

CURSO
2014-2015

*TRABAJO FIN DE GRADO: REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA*

ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte



ALUMNO: RAFAEL MERENCIANO SANCHIS
TUTOR ACADÉMICO: RAFAEL SABIDO SOLANA
UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE



ÍNDICE

	PÁGINA
• 1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
• 2. PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN (METODOLOGÍA).....	2
• 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
• 4. DISCUSIÓN.....	8
• 5. CONCLUSIÓN.....	11
• 6. APLICACIÓN PRÁCTICA.....	12
• 7. BIBLIOGRAFÍA.....	14



1. CONTEXTUALIZACIÓN

A lo largo de los años van surgiendo nuevos métodos e instrumentos de entrenamiento, ya sea en un ámbito deportivo o en un contexto más relacionado con la salud o la estética. Uno de los métodos de entrenamiento que hoy en día está en boga es la llamada electroestimulación neuromuscular (EENM), la cual “consiste en la aplicación de una corriente eléctrica al músculo o al nervio periférico con el fin de lograr su contracción involuntaria” (Herrero, Abadía, Morante y García, 2006).

Sus primeros usos estaban enfocados a pacientes lesionados incapaces de realizar contracciones voluntarias por sí mismos. Más tarde, en el 1971, Kots y Hvilon emplearon la EENM en atletas de élite sanos con el fin de mejorar su fuerza muscular, empleando este método de entrenamiento como complemento al entrenamiento convencional (Benito, Lara y Martínez, 2010). Actualmente, se puede decir que la EENM es un complemento del entrenamiento tradicional en sujetos sanos, y no un sustituto del mismo.

Para entender cómo funciona la EENM y los protocolos de entrenamiento que llevan a cabo los científicos y entrenadores con ésta, es necesario conocer los parámetros de la corriente eléctrica que se usan tales como la frecuencia, la intensidad, el ancho de impulso y el tiempo de contracción-relajación.

La frecuencia es el número de veces que se repite el impulso eléctrico en un segundo y se expresa en hercios (Hz). Cuanto mayor es la frecuencia de estimulación, mayor es la fatiga muscular producida y la fuerza generada (Herrero et al., 2006).

La intensidad, normalmente indicada en miliamperios (mA) se podría definir como la fuerza con la que se emiten los impulsos eléctricos. Varios autores afirman que la intensidad mínima para que la EENM sea efectiva debe ser un 60% de la máxima contracción voluntaria (MCV). A intensidades bajas, la EENM no es efectiva en cuanto a la ganancia de fuerza muscular (Porcari et al., 2002).

El ancho de impulso es lo que dura cada pulso de corriente y normalmente se indica en microsegundos (μ s). Por último, el tiempo de contracción es el espacio de tiempo durante el cual se mantienen los impulsos eléctricos. Por tanto, el tiempo de relajación es el espacio de tiempo que transcurre entre dos contracciones consecutivas.

Ahora que ya entendemos mejor las bases de la EENM, pasemos a ver cuáles son las ventajas de este sistema de entrenamiento así como sus posibles usos. Uno de los aspectos que más destacan es la corta duración de las sesiones (alrededor de quince minutos) lo cual puede ser útil para aquellas personas que lleven una vida muy ocupada (Kemmler y Von Stengel, 2013). La EENM juega un papel importante en las personas de la tercera edad: para aquellas personas mayores que no sean capaces o se muestren reacias a hacer ejercicio tradicional (mediante contracciones voluntarias) la EENM puede ser una buena solución para el mantenimiento de su fuerza y así evitar el desarrollo de la sarcopenia (Kemmler, Bebenek, Engelke y Von Stengel S., 2013). En el ámbito del rendimiento deportivo, si bien es cierto que hay varios estudios que muestran la efectividad de la EENM, no se puede afirmar que el uso de ésta sea más efectivo para la ganancia de fuerza que el entrenamiento tradicional (Seyri y Maffiuletti, 2011). Para aquellos atletas que hayan alcanzado una meseta en su rendimiento, la EENM puede ser una herramienta útil para mejorar su rendimiento, pero siempre utilizándolo como complemento. Sin embargo, para la recuperación de músculos lesionados en fase de post operación, parece ser que es mejor aplicar la EENM que un entrenamiento voluntario (Seyri y Maffiuletti, 2011).

No todo son ventajas lo que presenta la EENM. De hecho, la EENM puede desencadenar una inhibición del reflejo miotático, lo cual puede aumentar el riesgo de lesión. Además, el

estímulo es aplicado durante contracciones no específicas del deporte (normalmente isométricas) y eso puede provocar una pérdida de la coordinación motora (Seyri y Maffiuletti, 2011). También hay que añadir que la EENM dificulta la coordinación intermuscular y esto limita las ganancias de fuerza en los movimientos tanto monoarticulares como poliarticulares. Una marca muy conocida en este sector, indica contradictorio el uso de la EENM en casos de personas con dispositivos eléctricos como marcapasos o con patologías cardíacas, epilépticos o mujeres embarazadas.

Por tanto, uno de los objetivos por los que se ha llevado a cabo este trabajo es conocer si es realmente útil el uso de electroestimulación en el rendimiento deportivo, así como averiguar qué tipo de población (edad, condición física, enfermedades...) presentará más ventajas a través de su uso o cuales son los cambios neuromusculares que provoca la EENM. También veremos si el uso de la EENM puede favorecer la aceleración de la recuperación de una lesión.

