas claras de la sarcómera, o *bandas I* (Figura 1). En el centro de la sarcómera se extiende una parte del filamento de miosina a la que no se solapa la actina: es la *zona H*.(1)



**Figura 1.** Microestructura del músculo.

La membrana de las células excitables se encuentra polarizada, siendo el interior de la célula negativo con respecto al exterior. Esta diferencia de potencial se denomina potencial de reposo y cambia por diferencias existentes en la concentración de diversos iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc.).

El extremo de la neurona entra en contacto con la fibra muscular por medio de la *hendidura sináptica* a través del neurotransmisor acetilcolina (Ach). Éste, se une a los receptores de la placa terminal motora y ocasiona una



despolarización llamada potencial de placa terminal y desencadena el proceso contráctil. El resultado final es la contracción muscular que supone un deslizamiento de la actina sobre la miosina que provoca un acortamiento del músculo.

Además debemos tener en cuenta el tipo de fibras musculares pues ello determina su respuesta en la contracción (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tipos de fibras musculares y características.

Tipos de fibras	Tipo I: lentas y resistentes a la fatiga	Tipo IIa: rápidas y resistentes a la fatiga	Tipo IIb: rápidas y fatigables
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño pequeño</li> <li>• En músculos lentos o rojos; <b>Error!</b> <b>Marcador no definido.</b></li> <li>• Gran densidad capilar</li> <li>• Alta resistencia a la fatiga; <b>Error!</b> <b>Marcador no definido.</b></li> <li>• Contracción lenta</li> <li>• Velocidad de conducción (VC) menor</li> <li>• Mitocondrias abundantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño grande</li> <li>• En músculos blancos y rápidos</li> <li>• Alta resistencia a la fatiga</li> <li>• Contracción rápida</li> <li>• Combina propiedades de las fibras tipo I y tipo IIb</li> <li>• VC mayor</li> <li>• Mitocondrias escasas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño grande</li> <li>• En músculos blancos y rápidos</li> <li>• Densidad capilar menor</li> <li>• Baja resistencia a la fatiga</li> <li>• Desarrollan fuerzas en períodos cortos de tiempo</li> <li>• VC mayor</li> <li>• Mitocondrias escasas</li> </ul>



La suma de potenciales de acción correspondientes a las fibras musculares activadas por una sola unidad motora recibe el nombre de potencial de acción de la unidad motora. La suma de las secuencias de todas las fibras musculares genera la señal de EMG. (2)

## **1.2. Fatiga Muscular**

Fatiga es un término ampliamente utilizado que puede tener diversos significados y referirse a varios dominios. (3) Es una respuesta normal al esfuerzo físico o estrés, pero también puede ser un signo de un desorden físico. En individuos sanos, la fatiga es una reacción fisiológica a una prolongada e intensa actividad, pero que disminuye con el reposo y no suele afectar a las actividades de la vida diaria. Sin embargo, en individuos que la padecen, es descrita como una sensación de completo cansancio en reposo, agotamiento con la actividad, bloqueo de la energía para llevar a cabo las tareas diarias, bloqueo de la resistencia o pérdida de vigor.

Es común en enfermedades neurológicas, enfermedad hematológica, diálisis, síndrome de fatiga crónica, fibromialgia, asma, infecciones agudas o crónicas, diabetes, etc.(4) En individuos enfermos, la fatiga puede continuar durante más de 6 meses (fatiga crónica), puede alterar la calidad de vida, puede tener un impacto negativo en el funcionamiento emocional, social u ocupacional, y puede causar discapacidad. La fatiga patológica es un problema de salud importante.

Además, puede ocurrir durante el desempeño de una tarea, hecho conocido como fatigabilidad. La fatigabilidad es un dominio de la fatiga definido como una magnitud o rango de cambio en la ejecución de una tarea o medida de una emisión mecánica, eléctrica, metabólica o fisiológica. La fatiga puede ser una señal del organismo para prevenir la tensión innecesaria del músculo para evitar daño o lesión muscular.



En definitiva y para concretar, puede definirse como un descenso progresivo en la producción de contracción máxima voluntaria en un músculo en concreto o en un grupo de músculos. Además, se pueden definir diferentes tipos de fatiga como:

- a) General: Disminución progresiva de la habilidad para activar el músculo voluntariamente, de generar la máxima contracción voluntaria. Pérdida de generación de fuerza durante una tarea.
- b) Mental: Percepción del sentimiento de estar fatigado cognitivamente después de llevar a cabo actividades cognitivas que implican concentración.
- c) Central: Insuficiencia de la corteza motora para restablecer la coordinación de la unidad motora muscular.
- d) Periférica: Descenso progresivo de la contracción máxima voluntaria de un músculo. Esta es la que corresponde más a la fatiga muscular.

La fatiga muscular desde el punto de vista bioeléctrico puede surgir de diferentes localizaciones sistémicas del cuerpo y puede ser dividida en fatiga central y periférica.(5)

- a) **Fatiga Central:** Puede surgir de la corteza cerebral. También se puede desarrollar en la médula espinal. Los factores centrales de la fatiga comprenden descensos en la activación voluntaria del músculo, lo que se debe a la disminución del número de unidades motoras afectadas y su velocidad de descarga.
- b) **Fatiga Periférica:** Normalmente resulta de mecanismos periféricos siendo en realidad la suma total de los mecanismos centrales y periféricos.

Sin embargo, los factores periféricos de la fatiga muscular incluyen alteraciones en la transmisión neuromuscular y en la propagación del potencial de acción muscular y disminuye la fuerza contráctil de las fibras musculares.(3)



### **1.2.1. Causas generales de la Fatiga**

Aunque como hemos dicho, el origen de la fatiga está relacionado con una afectación neurológica, también puede estar producida por una serie de fenómenos externos, como pueden ser la toma de sustancias nocivas como drogas o alcohol, tabaquismo, depresión, debilidad, falta de sueño, disminución de la atención o concentración, etc.

