



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  

---

**FACULTAD DE HUMANIDADES Y  
CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE LA  
EXPRESIÓN MUSICAL, PLÁSTICA Y  
CORPORAL**

**TESIS DOCTORAL**  
**COMBINACIÓN SIMULTÁNEA DE  
ELECTROESTIMULACIÓN  
NEUROMUSCULAR Y PLIOMETRÍA. UN  
COMPLEMENTO AL ENTRENAMIENTO DE  
VELOCIDAD Y SALTO**

**PRESENTADA POR:  
ELISA M<sup>a</sup> BENITO MARTÍNEZ**

**DIRIGIDA POR:  
DR. D. EMILIO J. MARTÍNEZ LÓPEZ  
DR. D. AMADOR LARA SÁNCHEZ**

**JAÉN, 4 DE JULIO DE 2013**

**ISBN 978-84-8439-009-1**







*A Isidro y Elisa, mis padres y a mi hermana Marta.  
Gracias por el apoyo constante que me ha  
permitido realizar este trabajo.*





DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LA EXPRESIÓN  
MUSICAL, PLÁSTICA Y CORPORAL  
FACULTAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS DE LA  
EDUCACIÓN  
UNIVERSIDAD DE JAÉN

**COMBINACIÓN SIMULTÁNEA DE ELECTROESTIMULACIÓN  
NEUROMUSCULAR Y PLIOMETRÍA. UN COMPLEMENTO AL  
ENTRENAMIENTO DE LA VELOCIDAD Y SALTO**

**Elisa M<sup>a</sup> Benito Martínez**

Directores de Tesis

**Dr. D. Emilio J. Martínez López**  
Phd  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad de Jaén

**Dr. D. Amador Lara Sánchez**  
Phd  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad de Jaén

Jaén, 17 de Abril de 2013





Profesor Dr. Emilio J. Martínez López  
Profesor Titular de Universidad

Profesor Dr. Amador Lara Sánchez  
Profesor Titular de Universidad

-----

Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal  
Universidad de Jaén

### **AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN**

El Dr. Emilio J. Martínez López y el Dr. Amador Lara Sánchez como Directores de la Tesis Doctoral titulada “*Combinación Simultánea de Electroestimulación Neuromuscular y Pliometría. Un complemento al entrenamiento de la velocidad y salto*”, realizada por Dña. **ELISA M<sup>a</sup> BENITO MARTÍNEZ** en el Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal **autorizan su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo firmo, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 56/2005 y 778/98, en Jaén a 15 de abril de 2012.

Dr. D. Emilio J. Martínez López

Dr. D. Amador Lara Sánchez



## Índice

	Páginas
Publicaciones .....	7
Introducción .....	9
Abreviaturas .....	23
<b>Capítulo I.- Fundamentación teórica</b> .....	<b>27</b>
<b>1. DEFINICIÓN Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ELECTROESTIMULACIÓN Y LA PLIOMETRÍA. CLASIFICACIÓN DE LAS MANIFESTACIONES DE LA FUERZA</b>	
1.1 Historia de la electroestimulación neuromuscular.....	29
1.2 Historia de la pliometría.....	38
1.3 Clasificación de las manifestaciones de la fuerza.....	43
<b>2. LA ELECTRICIDAD COMO BASE DE LA ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR</b> .....	<b>47</b>
<b>3. PARÁMETROS DE LA ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR</b> .....	<b>53</b>
3.1 Tipo de corriente.....	53
3.2 Frecuencia de corriente.....	56
3.3 Número de sesiones semanales.....	59
3.4 Ancho de impulso.....	59
3.5 Tiempo impulso reposo.....	61
3.6 Intensidad de corriente.....	63
3.7 Tiempo de tratamiento.....	65
3.8 Colocación de electrodos.....	65
3.9 Ejercicios que se combinan.....	67
<b>4. ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR APLICADA AL ENTRENAMIENTO</b> .....	<b>75</b>
4.1 Combinación del ejercicio físico y la electroestimulación neuromuscular.....	77
4.1.1 Entrenamiento con pliometría.....	77

4.1.2 Entrenamiento con electroestimulación neuromuscular.....	78
4.1.3 ¿Por qué combinar la electroestimulación neuromuscular con un ejercicio voluntario?.....	80
4.1.4 Estudios que usan la isometría como contracción voluntaria combinada con electroestimulación neuromuscular.....	83
4.1.5 Estudios que usan la anisometría como contracción voluntaria combinada con electroestimulación neuromuscular.....	84
4.1.6 El trabajo combinado simultáneo de electroestimulación neuromuscular y ejercicio voluntario.....	86
<b>5. PRINCIPIOS DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO MEDIANTE ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR.....</b>	<b>89</b>
5.1 Supercompensación y electroestimulación neuromuscular.....	94
5.2 Principios del entrenamiento deportivo aplicados a la electroestimulación neuromuscular.....	96
5.3 La periodización de la fuerza.....	100
Referencias bibliográficas.....	105
1º Artículo: Efecto del entrenamiento combinado de pliometría y electroestimulación en salto vertical .....	125
2º Artículo: Efecto del orden de aplicación de la electroestimulación neuromuscular y la pliometría sobre el entrenamiento de la prueba de 100 metros lisos.....	141
3º Artículo: Effects of combined electroestimulacion and plyometric training on vertical jump and speed test.....	157
4º Artículo: Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes.....	173
5º Artículo: Effect of combined electrostimulation and plyometric training on 30 meters dash and triple jump.....	185

## Publicaciones

La presente memoria de Tesis Doctoral está compuesta por los siguientes artículos científicos:

- I. **Benito, E., Lara, A., Martínez-López, E.J.** (2010). Efecto del entrenamiento combinado de pliometría y electroestimulación en salto vertical. *RICYDE*, 6 (21), 322-334.
- II. **Benito, E., Lara Sánchez, A.J., Moral-García, J.E., Martínez-López, E.J.** (2012). Efecto del orden de aplicación de la Electroestimulación Neuromuscular y la Pliometría sobre el entrenamiento de la prueba de 100 metros lisos. *Journal of Sport and Health Research*. 4(2), 167-180.
- III. **Benito-Martínez, E.J., Lara-Sánchez, A., Berdejo-del Fresno, D., Martínez-López, E.** (2011). Effects of combined electrical stimulation and plyometric training on vertical jump and speed test. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6 (4), 603-615.
- IV. **Martínez-López, E.J., Benito-Martínez, E., Hita-Contreras, F., Lara-Sánchez, A., Martínez-Amat, A.** (2012). Effects of electrical stimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11, 727-735.
- V. **Benito-Martínez, E., Martínez Amat, A., Lara-Sánchez, A.J., Berdejo-Del-Fresno, D., Martínez-López, E.J.** (2013) Effect of combined electrical stimulation and plyometric training on 30 meters dash and triple jump. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53 (2), 1-9 (Aceptado el 8 de Marzo de 2013).



## Introducción

Las grandes exigencias del deporte de élite, motivadas por el incansable espíritu de superación de los atletas, han desembocado en la búsqueda de nuevas técnicas y métodos que eleven las marcas de los atletas a números inimaginables. Uno de estos métodos es la electroestimulación neuromuscular (EMS), consistente en la aplicación de una corriente eléctrica al músculo o al nervio periférico con el fin de lograr una contracción muscular involuntaria del músculo. Esta forma de entrenamiento, ha sido aplicada por muchos autores desde hace varias décadas, sin embargo aún no existe consenso en su forma de uso debido a la gran homogeneidad de parámetros utilizados.

A pesar de que la EMS es un método antiguo de tratamiento, que ya Galvani utilizaba en el año 1786 para estimular nervios periféricos como mostró en su libro “*Comentarios sobre la electricidad en músculos*”, es el ruso Kots el que comenzó, en la década de los 70, a utilizar este tipo de terapia en atletas de élite sanos, con el fin de aumentar la fuerza muscular, empleando este método como complemento al entrenamiento convencional (Lake, 1992). Los resultados de Kots fueron muy alentadores y hasta ahora nadie ha logrado mejoras similares en cuanto al aumento de fuerza muscular. El ruso consiguió un incremento del 40% que Ward (2002) justificó afirmando que esos trabajos de Kots fueron empleados en atletas jóvenes de 15 a 17 años con un gran margen de mejora. Tras estos primeros estudios, han sido varios autores los que han utilizado la EMS con el fin de aumentar la fuerza muscular aunque sin especificar la manifestación de la fuerza que quería mejorarse (Vittori, 1990).

Buena parte de los autores coinciden en que el gran problema a la hora de realizar un protocolo con EMS es la gran heterogeneidad de los parámetros empleados (frecuencia, ancho de impulso, tiempo contracción y tiempo de reposo), así como la identificación de la manifestación de la fuerza a la que el programa va dirigido. En la mayoría de los estudios revisados no se precisa el orden de aplicación de la EMS respecto al entrenamiento voluntario. La aplicación del ejercicio voluntario pre, post o simultáneo a la EMS podría influir en que la mejora del rendimiento afecte a una u otra expresiones de la fuerza.

Buena parte de los trabajos revisados estudian la mejora de la fuerza en general sin especificar la manifestación de la fuerza a la que van dirigidos, y las frecuencias de corriente que emplean no tienen en cuenta la expresión de la fuerza. Todo ello puede llevar a que se trabaje un músculo con una frecuencia de corriente que corresponda con una manifestación de la fuerza que no es la representada por el test de valoración empleado.

Además la necesidad de combinar un ejercicio voluntario con la EMS para que ésta sea efectiva, ha sido demostrada en diversas ocasiones; Cometti (1998) mostró como el uso de la EMS reducía el tiempo necesario en una proporción de 1:3 al compararse con un programa de contracción voluntaria. Vanderthommen (2001) apoyó que las adaptaciones fisiológicas producidas en la terapia combinada eran mucho mayores que las que se producían en terapias aisladas, ya fuera de EMS o de ejercicio voluntario. Tras la revisión de los estudios de Verkhoshansky (1991), Herrero (2006), y Maffiuletti (2008), se constató que la pliometría (PT) es un método muy eficaz para la preparación especial de la fuerza ya que favorece la fuerza reactiva y la fuerza explosiva.

La palabra pliometría proviene de la raíz latina plyo + metric traducida como aumento medido, y consiste en el aprovechamiento muscular de la fase excéntrica de un movimiento previo a una contracción concéntrica del mismo. La pliometría intenta agudizar la excitabilidad del sistema nervioso para mejorar la capacidad de reacción del sistema neuromuscular. El objetivo por tanto, es reducir el tiempo entre la fase excéntrica y la concéntrica de forma que la fisiología del ciclo estiramiento-acortamiento va a depender de los reflejos propioceptivos y de las propiedades elásticas musculares (Prentice, 2009). Verkhoshansky (1999), considerado como el padre de la pliometría por muchos autores y entrenadores, sitúa el inicio de este método en uno de sus entrenamientos a finales de los años 50 cuando entrenaba al equipo de atletismo de Moscú, en su libro *“Todo sobre el método pliométrico”*.