2. PROCEDIMIENTOS DE REVISIÓN (METODOLOGÍA)

Para la elaboración de esta revisión científica acerca de la EENM se han utilizado diferentes bases de datos, todas ellas de uso público a través de internet:

- Google académico (<https://scholar.google.es/>)
- PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>)
- ResearchGate (<http://www.researchgate.net/>)

La palabra clave introducida en las diferentes bases de datos fue "electromyostimulation". Uno de los principales criterios a la hora de obtener los artículos fue la fecha de publicación, estableciendo como máxima antigüedad de publicación el año 2000. Además, todos los textos científicos obtenidos para la elaboración de este TFG están escritos en inglés y forman parte de revistas científicas que forman parte del catálogo de JCR. Solamente se ha utilizado una revisión escrita en castellano (Herrero et al., 2006) que ha servido para la introducción de este trabajo.

Tras aplicar los criterios anteriormente descritos, se registraron un total de 90 estudios, de los cuales se descartaron todos aquellos de pago. Así pues, se hizo una lectura completa de un total de 31 artículos, de los cuales 23 fueron elegidos. El uso de la EENM puede ir destinado a poblaciones de distintas características (edad, deporte, condición física...), por tanto, uno de los objetivos del autor de este TFG era encontrar una muestra variada en los artículos en los que se aplicaba EENM. De los 23 artículos seleccionados, hay once que tratan de explicar los beneficios del EENM en el rendimiento, cinco artículos sobre el uso de la EENM en la 3ª edad, tres sobre lesiones y el uso de EENM como recuperación, dos sobre poblaciones especiales y otros dos sobre los modernos chalecos de electroestimulación.

Nº TOTAL ARTÍCULOS 2000-2015	90
LECTURA PROFUNDA	31
LECTURA RÁPIDA	7
SELECCIONADOS	23
RENDIMIENTO Y FUERZA	11
3ª EDAD	5
LESIONES	3
CHALECOS	2
POBLACIONES ESPECIALES	2

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

EENM EN EL RENDIMIENTO

AUTOR	MUESTRA	DURACIÓN	CARGA ELÉCTRICA Y ENTRENAMIENTO	RESULTADOS
Martínez et al. (2012)	98 atletas de 17,9±1,42 años, especialistas en velocidad G.1: pliometría G.2: uso simultaneo de EENM y pliometría G.3:1º EENM y 2º pliometría	8 semanas 2 d/semana	Carga eléctrica aplicada en los cuádriceps. G.2: 150 Hz G.3:85 Hz 3s contracción/12s de relajación Ancho de impulso: 350 microsegundos Intensidad máxima tolerada Pliometría:2x8 salto rodillas al pecho, CMJ, zancadas con salto	Sólo el G.2 mejoró el SJ, CMJ y DJ
Benito et al. (2011)	78 atletas de 17,9±1,4 años, especialistas en velocidad G.1: pliometría G.2: 1ºEENM y 2º pliometría G.3: 1º pliometría y 2ºEENM G.4: uso simultaneo de EENM y pliometría	8 semanas 2 d/semana	Carga eléctrica aplicada en los cuádriceps. Frecuencia: 150 Hz 3s contracción/12s de relajación Ancho de impulso: 350 microsegundos Intensidad máxima tolerada Pliometría:2x8 salto rodillas al pecho, CMJ, zancadas con salto	G.4 fue el que más mejoró en el sprint en los 30m. G.2 fue el que más mejoró en el salto vertical
Billot et al. (2010)	20 futbolistas. Edad:20,1±2,1 G.1: entrenamiento de fútbol G.2:entrenamiento de fútbol y EENM	5 semanas	Carga eléctrica aplicada en los cuádriceps. Frecuencia: 100Hz. Contracciones isométricas involuntarias. 3s contracción/17s relajación Intensidad superior al 60% de su MCV	Tras la EENM, el G.2 ganó mayor fuerza en los cuádriceps y mayor velocidad del balón en el lanzamiento. No obstante, no mejoró en el CMJ, SJ y sprint.
Brocherie et al. (2005)	17 jugadores de hockey hielo Edad:22.6±4,5 G.1: control G.2: EENM	3 semanas 3d/semana	Carga eléctrica aplicada en los cuádriceps. Contracciones isométricas involuntarias. Frecuencia: 85 Hz. 4s contracción/20 s relajación Intensidad: mínimo 60% de su MCV	El G.2 mejoró su fuerza en los extensores de rodilla y mejoró también en el sprint de 10m. No mejoras en sprint 30m y saltos
Maffiuletti et al. (2002)	10 jugadores de volley. Edad: 21,8±2,8	4 semanas 3d/semana	EENM cuádriceps: 48 contracciones isom. EENM gemelos: 30 contracciones isom. Intensidad:60% de su MCV. 3s contr./17 relaj.	Aumento de CMJ, SJ y MCV en cuádriceps y gemelos.
Parker et al. (2015)	27 chicos. Edad: 23,2±3,2 G1: no EENM G2: 2d/s EENM G3: 3d/s EENM	4 semanas	Ancho de impulso: 200 microsegundos Frec: 50 Hz, 10 s contracciones/ 50 s relajación Intensidad: 60% MCV	Sólo G3 aumentó su fuerza en los extensores de rodilla