### **1.2.2. Diagnóstico de la Fatiga**

Los métodos más importantes para identificar las causas de la fatiga son la medición de la fuerza, investigaciones en la composición de la sangre, la EMG (electromiografía), la EMT (estimulación magnética cerebral), RMN (resonancia magnética nuclear) y ERM (espectroscopia por resonancia magnética).(6)

Cuando el músculo recibe un estímulo en forma de potencial de acción, el retículo sarcoplasmático libera  $Ca^{+2}$ , el cual se liga a la troponina y forma el complejo tropomiosina actuando sobre la actina y la miosina para producir la contracción muscular.

La incapacidad de mantener ese potencial de acción constituye un importante factor desencadenante de la fatiga. Durante la fatiga se da una disminución del  $Ca^{+2}$  con consecuente disminución de la fuerza.

Existen también causas metabólicas que dan origen a la fatiga muscular, como las alteraciones del pH, de la temperatura y del flujo sanguíneo, la acumulación de productos del metabolismo celular, la pérdida de la homeostasis del ión  $Ca^{2+}$ , el papel de algunos iones en los medios intra y extracelulares (como el  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Mg^{2+}$ ) y el estrés oxidativo. Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de estudios asociados a su etiología, se encuentran aún por determinar sus causas (Ver Tabla 2).(3)

La fatiga muscular, depende del tipo, duración e intensidad del ejercicio, del tipo de fibra muscular reclutada, del nivel de entrenamiento del sujeto y de las condiciones ambientales de realización del ejercicio.(7)

**Tabla 2.** Causas que pueden influir en la Fatiga Muscular.

<b>Causas de la Fatiga Muscular</b>	
<b>Nutricionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desajustes minerales, de electrolitos...</li> <li>• Alteraciones del agua</li> <li>• Alteraciones en la capacitación de aminoácidos</li> </ul>
<b>Endocrinológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de testosterona, hormona del crecimiento...</li> <li>• Aumento de cortisol</li> </ul>
<b>Inmunológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inflamación y daño muscular</li> <li>• Inmunosupresión</li> </ul>
<b>Metabólicos</b>	<p>Acumulación de metabolitos (lactato, pH...)</p> <p>Fallo en el suministro de energía</p>
<b>Neuromusculares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de fibras, daño muscular...</li> <li>• Alteraciones en placa motora</li> </ul>
<b>Nerviosos y psicológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de neurotransmisores</li> <li>• Alteración en la psinapsis</li> <li>• Estrés, ansiedad, motivación, tolerancia al dolor, incomodidad...<sup>1</sup></li> </ul>
<b>Ejercicio muscular</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de ejercicio, volumen, intensidad, frecuencia...</li> </ul>
<b>Ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altitud, temperatura, humedad...</li> </ul>
<b>Patogénicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infecciones</li> <li>• Traumatismos</li> <li>• Intervenciones quirúrgicas</li> </ul>



Durante el ejercicio de baja intensidad, el lactato es metabolizado para producir energía, lo que impide su acumulación en el músculo y lo libera a la circulación. Si la intensidad del ejercicio excede el umbral anaeróbico, cuando se produce el consumo del 60% de oxígeno, la fosforilación del oxígeno se convierte limitada y el lactato se acumula. Esto se asocia a la fatiga.(3)

La edad y el género también influyen en la fatiga muscular. Como mínimo, algunos aspectos de la fatiga dependen de la edad. La percepción de fatiga y el cansancio aumentan con la edad. Esta, sin embargo, no reduce la habilidad de restablecer las unidades motoras o la conducción central, pero hay mayor variabilidad en la velocidad de conducción motora con la edad.

Son las fibras musculares tipo II las que disminuyen con la edad. Los individuos jóvenes poseen más fibras tipo IIb que los más mayores.

En relación al género, los hombres experimentan más cambios neuromusculares periféricos después del ejercicio que las mujeres. Por otro lado, son las mujeres las que experimentan una mayor reducción del potencial en comparación a los hombres.(4)

Durante una contracción fatigante, muchos cambios biológicos ocurren, como el incremento en la concentración de metabolitos, cambios en la velocidad de conducción de fibra muscular, y alteraciones en el número de unidades motoras utilizadas. Muchos de estos cambios biológicos son tradicionalmente usados para determinar el estado de fatiga de los sujetos, y estos cambios pueden ser medidos usando varias técnicas. Las concentraciones de metabolitos son obtenidas analizando muestras de sangre o biopsias musculares. Además, cambios en la velocidad de conducción o en el número de unidades motoras utilizadas pueden ser medidas usando grabaciones electromiográficas.(8)

### **1.3. Electromiografía (EMG)**

La electromiografía es la técnica que obtiene, registra y estudia los potenciales eléctricos de los músculos y los nervios tanto en reposo como durante la contracción. Permite la valoración del sistema neuromuscular, es decir, asta anterior, raíces, plexos y nervios periféricos, unión neuromuscular y músculos. Para ello, se precisan instrumentos eléctricos y electrónicos, que recogen los potenciales eléctricos, los amplifican, los graban, etc, lo que se denomina electromiógrafo.(9)

La finalidad principal de este tipo de medida es conocer la actividad de uno o varios músculos en una acción concreta. Ello incluye:

- Determinar si el músculo está activo o inactivo, de forma continuada.
- Saber su grado de actividad cuando está activo.
- Conocer qué relación mantiene con el resto de músculos implicados en la acción.(10)

Las indicaciones o utilidad de la electromiografía vienen resumidas por lo que se conoce como “Decálogo de Asbury” (9):

1. Diferenciar entre debilidad de origen central o periférico.
2. Diferenciar entre debilidad de origen neural o muscular.
3. Distinguir entre radiculopatía y plexopatía.
4. Localizar y cuantificar el grado de lesión en mononeuropatías.
5. Distinguir entre poli-multi- y neuropatías, así como verificar el grado de afectación de cada tipo de fibras (motoras, sensitivas...).
6. Diferenciar entre mielinopatías y axonopatías.
7. Evaluar la evolución de las neuropatías.
8. Caracterizar los trastornos de la unión neuromuscular.



9. Identificar alteraciones (signos de denervación, fasciculaciones, miotonía, descargas de alta frecuencia...) en músculos aparentemente sanos.
10. Distinguir entre calambre y contracturas.