A pesar de lo expuesto anteriormente, en nuestra revisión bibliografía no hallamos ningún estudio que priorizara el orden de aplicación de la EMS y el ejercicio voluntario.

**El propósito del presente trabajo** fue determinar el orden de aplicación de la EMS y la PT así como la frecuencia de corriente ideal para cada manifestación de la

fuerza, representada en los saltos verticales de Squat Jump (SJ), Contramovement Jump (CMJ), Abalakov Jump (ABK), Drop Jump (DJ), triple salto, y velocidad (30 m lanzados y 100 m.l).

*Objetivos específicos:*

Analizar la mejora producida por un programa de entrenamiento que combina el ejercicio de EMS con la PT, y en segundo lugar, conocer el orden de trabajo más adecuado de ambos métodos durante la sesión entrenamiento. Se hipotetizó que el entrenamiento de ejercicios pliométricos tras la aplicación de la EMS conseguiría mayores mejoras en la altura y potencia de salto ABK y DJ (**Artículo 1**).

Determinar el orden de combinación y frecuencia de estímulo más adecuados, entre EMS y PT, para mejorar el tiempo empleado en la prueba de 100 metros lisos. Por otro lado se trato de demostrar como cada expresión de la fuerza debe ser mejorada a través de protocolos diferentes (**Artículo 2**).

Determinar la mejora producida tras ocho semanas de entrenamiento de un programa de EMS y PT. En particular, se pretendió conocer las posibles diferencias en las mejoras obtenidas en la velocidad y el salto a través de diferentes combinaciones de EMS y PT. Se hipotetizó que el orden de aplicación de la EMS y la PT tenía efectos diferentes que debían adecuarse dependiendo de las necesidades de la prueba a entrenar (**Artículo 3**).

Conocer los efectos de un programa de entrenamiento basado en la EMS y la PT según diferentes frecuencias de estímulo y el orden de aplicación de las técnicas. Se hipotetizó que las altas frecuencias de EMS y la combinación simultánea con PT conseguirían mejores resultados en los saltos verticales que otras combinaciones (**Artículo 4**).

Analizar el efecto de un programa de entrenamiento que incluía diferentes combinaciones de EMS y PT dirigido a mejorar la velocidad en test de 30 m lanzados y el triple salto. Se hipotetizó que la combinación simultánea de la EMS y la PT obtiene mejores resultados en la prueba de 30 m lanzados y triple salto que otras combinaciones de EMS y PT (**Artículo 5**).

En todos los estudios hubo un grupo control que realizaba la PT y recibía una corriente analgésica a modo de placebo, y varios grupos experimentales que realizaban los siguientes entrenamientos:

- a) EMS a 150 Hz + Plimometría.
- b) Pliometría + EMS a 150 Hz.
- c) EMS a 150 Hz + Pliometría simultánea.
- d) EMS a 150 Hz + Pliometría de forma simultánea y combinada.
- e) EMS a 85 Hz + Pliometría.
- f) Combinación de un día a la semana EMS a 85 Hz + Pliometría y un segundo día de EMS a 150 Hz + Pliometría combinada simultáneamente.

El desarrollo de los diferentes estudios queda expuesto en las páginas 125-199.

La planificación del método de cada estudio se ofrece en la tabla 1. En ella se ofrece un resumen del diseño de estudio, participantes, intervención, variables de estudio y material empleado.

Artículo	Diseño de estudio	Participantes	Intervención	Variables	Material
Efecto del entrenamiento combinado de pliometría y electroestimulación en el salto vertical	Estudio cuantitativo cuasi-experimental	84 atletas nivel medio de velocidad y longitud. 6 abandonan el estudio Total atletas terminan: 40 Mujeres 38 Hombres Edad: 17,94 ± 1,44 IMC: 20,52 ± 1,68 Años entrenando atletismo: 5,64 ± 2,13	2 meses ( 2días/semana) Grupo 1 (Control) Pliometría + TENS Grupo 2: EMS a 150 Hz + Pliometría Grupo 3: Pliometría + EMS a 150 Hz Grupo 4: EMS a 150 Hz + Pliometría simultánea	Salto ABK Salto DJ	Plataforma contacto ORGANISER PSION 2 Modelo CM Electroestimulador Megasonic P313 P4 Sport de Medicarim Electrodos desechables
Efecto del orden de aplicación de la electroestimulación neuromuscular y la Pliometría sobre el entrenamiento de la prueba de 100 metros lisos	Estudio cuantitativo cuasi-experimental	97 atletas nivel medio de velocidad 47 mujeres 50 hombres Edad: 17,16 ± 1,42 IMC: 20,37 ± 2,68 Años entrenando atletismo: 5,16 ± 2,56	8 semanas ( 2 días /semana) Grupo 1: Control Pliometría + TENS Grupo 2: EMS a 150 Hz + pliometría simultánea Grupo 3: EMS a 85 Hz + Pliometría Grupo 4: Realiza un día el entrenamiento del G2 y otro día el entrenamiento del G3.	Tiempo empleado en recorrer: 100 m Del 20 al 73 m Tiempo de paso 20 m 73 m	Células fotoeléctricas Eleiko Sport R2 232 MAT Electroestimulador Megasonic P313 P4 Sport de Medicarim Electrodos desechables
Effects of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump and speed test	Estudio cuantitativo cuasi-experimental	78 atletas nivel medio de velocidad y longitud Edad: 17,94 ± 1,44 IMC: 20,52 ± 1,68 Años entrenando atletismo: 5,64 ± 2,13	8 semanas (2 días/semana) Grupo 1: Control Pliometría + TENS Grupo 2: EMS a 150 Hz + Pliometría Grupo 3: Pliometría + EMS a 150 Hz Grupo 4: EMS a 150 Hz + Pliometría simultánea	Salto ABK Test de 30 m lanzados	Células fotoeléctricas Eleiko Sport R2 232 MAT Electroestimulador Megasonic P313 P4 Sport de Medicarim Electrodos desechables Plataforma contacto ORGANISER PSION 2 Modelo CM

Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes	Estudio cuantitativo cuasi-experimental	98 atletas nivel medio de velocidad Edad: 17,91 ± 1,42 IMC: 20,37 ± 2,68 Años entrenando atletismo: 5,16 ± 2,56	8 semanas ( 2 días/semana) Grupo 1: Control Pliometría + TENS Grupo 2: EMS a 150 Hz + Pliometría Grupo 3: Pliometría + EMS a 150 Hz Grupo 4: EMS a 150 Hz + Pliometría simultánea	Salto SJ Salto CMJ Salto DJ	Cuestionario Plataforma contacto ORGANISER PSION 2 Modelo CM Electroestimulador Megasonic P313 P4 Sport de Medicarim Electrodos desechables
Effect of combined electrostimulation and plyometric training on 30 meters dash and triple jump	Estudio cuantitativo cuasi-experimental	84 atletas nivel medio de velocidad y longitud Edad: 17,94 ± 1,44 IMC: 20,52 ± 1,68 Años entrenando atletismo: 5,64 ± 2,13	8 semanas ( 2 días/semana) Grupo 1: Control Pliometría + TENS Grupo 2: EMS a 150 Hz + Pliometría Grupo 3: Pliometría + EMS a 150 Hz Grupo 4: EMS a 150 Hz + Pliometría simultánea	Triple salto Test 30 m lanzados	Electroestimulador Megasonic P313 P4 Sport de Medicarim Electrodos desechables Células fotoeléctricas Eleiko Sport R2 232 MAT Cinta métrica

Los resultados, discusión y conclusiones del presente estudio quedan detallados en el apartado artículos publicados (pag 125-199). De una forma resumida los principales resultados revelaron que:

Las mayores diferencias entre los test pre y post entrenamiento en el ABK y DJ, tanto en la altura como en la potencia de salto, se obtuvieron en el programa que realizó ejercicios pliométricos posteriores a la aplicación de la EMS ( $p_s < 0.001$ ). El entrenamiento de EMS y PT llevado a cabo de forma simultánea produjo un estancamiento en el rendimiento de los atletas. El ANCOVA 4 (Grupo) x 2 (Momento), realizado sobre la altura (m) y potencia de salto ABK, mostró un incremento significativo de la altura de salto ( $p < 0.01$ ) y de la potencia ( $p < 0.001$ ) del grupo EMS + PT, respecto al grupo Simultáneo, grupo PT + EMS y grupo de Control. No se hallaron diferencias entre el grupo de Control y los grupos PT + EMS, ni respecto al grupo Simultáneo ( $F < 1$ ). Por otra parte, el ANCOVA 4 (Grupo) x 2 (Momento) realizado sobre la altura (m) y potencia de salto DJ, mostró también un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) de la altura y potencia de salto del grupo EMS + PT respecto al grupo de Control, sin embargo, no se halló ningún otro efecto diferencial significativo entre el resto de grupos (**Artículo 1**).

En los primeros 20 m de la prueba de 100 m.l, se obtuvieron los mayores rendimientos en el grupo 4 (Combinación de un día a la semana EMS a 85 Hz + PT y un segundo día de EMS a 150 Hz + PT combinada simultáneamente) tanto entre las medidas pre (previo al entrenamiento) y post (tras 6 semanas de entrenamiento) como entre las pre y descanso (tras 2 semanas de descanso tras el último día de entrenamiento), un 14.76% ( $p < 0,001$ ) y un 4.48% ( $p < 0,05$ ) respectivamente. Para los metros comprendidos entre los 20 y 73 m de la prueba de 100 m.l, se encontraron mejoras en el conjunto de atletas que llevó a cabo un entrenamiento que combinó simultáneamente la EMS a 150 Hz + la PT (Grupo 2) del 4.11% y del 2.61% entre las medidas pre y post y las medidas pre y descanso respectivamente. En los últimos 27 m de la prueba se encontraron mejoras significativas del tiempo especialmente en el conjunto de atletas que llevó a cabo un entrenamiento que combinó simultáneamente la EMS a 150 Hz y la PT (grupo 2) entre las medidas pre y descanso (1.12%) y del grupo 4 (Combinación de un día a la semana EMS a 85 Hz + PT y un segundo día de EMS a

150 Hz + PT combinada simultáneamente) entre las medidas pre y post (2.53%). Por último respecto al tiempo empleado en recorrer los 100 m.l, se encontraron mejoras significativas en el conjunto de atletas que llevó a cabo un entrenamiento que combinó simultáneamente la EMS a 150 Hz y PT (grupo 2), un 2.1% entre las medidas pre y post ( $p < 0,05$ ) y un 2.32% entre las medidas pre y descanso ( $p < 0,01$ ) (**Artículo 2**).