EENM Y FUERZA: REVIEWS

AUTOR	ESTUDIOS Y PROCEDIMIENTO	CONCLUSIONES
Hortobágyi y Maffiuletti (2011)	No descrito	<p>-La EENM crea más fatiga metabólica al músculo (mayores niveles de glucólisis y demanda de oxígeno) pero no hay indicios de que cause hipertrofia muscular.</p> <p>Una de las evidencias más destacadas respecto a las adaptaciones neurales es el aumento de la MCV del músculo contralateral al estimulado</p>
Kayvan y Maffiuletti. (2011)	No descrito	<p>- Para músculos no lesionados, la EENM es efectiva (ganancia de fuerza) pero no tanto como el entrenamiento voluntario.</p> <p>La EENM se suele aplicar mediante contracciones isométricas al deportista y esto puede llegar a modificar la coordinación motora de ciertos gestos deportivos, por tanto, se recomienda usarlo de manera simultánea con el entrenamiento voluntario (p.ej: pliometría).</p> <p>Útil para aquellos atletas que hayan llegado a una meseta en su rendimiento.</p>
Dehail et al. (2008)	<p>Revisión y análisis de los artículos de la base de datos Medline con las siguientes entradas: muscular o neuromuscular, electroestimulación, estimulación eléctrica, fortalecimiento, entrenamiento de fuerza, inmovilización, distrofia muscular, el reposo en cama, cama de ruedas, cirugía de rodilla o de cadera, la fase postoperatoria, caquexia y sarcopenia</p>	<p>No se puede demostrar que la EENM sea mejor método que las contracciones voluntarias para la ganancia de fuerza.</p> <p>La EENM es una buena herramienta para los astronautas ya que sirve para evitar la pérdida de masa muscular y fuerza en situación de micro gravedad.</p>
Paillard (2008)	<p>Once artículos revisados que tratan de explicar los efectos neuromusculares de la EENM y ejercicio voluntario de forma combinada en sujetos sanos y quince artículos revisados que informan sobre los efectos de la combinación de EENM y ejercicio voluntario tras la operación de rodilla.</p>	<p>La EENM no facilita la coordinación entre la musculatura agonista y antagonista y esto es perjudicial para el aprendizaje de movimientos complejos.</p> <p>Con la EENM, las unidades motoras grandes se activan antes que las pequeñas. Además, el reclutamiento se realiza de forma sincrónica. Sin embargo, mediante la EENM se produce menos fuerza que con contracciones voluntarias debido a dos motivos:</p> <p>Por una parte, la intensidad máxima tolerada durante la estimulación eléctrica es menor que con la contracción voluntaria debido a que los efectos nocivos de esta EENM limitan el reclutamiento de unidades motoras. Además, cualquier movimiento voluntario requiere la activación de músculos estabilizadores y sinergistas, los cuales no son activados por la EENM</p>

EENM EN LA TERCERA EDAD

AUTOR	MUESTRA	DURACIÓN	CARGA ELÉCTRICA Y ENTRENAMIENTO	RESULTADOS
Kemmler et al. (2013)	76 mujeres mayores con osteopenia (+70 años) G. EENM+BW ejercicio G. Control	54 semanas, un total de 80 sesiones.	Varios músculos estimulados a la vez, contracción involuntaria + voluntaria Frec: 85 Hz, Ancho de impulso: 350 microsegundos, 6s contracción/4s relajación Intensidad RPE 14-16	Para aquellas personas mayores sedentarias y de movilidad reducida, la EENM es un buen método para ganar masa muscular y fuerza, lo cual será clave para evitar el desarrollo de la sarcopenia
Kemmler y Stengel (2013)	46 mujeres mayores(más de 70 años) sedentarias con riesgo de sarcopenia y obesidad G. EENM+BW ejercicio G. Control	12 meses	Varios músculos estimulados a la vez. Combinación simultánea de contracciones involuntarias y voluntarias. Frec: 85 Hz, intensidad: RPE 14-16.	Para aquellas personas mayores sedentarias y de movilidad reducida, la EENM es un buen método para ganar masa muscular y fuerza, lo cual será clave para evitar el desarrollo de la sarcopenia
Aurélio et al. (2012)	20 mujeres con osteoartritis. Edad: 58 ±8	8 semanas, 3d/semana	Contracciones isométricas involuntarias. Parte estimulada: los muslos. Ancho de impulso: 400 microsegundos, Frec: 80 Hz, 10s contracción/ 50s relajación	Tras la intervención, aumentó la F.isométrica(8%) del cuadriceps y aumentó la funcionalidad de la persona, se redujo el dolor de la rodilla.

REVIEWS EENM EN LA TERCERA EDAD

AUTOR	ESTUDIOS Y PROCEDIMIENTOS	CONCLUSIONES
Maddocks M. et al. (2013)	499 artículos encontrados en bases de datos como Medline, Embase o Cinahl. Criterios de selección: población de la tercera edad con problemas de salud tales como EPOC o insuficiencia cardíaca. Se quedaron finalmente con 11 artículos.	La EENM parece ser efectivo para mejorar la debilidad muscular de aquellas personas mayores con enfermedades degenerativas como EPOC, insuficiencia cardíaca crónica o cáncer. Estas enfermedades provocan, entre otras cosas, una debilidad muscular que se nota especialmente en el tren inferior. La EENM puede ser útil para evitar la morbilidad en estos casos.
Melo, M. et al. (2012)	76 estudios obtenidos de bases de datos como Pubmed o PEDro. Criterios como el uso de EENM en programas de rehabilitación, o la presencia de personas mayores con problemas de osteoartritis fueron aplicados. Además, cada estudio debía tener un mínimo de 6 puntos en la escala PEDro. Finalmente se quedaron con seis estudios	Para pacientes con osteoartritis, la combinación de EENM + ejercicio voluntario parece ser el mejor método para mejorar los niveles de fuerza en los cuadriceps. Intensidades sobre el 30% de la MCV y frecuencias entre 50Hz y 80Hz parece ser lo más indicado para tratar a este tipo de población.

