



Universidad
de La Laguna

Escuela Universitaria de
Enfermería y Fisioterapia



Trabajo Fin de Grado

Grado en Fisioterapia

Revisión bibliográfica sobre la eficacia de
la electroestimulación en la funcionalidad
muscular

Daniel Cerdeña Rodríguez

Curso 2014/2015 - Junio



Universidad
de La Laguna

Escuela Universitaria de
Enfermería y Fisioterapia



Trabajo Fin de Grado

Grado en Fisioterapia

Revisión bibliográfica sobre la eficacia de
la electroestimulación en la funcionalidad
muscular

Daniel Cerdeña Rodríguez

Curso 2014/2015 - Junio

AUTORIZACIÓN DEL TUTOR PARA LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Centro:

Escuela de Enfermería y Fisioterapia

Titulación:

Grado de Fisioterapia

DATOS ALUMNO/A:

Apellidos: Cerdeña Rodríguez Nombre Daniel
DNI / Pasaporte 54055981R Dirección C/ Acentejo 27C C.Postal 38370
Localidad la Matanza de Acentejo Provincia S/C de Tenerife Teléfono
686692783 E-mail daniel_cr_1993@hotmail.es

TÍTULO DE TRABAJO DE FIN DE GRADO:

Revisión bibliográfica sobre la eficacia de la electroestimulación en la funcionalidad muscular

LOS/LAS TUTORES/AS

Apellidos:.....**Perez Lugo**..... Nombre:.....**Jose Manuel**.....

Apellidos:..... Nombre:.....

AUTORIZACIÓN DEL /DE LOS TUTORES/AS

D/D^a **José Manuel Pérez Lugo** profesor/a del Departamento de...
...Medicina Física y Farmacología.....,de la Facultad de Ciencias de la Salud del campus de,
Ofra.....

AUTORIZA a D/D^a..... **Daniel Cerdeña Rodríguez**, a presentar la propuesta de TRABAJO

FIN DE GRADO, que será defendida en ...Facultad de CCSS.....

La Laguna a _____, 1 de junio _____ de 2015 .

LOS/LAS TUTORES/AS

Fdo.: José Manuel Pérez Lugo

Resumen

En esta revisión bibliográfica sobre la eficacia de la electroestimulación neuromuscular (EENM) en diferentes pacientes se redacta un marco teórico donde se expone el funcionamiento, los diferentes métodos de empleo y el efecto en el organismo de la utilización de la electroestimulación. También se añade un análisis de la eficacia en la utilización de EENM a partir del estudio de diferentes artículos encontrados en los motores de búsqueda PEDro, PUBMED, google académico y PuntoQ. Con los resultados obtenidos se demuestra que el uso de la EENM tiene significación estadística. Sin embargo, en la discusión se propone para futuras investigaciones un estudio más exhaustivo, donde se argumente mejor la frecuencia utilizada y una mención más completa de los parámetros eléctricos.

Palabras clave: EENM, Electroestimulación y eficacia.

Abstract

In this literature review on the effectiveness of the neuromuscular electrostimulation in different patients, a theoretical framework outlining the action, the different methods of employment and the effect on the body of the use of electrostimulation. It also adds an analysis of the effectiveness in the use of EENM, carried out from the study of different articles found in the search engines PEDro, PUBMED, Google Scholar and PuntoQ. The findings demonstrate that the use of the EENM has statistical significance. However in the discussion, it's been proposed that for future research a more in-depth study, where the frequency used and a more complete reference of the electrical parameters are argued.

Key words: EENM, Electrical Stimulation and effectiveness.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO	1
HISTORIA	1
FISIOLOGÍA DEL CUERPO HUMANO	1
Sistema Nervioso	1
Sistema nervioso central	2
Sistema nervioso periférico	2
La neurona	2
Potenciales de acción	2
Sistema muscular	3
Unidad motora	4
Mecanismo de la contracción muscular	5
Tipos de contracción muscular	6
PARÁMETROS	6
OBJETIVO	9
MATERIAL Y MÉTODOS	9
RESULTADOS	10
REVISIÓN SISTEMÁTICA	10
EENM Y SEDENTARISMO	12
EENM Y DEPORTE	13
DISCUSIÓN	14
CONCLUSIÓN	14
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	17

INTRODUCCIÓN

La utilización de la electroestimulación, como proceso de curación, por parte de los servicios de fisioterapia en los diferentes centros de rehabilitación se ha vuelto algo muy frecuente y habitual. Su utilización se ha establecido de manera protocolaria. La mejora de la activación de las fibras musculares y la rápida hipertrofia muscular que produce ha supuesto, que estos aparatos sean utilizados como objeto estrella en los diferentes servicios fisioterápicos. En esta investigación se analiza si hay evidencia científica, que respalde si estos aparatos mejoran el proceso de recuperación de aquellas personas, que lo necesiten.

MARCO TEÓRICO

HISTORIA

A finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX, con los estudios de los físicos italianos, Luigi Galvani y Alessandro Volta se presentan los primeros indicios del uso de la corriente eléctrica para la contracción muscular. Durante los años posteriores se han introducido al campo una serie de nombres, tales como Faraday (Inglaterra), Helmholtz (Alemania), Lopicque y Weiss (Francia), quienes sentaron las primeras leyes y bases de la electroestimulación actual. Otro personaje relevante en este tema es Duchenne de Boulogne, médico e investigador francés, quien logró por primera vez la estimulación transcutánea por medio de electrodos, lo que significa que el estímulo ocurre desde la superficie de la piel penetrando los tejidos sin la necesidad de realizar incisiones. Además, añadir la aportación del científico ruso, Yakov Kots, quien introduce la electroestimulación en el deporte probando que puede brindar grandes beneficios. ⁽¹⁾

FISIOLOGÍA DE CUERPO HUMANO

Un dispositivo de electroestimulación muscular debe tener la capacidad de emular las señales eléctricas emitidas naturalmente desde el cerebro, a través del sistema nervioso y las neuronas, para luego provocar una contracción muscular. Para un mayor conocimiento del funcionamiento de los órganos que involucran la contracción muscular se describen a continuación los sistemas nervioso y muscular del organismo humano como lo explica Pinsach Piti (2003) ⁽¹⁾ en su artículo:

- **Sistema Nervioso:** Es el regulador de todas las funciones del organismo. Su unidad estructural funcional es la neurona, una clase de célula tan especializada que ha perdido la facultad de reproducirse. Su propiedad principal es la excitabilidad, o capacidad de responder a cualquier modificación del ambiente mediante un impulso eléctrico

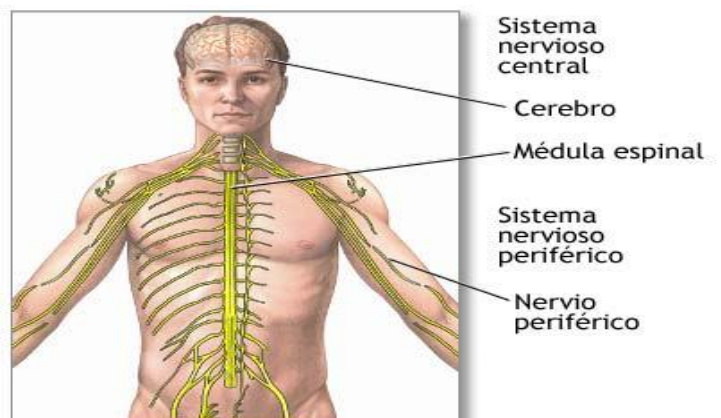


Figura 1 División del sistema nervioso
Fuente: URL:<http://fisiologiajmv-hilda.blogspot.com/2011/02/unidad-iv-sistemalnervioso.html>

transmisible denominado estímulo. Las neuronas se conectan unas con otras mediante una unión llamada sinapsis, en la que una sustancia química, la acetilcolina, transmite los impulsos. Se divide en sistema nervioso central y sistema nervioso periférico.

- Sistema nervioso central: Está conformado por el encéfalo (cerebro, cerebelo y tronco del encéfalo) y la médula espinal. En él residen todas las funciones superiores del ser humano, tanto las cognitivas como las emocionales. Se encuentra protegido en la parte superior, del encéfalo, por el cráneo y en la parte inferior, de la médula espinal, por la columna vertebral.

- Sistema nervioso periférico: Integrado por nervios y ganglios. Los nervios, según sus funciones, se clasifican en: nervios motores, especializados en los músculos estriados, lisos y del corazón; y nervios sensoriales, que aportan los estímulos de la sensibilidad de la piel o del interior del organismo. La mayoría de los nervios del organismo son mixtos, es decir, con un componente sensorial y otro motor. Los ganglios nerviosos se sitúan en el trayecto de los nervios sensoriales y están compuestos por células y fibras nerviosas.

- **La neurona:** Es la unidad básica del sistema nervioso, una célula especializada que transmite mensajes o impulsos nerviosos a otras neuronas, glándulas y músculos. Del cuerpo celular, salen unas proyecciones denominadas dendritas, que reciben los impulsos nerviosos de las neuronas adyacentes. El axón es un tubo estrecho que se extiende desde el soma y que transmite estos mensajes a otras neuronas. Las neuronas pueden ser de

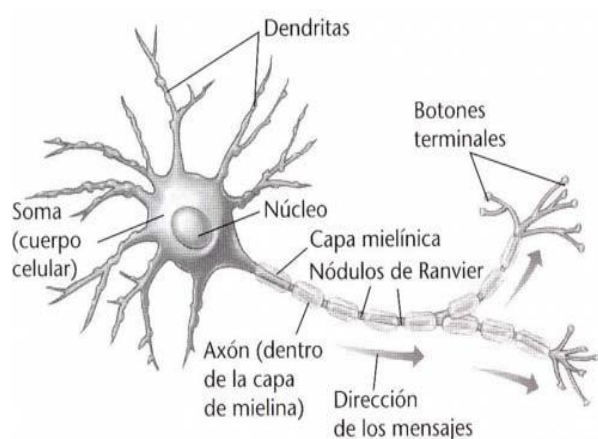


Figura 2 La neurona y sus partes
Fuente: Bases biológicas del ser humano

3 tipos: Las neuronas sensoriales transmiten los impulsos recibidos por los receptores al sistema nervioso central; los receptores son células especializadas que se encuentran en los órganos sensoriales, los músculos, la piel y las articulaciones, los que detectan los cambios físicos o químicos y traducen estos hechos en impulsos que viajan a lo largo de las neuronas sensoriales. Las neuronas motoras generan señales originadas en el cerebro o la

médula espinal que van a los músculos y a las glándulas. Las interneuronas reciben las señales de las neuronas sensoriales y envían los impulsos a otras o a las neuronas motoras.

- **Potenciales de acción:** Las señales nerviosas se transmiten mediante potenciales de acción que son cambios rápidos que del potencial eléctrico de la membrana que se extienden rápidamente a lo largo de la membrana de fibra nerviosa. Cada potencial de acción comienza con un cambio súbito

desde el potencial de membrana negativo en reposo normal hasta un potencial positivo, terminando con un cambio casi igual de rápido de nuevo a un potencial negativo. Para conducir una señal nerviosa el potencial de acción se desplaza a lo largo de la fibra nerviosa hasta que llega al extremo de la misma. Dicho proceso tiene una duración de unas pocas diezmilésimas de segundo. Las fases de un potencial de acción son las siguientes:

- Fase de reposo: Potencial de membrana antes de ocurrir el potencial de acción. Existe en la membrana -90mV.
- Fase de despolarización: La membrana se vuelve permeable a los iones de sodio, que se encuentran cargados positivamente, y se difunden al interior del axón e incrementan el potencial en dirección positiva.
- Fase de repolarización: Los canales de sodio, presentes en la membrana, empiezan a cerrarse mientras que los canales de potasio se van abriendo más de lo normal. De esta manera, la salida de iones de potasio al exterior de la membrana restablece el potencial de membrana en reposo negativo normal.