Para la prueba de ABK se obtuvieron los mejores resultados en el grupo que realizó la EMS a 150 Hz previa a la PT 13.51% ( $p < 0.001$ ), siendo estas mejoras significativas a los 15 días de entrenamiento y manteniéndose al menos hasta la 8ª semana. En la prueba de los 30 m lanzados los resultados más significativos fueron los del grupo que empleó la EMS + PT de forma combinada simultánea (7,26% siendo  $p < 0.001$ ), aumentando la significación de los mismos desde la 2ª hasta la 8ª semana (**Artículo 3**).

Los resultados del estudio mostraron mejoras significativas en las tres expresiones de la fuerza: explosiva, explosiva-elástica y explosiva-elástica-reactiva, así el G1 (EMS a 150 Hz combinada simultáneamente + PT) obtuvo los mejores resultados en el SJ ( $p < 0.001$ ), CMJ ( $p < 0,01$ ) y DJ ( $p < 0,01$ ). En el grupo 3 (Combinación de un día a la semana EMS a 85 Hz + PT y un segundo día de EMS a 150 Hz + PT combinada simultáneamente) aparecían diferencias significativas en el salto SJ ( $p < 0,01$ ). No hubo diferencias significativas en cuanto al sexo en ninguno de los resultados de los tres saltos (**Artículo 4**).

Los resultados mostraron como el único grupo que consiguió mejoras significativas en la prueba de 30 m lanzados fue el grupo 4 (EMS 150 Hz + PT) ( $p < 0,001$ ). Para el triple salto tanto el grupo 4 como el grupo 2 (EMS + PT) obtuvieron mejoras significativas, ( $p < 0,01$ ) y ( $p < 0,05$ ) respectivamente. No hubo diferencias respecto al sexo en ninguno de los dos test (**Artículo 5**).

Respecto a la discusión de los resultados detallar que:

Los resultados de mejora de Babault (2007) en la altura de salto DJ (6,6%), fueron inferiores respecto al 7,8 % obtenido por este estudio. Posiblemente esta diferencia sea debida a que Babault no aplicó ninguna contracción voluntaria en sus entrenamientos y a que la intensidad de corriente fue inferior. Aunque los resultados de

investigaciones sobre los efectos de la EMS en la fuerza son mayoritariamente satisfactorios, también existe disparidad en los mismos; Hainaut (1992) y Venable (1991) no encontraron diferencias significativas. Es posible que las diferencias se debieran a la baja frecuencia que utilizaron (50 Hz). Ward (2002) afirmó que se conseguían mejores resultados combinando la EMS y el ejercicio voluntario por dos motivos: por un lado, el hecho de realizar el doble de ejercicio, y por el otro la inversión de reclutamiento de fibras que se producía con la EMS. Aunque Cometti (1998) afirmó que se obtenían mejores resultados de altura de salto y potencia cuando se combinaba adecuadamente el ejercicio voluntario con la EMS, y que para alcanzar la misma fuerza el uso de la EMS junto con el ejercicio voluntario reducía el tiempo necesario en una proporción de 1/3, se evidenció que existían otros componentes que eran determinantes en el procedimiento de este método de entrenamiento: por una parte, la combinación de la EMS con el entrenamiento voluntario de PT, y por otra, el orden de aplicación durante el entrenamiento (**Artículo 1**).

El análisis de resultados permitió informar de dos aspectos importantes. Primero, que la frecuencia de corriente y el momento en el que se realiza la PT debían depender de la expresión de la fuerza que quiera ser entrenada. Así Little (2005) concluyó que los test específicos y los entrenamientos deberían adecuarse al componente de la velocidad que quisiera ser testado o mejorado. Por otro lado, González (2002) demostró que el entrenamiento que influía directamente en una manifestación de la fuerza, no afectaba a las otras. Esto estaría de acuerdo con los resultados del presente estudio en los que se demostró que para mejorar los primeros 20 m de la prueba global de 100 m, se empleaba una frecuencia y orden de EMS y PT diferentes de los ideales para mejorar en los últimos metros de la prueba. Brocherie (2005) obtuvo resultados significativos positivos con una frecuencia de corriente de 85 Hz en la prueba de 10 m, pero no en la de 30 m posiblemente debido a que en esta última, la expresión explosiva –elástica adquiriría un mayor protagonismo que la explosiva y debía ser trabajada con una frecuencia diferente (Meañes, 2002; Little, 2005). Igualmente Maffiuletti (2009) obtuvo mejoras del 3.3 % en la prueba de 10 m con una frecuencia de 85 Hz. Por otro lado, hay autores que no coinciden con estos resultados: Billot (2010) no encontró resultados significativos en la prueba de 10 m, al igual que Herrero (2010) en la prueba de 20 m. Esto posiblemente fue debido a las altas frecuencias de corriente empleadas en estos estudios (100 Hz y 120 Hz respectivamente) que se corresponden con un entrenamiento

específico de la manifestación explosivo-elástica de la fuerza. Respecto a la manifestación explosiva-elástica-reactiva, estaría representada en los últimos 27 m de carrera (Vittori, 1990; Cronin, 2005; González, 2002). En este caso la aplicación de la EMS a 150 Hz de frecuencia combinada simultáneamente con pliometría, parecía ser el método más adecuado. Así autores como Maffiuletti (2002) que empleó una frecuencia de 120 Hz, o Benito (2010) que realizó la aplicación simultánea de ambos métodos, parecían estar de acuerdo con estos resultados. En cuanto a los metros intermedios de la carrera (20 – 73 m) donde la manifestación explosiva-elástica tomaba más importancia (Vittori, 1990; Cronin, 2005; González, 2002), nuestros resultados mostraban como el grupo 2 (EMS a 150 Hz combinada simultáneamente con PT) obtenía resultados más significativos. En esta fase el reclutamiento y la sincronización instantánea del mayor número de unidades motoras es menos importante, cobrando mayor relevancia el componente elástico (González, 2002) que se pierde con la EMS (Maffiuletti, 2000) por lo que es importante la aplicación de la PT simultánea para mantener la transferencia (Benito, 2010; González, 2002) **(Artículo 2)**.

Respecto a los resultados de ABK, la aplicación de la EMS previa a la PT consiguió mejores resultados que otras combinaciones, quizás porque el músculo previamente estimulado era más activo y receptivo a los ejercicios pliométricos (Jubeau 2008). Respecto a la prueba de 30 m lanzados los mejores resultados los conseguía el grupo que realizaba EMS y PT de forma combinada simultánea. Billot (2010) consiguió mejoras en los test de velocidad y Miller (1993) demostró que la combinación de la EMS y el ejercicio voluntario conseguía que estas mejoras se produjeran con menos sesiones de entrenamiento. Las diferencias en el orden de aplicación de la EMS y la PT en un entrenamiento de salto o velocidad se derivaban del hecho de que si se aplicaba la PT tras la fatiga inducida por la EMS, el ejercicio de PT se centraba más en la potencia muscular necesaria en el salto (Cometti, 2002), por otro lado si se combinaban ambos métodos de manera simultánea, el trabajo se realizaba sobre el control motor y la propiocepción que cobraban mayor importancia en la velocidad (Paillard, 2008) **(Artículo 3)**.

En el SJ los resultados del G1 (150 Hz EMS + PT), un 28,02% de mejora en la altura de salto, fueron similares a los obtenidos por Maffiuletti (2002) con un programa de entrenamiento de EMS (115-120 Hz) + PT en jugadores de voleyball (21,4%).

Babault (2007) consiguió mejoras de un 10% en jugadores de rugby tras realizar un protocolo de EMS + pesas. Respecto a los resultados de mejora en el CMJ obtenidos por el G1 (150 Hz EMS + PT), son algo mayores (13,67%) a los obtenidos por Maffiuletti (2000) o Billot (2010), 8,3% y 6,7% respectivamente. Seguramente se deba a que estos autores emplearon frecuencias de corrientes menores a las de este estudio (85 Hz y 100 Hz frente a 150 Hz). Finalmente en el DJ sólo se observaron mejoras significativas en el G1. El porcentaje de mejora, un 3,81% fue algo inferior al obtenido por Babault (2007) 7,06% y Benito (2010) 11,2% (**Artículo 4**).

La prueba de 30 m lanzados ha sido utilizada como test de velocidad en varios estudios. La mejora conseguida a través de un entrenamiento combinado simultáneo de EMS y PT está en consonancia con los resultados de otros estudios así, Maffiuletti (2009) consiguió mejoras de un 2,4 % aunque con una frecuencia de corriente inferior y Herrero (2006) un incremento de un 3,3% utilizando un tiempo de reposo de 30 s frente a los 12 s empleados en este estudio. Sin embargo no todos los estudios obtuvieron mejoras en los test de velocidad; Babault (2007), Billot (2010), y Brocherie (2005) no encontraron mejora alguna. Esto pudo ser debido a que al no complementar la EMS con un ejercicio voluntario, no se trabajaba la coordinación agonista-antagonista muscular y a que no se conseguía un reclutamiento masivo de fibras musculares (durante la EMS el reclutamiento de fibras es inverso al de la contracción voluntaria y al combinar ambas técnicas se consigue el reclutamiento masivo de fibras musculares (Paillard, 2008)) (**Artículo 5**).

## Conclusiones

La combinación de la EMS y la PT como método de entrenamiento debe ser diferente según la disciplina atlética a mejorar. El entrenamiento combinado de EMS y PT debe variar según la manifestación de la fuerza que quiera ser mejorada.

El efecto del entrenamiento combinado de EMS y PT está determinado por el orden de aplicación de ambos métodos. La aplicación previa de la EMS a la PT incrementa sustancialmente la altura y potencia de salto de SJ, CMJ, ABK, DJ y triple salto, sin embargo, para mejorar la velocidad de 100 m.l el atleta debe trabajar de forma simultánea (EMS + PT) y a una frecuencia de estímulo de 150 Hz.

La aplicación de la EMS a alta frecuencia y la combinación simultánea con la PT consigue mejoras en las tres manifestaciones de la fuerza (explosiva, explosiva-elástica y explosiva-elástica-reactiva).

En la aplicación del entrenamiento combinado de EMS y PT el género no es un factor determinante.

El número de sesiones de entrenamiento combinado (EMS + PT) necesario para la obtención de mejoras en el rendimiento es menor en las pruebas de saltos que en las de velocidad.