### 1.3.1. Origen y evolución del estudio de la señal EMG

Hasta principios del siglo XVII no se conocía el poder que podía llegar a generar la electricidad. Fue a partir de 1600 cuando se empezaron a realizar avances gracias a científicos como William Gilbert, Boyle, Leyden o Volta, entre otros. Fue en 1791 cuando Luigi Galvani descubrió electricidad animal en una rana mediante la estimulación eléctrica de sus nervios. En 1804 Aldini aplicó electricidad para el tratamiento de las enfermedades mentales mediante el electroshock. (**¡Error! Marcador no definido.**) Du Bois Reymond fue el primero, en 1849, en demostrar la actividad eléctrica del músculo humano durante la contracción voluntaria. (11) Duchenne de Boulogne, en 1867 comenzó a tratar enfermedades con estímulos eléctricos sobre los músculos dando lugar a la electroterapia. (9)

En el siglo XX los avances empiezan a ser más rápidos. Son Adrian y Bronk quienes en 1929 utilizan la EMG para estudiar la organización funcional de los movimientos proporcionando la primera evidencia de las posibilidades diagnósticas de la EMG. (11) Establecida ya la técnica como ayuda diagnóstica en enfermedades neuromusculares, en 1953 se crea la American Association of Electromyography and Electrodiagnosis. Este mismo año se celebra el Primer Congreso Internacional de Electromiografía en Pavía.

El análisis de la frecuencia de señales mioeléctricas para monitorizar la fatiga muscular lo propone por primera vez por Kogi Hakamada en 1962. A partir de 1980 con la introducción de los ordenadores se pudieron realizar grandes estudios y descomposición de las señales electromiográficas, siendo pioneros en ello LeFever y De Luca. (12)

### **1.3.2. El estudio EMG.**

Con la EMG se valoran las actividades obtenidas en dos situaciones principales:

- Mientras el músculo se encuentra en reposo (actividad espontánea)
- Mientras se realiza una contracción voluntaria del músculo (actividad voluntaria: potenciales de unidad motora y máximo esfuerzo).(10)

Se pueden distinguir dos tipos principales de EMG: a) la clínica o diagnóstica, que estudia las características del potencial de la unidad motora, de interés especialmente en el diagnóstico de la patología neuromuscular; y b) la cinesiológica, que estudia la función muscular y la coordinación.

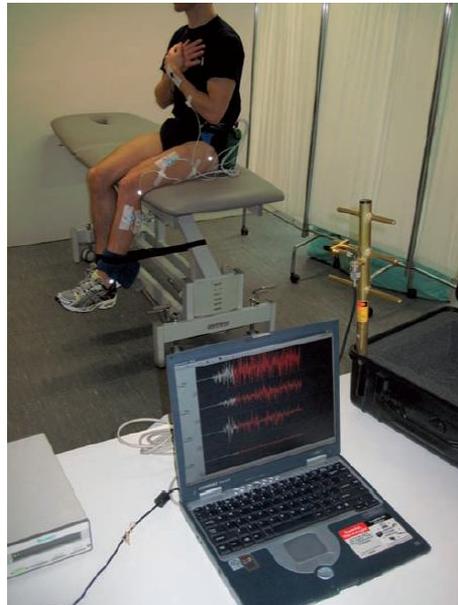
La EMG cinesiológica permite determinar la función muscular normal durante la realización de tareas, y situaciones patológicas. Además, al analizar diferentes actividades (ocupacionales, laborales, deportivas...), permite establecer las modificaciones oportunas de manera que la actividad se lleve a cabo de forma correcta y así evitar lesiones.(13)

Pero además dependiendo de los electrodos que se utilicen para el registro electromiográfico, podemos distinguir también la EMG según sea de superficie (EMGs) o de inserción o aguja.

### **1.3.3. Instrumentación en EMG y Metodología**

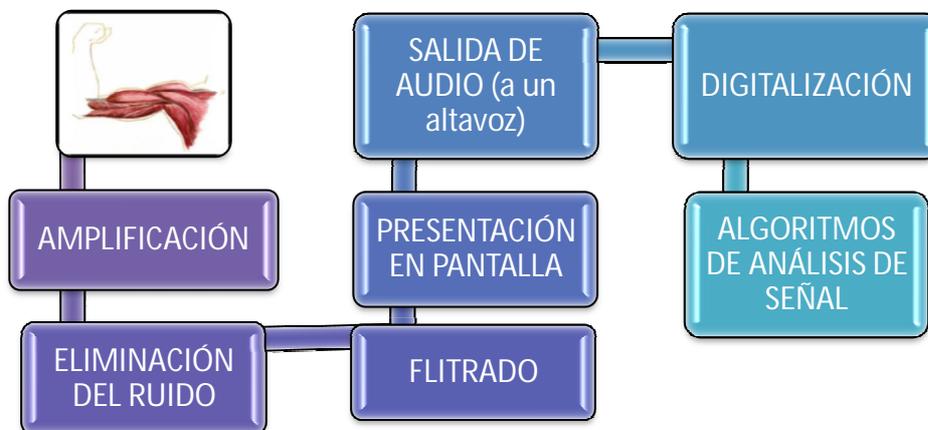
Los equipos para la realización de electromiografía y potenciales evocados son aparatos de alto rendimiento que registran, procesan, y exhiben potenciales bioeléctricos de amplitud baja. Las señales bioeléctricas son registradas por electrodos y transmitidas por los cables del mismo a amplificadores diferenciales; durante o después de la amplificación se realiza un proceso de depuración o filtrado de la señal y su conversión de analógica en digital para su representación visual y estudio, registrándose también el sonido de las mismas; finalmente, se puede realizar su representación gráfica y

almacenamiento en memoria de los estudios para posteriores valoraciones.(Figura 2.) (9)



**Figura 2.** Registro de la contracción voluntaria máxima.(10)

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, etc. (Figura 3.) (14)



**Figura 3.** Metodología en la EMG



Es importante una buena preparación del paciente y la aplicación de una buena técnica. También es necesario vigilar posibles errores en la interpretación de los registros.