○ **Sistema muscular:** Constituido por todos los músculos que conforman el cuerpo humano; su estructura está formada por numerosas células que constituyen el tejido muscular que reciben el nombre de fibras musculares. Se trata de células muy diferenciadas; su intensa especialización funcional ha obligado a ello. Son de forma muy alargada, de ahí que sean denominadas fibras. En los músculos las fibras musculares están agrupadas en pequeños haces, que a su vez se agrupan entre sí formando haces de mayor tamaño. La agrupación de estos últimos forma el músculo. Las fibras musculares pueden tener 2 clasificaciones: fibras musculares rápidas y lentas; o también fibras musculares lisas y estriadas:

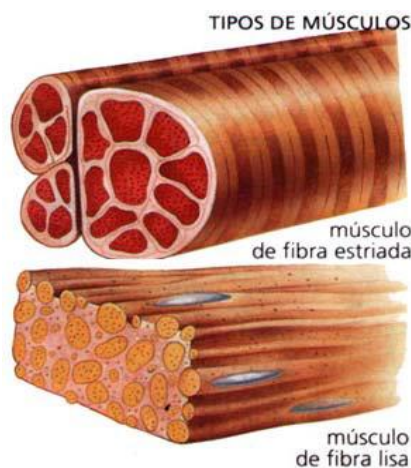


Figura 3 Tipos de fibras musculares: lisa y estriada.

Fuente:

URL:<http://www.araucaria2000.cl/smuscular/smuscular.htm>

- Fibras musculares rápidas y fibras musculares lentas: Las fibras musculares rápidas son llamadas así pues su contracción se da rápidamente, proporcionando la capacidad de realizar acciones más potentes. Este tipo de fibra posee un diámetro de aproximadamente el doble si se les compara con las fibras lentas. Las enzimas que se encargan de la liberación de energía necesaria para la contracción, son dos a tres veces más activas que las fibras lentas, permitiendo alcanzar la

máxima potencia durante periodos breves de tiempo. Por otro lado, las fibras musculares lentas realizan contracciones

lentamente, de ahí su nombre. Están diseñadas fundamentalmente para la resistencia. Contienen considerablemente más mioglobina, proteína que ayuda a aumentar la velocidad de difusión de oxígeno en la fibra. Además el número de capilares es mayor en las proximidades de las fibras de acción lenta, que en las de acción rápida. Estas características ayudan a desarrollar una fuerza muscular prolongada durante varios minutos, hasta horas.

- Fibras musculares lisas y fibras musculares estriadas: Las fibras musculares lisas constituyen los músculos involuntarios o de la vida vegetativa. Estos músculos están controlados por el sistema nervioso vegetativo, por lo que no pueden contraerse voluntariamente. Son de esta naturaleza los músculos que encontramos en todas las vísceras: tubo digestivo, útero, vías urinarias, bronquios, etc. En cambio, las fibras musculares estriadas forman los músculos voluntarios o de la vida de relación. Su contracción puede efectuarse bajo el mandato de la voluntad del sujeto: por ejemplo, la musculatura esquelética (que se inserta al esqueleto), musculatura de la cara, etc. La musculatura estriada forma una gran parte del cuerpo humano; se calcula que en un sujeto de unos 70 kilogramos de peso, su musculatura estriada alcanza unos 30 kilogramos, casi la mitad de su peso total.

- **Unidad motora:** Al conjunto formado por una neurona motora y las fibras musculares que inerva se le llama unidad motora (U. M.). El número de fibras que forman parte de la unidad motora es muy variable y depende del tipo de músculo, en músculos que ejercen poca fuerza y requieren movimientos muy precisos como los del rostro o de los dedos, el número de fibras de la U.M. es muy pequeño incluso de una sola fibra inervada por la neurona motora, en otros músculos más grandes, que ejercen más fuerza y menor precisión el número de fibras de la U.M aumenta, pudiendo llegar hasta las 1500 fibras. A continuación se muestran las características principales de la unidad motora:

- Todas las fibras de la U.M. son homogéneas en cuanto a propiedades histoquímicas, contráctiles y metabólicas.

- Las fibras de una misma unidad motora raramente están situadas una junto a otras, sino que se distribuyen ampliamente a lo ancho de áreas del músculo; por lo que cada U.M. comparte un área del músculo con otras.

- Las diferencias básicas entre U.M depende de las propiedades contráctiles de sus fibras.

- Contracción siguiendo la “Ley del todo o nada”. Cuando una neurona envía un influjo nervioso, todas las fibras musculares pertenecientes a esa U.M se contraen, permaneciendo las restantes en reposo. Es decir, el músculo puede desarrollar distintos grados de tensión, no a costa de la

contracción parcial de todas sus fibras, sino por la contracción completa de un número variable de fibras.

○ **Mecanismo de la contracción muscular:** El inicio y la ejecución de la contracción muscular se producen en las siguientes etapas secuenciales:

1. Un potencial de acción viaja a lo largo de una fibra motora hasta sus terminales sobre las fibras musculares.

2. En cada terminal, el nervio secreta una pequeña cantidad de la sustancia neurotransmisora acetilcolina. La acetilcolina actúa en una zona local de la membrana de la fibra muscular para abrir múltiples canales a través de células proteicas que flotan en la membrana.

3. La apertura de los canales activados por acetilcolina permite que grandes cantidades de iones de sodio se difundan hacia el interior de la membrana de la fibra muscular. Esto inicia un potencial de acción en la membrana.

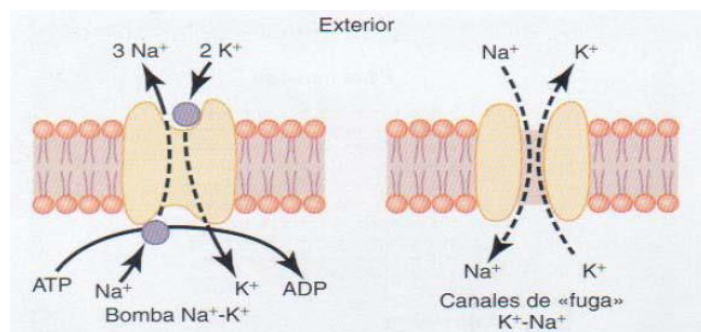


Figura 4 Proceso de entrada y salida de los iones de la membrana

Fuente: Tratado de Fisiología Médica

4. El potencial de acción viaja a lo largo de la membrana de la fibra muscular de la misma manera que los potenciales de acción viajan a lo largo de las membranas de las fibras nerviosas.