Las mejoras en los tiempos de velocidad conseguidas por el entrenamiento combinado simultáneo de EMS y PT se mantienen hasta al menos dos semanas después de la aplicación del mismo.

Finalmente, no quería cerrar este epígrafe sin mi agradecimiento a mis Directores de Tesis Doctoral, Dr. D. Emilio J. Martínez López y Dr. D. Amador Lara Sánchez, por su implicación en el presente estudio, sus consejos y el apoyo prestado. Gracias por la confianza depositada en mi persona.

A Ángel Basas por iniciarme en el mundo de la Electroestimulación y por permitirme seguir aprendiendo de la Fisioterapia en el deporte de alto nivel día tras día.

Al Dr. Valentín Rocandio por trasmitirme sus conocimientos y experiencias sobre velocidad.

A D. Agustín Pérez Barroso por su educación en el deporte y su ayuda en este trabajo, sin él hubiera sido imposible realizarlo. Gracias por introducirme en el gran mundo del atletismo que se ha convertido en mi vida.

A D. Javier Gutiérrez Hernández por toda la ayuda prestada sobre planificación deportiva para este proyecto.

A todos y cada uno los centros colaboradores en este trabajo, y a todos los atletas que han formado parte de él. Mi gratitud por vuestra dedicación y paciencia.

A mis familiares, amigos, y a Mario, Miguel, y Begoña, por la lealtad y comprensión mostrada. Gracias por ser como sois.

A todas las personas que de una u otra forma han colaborado en esta investigación.



## Abreviaturas

A	Amperio
ABK	Abalakov
a.C	Antes de Cristo
ADP	Adenosin Di Fosfato
ATP	Adenosin Tri Fosfato
Bif. Simet. Cuad.	Bifásica Simétrica Cuadrada
Ca <sup>2+</sup>	Calcio
CK	Creatina
Cm	Centimetro
CMJ	Salto de Contramovimiento
CVM	Contracción Voluntaria Máxima
D	Día
d.C	Después de Cristo
DJ	Drop Jump
EMS	Electroestimulación Neuro Muscular
E. Explosiva	Expresión Explosiva
E. Explosiva-elástica	Expresión Explosiva Elástica
E. Explosiva-elástica-reactiva	Expresión Explosiva-elástica-reactiva

GH	Hormona de crecimiento
H	Hora
Hz	Hercio
IMC	Indice de masa corporal
K+	Potasio
Kg	Kilogramo
KHz	Kilo Hercio
m	Metro
μA	Micro Amperio
min	Minuto
Mg	Miligramo
m.l	Metros Lisos
Mm	Milimetro
m.v	Metros Vallas
mseg	Milisegundo
Na+	Sodio
O <sub>2</sub>	Oxígeno
Pag	Página
PCr	Fosfocreatina
RNM	Resonancia Nuclear Magnetica

s	Segundo
Sem	Semana
SJ	Squat Jump
V	Voltio
VD	Variable Dependiente
VI	Variable Independiente
VO <sub>2</sub>	Volumen de Oxígeno
Ω	Omnio
Mseg	Micro segundos
RJ15	Salto repetidos durante 15 s



## **Fundamentación Teórica**

**1º**

**- DEFINICIÓN Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR Y LA PLIOMETRÍA. CLASIFICACIÓN DE LAS MANIFESTACIONES DE LA FUERZA -**



## 1. Definición y evolución histórica de la electroestimulación neuromuscular y la pliometría. Clasificación de las manifestaciones de la fuerza

### 1.1 Historia de la electroestimulación neuromuscular

La etimología de la electroterapia consiste en “*la terapéutica a través de la electricidad*” y se compone del vocablo electro del latín electrum y del griego electrón (ámbar, electricidad) y del sufijo terapia del griego therapèia (Meaños, 2002).

Desde que los antiguos griegos y romanos utilizasen las descargas eléctricas del pez torpedo como cura a los ataques de gota (Aristóteles, 284 a.C-322 a.C) o a las cefaleas crónicas (Galeno 130 d.C-200 d.C), hasta que Luigi Galvani (1737-1798) realizase experimentos sobre la contracción muscular en animales desencadenada por un efecto eléctrico, han sido muchos los pasos dados encaminados a perfeccionar y estudiar los efectos de la electricidad sobre el tejido nervioso o muscular.

La historia de la electroterapia es como mínimo amplia en el tiempo y abarca desde el uso del pez torpedo (400 a.C) hasta la actualidad, parando en los años 70, momento en el que el ruso Kots (1970) comenzó a utilizar este método como forma de entrenamiento y no únicamente como herramienta terapéutica.



Figura 1. Aparato de electroestimulación de media frecuencia combinado con ultrasonido. Marca comercial ENRAF NONIUS. Ancho impulso (100-400 mseg, frecuencia 1 -200 Hz).

La producción de corriente eléctrica por algunos peces se conocía desde la época de los egipcios, se trataba del pez gato del Nilo (*Malopterurus electricus*) que aparece dibujado en muchos murales de antiguas tumbas, la más longeva se remonta al año 2750 a.C (Chau, 2007). De este hecho no se deriva que los egipcios tuvieran o no conocimiento de lo que la electricidad podía suponer o conseguir, pero desde luego temían a ciertos peces que generaban una energía natural cuando se entraba en contacto con ellos.



Figura 2. Los antiguos egipcios conocían los efectos de la electricidad por el bagre del Nilo (*Malopterurus electricus*), el cual es representado entre otras especies de peces comunes en este detalle de un bajorrelieve, cerca de la tumba de Ti perteneciente a la Quinta Dinastía en Saqqarah (2750 a.C).

Fuente: Chau, H. 2007. El pez eléctrico y el descubrimiento de la electricidad animal. *Elementos*, 65 (14), 49.

Aunque se considera a Thales de Miletus como el padre de la electricidad por descubrir hacia el año 600 a.C que la frotación del ámbar (*elektrón*) conseguía la atracción de plumas, hubo que esperar hasta Aristóteles (348-322 a.C) para el comienzo del uso de dicha propiedad con fines terapéuticos. Aristóteles descubrió como las electro placas de los laterales de la cabeza del pez torpedo que utilizaba éste para paralizar a sus presas, podían aliviar los ataques de gota mientras el pez vivo era

colocado sobre la zona dolorosa. Esto era debido a las fibras nerviosas que llegaban a las electroplacas, capaces de invertir la polaridad y producir así descargas eléctricas.

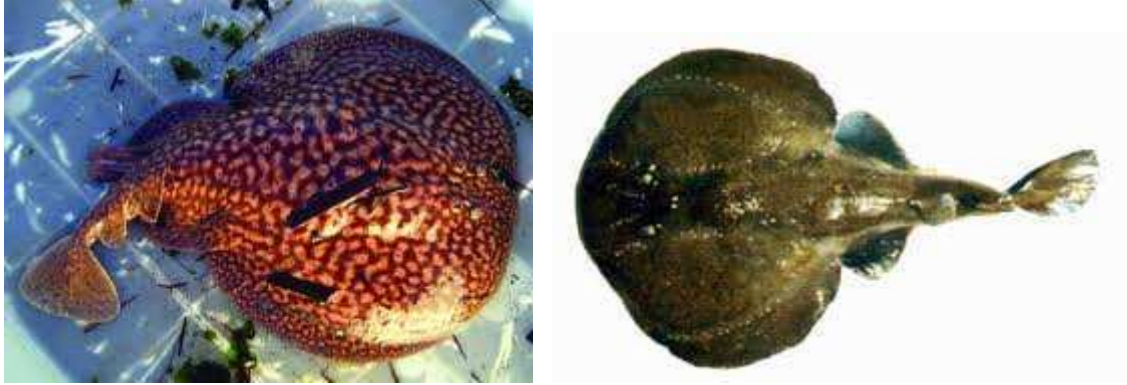


Figura 3. Pez torpedo del género de elasmobranquios torpediniformes de la familia Torpedinidae, conocidos popularmente como peces o rayas torpedo. Fuente: <http://www.walchata.es/?p=774> y <http://www.elchenque.com.ar/ran/pez/torpedo.htm>

Más tarde, en la antigua roma, Galeno (130-200 d.C) utilizó este mismo pez para la terapéutica de las cefaleas crónicas. Pero fue en el año 46 d.C cuando Scribonius Largus, médico y veterinario, describió el primer protocolo de electroterapia para el tratamiento de los dolores articulares. Así en el libro *Compositions Medicamentorum*, publicado en 1786 por la Universidad de Strasburgo, se citó “...para todos los tipos de gota se debería utilizar una trimielga negra (pez torpedo), que habría que poner viva debajo de los pies del paciente; el enfermo tiene que estar en la orilla de la playa, en el lugar donde rompen las olas, y permanecer en esa posición hasta que la pierna se haya vuelto insensible” (Boschetti, 2002).

El uso de la electricidad generada por estos peces tuvo grandes diferencias entre occidente y el resto del mundo. Mientras en occidente la corriente eléctrica era utilizada por su propiedad adormecedora, en el resto del planeta se utilizaba su poder estimulador para curar la gota como los antiguos nativos de las Américas a través de la anguila eléctrica (*Electrophorus electricus*, anteriormente *Gymnotus electricus*), un pez de agua dulce que vivía en los ríos Amazonas y Orinoco capaz de generar hasta seiscientos voltios, o el tratamiento de la ptosis o caída del párpado en la antigua China a través del pez gato eléctrico (*parasilurus asota*) (Chau, 2007).

Pasaron varios siglos hasta que William Gilbert (1544-1603) afirmara en su libro *De magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure (Acerca del magnetismo, cuerpos magnéticos y el gran imán de la tierra)* que no sólo el ámbar adquiriría propiedades eléctricas con el frotamiento y clasificara las sustancias en *cuerpos eléctricos* (actualmente conductores) y *cuerpos eneléctricos* (actualmente aislantes). Pero a pesar de ser el padre del electromagnetismo moderno y ser médico de la corte de Isabel I de Inglaterra, le cedió a su colega Jabalbert, médico genovés, el honor de aplicar este medio físico a la terapéutica.

En el año 1663, se produjo otro gran avance para la electroterapia al fabricarse el primer generador electrostático. Fue obra de Otto Von Guericke quien describió después los pasos para su fabricación, en 1672, en su libro *Experimenta nova Magdeburgica*: se trataba de una bola de azufre sólido colocada en un eje metálico que se apoyaba sobre un soporte de madera que a través de unas poleas hacían girar la bola. Al friccionarla se cargaba de forma negativamente. Son varios los investigadores que confirmaron el funcionamiento de esta máquina y realizaron modificaciones sobre la inicial: Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) confirmó la producción de chispas por frotación en su libro *Hipotesis Physic Nova*, Francis Hauskbee substituyó la bola de azufre por un cilindro de cristal o la máquina de Ramsden (1768) que perfeccionó la estructura y es la que se utilizó en los laboratorios de física del siglo XIX (Meaños, 2002).