En primer lugar debemos preparar al individuo e informarle adecuadamente sobre el procedimiento que seguiremos durante el estudio, además de los objetivos, la utilidad y posibles aplicaciones del mismo. Es necesario obtener su consentimiento informado firmado. Conviene recoger información sobre hábitos tóxicos, ingesta de medicamentos, existencia de patologías, etc. También será necesario obtener parámetros antropométricos como el peso y la talla.

#### **1.3.3.1. Electrodo**

Los electrodos son los elementos que captan la señal bioeléctrica para transmitirla al equipo. Existen dos clases de electrodos, de superficie (sobre la piel) y de inserción o aguja (internos, dentro de la piel) como se ha nombrado anteriormente. Además existen otros tipos de electrodos a nivel celular (microelectrodo). En cuanto a los tamaños y formas existen varios tipos que se emplearán según la técnica a realizar. Deben estar localizados en sitios eléctricamente neutros o por lo menos donde se registre una mínima actividad bioeléctrica.(15)

A) Electrodo de inserción o aguja: son electrodos que se introducen en el músculo mediante una aguja. Los electrodos de alambre fino son una variación muy utilizada en los cuales se introduce una aguja a modo de fiador y se saca a continuación. Son los ideales para estudios de movimiento, puesto que son indoloros, una vez insertados, fáciles de colocar y retirar, y dan una información global de la actividad muscular, pero con una exactitud semejante a la de los electrodos de aguja.

Sus principales ventajas son el registro de una zona específica y poder registrar, músculos profundos, aislar partes de músculos largos y registrar músculos pequeños. Sus inconvenientes son la molestia que puede ocasionar



su introducción en el vientre muscular, que, además, puede aumentar la tensión o espasticidad en los músculos y producir calambres, y la menor reproducibilidad puesto que es difícil volver a colocar la aguja en el mismo lugar del músculo; además, pueden desplazarse en el interior. Sin embargo, a pesar de los inconvenientes, para algunos músculos los electrodos de aguja son la única posibilidad de obtener información.

Cuando se realiza un estudio EMG de aguja se registra otro tipo de actividad eléctrica, la que se origina al insertar o mover el electrodo en el vientre del músculo. Esta actividad se denomina actividad de inserción.<sup>10</sup> Esta no puede valorarse por la EMGs debido a la ausencia de agujas. Además la actividad espontánea que ocurre a nivel de una fibra individual es muy pequeña como para poder valorarla por medio de la EMGs.(16)

B) Electrodo de superficie: se colocan en la piel sobre el músculo. Sus principales ventajas son que no producen dolor, son muy fáciles de colocar y, además, las señales son más reproducibles; resultan muy buenos para los estudios de movimiento. Sus principales inconvenientes son que tienen una amplia zona de recogida de la señal, y por lo tanto, tienen más probabilidades de registrar señales de otros músculos adyacentes (cross-talk) y de registrar artefactos de movimiento. Además, estos electrodos pueden ser utilizados únicamente en músculos superficiales.(13)13

En toda exploración de superficie se disponen tres electrodos: uno activo que recibe la señal, otro referencial que actúa como punto comparativo diferencial y otro llamado electrodo de tierra, que sirve como de referencia de voltaje cero para los amplificadores.(9)

Existen diferencias entre los electrodos de superficie y los electrodos de aguja o inserción (Tabla 3.).

**Tabla 3.** Diferencias entre electrodos de superficie y de inserción.

<b>DIFERENCIAS ENTRE ELECTRODOS</b>	
<b>Electrodos de superficie</b>	<b>Electrodos intramusculares</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Permiten un registro global del músculo</b></li> <li>• <b>No son invasivos</b></li> <li>• <b>No presentan limitaciones en cuanto a la superficie estudiada ni al tiempo de registro</b></li> <li>• <b>Sólo posibilitan el estudio de la musculatura superficial</b></li> <li>• <b>Precisan de una correcta preparación de la piel</b></li> <li>• <b>Se obtienen trazados con un espectro de frecuencias más bajo</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Permiten un registro más localizado del músculo</b></li> <li>• <b>Son invasivos</b></li> <li>• <b>Posibilitan el estudio de musculatura superficial y profunda</b></li> <li>• <b>Menor grado de preparación de la piel</b></li> <li>• <b>Captan un espectro de frecuencia más alto (¡Error! Marcador no definido.)</b></li> <li>• <b>Causan dolor, afectan al tejido muscular</b></li> <li>• <b>Requiere personal médico (1)</b></li> </ul>

Los electrodos deben proporcionar una señal eléctrica de calidad, mediante un buen contacto, una baja impedancia (resistencia que ofrece la piel al paso de la corriente eléctrica), poco ruido y un comportamiento estable. Se debe tener en cuenta la ubicación (siempre y cuando sea posible en la línea media del vientre muscular (15)) y dirección de los electrodos sobre el músculo. Los factores que más afectan a esta estabilidad son la presencia de puntos motores, de zonas tendinosas y la actividad de otros músculos cerca de los electrodos.

La unión entre el electrodo y el amplificador del equipo se lleva a cabo por medio de cables conductores. Los electrodos deben ser de longitud similar



y deben estar cerca uno del otro. En relación a la estimulación, se realiza comúnmente mediante estimuladores eléctricos no magnéticos.(9)

La señal registrada varía en función de la zona del músculo sobre la que colocamos los electrodos. Asimismo, debe intentar evitarse el fenómeno denominado *cross-talk*, que consiste en la contaminación de la señal procedente del músculo estudiado por la de otros músculos cercanos.(17)

El departamento de Enfermería es el principal responsable de la correcta preparación del paciente y de estandarizar y protocolizar las actividades que realiza.(18)

#### **1.3.4. La EMG de Superficie (EMGs)**

Esta revisión bibliográfica se centra más en la electromiografía de superficie ya que está más extendido su uso debido a las ventajas frente a la de inserción, y a una gran relación con la fatiga muscular.