5. El potencial despolariza la membrana muscular, y buena parte de la electricidad fluye a través del centro de la fibra muscular, donde hace que el retículo sarcoplásmico libere grandes cantidades de iones calcio que se han almacenado en el interior de este retículo.

6. Los iones calcio inician fuerzas de atracción entre los filamentos de actina y miosina, haciendo que se deslicen unos sobre otros en sentido longitudinal ("cremallera"), lo que constituye el proceso contráctil.

7. Después de una fracción de segundo los iones calcio son bombeados de nuevo hacia el retículo sarcoplásmico por una

bomba de Ca^{++} de la membrana y permanecen almacenados en el retículo hasta que llega un nuevo potencial de acción muscular; esta retirada de los iones calcio desde las miofibrillas hace que cese la contracción muscular.

- Tipos de contracciones musculares:

- Contracción muscular isométrica: Se dice que la contracción es isométrica cuando el músculo no se acorta durante la contracción muscular; es decir, no existe manifestación externa del movimiento; ya que la tensión que el músculo desarrolla es igual o inferior a la resistencia que se le opone. Las contracciones isométricas tienen lugar cuando el músculo ejerce fuerza contra un peso u objeto inamovible. La tensión del músculo ira aumentando hasta alcanzar su valor máximo.

- Contracción muscular isotónica: Tipo de contracción en el que la fibra muscular, además de contraerse, modifica su longitud. En este tipo de contracción la tensión permanecerá constante durante toda la contracción, mientras que exteriormente el músculo se acorta o alarga visiblemente. La tensión desarrollada por el músculo corresponde exactamente a la magnitud de la carga. Puede ser:

- Contracción isotónica concéntrica: Durante la contracción se produce un acortamiento de la longitud del músculo, una aceleración y se realiza un trabajo positivo. Así mismo se desarrolla mayor energía.

- Contracción isotónica excéntrica: Durante la contracción aumenta la longitud del músculo, éste se alarga, produciendo un frenado del movimiento y un trabajo por tanto negativo.

- C. Contracción muscular auxotónica: Son contracciones mixtas en las que durante el acortamiento del músculo se producen simultáneamente una contracción isotónica y una contracción isométrica. Al avanzar el proceso de contracción se acentúa más la parte isométrica; por ejemplo: el trabajo con gomas extensoras o movimiento de tensar un arco.

PARÁMETROS

La electroestimulación muscular es una técnica que consiste en la aplicación de impulsos eléctricos, mediante el uso de corriente eléctrica controlada para producir una contracción muscular. En la actualidad esta técnica es útil para el aumento del rendimiento deportivo y la recuperación funcional en caso de lesiones, tanto en deportistas, como en personas sedentarias (1).

Algunos estudios LIEBER (1996) (2) demuestran que a una cantidad y naturaleza de trabajo idénticas, sea hecho de forma voluntaria o por EENM, el resultado para el músculo es el mismo.

La EENM permite trabajar selectivamente el tipo de fibras musculares. El parámetro, que proporciona la selección del tipo de fibras a reclutar, es la frecuencia del estímulo, se mide en Hercios "Hz". La frecuencia representa el número de impulsos por segundo. En función de la frecuencia (en Hz) aplicada, se obtienen resultados distintos. (1)

En los parámetros de los electroestimuladores se encuentran las frecuencias de sus diferentes programas y, atendiendo a ellas, (Hz) podemos conseguir los diferentes efectos. Como se explica muy detalladamente en el artículo de Piti Pinsach (2003) (1):

- 1 a 3 Hz: Tiene un efecto descontracturante y relajante, es ideal para contracturas musculares. Algunos electroestimuladores lo denominan programa descontracturante. Provoca un efecto descontracturante en los grupos musculares aplicados. La utilización médica de la EEM para disminuir el tono muscular existe desde hace años. Este efecto descontracturante se mantiene varias horas después de la sesión de electroestimulación y permite un mejor control de los movimientos efectuados. Está indicada su aplicación en molestias o dolores musculares ocasionados por contracturas. Se puede utilizar en cualquier momento y si el dolor es importante o persistente, se recomienda consultar a un médico.

- 4 a 7 Hz: Aumenta la segregación de endorfinas y encefalinas, logrando una disminución del dolor y la ansiedad. En los electroestimuladores se suele encontrar como programa de endorfinico, relajación o recuperación activa. Logra un efecto endorfinico máximo (5 Hz) provocando una anestesia local natural, una disminución del dolor (efecto antálgico) así como una relajación general de la musculatura y una disminución de la ansiedad. Facilita el sueño. A 7 Hz se consigue un aumento del flujo sanguíneo y una hiperoxigenación. Su aplicación es idónea para evitar calambres, reoxigenar tejidos, acelerar el retorno venoso, eliminar edemas y los metabolitos acumulados.

- 8 a 10 Hz: El aumento del flujo sanguíneo es máximo, se multiplica por cinco. Los electroestimuladores suelen tenerlo con el nombre de capilarización. Crea nuevos capilares, permite una restauración de los tejidos y un verdadero drenaje venoso y parece ser que linfático. Al aumentar los capilares evita tener contracturas musculares. Es particularmente eficaz para el cansancio localizado y en la disminución del lactato. Este aumento del riego sanguíneo facilita la restauración de tejidos y, bajo consejo médico o fisioterapéutico, es de gran ayuda en problemas articulares. "Siete voluntarios son sometidos a una electroestimulación de los nervios ciáticos poplíteos interno y externo. El resultado es que aumenta el flujo arterial femoral (181 a 271% del valor basal) El resultado es máximo a 9 Hz" M. Zicot, P. Rigaux (1995) (3) "Ocho deportistas de competición efectúan después de un esfuerzo de fuerte producción láctica uno de los dos métodos de recuperación: Footing aeróbico de 20 minutos o EEM a 8 Hz de los músculos solicitados en el esfuerzo. Se mide el lactato antes, después del esfuerzo y a los 3, 6, 15, 30 y 60 minutos. Durante los seis primeros minutos, después del esfuerzo, la tasa de lactato es menor con la EEM. En los minutos siguientes, se observa el fenómeno inverso y después de los 30 minutos los datos son muy iguales,

siendo idénticos después de los 60 minutos. Ello revela la EEM como esencial en la recuperación después del esfuerzo.” F. Ribeyre (1998) (4).