Tuvieron que aparecer nuevos científicos que aplicaron esta nueva máquina a la terapéutica, así Nairne, Winter y Armstrong (1850) instalaron conductores a los lados que permitieron recibir la electricidad negativa y positiva.

En 1729 un inglés, Stephen Gray, consiguió transmitir electricidad a través de un conductor y cuatro años más tarde el francés Charles-François de Cisternay du Fray (1698-1739) describió como el comportamiento de dos tapones de corcho era diferente si se frota ambos con vidrio o resina o cada uno con un material diferente provocándose repulsión o atracción respectivamente. Benjamín Franklin (1706-1790) recalcó además que la electricidad era capaz de pasar de un cuerpo a otro así, cuando se frota el vidrio, la electricidad fluía hacia el interior de éste (se cargaba positivamente) y se observaba el efecto contrario cuando lo que se frota era el ámbar. Esto es el principio fundamental de la iontoforesis, aplicación terapéutica de corriente continua que permite la introducción de medicamentos en el organismo (Climent, 2001).

El francés Jean Théophuile Desaguliers diferenció en 1740 sustancias conductoras y sustancias aislantes (Meaños, 2002).

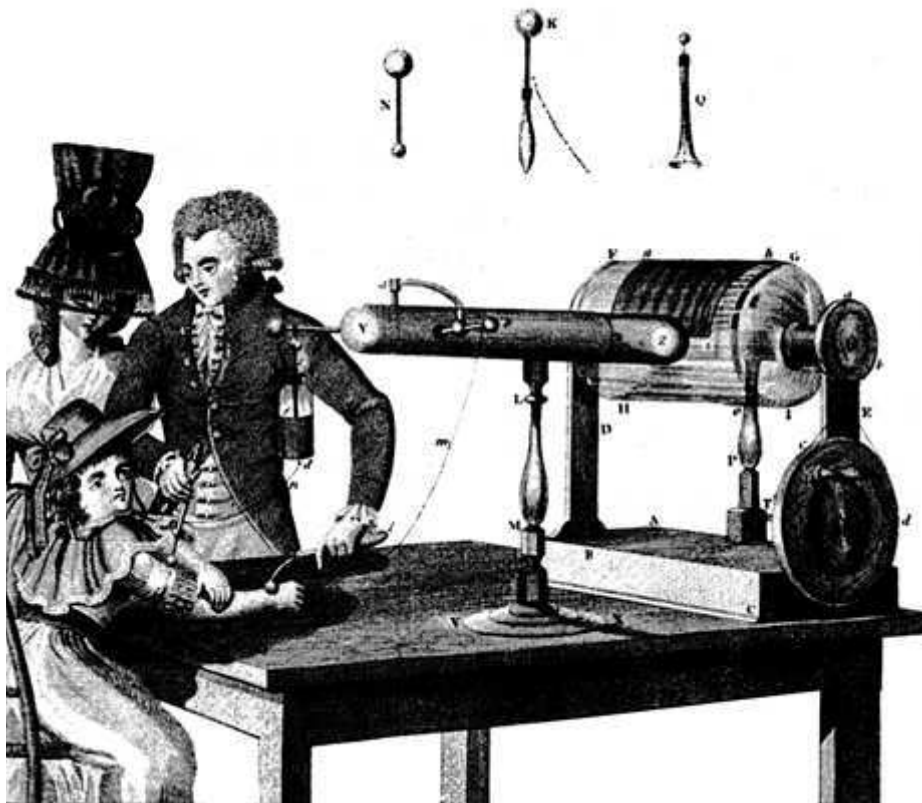
Gracias a todos estos descubrimientos sobre electricidad apareció en 1745 de la mano del alemán Christian Gottlieb Kratzenstein, el primer libro de electroterapia. Hablaba de los efectos biológicos derivados de la aplicación de electricidad al cuerpo humano describiendo un aumento de pulso y la aparición de un sueño reparador. Se describieron como indicaciones del tratamiento eléctrico las parálisis así como las enfermedades nerviosas y de la sangre. A partir de este año comenzaron a ser varios los científicos que aplicaban la electricidad como cura en pacientes parálíticos (Jean Antoine Mollet en París en 1746) o en parálisis (Jean L. Jallabert en Berna en 1748).

En 1748 el inglés William Watson publicó *Expériences et observations pour servir a l'explication de la natura et des propriétés de lélectricité*. Con este libro se introdujo en Europa los conocimientos de Franklin y se demostró como el paso de la corriente tiene lugar en ausencia de aire. Además trató de determinar la velocidad de propagación de la misma.

Ya sabían que sustancias transmitían la corriente y cuales no, incluso habían determinado su velocidad de propagación en el vacío, así que el nuevo gran descubrimiento que vino dado de la mano de E.G. Von Kleist (1700-1748) fue la posibilidad de acumular la carga eléctrica en un condensador. Este autor inventó la Botella de Leyden, el primer condensador eléctrico en 1745, que supuso una nueva herramienta para el tratamiento de enfermedades.

En 1766 se midió la fuerza eléctrica de la corriente en base a la magnitud del dolor que producía cuando se aplicaba al cuerpo. Este experimento lo realizó el inglés Henry Cavendish que perpetuó sus estudios en el libro *On Fractious, Airs* (Chau, 2007).

Bekensteiner (1741-1800) modificó la maquinaria eléctrica convencional variando el conducto metálico y transformándolo en una esfera. Además afirmó que el hecho de utilizar un metal u otro como objeto excitador (oro, cobre, plata, antimonio...) concedía las mismas propiedades que cuando se administraban dicho elementos de forma oral como sustancias farmacológicas. Dijo también que cualquier estado patológico del cuerpo, se debía a una variación y desequilibrio de su fluido eléctrico normal (Meaños, 2002).



*Figura 4. La pequeña botella de Leyden (próxima al brazo del hombre) está siendo usada aquí para almacenar la electricidad generada por la máquina electrostática de la derecha. La botella de Leyden es un simple capacitor elaborado con una botella de vidrio cubierta tanto en su interior como en su exterior con papel metálico; su invención a mediados del siglo XVIII hizo posible el empleo de cantidades significativas de electricidad para experimentos científicos y, tal como se muestra en la figura, para propósitos supuestamente terapéuticos. Fuente: Chau, H. (2007). El pez eléctrico y el descubrimiento de la electricidad animal. Elementos, 65 (14), 49.*

En 1777, Agustín de Coulomb determinó como la fuerza con que se repelían o atraían dos sustancias dependía de la distancia que las separara. Hasta aquí habían sido varias las experiencias llevadas a cabo con la electricidad sobre el cuerpo o tejido humano, cura de cefaleas, ptosis, gota, medida de intensidades según el dolor, fuerza eléctrica según la distancia de las sustancias, pero faltaba conocer que ocurría fisiológicamente cuando una corriente eléctrica era aplicada al organismo y sin estos datos, la electroterapia como medio terapéutico no podía prosperar.

En Italia, Luigi Galvani (1737-1798) sembró las bases de esta fisiología al aplicar una corriente eléctrica a través de la médula espinal de una rana muerta y

conseguir movimiento de los músculos de las patas. Los movimientos de las patas continuaban una vez se había interrumpido la corriente eléctrica. Todo esto fue expuesto en 1791 en su obra *De Viribus electricitatis in motu musculari commentarius*. Con este experimento Galvani concluyó que la corriente se producía en los músculos, algo con lo que no estuvo de acuerdo Alessandro Volta quien pensaba que todo dependía de los metales que había utilizado Galvani para sujetar la rana y de la humedad existente entre ellos. De esto derivó en 1800 la invención de la pila voltaica, uno de los más importantes descubrimientos sobre la electricidad, que permitió obtener una corriente eléctrica continua y estable (Martínez, 2003).

Muchos autores utilizaron los aparatos galvánicos en sus aplicaciones terapéuticas: Hallé (1840) lo empleó en parálisis facial, Onimus (1856) estudió su efecto sobre arterias y Ritter (1776-1810) aprendió como variaciones bruscas de intensidad contraían el músculo (Meaños, 2002).

En 1831 una nueva corriente fue descubierta de la mano de Michael Faraday, ha llegado hasta nuestros días y continua utilizándose para pruebas de diagnóstico o como base para corrientes excitomotoras. Se trataba de una corriente alterna unidireccional con un ancho de impulso comprendido entre los 0.1 y 1 mseg y una frecuencia de 50 o 100 Hz. El tiempo de contracción era de 2 s y el de reposo de 6 y presentaba una continua modulación de la amplitud, su nombre: corriente farádica. A través de estas corrientes Magendie y Béquerel trataron varios tipos de neuralgias (Meaños, 2002).

El siglo XIX presentó una bifurcación de caminos: por un lado los fisiólogos continuaban con la idea de Galvani y la detección de corriente eléctrica animal. Matteucci (1926-2006) describió un potencial eléctrico en el músculo vivo y Bois-Reymond en Berlín obtuvo el primer registro de actividad eléctrica derivada de la contracción muscular. Bernard a través de la estimulación eléctrica de los nervios, describió la contracción muscular y las funciones del sistema nervioso autónomo (Climent, 2001). Por otro lado los clínicos como Duchenne de Boulogne (1806-1975) (considerado el padre de la electroterapia) se encaminaron a conseguir la estimulación eléctrica del músculo de forma transcutánea a través de electrodos de superficie (Boschetti, 2002). Muchas de las aplicaciones de este autor reflejadas en su obra *De lélectrisation localisée et son application à la phatologie et à la thérapeutique* son utilizadas aun en la clínica actual como el concepto de punto motor o la estimulación en

distrofia muscular o parálisis braquial. Remak (1815-1865) fue el que continuó con el estudio de los puntos motores definiéndolos como el lugar de entrada del nervio al músculo y estableció un mapa de los mismos. En cuanto a la parte diagnóstica de la clínica hay que destacar a Erb (1840-1921), un neurólogo alemán que utilizó la corriente para diagnosticar la excitabilidad de los nervios la cual clasificó según la periodicidad de los estímulos. Este fue el punto de partida de las curvas de intensidad/tiempo (Herrero, 2006) y pudo con ello medir el grado de lesión de la neurona motora periférica (Meaños, 2002). Tras estos estudios apareció una nueva línea de trabajo en la que Hooweg y Weiss (1901) dieron mayor importancia a la necesidad de considerar el factor tiempo y estudiaron como la intensidad de la contracción variaba según el tiempo de aplicación del estímulo eléctrico y según la intensidad del mismo (Martínez, 2003).