EFFECTOS EENM EN LA COMPOSICIÓN CORPORAL

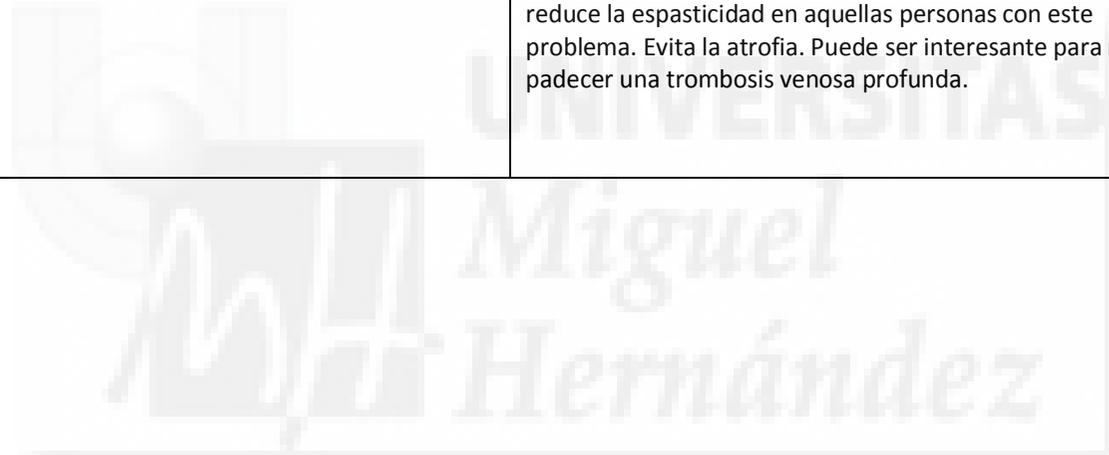
AUTOR	MUESTRA	DURACIÓN	CARGA ELÉCTRICA Y ENTRENAMIENTO	RESULTADOS
Porcari et al. (2005)	41 personas. Edad: 25-50 años. grupo Control grupo EENM	8 semanas, 5 veces por semana	Se estimulaban los abdominales mediante un cinturón de electrodos. Frecuencia 50-70 Hz, 2s contracción/ 2s relajación. Entrenamiento involuntario	Tras la intervención, el grupo EENM mejoró su fuerza y resistencia en los abdominales, se redujo su circunferencia de cintura y se notaron más estéticos.
Porcari et al. (2002)	27 personas: grupo Control grupo EENM	8 semanas, 3 veces por semana	Los músculos estimulados eran: bíceps, tríceps, cuádriceps, isquiosurales y abdominales. Frecuencia: 45 Hz. 10s contracción/35 s relajación. Intensidad máxima tolerada	Tras la intervención, no hubo cambios significativos en el peso corporal, composición corporal y fuerza.

EENM EN LESIONES: REVIEWS

AUTOR	ESTUDIOS Y PROCEDIMIENTO	CONCLUSIONES
Mizusaki et al. (2011)	Se seleccionaron un total de 19 estudios, de los cuales dos trataban sobre el uso de EENM tras menisectomía y los restantes trataban sobre el uso de EENM tras la operación de LCA	La combinación de EENM y rehabilitación convencional es más efectiva para la recuperación tras la operación de LCA que solo una rehabilitación convencional. Se recomienda usar la EENM en las primeras seis semanas tras la operación.
Kim K. et al. (2010)	301 estudios encontrados en bases de datos desde el 1966 hasta el 2008 Términos: ACL, electrical stimulation o knee rehabilitation entre otros Solo los artículos en inglés eran admitidos. Se quedaron con los artículos en los que se aplicaba NMES tras operación de rodilla, ocho en total.	En el tercer día tras la operación de LCA se podría empezar la EENM aplicada en los cuádriceps. La combinación de ejercicio voluntario y EENM es más efectiva para la recuperación que tan solo hacer ejercicio voluntario. Además, aquellos sujetos que recibieron EENM se percibían más funcionales y con menos dolor de rodilla.
Wright et al. (2008)	Artículos buscados en Pubmed (1966-2005) y Embase (1980-2005). Término: ACL (anterior cruciate ligament) De los 82 estudios encontrados, se descartaron a todos aquellos que no estaban escritos en inglés y que no hablaban sobre la lesión de LCA. Por tanto, se revisaron 54 estudios.	Aunque la EENM puede ayudar a recuperar los niveles de fuerza en los extensores de rodilla tras la operación, no parece ser una herramienta necesaria para la recuperación de LCA.

EENM EN POBLACIONES ESPECIALES: REVIEWS

AUTOR	ESTUDIOS Y PROCEDIMIENTOS	CONCLUSIONES
Glinsky y Harvey (2007)	<p>Artículos buscados en bases de datos como "Medline" desde el 1966 hasta el 2006</p> <p>18 estudios cumplían los requisitos. En estos estudios participaron gente con espina bífida (1), parálisis cerebral (1), lesión periférica nerviosa (1), esclerosis múltiple (1), lesión en la médula espinal (3) y stroke (11)</p>	<p>La EENM es beneficiosa para aquellas personas con stroke, ya que este método de entrenamiento mejora su fuerza muscular y funcionalidad. En el caso de otras enfermedades neurológicas, la EENM no parece ser tan beneficiosa.</p>
Sheffler y Chae (2007)	<p>No descrito</p>	<p>La EENM aplicada en el tren inferior a pacientes con stroke provoca mejoras en la habilidad de caminar y en la fuerza de los músculos agonistas. Reduce la co-contracción. También reduce la espasticidad en aquellas personas con este problema. Evita la atrofia. Puede ser interesante para reducir la probabilidad de padecer una trombosis venosa profunda.</p>