- 10 a 33 Hz: Recluta las fibras ST, lentas, (tipo I) y aumenta la resistencia de las mismas. Los electroestimuladores tienen este programa con el nombre de resistencia aeróbica, iniciación muscular, hipertono, amiotrofia, tonificación, remusculación o firmeza muscular. “Las investigaciones demuestran la transformación de fibras FTa, rápidas, (tipo IIa) en ST, lentas, (tipo I) con lo que aumenta el VO₂ localizado” L. W. Stephenson y otros (1987) (5). Es idónea para el aumento del tono muscular y en la mejora de la resistencia muscular localizada. Su aplicación para la mejora estética (abdominales o glúteos) conjuntamente con un entrenamiento que gaste calorías, cardiovascular (correr, bicicleta ...) permite aunar esfuerzos y aumentar el tono a la vez que se utiliza la grasa como mecanismo de energía.

- 33 a 50 Hz: Solicita fibras intermedias, concretamente las IIa. Logra el mayor aumento de resistencia a la fatiga, es ideal para deportes de resistencia. En los electroestimuladores se encuentran estos programas con el nombre de fuerza-resistencia, musculación, anaeróbico o “bodybuilding”. Proporciona un mayor aumento del tono muscular sin desarrollar la musculatura. La sensación de potencia de contracción en grupos musculares determinados (glúteos, aductores, abdominales,...) es inalcanzable con ejercicios voluntarios.

- 50 a 75 Hz: Se estimulan preferentemente las fibras intermedias tipo IIb, proporciona un aumento de la fuerza y de la resistencia localizada. En los electroestimuladores hallamos los términos, hipertrofia, “bodybuilding” o fuerza-resistencia. “Los estudios que comparan la EEM con el entrenamiento voluntario muestran un mayor aumento de la fuerza, de la potencia y de la muscular en la EEM y todo ello sin sobrecargar las articulaciones” G. Cometti (2000) (6), J. Turostowski (1999) (7). La hipertrofia es máxima a 70-75Hz y los resultados se pueden comprobar en pocas semanas, las investigaciones así lo demuestran. Combinar el entrenamiento voluntario en sala de Fitness con la EEM en la misma sesión, proporciona un eficaz aumento de volumen muscular y preserva las articulaciones. La EEM posibilita aumentar determinadas zonas musculares difíciles de localizar con entrenamiento voluntario. “La EEM selectiva del pectoral alto es indicada en todos los casos en los que es necesario estabilizar la clavícula como la subluxación acromioclavicular. En estas circunstancias la EEM tiene una ventaja con respecto a los ejercicios voluntarios...Un buen campo eléctrico permite un aislamiento igual o mejor que el que se obtiene con ejercicios convencionales” A. Lanzani (2000)

- 75 a 120 Hz e incluso 150 Hz: Consigue una supratetanización de las fibras FT, rápidas, (tipo IIm). Las mejoras en fuerza y explosividad son mayores que las conseguidas con esfuerzos voluntarios y todo ello sin lesionar. Algunos electroestimuladores tienen programas con el nombre de fuerza, fuerza explosiva sprint o pliometría . En determinados deportes como el esquí alpino, el concepto de entrenamiento es reemplazar parte de la musculación clásica por la EENM. Esta tendencia es seguida por otros deportes. Es así como en Italia, los equipos de voleibol disminuyen los entrenamientos muy traumáticos de pliometría o musculación con cargas

pesadas en provecho de la EENM. Las lesiones han disminuido y los equipos italianos alinean jugadores con 110 cm de salto vertical. El fútbol es otro deporte que se beneficia de las ventajas de entrenar con la EENM para proteger los ya castigados cartílagos articulares. "Es de crucial importancia para mejorar la fuerza en altas velocidades de contracción" V. Ortiz (1996) (8). "Impone regímenes de actividad a las fibras musculares que habitualmente sólo se pueden conseguir de forma voluntaria con esfuerzos brutales y de fuerza máxima, es decir, muy traumatizantes" P. Rigaux (1999).

Los electroestimuladores más avanzados tienen ya programados los Hz, y en función de la frecuencia, poseen una terminología apropiada para la mejora del rendimiento deportivo (fuerza explosiva, fuerza, fuerza-resistencia, hipertrofia,...), la búsqueda de una mejora estética (firmeza muscular, tonificación, body-building,...) en la recuperación funcional y la mejora de la calidad de vida (descontracturante, lumbalgia, cervicalgia, recuperación activa, capilarización, relajación, drenaje...). (1)

La eficacia de la EENM está en relación con la intensidad aplicada, a mayor intensidad, más número de motoneuronas activadas. La intensidad se mide en Ma (miliamperios) y se aumenta manualmente en el electroestimulador. La intensidad y la cantidad de electricidad tiene mucha importancia en la búsqueda de una mejora de la fuerza y de la resistencia. La recomendación es amplia con un inicio en 28 mA hasta 120 mA o la máxima soportable. (1)

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo pretende aportar una revisión bibliográfica sobre el estudio de la eficacia de la electroestimulación en la mejora de la funcionalidad muscular.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para poder realizar esta revisión bibliografía se han utilizado las bases de datos, PEDro, PUBMED, Google Académico y Punto Q.

Con el fin de realizar una búsqueda más eficiente, se asiste al curso "Evidencia científica en la práctica clínica" impartido por Maelán Fontes, sobre la correcta utilización de las bases de datos como PUBMED.

Esta revisión bibliográfica pretende focalizar la búsqueda de estudios sobre la electroestimulación orientada a la mejora de la funcionalidad muscular, ya sea en el deporte o simplemente en personas de escasa actividad física. Para ello se utilizaron las palabras claves o keys words: "electrostimulation", "exercise", "sport", "ENS", "EMS", "Kotz", "athlete" y "strength". Estas palabras se combinaron de diferentes maneras en el motor de búsqueda. La búsqueda no se limitó a un ningún idioma en concreto, debido a que no se quería rechazar ninguna publicación útil.

En los criterios de inclusión se aceptaron todos aquellos artículos de un nivel de evidencia alto, que estuvieran publicados tanto en revistas con alto nivel de impacto como con escaso nivel de impacto y artículos, que no manifestaran en sus características conflictos de interés.