En 1907, Lapique describió las curvas de intensidad / tiempo y dos años más tarde en 1909 introdujo los conceptos de cronaxia y reobase así como la relación entre intensidad y duración de estímulo necesaria para alcanzar la excitabilidad del tejido diana (Climent, 2001). Siguiendo con estos estudios en 1919, Bourguignon estableció la cronaxia propia de cada músculo sentando las bases del electrodiagnóstico para que en 1941 Bauvens logre las primeras experiencias prácticas (Meaños, 2002).

Bernard (1920-1950) inventó las corrientes de Bernard o diadinámicas consistentes en una corriente alterna de 50 Hz de una duración de pulso de 10 mseg y otros 10 mseg de reposo. Variando el tipo de onda y fase se obtenían las diferentes corrientes: monofásica fija, difásica fija, cortos periodos, largos periodos y ritmo sincopado. Tras estas corrientes, Nemeč (1930) debido a la desagradable sensación de corriente derivada de su baja frecuencia, inventó las corrientes interferenciales (Delitto, 1989).

En 1952 Levine Knott y Rabat estudiaron las posibilidades de estimular eléctricamente los músculos antagonicos y espásticos. Ocho años más tarde en 1961, Liberson elaboró los protocolos necesarios para las aplicaciones funcionales de la EMS en "*funcional electrical stimulation*" (Boschetti, 2002).

En 1965 se desarrollaron de la mano de Melzack y Walls las corrientes TENS (estimulación eléctrica transcutánea) derivadas de la teoría de la "puerta control". Y en 1971 Sibilla propuso una técnica para la aplicación transcutánea de la estimulación eléctrica en el tratamiento de la escoliosis idiopática. Previo a esto, en 1969, Colombo

había introducido las aplicaciones funcionales de la estimulación eléctrica en Italia (Martínez, 2003).

En 1970 aparece por primera vez la EMS como método de entrenamiento. Las grandes exigencias del deporte de élite, motivadas por el incansable espíritu de superación, han desembocado en la búsqueda de nuevas técnicas y métodos que eleven las marcas de los atletas a cifras inimaginables (Benito, 2010).

El ruso Kots comenzó a utilizar este tipo de terapia en atletas de élite sanos, con el fin de aumentar la fuerza muscular, empleando este método como complemento al entrenamiento convencional (Lake, 1992). Su método fue cinco años después revisado en 1975 por Anzil, Modotto, y Zanon, que persiguieron desarrollar aún más los estudios de Kots buscando mejoras en el rendimiento deportivo a través de la EMS (Zanon, 1989).

Kots utilizó en su método una corriente alterna de 2,5 Khz con ráfagas moduladas de 50 Hz con un 50% del ciclo. Aplicó la corriente en el cuádriceps del deportista durante 10 min, con un tiempo de impulso de 10 s y 50 de reposo (Ward, 2002).

Los resultados de Kots fueron muy alentadores y hasta ahora nadie ha logrado mejoras similares en cuanto al aumento de fuerza muscular. El ruso consiguió un incremento del 40% que Ward justificó afirmando que esos trabajos de Kots fueron empleados en atletas jóvenes de 15 a 17 años, con un gran margen de mejora.

Tras estos primeros estudios de Kots, han sido muchos los autores que han utilizado la EMS con el fin de aumentar la fuerza muscular. Quizás el gran problema a la hora de realizar un protocolo bien definido sea la gran heterogeneidad de los parámetros de corriente empleados.

En 1980 Portman consiguió un incremento del 28% en la fuerza, Cometti demostró en 1998 la posibilidad de aumentar a través de este método la manifestación explosiva de la fuerza y en 1996 Capanna, Sassi, y Tibaudi consiguieron mejorar la resistencia a la velocidad en futbolistas (Boschetti, 2002).

## 1.2 Historia de la pliometría

La palabra pliometría proviene de la raíz latina plyo + metric traducida como aumento medido, y consiste en el aprovechamiento muscular de la fase excéntrica de un movimiento previo a una contracción concéntrica del mismo. La pliometría intenta agudizar la excitabilidad del sistema nervioso para mejorar la capacidad de reacción del sistema neuromuscular. El objetivo por tanto es reducir el tiempo entre la fase excéntrica y la concéntrica de forma que la fisiología del ciclo estiramiento-acortamiento va a depender de los reflejos propioceptivos y de las propiedades elásticas musculares (Prentice, 2009).

Secenov, fisiólogo, habló hace ya 100 años sobre “*la función de muelle del músculo*”, refiriéndose claramente a la capacidad del músculo de realizar un ciclo de estiramiento-acortamiento (Verkhoshansky, 1999). Aun así, Verkhoshansky parece ser considerado como el padre de la pliometría por muchos autores y entrenadores, situando el inicio de este método en uno de sus entrenamientos a finales de los años 50 cuando entrenaba al equipo de atletismo de Moscú, en su libro “*Todo sobre el método pliométrico*”. Parece ser que en un entrenamiento de musculación a base de flexiones profundas de rodilla, Verkhoshansky propuso a sus atletas realizar únicamente media flexión con la idea de poder levantar de esta forma mayor peso. El resultado fue espectacular tanto positivamente: un 55% de incremento en el peso levantado, como negativo: ningún atleta fue capaz de entrenar al día siguiente por sobrecargas lumbares (Verkhoshansky, 1999). Además, este autor se dio cuenta como los mejores saltadores de triple, eran aquellos que invertían el menor tiempo en los apoyos, lo que suponía realizar una gran fase excéntrica de la musculatura y poder transformar rápidamente un movimiento excéntrico en un concéntrico efectuando un cambio de dirección.

Los impresionantes resultados de Borzov, atleta ruso entrenado por Verkhoshansky en Munich 1972, activaron el interés de EEUU Fred Wilt (Chu, 1999).



*Figura 5. Salto pliométrico. Se llamó también en un principio entrenamiento de multisaltos o ciclo de acortamiento-estiramiento. Elaboración propia.*

En los años 60, Margaria, médico e investigador, afirmó que la producción de fuerza era mayor cuando se realizaba una contracción excéntrica seguida de una concéntrica que cuando únicamente se realizaba la contracción excéntrica. Sus investigaciones fueron utilizadas por la NASA y aplicadas a los primeros astronautas. En 1966, Zaciorskiji, basándose en los trabajos de Margaria desarrolló un método de entrenamiento que mejoraría las acciones explosivas, y lo llamó pliométrico (Zanon, 1989).

Lo que hoy entendemos como pliometría comenzó a utilizarse por los entrenadores de diversos deportes como gimnasia, atletismo o halterofilia en los países de Europa oriental durante la década de los 70. En un primer momento se refirieron a este tipo de entrenamiento como entrenamiento de multisaltos y no fue hasta 1975 cuando el estadounidense Fred Wilt utilizó por primera vez el término Pliometría (Chu, 1999). Se ha hecho referencia también a la pliometría como el ciclo de estiramiento acortamiento (stretch-shortening cycle) (Malisoux, 2006) presente en muchos de los saltos utilizados como entrenamiento o test de campo: DJ, ABK, y CMJ (Markovic, 2007).

Comenzó a atribuírsele a este método los impresionantes avances en materia de velocidad y salto de los atletas soviéticos que encontraban en este entrenamiento la forma de unir la fuerza y la velocidad de movimiento para generar potencia (Chu, 1999).

En la década de los 80, los entrenadores de otros deportes comenzaron a darse cuenta de la posibilidad de aplicar este método en sus disciplinas, así deportes como el voleibol, el levantamiento de peso, patinaje o fútbol americano se beneficiaron de esta nueva herramienta.



Figura 6. La pliometría es uno de los mejores métodos para realizar la transferencia de la fuerza a la velocidad. Elaboración propia.

A partir de aquí cada vez son más los entrenadores o preparadores físicos que utilizaron el método pliométrico con efectos positivos en el rendimiento de sus deportistas. Según palabras del segundo entrenador del equipo de fútbol americano Giants NFL Jhonny Parket “desde el momento que conocí la metodología soviética de entrenamiento y el método pliométrico, he comenzado a comprender como combinar

*racionalmente el entrenamiento de fuerza y el entrenamiento cíclico en la preparación anual de los Giants” (Parker, 1987).*

En 1998, Cometti publicó su obra *Pliometría* en la que además de exponerse la planificación de la misma a lo largo de la temporada, así como la utilización de diferentes ejercicios, se aportó la definición de los tres principios del entrenamiento pliométrico: En primer lugar, el principio basado en la colocación del segmento productor de fuerza. Se había probado con otros tipos de fuerza, pero al adecuarlo a la pliometría, Cometti consiguió ajustar el desarrollo de la fuerza polimétrica al momento de la temporada. Este primer principio estaba fundamentado en la anatomía. Como segundo principio, basado éste en la cinemática, Cometti consiguió vencer una de las mayores críticas que se habían realizado hasta entonces contra el método pliométrico al adaptar éste a las diferentes disciplinas deportivas (Cometti, 1998b).



*Figura 7. La rapidez con que se realice la fase concéntrica del salto, será determinante para la fuerza desarrollada en la fase excéntrica del mismo. Elaboración propia.*

Por último, las variaciones de tensiones que permitían ajustar la contracción concéntrica, isométrica o excéntrica, en diferente orden y prioridad, lo que permitía optimizar el rendimiento (Cometti, 1998b).

Bompa, en su libro *entrenamiento de la potencia aplicado a los entrenamientos*, aseguró como el rendimiento específico de varias disciplinas se basaba en las acciones deportivas realizadas a la máxima velocidad como podían ser saltos o lanzamientos, aceleraciones o desaceleraciones. La correcta realización de estas acciones dependía de la expresión explosiva máxima de la fuerza así como de la potencia. Además estas acciones se basaban en el ciclo de estiramiento-acortamiento y del limitado tiempo empleado entre la fase excéntrica y la concéntrica. Habló también de la importancia que tiene la rapidez con que se realiza la fase concéntrica durante todas estas acciones, independientemente de la efectividad de la fase excéntrica. Así para mejorar los resultados, la velocidad de la fase concéntrica debía aumentar (Bompa, 2004).

Para Vittori (1990), se trataba de “*la manifestación explosiva reactiva de la fuerza*”, la representación más comprometida de todas ellas, aquella en la que debía levantarse el mayor peso posible en la menor cantidad de tiempo y con una amplitud limitada.