3. DISCUSIÓN

-EENM EN EL RENDIMIENTO: CAMBIOS MECÁNICOS

En el ámbito de rendimiento deportivo, Maffiuletti et al.(2002) llevaron a cabo un programa de preparación física para jugadores de voleibol durante cuatro semanas que se basaba en contracciones involuntarias producidas por la EENM seguidos posteriormente por ejercicios pliométricos. Los resultados fueron muy positivos, aumentaron su fuerza en los extensores de rodilla y su salto vertical. No obstante, el autor de este estudio afirma que estas mejoras no se pueden atribuir únicamente a la EENM ya que quizás son debidas al entrenamiento pliométrico. En el estudio de Martínez-López et al.(2012) se organizaron tres grupos diferentes, el primero entrenó únicamente mediante pliometría, el segundo grupo hizo un entrenamiento pliométrico a la vez que recibían EENM (entrenamiento simultaneo) y el tercer grupo hizo una combinación de EENM seguido posteriormente por pliometría. Tras ocho semanas de entrenamiento, únicamente el segundo grupo mejoró el SJ, CMJ y DJ. En otro estudio de características similares (Benito E. et al.,2011), se llegó a la conclusión que el entrenamiento simultáneo de pliometría y EENM era lo más adecuado para mejorar en el sprint de 30 m. Por tanto, podríamos decir que el uso simultáneo de EENM y pliometría parece ser lo más indicado para mejorar la explosividad (figura 1).



FIGURA 1 : USO SIMULTÁNEO DE EENM Y PLIOMETRÍA

En el 2004, Brocherie et al. hicieron un estudio con jugadores de hockey hielo, en el que se clasificaron dos grupos: el grupo control (no recibía EENM) y el grupo experimental, que recibía estimulación eléctrica (contracciones isométricas involuntarias). Tras las tres semanas de intervención, el grupo experimental mejoró su tiempo en el sprint patinando sobre hielo de 10m (-4.8±5.8%) y también mejoraron sus niveles de fuerza en los cuádriceps. No obstante, no mejoraron en el sprint de 30m ni el salto vertical. Dado la corta duración de la intervención, las mejoras que se produjeron son debidas a adaptaciones neurales (Brocherie et al., 2005). También encontramos un estudio de Billot et al. (2010) con futbolistas, en el que se demostró que el grupo al que aplicaron EENM mejoró su fuerza en los extensores de rodilla y aumentó la velocidad del balón en el golpeo. El autor de este estudio sugiere usar la EENM como complemento para los futbolistas y nunca como elemento central del entrenamiento.

La frecuencia utilizada en los anteriores estudios rondaba entre los 85Hz y 150Hz y la intensidad de los impulsos eléctricos se puede considerar como alta (mínimo 60% MCV). Uno de los beneficios que presenta entrenar mediante EENM es el ahorro de tiempo, ya que estas sesiones no suelen durar más de quince minutos.

-CAMBIOS A NIVEL FISIOLÓGICO Y NEUROMUSCULAR.

Con respecto al entrenamiento mediante contracciones voluntarias, la EENM presenta una serie de diferencias a nivel neuronal y metabólico. Mediante contracciones voluntarias las unidades motoras pequeñas se reclutan antes que las grandes (principio del tamaño). Sin embargo, mediante las revisiones de Paillard (2008) y Seyri y Maffiuletti (2011) se puede decir que mediante la EENM este “principio del tamaño” no se cumple ya que incluso parece ser que las unidades motoras grandes se reclutan antes que las pequeñas. Además, las unidades motoras actúan de manera sincrónica (Seyri y Maffiuletti, 2011). Debido a estos factores, podemos pensar que con la EENM se alcanzan mayores niveles de fuerza muscular, sin embargo, mediante la EENM se produce menos fuerza que con contracciones voluntarias debido a dos motivos. Por una parte, la intensidad máxima tolerada durante la estimulación eléctrica es menor que con la contracción voluntaria debido a que los efectos nocivos de esta EENM limitan el reclutamiento de unidades motoras. Además, cualquier movimiento voluntario requiere la activación de músculos estabilizadores y sinergistas, los cuales no son activados por la EENM (Paillard, 2008). Además, un excesivo uso de la EENM puede perjudicar a la coordinación motora de la persona (Seyri y Maffiuletti, 2011).

A nivel metabólico, la fatiga aparece antes si entrenamos con estimulación eléctrica. La EENM provoca mayor formación de ácido láctico que el entrenamiento voluntario. Además, las unidades motoras grandes, que tienen poca resistencia, son activadas antes con la EENM y por tanto hay una mayor fatiga (Paillard, 2008).

-EENM EN LA TERCERA EDAD

No solo se debe asociar la EENM a deportistas profesionales, ya que hay otros grupos de personas con las cuales también se ha hecho muchos estudios científicos con este método de entrenamiento, como por ejemplo aquellas personas de la tercera edad. Uno de los principales problemas que tiene esta población es la movilidad reducida, la cual es un gran handicap para desplazarse hasta el gimnasio más cercano y poder entrenar. Así pues, Kemmler y Stengel (2013) consideran que la EENM es un buen método de entrenamiento para aquellas personas mayores y sedentarias con movilidad reducida que sirve para aumentar masa muscular y fuerza, lo cual es clave para evitar el desarrollo de la sarcopenia.