El criterio de exclusión fue la falta de descripción dentro de la metodología de los parámetros de la electroestimulación, así como el tipo de corriente.

RESULTADOS

La búsqueda de artículos llevó a clasificar y definir tres grupos de estudios encontrados. En el primer grupo se encuentra una revisión sistemática con el objetivo de buscar los efectos de la estimulación eléctrica neuromuscular en la fuerza del cuádriceps y el rendimiento funcional después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (Kyung-Min Kim, 2010) ⁽⁹⁾. En el segundo grupo se incluyen varios estudios del beneficio del uso de la electroestimulación en personas con una vida sedentaria ⁽¹⁰⁾ ⁽¹¹⁾. En el último grupo se analiza un conjunto de artículos donde se estudia la acción terapéutica de la electro estimulación junto un deporte ⁽¹²⁾ ⁽¹³⁾. A continuación se analizan cada uno de los grupos:

A. La revisión sistemática realizada por Kyung-Min Kim (2010) ⁽⁹⁾ tiene un nivel de evidencia 1^a, según la escala PEDro, siendo un nivel de evidencia alto. Se realizó una búsqueda en diferentes bases de datos electrónicas mediante PubMed, CINAHL, SportDiscus, Web of Science, y Cochrane Collaboration desde 1966 hasta octubre de 2008 con un resultado total de 301 artículos. Doce ensayos controlados aleatorios (ECA) cumplieron los criterios de inclusión, mientras que se excluyeron 289 estudios basados en título, resumen o contenido. Se añadió tres ECA, identificados a partir de las referencias cruzadas de una revisión de la literatura anterior, una guía de práctica clínica y un protocolo Cochrane-colaboración, de un total de quince ECA. Después de un análisis más exhaustivo se excluyeron seis de los quince ECA mencionados; uno no se cumplía el criterio de aleatoriedad; y cinco estudios no presentaron medias de grupo ni desviación. En definitiva se incluyeron veintiún ECA en esta revisión.

La calidad de cada estudio, que se incluyó, se evaluó de forma independiente por dos revisores, usando la Physiotherapy Evidence Database (PEDro), que se basa en una escala de 0 a 10 puntos, cuyas puntuaciones más altas reflejan los estudios de mayor calidad.

El objetivo de este estudio era realizar una revisión sistemática de ensayos controlados aleatorios que evalúan los efectos de la estimulación eléctrica neuromuscular en la fuerza del cuádriceps y el rendimiento funcional después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Esta revisión reveló inconsistencias en la selección de parámetros de EENM y la aplicación de la EENM en todos los ECA revisados junto con las diferencias en los tiempos de tratamiento, duración, frecuencia de estimulación, tipo de estimulador utilizado y el ciclo de trabajo que existían en la mayoría de los ECA.

La estimulación eléctrica de alta intensidad puede ser la más beneficiosa, sobre todo cuando se administra poco después de la cirugía. Sin embargo, otros informes, indican que la estimulación a la frecuencia de 50 a 80 Hz puede afectar en la aparición de la fatiga, la comodidad del paciente, y limitar los beneficios de NMES.

En uno de los artículos que se menciona, se estudiaron los efectos de la EENM, la duración del pulso y la duración de estimulación sobre el par de las articulaciones en el momento de salida y se comparó con dos protocolos de tratamiento diferentes. El artículo sugiere que el protocolo con la duración de

pulso más largo (450 μ seg) frente a una más corta (250 μ seg) produce una fuerza extensora de la rodilla superior. Ward (et al) (2004) ⁽¹⁴⁾ sugirió que los parámetros de estimulación (como la utilizada frecuencia de 2,5 kHz) de uso común para el fortalecimiento muscular son subóptimas para el logro de los objetivos declarados.

La incomodidad mínima se observó en 4 kHz y 400 μ seg de duración de la ráfaga. La recomendación clínica de estos resultados es que una forma de onda de estímulo de 1 a 2.5kHz con una frecuencia de la corriente alterna, con una ráfaga de 200 a 400 μ seg, puede dar una buena estimulación con la menor incomodidad para el paciente.

La presente revisión sugiere que el uso de la EENM en pacientes ya operados de reconstrucción del LCA garantiza un efecto positivo sobre la fuerza del cuádriceps. En comparación con el ejercicio de la biorretroalimentación electromiográfica, la EENM tiene efectos moderadamente similares en la fuerza del cuádriceps durante las primeras cuatro semanas después de la operación. Sin embargo, la variación en la aplicación EENM en todos los estudios, la baja calidad de los ECA, y un fracaso para ocultar la asignación, puede desestimar el verdadero efecto de la EENM o sobrestimar los resultados.

La mejor evidencia sugiere que cuatro semanas de EENM junto con la terapia de ejercicio, da como resultado un efecto positivo en la percepción subjetiva de los pacientes de 12 a 16 semanas después de la operación.

No hay evidencia para concluir que la EENM tiene un efecto en el desempeño funcional, cuando se mide por el alcance anterior, lateral step-up y las pruebas de sentadillas unilaterales. Sin embargo, hay pruebas suficientes para demostrar que una amplia variabilidad en la aplicación clínica de la EENM, puede limitar la interpretación de la literatura disponible para apoyar o refutar el uso de la EENM.

A modo de resumen podemos concluir que la EENM combinada con el ejercicio, puede ser más eficaz en la mejora de la fuerza del cuádriceps que el ejercicio solo, mientras que su efecto en el rendimiento funcional y resultados orientados al paciente, no es concluyente. La EENM puede ser beneficiosa para mejorar la funcionalidad de la rodilla en esta población, pero se necesita más investigación en esta área para llegar a conclusiones más definitivas.

B. La búsqueda de estudios en personas sedentarias ha dado como resultado dos artículos. Uno de ellos es Prithwish Banerjee (2005) ⁽¹⁰⁾ que destaca por ser publicado en una revista de alto nivel de impacto como es la Journal of Applied Physiology, y que ha sido citado por otros diez estudios de investigaciones científicas. El otro artículo seleccionado fue el ECA de la Dra. Liu Pérez Fariñas (2014) ⁽¹⁵⁾ que a pesar de ser publicada en la Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación con un factor de impacto bajo o nulo, según diferentes páginas, se ha encargado de realizar un ensayo controlado aleatorio bastante completo apoyado en una bibliografía muy extensa. Por lo tanto, se han encontrado dos estudios de importante

relevancia científica que contrastan la electroestimulación en personas con un estilo de vida sedentario.