Este método ofrece varias ventajas, por un lado el aumento de la capacidad de salto y la mejora de la coordinación intramuscular (Kotzmandist, 2006; Markovic, 2007), y por otro, el hecho de no presentar inconvenientes importantes para el atleta, siempre y cuando no se utilice en estados en los que no convenga una sobrecarga mecánica intensa de la musculatura, es decir, en periodos de desentrenamiento o sobreentrenamiento, tras una lesión, o en el tiempo previo inmediato a una competición (Takano, 2010). Desde hace varias décadas, la mayoría de los resultados en atletas tras un entrenamiento pliométrico han ofrecido una alta eficacia ya que mejora significativamente tanto la fuerza explosiva como la explosiva-elástica (Herrero, 2006; Maffiuletti, 2008; Markovic, 2007; Verkhoshansky, 1999).

Para Verkhoshansky, las dos ventajas principales del método radicaban en el hecho de “... *tratarse de un medio simple que permite aumentar el rendimiento mecánico de cualquier acción motora deportiva que exija efectuar un elevado impulso de fuerza en un tiempo mínimo*” y en tratarse de un “*método muy eficaz para la preparación especial de la fuerza, favoreciendo el aumento de la fuerza máxima, de la fuerza explosiva y de la fuerza inicial así como la capacidad reactiva del sistema neuromuscular*”.

### **1.3 Clasificación de las manifestaciones de la fuerza**

Vittori (1990) realizó una clasificación de las manifestaciones de la fuerza en la que más adelante, Meañes (2002) se basó para asignar a cada una de ellas, una frecuencia de estímulo ideal para trabajar con la EMS. Así la fuerza podía comportarse como manifestación activa o manifestación reactiva. Dentro de la fuerza activa, englobaba la manifestación de la fuerza máxima dinámica que consistía en desplazar en un solo movimiento un peso sin tener para ello un tiempo limitado. Pertenecía también a este grupo la fuerza explosiva consistente en mover ese peso lo más rápido posible. El peso partía de una posición completamente estática.

Como manifestaciones de la fuerza reactiva se clasificaban: la fuerza explosiva-elástica, la que acumula el músculo al realizar un estiramiento antes de acortarse. Esta fuerza la realizaban los elementos elásticos en serie y se correspondían con los primeros apoyos del sprint. Y la manifestación explosiva-elástica-refleja, igual a la anterior, pero efectuada con la mayor velocidad posible y con una amplitud limitada. Esta es la que se empleaba en el sprint, cuando el cuerpo ya llevaba unos metros en movimiento. Esta última manifestación de la fuerza es la expresión más rápida de la misma, se tenía muy poco tiempo para explotarla, nueve centésimas de segundo. Este es el tiempo de apoyo en la carrera lanzada de velocidad (Vittori, 1990).

#### *Factores determinantes de las distintas expresiones de fuerza*

Según Cometti (1998) existían unos factores determinantes para cada expresión de la fuerza. La fuerza máxima dinámica medía la capacidad contráctil. El ejercicio que mide esta manifestación de la fuerza es aquel en el que desde una flexión de piernas, se realizaba una extensión de las mismas con carga máxima y sin limitación de tiempo. La fuerza desarrollada era aproximadamente igual al peso del cuerpo más la carga soportada. El porcentaje de fuerza máxima dinámica en la fuerza explosiva era mayor que el porcentaje en la fuerza explosiva-elástica-reativa. En la fuerza explosiva, desde una posición estática se realizaba un salto vertical desde una posición de semiflexión (SJ). Debía realizarse una extensión rápida y fuerte y debía conseguirse un máximo

reclutamiento de fibras instantáneo. Si se mejoraba la fuerza máxima dinámica, mejoraba también la fuerza explosiva, aunque no tanto como si se mejoraba la capacidad de reclutamiento. En el segundo grupo se añadirá el componente elástico, en la fuerza explosiva-elástica la posición ya no era estática, se realizaba una flexión con posterior extensión rápida de rodillas (CMJ). La diferencia en centímetros entre el SJ y el CMJ era la capacidad elástica y en términos correctos de igualdad de las capacidades era del 20% de la altura del SJ. La fuerza explosivo-elástico-refleja era la utilizada en los metros intermedios y finales del sprint. Podía medirse mediante el test de 4 o 5 saltos verticales seguidos con un rápido rebote en el suelo alcanzándose la mayor altura posible sin deformar demasiado la articulación del tobillo y/o la rodilla, o mediante el test de ABK que era más específico para el músculo cuádriceps.

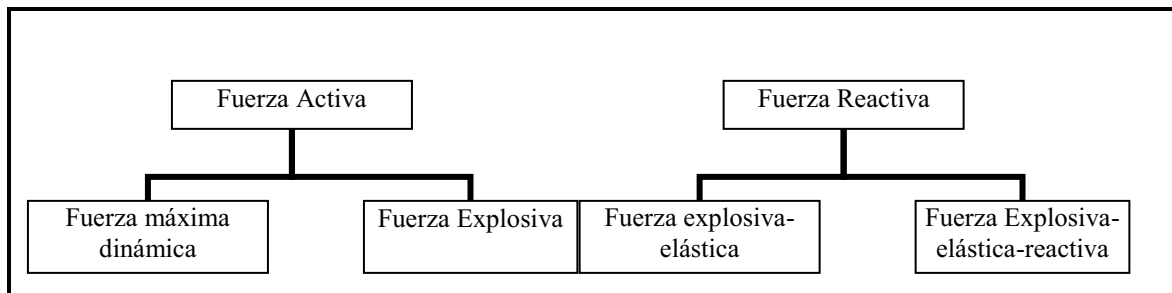


Figura 8. Diagrama de las manifestaciones de la fuerza. Fuente: Vittori, C. (1990) *El entrenamiento de la fuerza para el sprint*. Revista de entrenamiento deportivo, IV (3), 2-8.

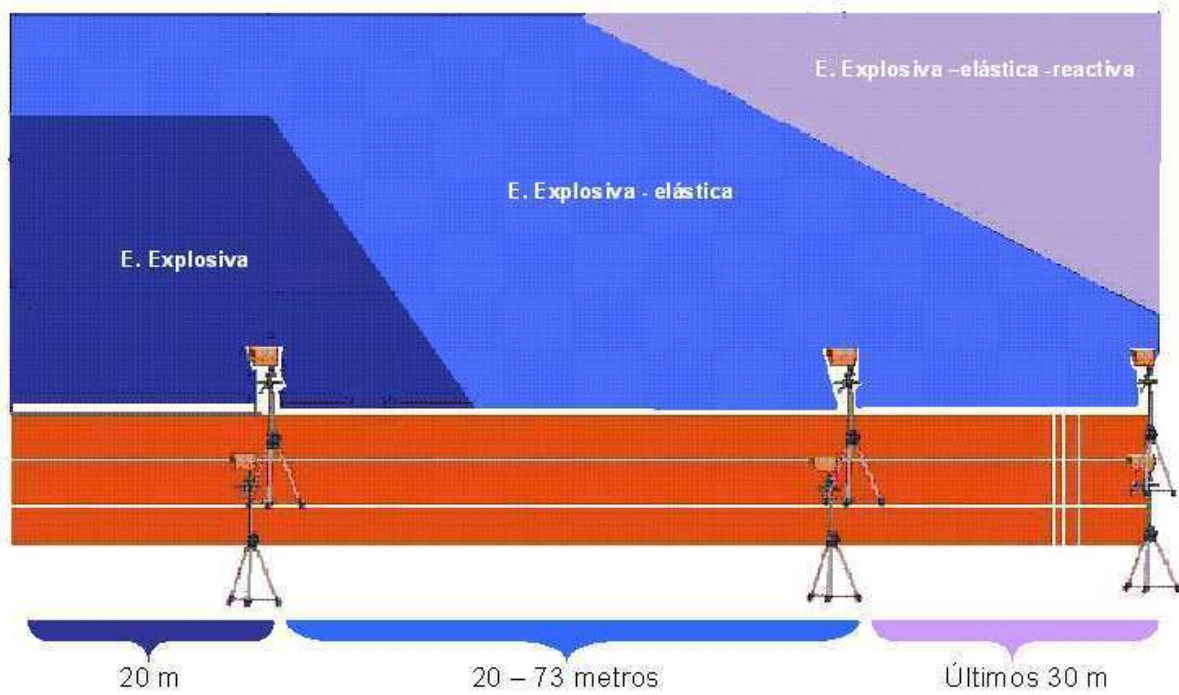


Figura 9. Representación de las diferentes manifestaciones de la fuerza en la prueba de los 100 m.l. Elaboración propia.



**2º**

**- LA ELECTRICIDAD COMO BASE DE LA  
ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR -**



## **2. La electricidad como base de la electroestimulación neuromuscular**

La electricidad es la manifestación de la energía de los electrones situados generalmente en la última capa del átomo. Este movimiento de electrones se estudia a través de la ley de Ohm, de Joule y de Faraday. Para que se genere este movimiento debe existir una polaridad o lo que es lo mismo, una zona de poca concentración de electrones denominada ánodo y que estará cargada de forma positiva, y otra zona donde la concentración sea mayor que estará cargada de forma negativa y denominaremos cátodo (Benito, 1974).

El concepto de carga eléctrica se referirá a la cantidad de electricidad o número de electrones disponibles en un espacio determinado y en un momento específico. Ahora bien, para que se produzca el movimiento de los electrones se necesita la existencia de una fuerza electromotriz que provoque el desplazamiento de los mismos de una zona de exceso a una de déficit. La unidad de esta fuerza o tensión eléctrica es el voltio (V). La tensión eléctrica se conoce también como diferencia de potencial.

La intensidad de la corriente será la cantidad de electrones que pasa por un punto en un segundo y su unidad es el amperio (A).

El concepto de resistencia que será la fuerza de freno que pone la materia para evitar el movimiento de los electrones a través de ella. Su unidad de medida será el Ohmio ( $\Omega$ ). La resistencia en la materia viva es muy variable según su composición y el tipo de corriente aplicada.

La electricidad se propaga en un medio que será denominado conductor. El cuerpo humano es un conductor de segundo orden (no permite demasiada intensidad eléctrica pero en caso de obligar el paso de la corriente, suele presentar manifestaciones de cambios físicos o químicos, dado que los iones serán los transportadores de energía). Los diversos tejidos del cuerpo humano presentan iones contenidos en las disoluciones y dispersiones coloidales, así la energía se trasmite a través de ellos. No todos los tejidos permitirán de la misma forma la transmisión de la corriente: Existen tejidos poco conductores, los que presentan pocos solutos disueltos como el hueso, la grasa, la piel gruesa, el pelo o las uñas. La impedancia de cada paciente puede variar, ya que no todos los sujetos permitirán el paso de la corriente eléctrica de la misma forma debida al

mayor o menor porcentaje graso (Lake, 1992). Los tejidos medianamente conductores serán la piel, las fascias y los cartílagos gruesos y los tejidos muy conductores, sangre, linfa, vísceras y el sistema muscular.