Una de las enfermedades más comunes en las articulaciones de las personas de media y avanzada edad es la osteoartritis de rodilla, la cual limita el rango de movimiento de dicha articulación, produce dolor y provoca descensos de fuerza en los extensores de rodilla según Aurélio et al. (2012). Así pues, estos mismos científicos llevaron un programa de entrenamiento mediante EENM con veinte personas que padecían osteoartritis de rodilla. Tras ocho semanas de entrenamiento, los resultados fueron muy positivos: aumento de fuerza de un 8% en los extensores de rodilla, aumento de funcionalidad y reducción del dolor de rodilla (parámetros medidos por el cuestionario WOMAC).

En una revisión realizada por Aurélio et al. (2012) se llega a la conclusión de que la combinación de EENM y entrenamiento voluntario es la mejor fórmula para aumentar los niveles de fuerza en los extensores de rodillas de las personas con osteoartritis.

Por otra parte, la EENM parece ser efectiva para mejorar la situación de debilidad muscular en aquellas personas mayores que sufran algún tipo de enfermedad degenerativa como EPOC, insuficiencia cardíaca crónica o cáncer, ya que estas enfermedades provocan una pérdida de fuerza muscular (especialmente en el tren inferior) y la EENM puede ser útil para evitar la morbilidad del sujeto (Maddocks, Gao, Higginson y Wilcock, 2013).

-EENM EN LAS LESIONES

A continuación, procedemos a analizar la estimulación eléctrica neuromuscular como herramienta de apoyo en la recuperación de una lesión. Durante las primeras cuatro semanas tras la operación del LCA, los extensores de rodilla de la rodilla operada sufren grandes déficits de fuerza en comparación con la extremidad contralateral. Esta debilidad muscular puede alargarse hasta los seis años si la rehabilitación no es correcta (Kim K. et al., 2010). Por tanto, uno de los objetivos es recuperar los niveles de fuerza previos a la lesión del modo más seguro y eficaz posible. En la revisión realizada por Kim K. y colaboradores (2010) sobre el papel de la EENM en la rehabilitación tras la operación de LCA explican que mediante EENM y entrenamiento voluntario se alcanzan mayores niveles de fuerza que únicamente mediante entrenamiento voluntario. Además, aquellas personas operadas de LCA que llevaron a cabo la estimulación eléctrica se notaban más funcionales (con menos dolor) a la hora de realizar actividades de la vida diaria. En esta revisión también recomiendan usar corrientes de alta intensidad especialmente a los pocos días tras la operación para lograr una rehabilitación más efectiva. No obstante, Wright et al. (2008) no consideran que la EENM sea una herramienta indispensable para recuperar los niveles de fuerza anteriores a la lesión.

-EENM COMO NUEVA TENDENCIA

Recientemente se ha estado hablando mucho sobre los chalecos de electroestimulación neuromuscular, tanto positivamente como negativamente. Si indagamos en las páginas webs de estos chalecos, se puede observar que venden el producto como si fuera el mejor tipo de entrenamiento posible (ganancias de fuerza, resistencia, potencia...o “activación simultánea de 350 músculos”) y difícilmente podemos acceder al apartado de contraindicaciones si es que incorporan ese apartado en sus webs. En el año 2013, Kemmler et al. llevaron a cabo un estudio en el que un grupo numeroso de mujeres de la tercera edad con osteoporosis entrenó con chalecos de estimulación eléctrica durante 54 semanas (figura 2). Los resultados fueron bastante positivos ya que aumentaron su masa muscular y su fuerza, lo cual es básico para evitar el desarrollo de la osteoporosis y la sarcopenia.



FIGURA 2: CHALECO DE EENM

No obstante, partimos de una muestra sedentaria a la que probablemente cualquier ejercicio físico le puede provocar beneficios. Un producto parecido al chaleco de EENM es el cinturón de electrodos. En el año 2005, Porcari y colaboradores llevaron a cabo un estudio con este instrumento, en el cual un grupo de personas de mediana edad entrenaron durante ocho semanas colocándose este cinturón en el abdomen provocando contracciones involuntarias. Los resultados fueron positivos ya que aumentaron su fuerza y resistencia en los abdominales, redujeron la circunferencia de cintura y a nivel subjetivo se encontraron más “estéticos”.

-EENM EN POBLACIONES ESPECIALES

Por último, procedemos a explicar los efectos de la EENM en aquellas personas que sufren algún tipo de enfermedad neurológica. Todavía no hay evidencia científica suficiente como para afirmar que la EENM tiene efectos positivos en personas con espina bífida, esclerosis múltiple o parálisis cerebral. No obstante, sí que hay evidencias científicas que demuestran los efectos positivos del uso de la EENM tras un "stroke" o derrame cerebral. Así pues, la EENM puede ayudar a recuperar los niveles de fuerza y lograr una mayor funcionalidad a aquella persona que ha sufrido un derrame cerebral (Glinsky y Harvey, 2007). Sheffler y Chae (2007) añaden que la EENM aplicada en el tren inferior a pacientes con stroke provoca mejoras en la habilidad de caminar y en la fuerza de los músculos agonistas, reduce la cocontracción y también reduce la espasticidad en aquellas personas con este problema.

5. CONCLUSIÓN

-La EENM se debe considerar como un elemento de apoyo al entrenamiento y nunca como alternativa al entrenamiento tradicional (contracciones voluntarias).

-Una de las marcas más prestigiosas en el ámbito de la EENM considera contraindicado su uso en personas que tienen patologías cardíacas, personas con epilepsia o mujeres embarazadas. También advierten evitar el uso de estimulación eléctrica en la zona abdominal en personas que sufren algún tipo de hernia discal o inguinal. No obstante, falta evidencia científica para demostrar estas contraindicaciones.