La electromiografía de superficie (EMGs) permite analizar simultáneamente distintos músculos en movimiento y en acciones de duración limitada. El procesado de la señal electromiográfica proporciona parámetros de amplitud y frecuencia para estudios descriptivos y comparativos. No obstante, no permite valorar la musculatura profunda y aporta menos información que los electromiogramas de aguja.(10)

A pesar de las limitaciones de la aplicación de la electromiografía de superficie, este método es usado cada vez más debido a sus ventajas para determinar la fatiga muscular local. Sus principales ventajas son que presenta aplicabilidad *in situ*, monitorización real de un determinado ejercicio, habilidad de monitorizar la fatiga de un músculo en particular y la correlación con cambios bioquímicos y fisiológicos en los músculos durante esta.(12)

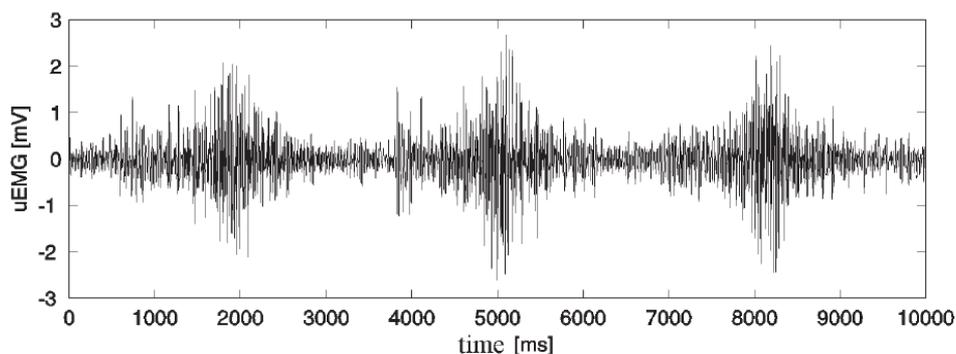
El estudio de la función muscular a través de la EMGs resulta del análisis de actividad eléctrica del músculo determinando la suma de los

potenciales de acción de todas las fibras musculares. Además de para determinar la actividad eléctrica del músculo, la EMGs ha sido utilizada para analizar la fatiga, valorar el entrenamiento e identificar enfermedades.(19)

### 1.3.5. La señal EMG

La señal electromiográfica se ve afectada por las propiedades fisiológicas y anatómicas del músculo, por el sistema nervioso y por las características de instrumentación que se usan para detectarla y analizarla. Es importante el procesado de las señales obtenidas mediante programas adecuados.(11)

Los principales parámetros que se extraen de ella son la actividad de inserción, la actividad espontánea, la configuración de la unidad motora, etc. En la imagen que se muestra a continuación encontramos un espectro de señal EMGs de un individuo sano durante tres contracciones musculares sucesivas (Figura 4.)



**Figura 4.** Espectro EMGs en un individuo sano.

La cuantificación de la señal consiste en extraer de ella los datos numéricos que la definan. El procesado de la señal dependerá del tipo de análisis que nos interese hacer. Esencialmente se realizan dos tipos de análisis: el de amplitudes y el de frecuencias.

#### A) Análisis de amplitudes:



Pretende conseguir el nivel de activación muscular. En los sistemas digitales se usan dos indicadores de la amplitud de la EMGs: MAV (Mean Absolute Value) y RMS (Root Mean Square), para obtener una imagen más próxima a la activación muscular y más fácil de observar. La reducción en la amplitud de las señales en el electromiograma indica pérdida de reclutamiento o activación de múltiples músculos.(6)

#### B) Análisis de frecuencias:

El objetivo es determinar el espectro de frecuencias de la señal electromiográfica. Se lleva a cabo mediante la aplicación del Fast Fourier Transform (FFT), que es un sistema de descomposición de la señal. Este sistema es ideal para acciones estáticas. Sin embargo se están proponiendo otros métodos para acciones dinámicas por las diferentes variaciones.

En la EMG normal analizamos la actividad de inserción dura unos segundos y tras cesar no se registra movimiento en el espectro EMG. En reposo, la presencia de actividad espontánea debe considerarse anormal. Con una contracción voluntaria muy débil, se aumentará la frecuencia de la descarga de la unidad motora y se podrá estudiar el potencial de acción de la unidad motora. A medida que se aumente el poder de la contracción, se reclutarán unidades motoras más grandes y todas las unidades motoras aumentarán su frecuencia de activación.(20)

En condiciones normales, el aumento de la fuerza se traduce por un reclutamiento de nuevas unidades motoras y por un aumento de la frecuencia de descarga. Durante un movimiento de fuerza, la secuencia de frecuencias obtenidas en un gráfico de análisis espectral muestra inicialmente frecuencias bajas (inicio de la actividad muscular y reclutamiento de fibras musculares tipo I), luego frecuencias altas (reclutamiento de fibras musculares tipo II), y finalmente, desaparición de las frecuencias altas, debido en parte a la fatiga de

las fibras tipo II y la reaparición de las frecuencias bajas (fibras musculares tipo I que resisten a la fatiga).(21)

En la fase de registro se obtiene la contracción voluntaria máxima (CVM) para calcular un promedio de sus periodos de contracción.

#### **1.3.5.1. Factores que pueden influir en el registro EMG**

El primer tipo de contracción que fue estudiado usando estas técnicas de EMG de superficie fue la contracción estática o isométrica. Las señales de la EMG de superficie durante contracciones isométricas son más fáciles de registrar que las contracciones dinámicas. Durante las contracciones isométricas no hay movimiento, por lo que hay menos interferencia de movimiento en comparación con las contracciones dinámicas. Sin embargo, aunque el registro de las señales de la EMG de superficie durante contracciones estáticas es más fácil, hay otros factores que pueden influir en el registro de las señales y por lo tanto complicar su interpretación. Estos factores incluyen la atenuación que es causada por diferentes densidades de los tejidos subcutáneos (como por ejemplo la capa lipídica) o las diferentes características de la señal que se pueden obtener dependiendo de la posición de los electrodos de registro en el músculo. Otro factor es la actividad eléctrica.