Los parámetros utilizados en Prithwish Banerjee (2005) (10) fueron contracciones rítmicas en los grupos musculares de las piernas con una frecuencia de 4Hz y un pulso de salida máxima de 300 mA, a través de 5 electrodos de caucho de silicona en cada pierna, como se muestra en la figura 5.

eficacia del uso de la

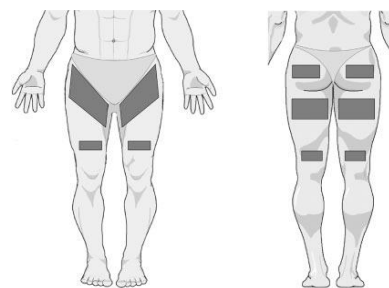


Figura 5 (Prithwish Banerjee (2005))

El efecto del entrenamiento se evaluó por medio de una prueba de esfuerzo para determinar la capacidad aeróbica máxima, la medición del índice de masa corporal (IMC) y la fuerza del músculo cuádriceps. Al inicio del estudio se analizaron los valores medios de VO2 máximo, prueba de 6 minutos caminando, la fuerza del cuádriceps y el IMC.

Los resultados que se obtuvieron fueron que después del entrenamiento, los sujetos demostraron mejoras estadísticamente significativas en todas las variables, excepto IMC. Estos resultados sugieren que la EEM puede utilizarse en adultos sedentarios para mejorar la condición física aumentando la fuerza muscular de los cuádriceps un 25% en los pacientes sedentarios con leve a moderada insuficiencia cardiaca crónica estable. Por lo tanto, se puede proporcionar una alternativa viable a formas más convencionales de ejercicio en esta población. También se ha de tener en cuenta el reducido número de la muestra (15 pacientes).

En el estudio ECA realizado por Dra. Liu Pérez Fariñas (2014) (15) se le colocó a los pacientes los electrodos en el abdomen con unos parámetros de corriente de 2500Hz e intensidad subjetiva, hasta visualizar contracción muscular fuerte de los músculos, con un tiempo de 15 minutos. Cabe destacar, que a pesar de poner los parámetros con los que se realizó el estudio experimental, no se expone de manera clara la metodología utilizada correctamente para poder duplicar el estudio y obtener los mismos resultados.

Aunque desde el punto de vista estadístico, la disminución del IMC fue significativa, no resultó eficaz para que la mayoría de los pacientes cambiaran su clasificación dentro de la escala obesidad, solo para el 11,8% representó un cambio que le permitió salir del rango de los parámetros establecidos, como se puede observar en la Figura 6. No obstante, en ninguno de los trabajos realizados al respecto, en tan poco tiempo, se pudieron obtener cambios en el índice de masa corporal tan rápidamente. En solo 30 días se logró disminuir 9,92cm (Figura 4) como promedio sin controlar otros aspectos de las actividades de la vida diaria como la dieta.

Índice de masa corporal (Kg./m ²)			
Antes		Después	
M	DS	M	DS
37,448	4,2376	35,415 *	4,3812 *
p - 0,000			

*Significativo

Figura 6. Comparación de los valores medios del IMC antes y después del tratamiento.

Dra. Liu Pérez Fariñas (2014) (15)

Circunferencia Abdominal (cms)			
Antes		Después	
M	DS	M	DS
121,38	21,300	111,46 *	21,083 *
p - 0,000			

Figura 7. Comparación de los valores medios de la circunferencia abdominal antes y después del tratamiento.

Leyenda: M: Media. p: significación estadística DS: Desviación estándar

*Significativo.

Dra. Liu Pérez Fariñas (2014) (15)

C. La búsqueda realizada sobre el estudio de la electroestimulación reveló dos artículos donde el objetivo de ambos era combinar el ejercicio físico junto con la electroestimulación para ver qué resultados se obtenían y compararlos con otros grupos. Los estudios fueron Elisa Benito Martínez (2010) (11) y Stuart Harris (2002) (12).

Los resultados encontrados en ambos estudios son similares, aunque el entrenamiento físico realizado haya

sido de diferente forma. En el estudio de Elisa Benito Martínez (2010) (13) el ejercicio realizado fue con la utilización del atletismo como complemento a la EEM y por parte de Stuart Harris (2002) (12) la complementación a la electroestimulación se realizó a través de la bicicleta.

Los parámetros de corriente utilizados por Elisa Benito Martínez (2010) (13) fueron los siguientes: frecuencia de 150 Hz, un ancho de impulso de 350 Hz, un tiempo de contracción de 3seg y 12seg de reposo, una posología de 2d/sem y un tiempo total de aplicación de 12 min. La intensidad de corriente aplicada fue la máxima tolerada por el atleta. Los participantes realizaron un test compuesto por saltos el primer y último día del estudio.

Los resultados de la combinación de EENM con el entrenamiento pliométrico del estudio evidenció un avance significativo en la mejora de salto de los atletas participantes. Finalmente, habría que considerar que la mejora obtenida tras el entrenamiento EENM + pliometría, estaría también determinada por el nivel de los atletas, ya que el margen de adquisición no sería tan amplio como en los sujetos de carácter novel.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el entrenamiento combinado y el orden de aplicación previo de EENM a la pliometría, incrementa sustancialmente la altura y potencia del salto Abalakov y Drop Jump. Por tanto, el orden en la ejecución combinada de electroestimulación y pliometría, determina sustancialmente la mejora de la potencia muscular del atleta.

En el estudio de Stuart Harris (2003) (12) se configuró los parámetros eléctricos para ofrecer una corriente eléctrica directa a 25 Hz durante 5 s y 5 s de descanso. La intensidad de la estimulación se ajustó por el paciente para conseguir una contracción muscular visible que no fuese lo suficientemente fuerte como para causar molestias y un movimiento significativo en la rodilla o el tobillo. Los pacientes utilizaron el estimulador en la casa durante 30 minutos diarios, 5 días a la semana durante 6 semanas. No se programó visitas al hospital para llevar un seguimiento mayor.