-Cuando entrenas mediante EENM, se deben tener en cuenta ciertos parámetros de la corriente eléctrica tales como la frecuencia (el número de veces que se repite el impulso en un segundo), la intensidad del impulso eléctrico o el tiempo de contracción y descanso. En la mayoría de estudios que se han hecho sobre EENM y rendimiento, se llevan a cabo unas frecuencias que oscilan entre 50 Hz y 100 Hz. Respecto a la intensidad del impulso eléctrico, se ha sugerido que para que la EENM induzca cambios significativos en la morfología muscular las intensidades utilizadas deberían producir contracciones superiores al 60% de la MCV.

-Uno de los aspectos positivos que presenta entrenar mediante EENM es la corta duración de las sesiones, las cuales suelen durar quince minutos aproximadamente. Ésto puede ser útil para aquellas personas que lleven una vida muy ocupada y que no dispongan de mucho tiempo para entrenar.

-Varios estudios afirman que la EENM parece ser un buen método para ganar fuerza y explosividad en el tren inferior. El entrenamiento pliométrico se puede complementar con EENM para mejorar en los saltos, ya sea de manera simultánea o primero aplicando estimulación eléctrica y posteriormente realizar la pliometría.

-Aunque la EENM mejora los niveles de fuerza, el entrenamiento tradicional enfocado a la fuerza es mucho más efectivo para la ganancia de fuerza y tiene más transferencia con los gestos deportivos. Con una contracción voluntaria se alcanzan mayores niveles de fuerza porque actúan músculos sinergistas y estabilizadores que ayudan en el movimiento. Además, el daño producido por las altas intensidades del impulso eléctrico puede provocar una sensación desagradable de dolor que reduce el rendimiento.

-Mediante la EENM, las unidades motoras actúan de manera sincrónica y no se cumple el "principio del tamaño" ya que una unidad motora grande puede reclutarse antes que una pequeña.

- La EENM es una buena opción para evitar el desarrollo de osteoporosis y sarcopenia en personas de la tercera edad.

-La EENM mejora los niveles de fuerza en los extensores de rodilla en aquellas personas que sufran osteoartritis. Además, les genera una mayor funcionalidad y una reducción de la sensación subjetiva de dolor en dicha articulación

-El papel de la EENM en la recuperación de lesiones no está del todo claro. Si bien es cierto que puede ayudar a recuperar antes los niveles de fuerza en los extensores de rodilla tras la lesión de LCA, no es imprescindible el uso de EENM para la adecuada recuperación de la lesión.

-Todavía no hay evidencia científica suficiente como para afirmar que la EENM tiene efectos positivos en personas con espina bífida, esclerosis múltiple o parálisis cerebral. No obstante, sí que hay evidencias científicas que demuestran los efectos positivos del uso de la EENM tras un “stroke” o derrame cerebral. Así pues, la EENM puede ayudar a recuperar los niveles de fuerza y lograr una mayor funcionalidad a aquella persona que ha sufrido un derrame cerebral .

6. APLICACIÓN PRÁCTICA

La siguiente aplicación práctica está destinada especialmente para aquellos deportistas en los que las acciones explosivas como el salto y el sprint predominen en su deporte. En este caso particular, la propuesta práctica está diseñada para un atleta de pruebas de velocidad (100 m, 200 m, 110 m vallas etc).

Una forma de trabajo muy común a través de la EENM es el entrenamiento mediante contracciones isométricas (contracciones producidas por la corriente eléctrica en las que no hay cambio de longitud del músculo). El problema de este tipo de entrenamiento es la falta de transferencia motriz con los movimientos biomecánicos característicos de un determinado deporte. Es decir, estas contracciones isométricas provocadas por la EENM carecen de transferencia con el gesto deportivo. Además, un uso excesivo de este tipo de entrenamiento podría provocar una pérdida de la coordinación motora en el deportista (Kayvan y Maffiuletti, 2011).

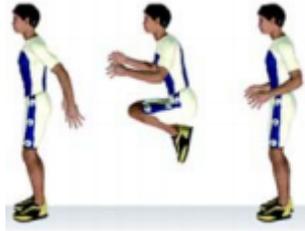
Varios artículos hablan sobre los beneficios que presenta aplicar la EENM mientras el deportista está realizando saltos pliométricos. Mediante este tipo de entrenamiento la coordinación motora no se vería afectada (Kayvan y Maffiuletti, 2011). Así pues, Martínez López y colaboradores llevaron a cabo en el año 2012 un estudio en los que se comparaban distintos programas de entrenamiento con EENM para averiguar cual sería el más indicado para la mejora del CMJ, SJ y DJ. Los resultados señalaron al entrenamiento simultáneo de pliometría y EENM como el mejor método para la mejora de los distintos saltos. Este tipo de entrenamiento también se aconseja para mejorar los tiempos en el sprint de 30 m (Benito et al., 2011).

Así pues, la aplicación práctica para nuestro atleta se basa en la ejecución de distintos tipos de saltos a la vez que recibe estimulación eléctrica en cada muslo a través de electrodos adhesivos. A continuación, en la tabla siguiente podemos observar los distintos valores de los parámetros de la corriente eléctrica aconsejados para la mejora del deportista (Martínez-López et al., 2012):

FRECUENCIA DE ESTIMULACIÓN (Hz)	150 Hz
AMPLITUD DEL IMPULSO	0,3 s
INTENSIDAD	Máxima tolerada por el deportista

Ahora pasamos a ver los distintos saltos que debe ejecutar el atleta en combinación con la estimulación eléctrica:

-Ejercicio 1: salto con rodillas al pecho. 2 series x 8 repeticiones. Descanso entre series de 3 minutos



-Ejercicio 2: Tres saltos pequeños en posición de sentadilla antes de realizar el salto vertical, en el cual recibes la corriente eléctrica. 2 series x 8 repeticiones. Descanso entre series de 3 minutos



-Ejercicio 3: mismo ejercicio que el anterior pero se aterriza del salto en posición de zancada. 2 series x 8 repeticiones. Descanso entre series de 3 minutos.