Existen además factores que pueden alterar los resultados, tales como la posición del paciente, la edad, la composición y forma del músculo, la cantidad de tejido conectivo, la actividad de otros músculos dentro cerca de los electrodos... Debemos evitar zonas óseas o tendinosas. Además debe tenerse en cuenta la distancia interelectrodo, es decir, la distancia de centro a centro de los dos electrodos, ya que ésta puede variar el registro.(11)

Petrofsky y Lind (1980) encontraron que la temperatura intramuscular podía inducir un aumento en el contenido espectral de la señal de la EMG, cambiando el espectro hacia frecuencias más altas. (8)



En la EMGs, la mayor diferencia entre una contracción dinámica y una isométrica es que la forma y la elongación de los músculos varía, lo que produce un cambio en las fibras musculares con respecto a los electrodos de superficie.(19)

### **1.3.6. Riesgos del estudio EMG**

Existen diferentes riesgos en la exploración electromiográfica (Tabla 4).(15) En la colocación de electrodos de aguja la exploración es molesta, ya que se pinchan varios músculos, y se estimulan eléctricamente nervios o territorios cutáneos, produciéndose molestias inevitables de pinchazos y calambres eléctricos.

Toda punción tiene riesgos de infección, actualmente minimizados por el uso de agujas desechables; con todo, es preciso desinfectar la piel del paciente en las zonas de punción. El explorador debe extremar los cuidados para no pincharse accidentalmente con una aguja usada, a fin de evitar riesgo de adquirir una enfermedad infecciosa transmisible como hepatitis, SIDA u otras. La mejor manera para alcanzar el objetivo es utilizar solamente dispositivos estériles de un solo uso. Además, en las enfermedades en las que exista una profilaxis, es recomendable la vacunación del personal que realiza electromiografías.

Otro riesgo es la hemorragia, en especial si se punciona inadvertidamente una vena, ya sea superficial o profunda. El riesgo es mayor en pacientes anticoagulados. En estos casos, sólo se recomienda el estudio con aguja si es estrictamente necesario, y se debe ser extremadamente cuidadoso con la exploración, limitando al máximo tanto el número de músculos explorados, como la movilización de la aguja en el interior del músculo. Tras la punción, debe comprimirse la zona de forma prolongada.

Los riesgos de la estimulación eléctrica son relativamente escasos. En pacientes con catéteres intravenosos, la corriente eléctrica podría conducirse a



través de las sondas y producir parada cardíaca. En estos casos se evitará estimular en la proximidad de los catéteres. Los marcapasos pueden modificar su función con los estímulos eléctricos. Por lo tanto, el explorador debe asegurarse de que la colocación de estos electrodos reduce al mínimo la probabilidad de que corrientes significativas pasen a través del corazón.(9)

**Tabla 4.** Riesgos de la exploración electromiográfica.

	<b>PACIENTE</b>	<b>PERSONAL QUE LO REALIZA</b>
<b>Riesgos de la exploración EMG</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Afectación del músculo.</li><li>• Riesgo de infección si no se trata de una técnica debidamente esterilizada.</li><li>• Hemorragia a partir de un vaso sanguíneo por una mala punción, sobre todo en pacientes anticoagulados.</li><li>• Parada cardíaca en pacientes con catéteres intravenosos.</li><li>• Modificación de la función de los marcapasos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contagio de enfermedades transmisibles como SIDA, Hepatitis...</li><li>• Inadecuada vacunación.</li></ul>



## 2. METODOLOGÍA

Se ha realizado revisión bibliográfica así como una búsqueda en las bases de datos “Pubmed”, Dialnet, Enfispo y Cochrane, y en buscadores como Google académico.

En primer lugar, la búsqueda se realizó en la base de datos PubMed estableciendo los límites de publicación del artículo de hasta 15 años atrás, que estuvieran en Inglés, Francés, o Español. Alguno supera ese límite de antigüedad pero ha sido oportuno para entender información relevante sobre el tema. Se utilizaron en una primera búsqueda los términos “*Electromyography assessment*”, “*Muscle Fatigue*”, “*Electromyographic signal*”, “*Muscle exercise*”, “*sEMG in aging*”, “*Kinesiology*”, “*Surface Electromyography*”, “*Nursing*”, etc. utilizando el enlace Booleano “AND” y el filtro “*Free Full Text*”. Posteriormente, con las mismas palabras en español en Cochrane. Las mismas búsquedas se llevaron a cabo en el portal bibliográfico Dialnet y en el buscador de Google académico, así como en los fondos bibliográficos (libros y revistas científicas) de la biblioteca de la Universidad de Valladolid. Se han utilizado las mismas palabras clave en español.

El periodo de revisión comprende desde el 15 de Diciembre de 2014 hasta el 12 de Junio de 2015.

Tras la lectura comprensiva de los artículos de interés, se amplió la búsqueda para profundizar en aspectos puntuales de las características tanto de la patología muscular como de su influencia en la señal electromiográfica. Además, se han consultado revistas de Enfermería como Cuiden o Enfermería Global.

### ❖ Criterios de inclusión:



- Artículos comprendidos en un intervalo de antigüedad entre el año 2000 y el 2015.
- Artículos que trataran la Electromiografía tanto de inserción como se superficie muscular.
- Artículos en los que se expusieran protocolos de realización de la Electromiografía y su interpretación.
- Artículos que incluyeran datos recientes sobre la Fatiga muscular y su influencia en la actualidad.
- Artículos que expusieran las diferentes alteraciones musculares que se producen con la edad o relacionadas a otros factores.

❖ **Criterios de exclusión:**

- Artículos anteriores al año 2000, exceptuando algunos de relevancia para el trabajo aunque fueran anteriores a esta fecha.
- Artículos que no estén en español, inglés o francés.
- Artículos que no contengan información relevante acerca del tema.



### 3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

#### 3.1. La influencia de la fatiga muscular en la EMG de superficie.

La EMG como técnica de diagnóstico reproducible, sensible y específica, ha permitido grandes progresos en el estudio de la fisiología muscular pero su uso ha sido limitado debido al gran número de equipos requeridos para la técnica, los costos, la falta de divulgación de la técnica...