El resultado fue que no hubo diferencias significativas para los marcadores de la capacidad funcional o la calidad de vida observada entre el grupo que realizaron actividad en bicicletas y entre el grupo que realizó el entrenamiento

+ EENM. En la bicicleta, se registraron aumentos significativos en la prueba de caminar 6 minutos, cinta de ejercicio, máxima fuerza en la pierna y los cuádriceps e índice de fatiga después del ejercicio, al igual que en el grupo de entrenamiento + EENM.

DISCUSIÓN

La revisión bibliográfica realizada a partir de las investigaciones encontradas en diferentes bases de datos, mencionadas anteriormente, demuestra que el uso de EENM aporta beneficios en los pacientes a los que se le han realizado el estudio. Se ha observado en todos los estudios que se reafirma la utilización de la electroestimulación como algo beneficioso para los pacientes en los que se aplicó las diferentes técnicas y tiene significación estadística en casi todas las variables medibles. Así mismo se constata el uso de EENM para recuperar, potenciar la musculatura y mejorar la funcionabilidad tanto de deportistas, como personas de a pie e incluso pacientes con problemas cardíaco respiratorio o lesiones traumatológicas.

Sin embargo, una de las deficiencias encontradas en estas investigaciones es el hecho de que en ninguna se realiza una justificación adecuada de por qué se realizaron las pruebas con un parámetro de corriente en concreto. En ninguno de los artículos revisados se ha mencionado, en el apartado de parámetros eléctricos, más datos a parte de la frecuencia de la electroestimulación. La información sobre las duraciones de los impulsos, formas de la onda o tipo de corriente es relevante para poder reproducir la investigación, y observar si los resultados reproducidos se asemejan o son similares. También es importante mencionar estos datos debido a que de esta forma la investigación obtiene una mayor evidencia, y se puede utilizar como un estudio de referencia.

La reflexión que suscita la lectura de esta revisión bibliográfica es si los parámetros eléctricos utilizados son los más beneficiosos o los más eficaces para la recuperación de la funcionalidad muscular. En los artículos que se exponen con más detalle todo el mecanismo de utilización de estos dispositivos eléctricos, en ninguno de ellos, se argumentó el por qué se había elegido. En ese vacío que queda sería beneficioso un estudio exhaustivo para reafirmar que el uso de la EENM con unos determinados parámetros es la que produce mayor eficacia sobre otras combinaciones posibles.

El objetivo planteado en este artículo sobre el estudio de la eficacia de la electroestimulación en la mejora de la capacitación física, después del análisis de la bibliografía examinada, se podría concluir que la utilización de la electroestimulación con unos determinados parámetros, ya estudiados, produce efectos positivos en personas que buscan una mejora de la funcionalidad muscular.

CONCLUSIONES

A tenor del análisis de la revisión bibliográfica realizada se extraen las siguientes conclusiones:

1. La EENM es efectiva en el proceso de recuperación de la funcionalidad muscular.

2. Los efectos beneficiosos provocados por la EENM han de complementarse con ejercicios funcionales de la musculatura estimulada para conseguir una mayor eficacia en la contracción y la mejora muscular en el tiempo.

3. Una investigación más exhaustiva sobre los diferentes rangos de la frecuencia de electroestimulación, onda de impulso, y un mayor aporte de información a la hora de redactar los artículos, sería ideal para obtener una alta evidencia científica de la eficacia de la EENM.

4. Se necesita justificar en investigaciones futuras el porqué partir de unos determinados parámetros en concreto, para aportar al lector una mejor referencia y evidencia científica.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Pinsach P. Lo último en Ejercicio Físico, La Electroestimulación. Aplicaciones útiles para todas las personas y amplia documentación para expertos. PubliCE. 2003 Jan.
- Lieber. Equal effectiveness of electrical and valitional stregh training. J. Orthopedic research. 1996. 14(1):131-8.
- Zicot M, Rigaux P.. Influence de la frecuencia de stimulation neuromusculaire electrique de la jambe sur le débit artériel fémoral. J Mal Vasc. 1995. 20(1):9-13.
- Ribeyre F.Effets comparés de deux méthodes de récupération à l'aide de la cinétique des lactates: eem et recuperation active. Université de Bordeaux; 1998.
- Acker M Oxigen consumption of chronically stimulated skeletal muscle. J. Thorac cardiovasc. 1987. 94(5):702-709
- Cometti G. Los métodos modernos de musculación: Paidotribo; 2000.
- Turostowski J. Influence of eem on humans cuadriceps femoris muscle strength and muscle mass. Dossier scientifique sport. 1999.
- Ortiz V. Entrenamiento de fuerza y explosividad para la Actividad Física y el Deporte de Competición Barcelona-España: INDIE; 1999.
- Kyung-Min Kim CTHJSS. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction on Quadriceps Strength, Function, and Patient-Oriented. J Orthop Sports Phys Ther. 2010 Julio; 40(383-391).
- Banerjee P CBCLCA. Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength and aerobic capacity in healthy sedentary adults. J Appl Physiol. 2005 Aug; 99(2307–2311).
- Pérez Fariñas L PRZMGSGDL. Treatment of patient with abdominal obesity as prevention or progression of the metabolic syndrome. Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación. 2014; 6(2-15).
- Harris S LJMFKDM. A randomised study of home-based electrical stimulation of the legs and conventional bicycle exercise training for patients with chronic heart failure. Eur Heart J. 2003; 24(871–878).

3. Benito Martínez E SALMLE. Effect of combined plyometric and electrostimulation training on vertical jump. *J Rev Int Cienc Deporte*. 2010 Oct; 7(21 pág 322-334).
4. Ward AR RVIH. The effect of duty cycle and frequency on muscle torque production using kilohertz frequency range alternating current. *Med Eng Phys*. 2004; 26(569-579).
5. Pérez Fariñas L PRZMGSGDL. Treatment of patient with abdominal obesity as prevention or progression of the metabolic syndrome. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*. 2014; 6(2-15).
6. Marcial Apéstegui Arriola A. Desarrollo de un dispositivo de electroestimulación muscular para el entrenamiento y fortalecimiento de fibras musculares (tesis). Pontificia universidad católica del Perú. Facultad de ciencias e ingeniería. Lima. 2013 Dec.