Llevar a cabo este entrenamiento dos veces por semana durante dos meses supondría grandes mejoras en el CMJ, SJ y DJ. Estas mejoras también reflejan una disminución de tiempo en el sprint de 30 m (Martínez-López et al., 2012).

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Aurélio, M., Manfredini, B., Geremia, J.M., Juner, F., Mayer, A., Arampatzis, A. y Herzog, W., (2012). Neuromuscular electrical stimulation (nmes) reduces structural and functional losses of quadriceps muscle and improves health status in patients with knee osteoarthritis. *Journal Orthopaedic Research*, 31(4), 511–516.
2. Benito, E., Lara, A., Berdejo, D. y Martínez, E. (2011). Effects of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump and speed tests. *Journal of human sport & exercise*, 6(4), 603.
3. Billot, M., Martin, A., Paizis, C., Cometti, C. y Babault, N. (2010). Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping, and kicking capacities in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1407–1413.
4. Brocherie, F., Babault, N., Cometti, G., Maffiuletti, N. y Chatard, J.C. (2004). Electrostimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Medicine & science in sports & exercise*, 37(3), 455–460.
5. Dehail, P., Duclos, C. y Barat, M. (2008). Electrical stimulation and muscle strengthening. *Annales de readaptation et de médecine physique*, 51(6), 441–451.
6. Glinsky, J. y Harvey, L. (2007). Efficacy of electrical stimulation to increase muscle strength in people with neurological conditions: a systematic review. *Physiotherapy Research International*, 12(3), 175–194.
7. Herrero J., Abadía, O., Morante, J.C. y García J. (2006). Electromyostimulation training parameters and chronic effects on muscle function. *Archivos de medicina del deporte*, 23(116), 455–462.
8. Herrero J., Abadía, O., Morante, J.C. y García J. (2007). Electromyostimulation training parameters and chronic effects on muscle function (II). *Archivos de medicina del deporte*, 24 (117), 44–54.
9. Hortobagyi, T. y Maffiuletti, N. (2011). Neural adaptations to electrical stimulation strength training. *Eur J Appl Physiol*, 111(10), 2439–2449.
10. Kemmler, W. y Von Stengel, S. (2013). Whole-body electromyostimulation as a means to impact muscle mass and abdominal body fat in lean, sedentary, older female adults: subanalysis of the TEST-III trial. *Clinical Interventions in Aging*, 8, 1353–1364.
11. Kemmler, W., Bebenek, M., Engelke, K. y Von Stengel S. (2013). Impact of whole-body electromyostimulation on body composition in elderly women at risk for sarcopenia: the Training and ElectroStimulation Trial (TEST-III). *AGE*, 36(1), 395–406.
12. Kim, K., Croy T., Hertel, J. y Saliba, S. (2010). Effects of neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction on quadriceps strength, function, and patient-oriented outcomes: a systematic review. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 40(7), 383.
13. Maddocks, M., Gao, W., Higginson, I.J. y Wilcock, A. (2013). Neuromuscular electrical stimulation for muscle weakness in adults with advanced disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*.
14. Maffiuletti, N., Dugnani, S., Folz, M., Di Pierno, E., y Mauro, F. (2002). Effect of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Med Sci Sports Exerc*, 34(10), 1638–1644.
15. Martínez, E., Benito, E., Hita, F., Lara, A. y Martínez, A. (2012). Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(4), 727–735.
16. Oliveira, M., Amâncio, F. y Aurélio, M. (2013). Neuromuscular electrical stimulation for muscle strengthening in elderly with knee osteoarthritis: A systematic review. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 19(1), 27–31.

17. Paillard,T.(2008). Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports Med*, 38 (2), 161-177.
18. Parker,M., Bennett, M., Hieb, M., Hollar, A. y Roe, A.(2015) Strength response in human quadriceps femoris muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* , 33(12), 719-726.
19. Porcari, J., Mclean, K., Foster, C., Kernozek, T., Crenshaw ,B. y Swenson,C. (2002). Effects of Electrical Muscle Stimulation on body composition, muscle strength, and physical appearance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 165–172.
20. Porcari, J., Miller, J., Cornwell, K., Foster, C., Gibson, M., McLean, K, y Kernozek ,T. (2005). The effects of neuromuscular electrical stimulation training on abdominal strength, endurance, and selected anthropometric measures .*Journal of Sports Science and Medicine*, 4(1), 66-75.
21. Seyri, K. y Maffiuletti, N. (2011). Effect of electromyostimulation training on muscle strength and sports performance. *Strength and Conditioning Journal*,0(0).
22. Sheffler, L. y Chae J. (2007). Neuromuscular electrical stimulation in neurorehabilitation. *Muscle Nerve*, 35(5),562–590.
23. Wright, R., Preston, E., Fleming,C., Amendola, A., Andrish, J.,Bergfeld, J. ,Dunn, W., Kaeding, C., Kuhn,J., Marx,R., McCarty,M., Parker,R., Spindler,M., Wolcott,M., Wolf,M. y Williams,G. (2008). ACL Reconstruction Rehabilitation: A Systematic Review Part II *J Knee Surg.*; 21(3), 225–234.