Es evidente la importancia en la actualidad de la fatiga muscular, y cada vez son más los recursos científicos para estudiar esta patología. Se sabe que el espectro de análisis de la EMGs es una herramienta de valoración para la cuantificación de las manifestaciones eléctricas de la fatiga muscular durante una fuerza constante y contracciones isométricas y dinámicas.

De los resultados de este trabajo se concluye que los factores metabólicos de la fatiga muscular pueden afectar a la señal mioeléctrica de la EMGs. Sin embargo, no se conoce claramente la relación entre estos factores, y la compleja naturaleza de la señal hace difícil utilizar esta información como un sistema automático de determinación de la fatiga.(22) La señal de la EMGs, en sí misma, es raramente utilizada como un indicador de la fatiga muscular. Es usada en combinación con otros métodos.(6) Los más importantes que podemos encontrar son la medida de la fuerza, análisis químicos de la sangre, resonancia magnética, etc.(16) Actualmente la EMGs es el método preferente debido a su alta precisión y posibilidades que puede aportar para el conocimiento del comportamiento eléctrico del músculo. (23)

Uno de los primeros investigadores en usar técnicas para estudiar las manifestaciones mioeléctricas de la fatiga muscular fue Piper en 1912. Observó un enlentecimiento progresivo de la señal electromiográfica durante contracciones voluntarias isométricas, que consistían en un cambio en los componentes del espectro de las señales de la EMG de superficie a través de



bajas frecuencias. Desde ese momento, muchos autores han usado la EMG para evaluar la fatiga muscular.(11)

Hay que considerar que el espectro y la amplitud de la EMG están influenciados por la fuerza y la fatiga. El Sistema Nervioso Central utiliza dos estrategias diferentes para controlar la contracción muscular de un mismo músculo: incrementando el número de unidades motoras que se contraen a la vez (reclutamiento de fibras) e incrementando la frecuencia de activación de cada unidad motora individual.(24)

Una consecuencia de la contracción muscular es el incremento en la concentración de ácido láctico. Además, del tipo y el tamaño de las fibras, la concentración de lactato depende también del nivel de fuerza y el tipo de contracción (estática, dinámica). La continua activación de las fibras musculares durante una contracción aumenta la concentración de ácido láctico, generando la fatiga mioeléctrica, fenómeno que está relacionado con una ralentización de la velocidad de conducción de los potenciales de acción de la unidad motora (PAUMs).(25)

Durante contracciones musculares, el registro electromiográfico proporciona dos parámetros principales: la amplitud y la frecuencia.(12) Debido a la difícil interpretación de la señal EMG, los datos obtenidos son valorados mediante la utilización de algoritmos. Entre ellos encontramos el Root Mean Square (RMS) que representa la amplitud, y las frecuencias media (FM) y mediana (5)

La influencia de la fatiga muscular en las características de la señal de la EMGs durante contracciones isométricas voluntarias y estimuladas eléctricamente es un aumento del valor RMS y una disminución de la velocidad de conducción.(6) Inicialmente, la amplitud de la señal de EMGs aumenta, debido a que, como mecanismo de compensación de fatiga, los músculos intentan mantener la misma fuerza reclutando unidades motoras adicionales.



Cuando esto no es posible, la fuerza comienza a disminuir evidenciándose una reducción en la amplitud de la señal. Durante contracciones fatigantes, se presenta una reducción en la velocidad de conducción, y, por lo tanto, de las frecuencias características de la señal.(26,27)

### **3.2. La función de Enfermería en la Electromiografía**

El diagnóstico de las alteraciones musculares se basa en la clínica, en los signos y en los síntomas que se encuentran. Para ello es importante el papel que realiza Enfermería en la valoración del paciente con fatiga muscular mediante la toma de datos sobre el tipo de dolor, la localización, los antecedentes, posibles accidentes, etc. Si existe lesión valorar el tipo de lesión mediante la palpación, la coloración de la zona afectada, la capacidad de movilidad de la misma, etc.

Entre los síntomas de la fatiga encontramos somnolencia, apatía, cansancio, debilidad, pérdida de la capacidad para llevar a cabo tareas, etc. Por lo tanto Enfermería tiene una importante función en la educación sanitaria a pacientes que la refieran, aconsejando medidas como la realización de estiramientos, masajes musculares, evitar cambios bruscos de temperatura, la práctica de ejercicio, una dieta equilibrada, reposo, etc.(4)

Enfermería es la principal responsable de que la EMG se lleve a cabo de manera adecuada. Es importante la preparación de la piel para disminuir la resistencia entre ella y los electrodos, y para obtener una buena fijación de éstos, lo que ayuda a conseguir un mejor registro electromiográfico y menos interferencias eléctricas. Una buena preparación de la piel consiste en eliminar las capas externas, el vello y los aceites o lociones que son conductores pobres de la electricidad. Después se utiliza un gel de limpieza para quitar la capa de células muertas de la superficie de la piel y el sudor. Finalmente se aplica un gel electrolítico para procurar una baja resistencia entre los fluidos corporales y el electrodo. Hay que maximizar esta limpieza para un buen



registro. (9) La colocación de los electrodos es primordial. Deben colocarse en el vientre muscular.(28)

Entre las funciones que tiene el personal de Enfermería en la realización de la EMG, se encuentran:

- Realizar estudios de conducción nerviosa bajo supervisión médica.
- Asistir en los estudios de EMG con aguja.
- Mantener a punto el equipamiento necesario.

Pero sin duda, no deja de ser importante la preparación del paciente mediante la explicación de la prueba, naturaleza, riesgos, molestias y alternativas de estudio. Además deberá firmar una hoja de consentimiento informado. El personal enfermero tiene la responsabilidad de que el paciente lleve a cabo una colocación adecuada, (sentado o tumbado), para que el registro electromiográfico no cause tantas molestias y sea de calidad. Tiene especial interés la colaboración del paciente. Si no se relaja por completo, es prácticamente imposible obtener un estudio adecuado. También es importante transmitir tranquilidad para llegar a este objetivo y evitar ansiedad, preocupaciones o miedos.

La EMG de inserción puede conllevar además otros problemas como la infección del punto de punción. Por ello debemos maximizar la asepsia en nuestras técnicas y limpiar la zona a explorar. Por último, debemos avisar al paciente con antelación para que evite el uso de lociones o cremas el día de la exploración, e informar al facultativo de la toma de anticoagulantes.(15)

Todavía quedan muchos avances tanto en esta técnica como en su relación con la fatiga muscular, debido a que son campos que requieren de más estudios. En los últimos años ha evolucionado considerablemente, pero se espera que tanto la formación como la información de especialistas y personal sanitario, en nuestro caso de Enfermería, pueda desarrollarse y consiga su objetivo en un futuro.



## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- 1 Córdova A. Fisiología deportiva. Madrid: Síntesis; 2013.
- 2 López-Chicharro J, Fernández-Vaquero A. Fisiología del Ejercicio. 3ª ed. Madrid: Panamericana; 2006.
- 3 Córdova Martínez A. La fatiga muscular en el rendimiento deportivo. Ciencias biomédicas. Escuela Universitaria de Fisioterapia Universidad de Valladolid-Soria: Síntesis; 1997.
- 4 Finsterer J, Mahjoub SZ. Fatigue in Healthy and Diseased Individuals. Am J Hosp Palliat Care. 2014; 31(5): 562-575.
- 5 Boyas S, Guével A. Neuromuscular fatigue in healthy muscle: Underlying factors and adaptation mechanisms. Ann Phys and Rehabil Med. 2011; 54(2): 88-108.
- 6 Davis MP, Walsh D. Mechanisms of Fatigue. J Support Oncol. 2010; 8(4): 164-174.
- 7 Gómez-Campos R, Cossio-Bolaños MA; Brousett Minaya M, Hochmuller-Fogaca RT. Mecanismos implicados en la fatiga aguda. Rev Int Med Cienc Act Fís Deporte. 2010; 10 (40): 537-555.
- 8 González-Izal M, Malanda A, Gorostiaga E, Izquierdo M. Electromyographic models to assess muscle fatigue. J Electromyogr Kinesiol. 2012; 22(4): 501-512.
- 9 Gutiérrez-Rivas E, Jiménez Hernández MD, Pardo Fernández J, Romero Acebal M. Manual de Electromiografía básica para neurólogos. Majadahonda (Madrid): Ergón; 2013.
- 10 Massó N, Rey F, Romero D, Gual G, Costa L, Germán A. Aplicaciones de la electromiografía de superficie en el deporte. Apunts Med Esport. 2010; 45(165): 127-136.



- 
- 11 Caballero K, Duque LM, Ceballos S, Ramírez JC, Peláez A. Conceptos básicos para el análisis electromiográfico. *Revista CES Odontología*. 2002; 15 (1): 41-50.
  - 12 Cifrek M, Medved V, Tonkovi'c S, Ostoji'c S. Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clinical Biomechanics*. 2009; 24: 327-340.
  13. Villarroya MA. Electromiografía cinesiológica. *Rehabilitación*. 2005; 39(6): 255-264.
  - 14 Ibarra JI, Pérez E, Fernández-García C. Técnicas instrumentales de diagnóstico y evaluación en rehabilitación. *Rehabilitación*. 2005; 39(6): 265-276.
  - 15 Gutiérrez-Rivas E, Jiménez MD, Pardo J, Romero M. *Manual de Electromiografía Clínica*. 2ª ed. Majadahonda (Madrid): Ergon; 2008.
  - 16 Drost G, Stegeman DF, van Engelen BG, Zwarts MJ. Clinical applications of high-density surface EMG: A systematic review. *J Electromyogr Kinesiol*. 2006; 16(6): 586-602.
  - 17 Hug F. Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography?. *J Electromyogr Kinesiol*. 2011; 21(1): 1-12.
  - 18 Padilla E, Gómez L, Sánchez A, Morales CL, Peña MA. Manejo de los electrodos de agujas en el laboratorio de EMG. *Experiencia práctica de Enfermería. E Global*. 2008; 14(7): 1-9.
  - 19 Rezende R, Dal Corso S, Simões A, Malaguti C. Methods for the assessment of peripheral muscle fatigue and its energy and metabolic determinants in COPD. *J Bras Pneumol*. 2009; 35(11): 1125-1135.
  - 20 Barea R. *Instrumentación Biomédica*. Ed. Departamento de Electrónica. Universidad de Alcalá. 2013. 1-19.



- 
- 21 Orozco A, Peñuela L, Giraldo M, Escobar N, Andrade H, Sáenz JF. Diseño y desarrollo de un prototipo para la adquisición y procesamiento de la señal EMG-S, en el estudio de la fatiga muscular. *Scientia et Technica* 2013; 10: 1-5.
- 22 Béliveau L, Van Hoecke J, Garapon-Bar C, Gaillard E, Herry JP, Atlan G et al. Myoelectrical and Metabolic Changes in Muscle Fatigue. *Int J Sports Med.* 1992; 13 (S1): 153-155.
- 23 Chowdhury SK, Nimbarte AD. Comparison of Fourier and Wavelet analysis for fatigue assessment during repetitive dynamic exertion. *J Electromyogr Kinesiol.* 2015; 25(2): 205-213.
- 24 Öberg T. Muscle Fatigue and Calibration of EMG Measurements. Department of Biomechanics and Orthopaedic. *J Electromyogr Kinesiol.* 1995. 5 (4): 239-243.
- 25 Rojas M, Mañanas MA. Electromiografía de Superficie Multicanal como Herramienta no Invasiva en la Rehabilitación Neuromuscular. *Universitat Politècnica de Catalunya.* 2012; 73-79.
- 26 Puente Maestu L, Valdazo M. Evaluación de la función muscular periférica. *Arch Bronconeumol.* 2001; 37: 317-323.
- 27 Knaflitz M, Bonato P. Time-frequency methods applied to muscle fatigue assessment during dynamic contractions. *J Electromyogr Kinesiol* 1999; 9(5): 337-350.
- 28 Ramírez A, Garzón DA. Análisis de sensibilidad por la colocación de los electrodos en la electromiografía de superficie (semg). *Rev Fac Ing Univ Antioquia.* 2008; 46: 70-79.