Para transmitirse la corriente eléctrica a través del cuerpo, los electrones viajan unidos a los iones del tejido empujados por una fuerza electromotriz procedente de un generador externo, el aparato de electroestimulación, o por cargas internas del organismo. Este movimiento de electrones está regido por las leyes de Ohm que establece la relación entre la resistencia, voltaje e intensidad, el efecto Joule que estudia el movimiento o roce que se produce en las moléculas de la materia por la que se desplaza la electricidad y que son consecuencia del paso de ésta, provoca una nueva energía que generalmente se manifiesta en forma de calor. Este efecto se emplea en la electroterapia de alta frecuencia. Y por último la ley de Faraday que regula la cantidad de iones que se desplazan por la sustancia buscando un electrón de signo opuesto al suyo: *“la cantidad expresada en masa de iones o soluto contenido en una disolución que se deposita o reacciona con los electrodos durante un tiempo, es directamente proporcional a la cantidad de energía eléctrica aplicada en el mismo tiempo. Y cuando la misma corriente pasa por varias cubetas electrolíticas en serie, las masas liberadas de cada sustancia son proporcionales a sus equivalentes electrolíticas”* (Benito, 1974).

**3º**

**- PARÁMETROS DE LA ELECTROESTIMULACIÓN  
NEUROMUSCULAR -**



### **3. Parámetros de la electroestimulación neuromuscular**

El objetivo de la EMS aplicada al deporte es la estimulación del nervio motor sano a través de su placa motora con el fin de conseguir una contracción fisiológica del músculo (Maya, 2010). Pero la aplicación de la misma no se basa exclusivamente en la colocación correcta de los electrodos y la transmisión de una intensidad necesaria de corriente. El empleo de la EMS como complemento al entrenamiento supone una administración minuciosa de todos los parámetros de corriente, la aplicación simultánea de una adecuada contracción muscular y la programación del método adaptada al momento de la temporada y lo que es más importante, al entrenamiento que va a complementar. Así pues aunque los efectos de la EMS van a depender de las propiedades intrínsecas de los tejidos a los que se aplique, según se combinen los parámetros orientaremos el trabajo muscular hacia uno u otro objetivos (Herrero, 2006a).

#### **3.1 Tipo de corriente**

Existen varios tipos de corrientes excitomotoras que pueden ser usadas para la mejora de la fuerza muscular. La clasificación más generalizada las separa entre corrientes de baja frecuencia o corrientes de media frecuencia. Entre las de baja frecuencia se han utilizado las bifásicas o monofásicas para el fin de la EMS. Entre las de media frecuencia se han utilizado las corrientes rusas o de Kots y las Farádicas (Benito, 2008).

Las corrientes de baja frecuencia que se utilizan para la EMS con objeto de mejorar la fuerza muscular son cuatro: corriente rectangular monofásica, corriente rectangular bifásica simétrica, corriente rectangular bifásica asimétrica y corriente sinusoidal bifásica simétrica (Herrero, 2006a). Las corrientes bifásicas suponen una inversión de la segunda fase del impulso, lo que desencadena un potente efecto motor (Meaños, 2002). Los impulsos simétricos o compensados se dan cuando ambas fases tienen la misma forma, amplitud, duración e intensidad.

Coarsa (2000) demostró que con la misma intensidad de corriente y duración de impulso, las corrientes Farádicas y las interferenciales, conseguían la misma fuerza de contracción. Las interferenciales, descubiertas por el Dr. Nemeč, se caracterizan por utilizar dos corrientes de diferente longitud de onda desfasadas entre sí. Al interferir entre ellas dan como resultado una corriente de baja frecuencia que se localiza en profundidad (Meañes, 2002). Estas corrientes tienen efectos antiinflamatorios, vasculares, excitomotora en profundidad y acción analgésica. Las corrientes Farádicas sirven de base para trenes modulados en las corrientes excitomotoras, se trata de una corriente triangular con impulsos de un milisegundo de duración y una frecuencia de 100 Hz.

Lake (1992) y Kramer (1984), estaban de acuerdo en que la corriente bifásica era la más efectiva para provocar el mayor porcentaje de fuerza isométrica, incluso afirmaban que la bifásica simétrica conseguía mejores resultados que la asimétrica. Además, Cigdem (2002) obtuvo como resultado en sus estudios que no existían diferencias significativas en cuanto al aumento de fuerza se refería, entre las corrientes interferenciales y las corrientes de baja frecuencia. Sin embargo, Kramer (1984) comparó la eficacia en cuanto a aumento de fuerza se refería, entre tres tipos de corrientes (bifásica asimétrica rectangular, bifásica asimétrica triangular, y monofásica simétrica cuadrada) no encontrando diferencias significativas entre ellas, aunque los sujetos coincidían en que la bifásica asimétrica rectangular, era la percibida como más confortable. A partir de lo anterior, Lauren (2008) comprobó la diferencia de disconformidad, medida a través de una escala analógica visual, causada por corrientes de media y baja frecuencia. La diferencia entre ambas no era significativa pero sí la diferencia entre la intensidad necesaria para lograr la misma contracción, que era mucho menor para la corriente de baja frecuencia.

Petrofsky (2008), afirmó respecto a la forma de la onda que la cuadrada producía menor contracción que la sinusoidal utilizando ambas con la misma intensidad de corriente. Además demostró que la onda de forma sinusoidal pasaba más fácilmente a través de un condensador. Por otro lado Vanderthomen (2001) dio importancia a la forma de impulso, debiendo ser ésta completamente rectangular, sin líneas oblicuas, para garantizar su máxima eficacia. Los mismos resultados obtuvo Stefanovska (1985) al comparar dos tipos de onda bifásica, una rectangular y otra senoide, y obtener que

la rectangular conseguía un 13% más de fuerza muscular que la sinusoidal. Por otro lado Pombo (2004) aseguró que la intención debía ser siempre conseguir la mayor superficie de excitación con la menor intensidad y menor tiempo de corriente posible, para ello afirmó que la forma de onda cuadrada era la que más se acercaba a esta perfección.

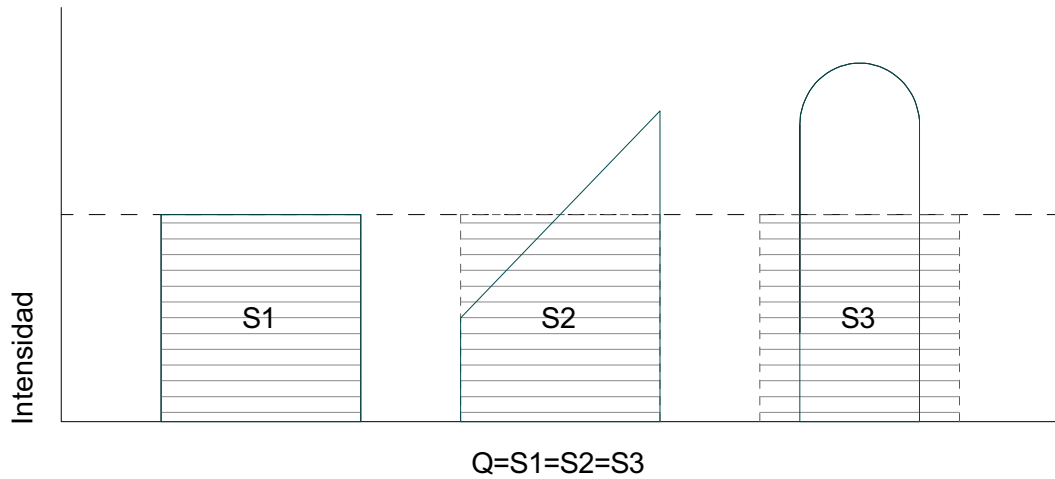


Figura 10. Las áreas de intensidad de cada onda son iguales independientemente de la forma de onda. Elaboración propia.

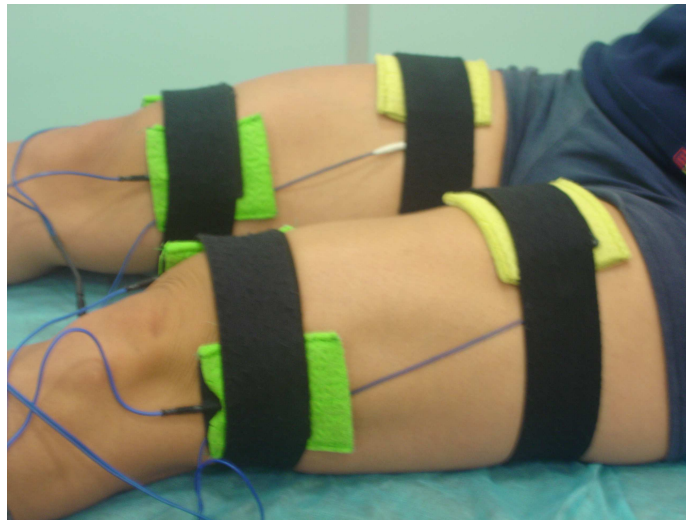


Figura 11. Contracción conseguida en músculo cuádriceps mediante electroestimulación neuromuscular. Elaboración propia.

La onda rectangular bifásica simétrica era una de las más utilizadas para potenciación muscular (Nelson, 1999), y la que Laufer (2001) definió como más eficaz y que menos fatiga provocaba en los procedimientos de fortalecimiento muscular (Nelson, 1999), y presentaba una serie de indicaciones en función de los objetivos que quisieran perseguirse: aumento de la fuerza instantánea, mejora de la propiocepción articular o muscular, entrenamiento muscular tanto a medio como largo plazo, etc. Además el hecho de que su componente neto de corriente galvánica fuera cero, la hacía especialmente atractiva para el entrenamiento de atletas puesto que fuera cual fuera la intensidad a la que se utilizara, sus efectos polares bajo los electrodos eran nulos (Maya, 2010).

### 3.2 Frecuencia de corriente

La frecuencia es el número de veces que se repite la onda eléctrica en un segundo. Su unidad de medida es el Hz (Benito, 1974) y es el parámetro terapéutico más importante (Maya, 2010). Así se establecen como corrientes de baja frecuencia todas aquellas en las que la frecuencia sea menor a 40 Hz, y tendrán como objetivo la recuperación, capilarización u oxigenación del músculo. Las superiores a 40 Hz serán las altas frecuencias empeladas cuando nuestro fin sea la fuerza muscular (Herrero, 2006b). En función de la frecuencia aplicada se obtendrán efectos diferentes y según Meañes (2002) se establece la siguiente clasificación:

De 1 a 3 Hz: Mediante estas corrientes se obtienen unos efectos relajantes y descontracturantes. La disminución del tono conseguida se mantiene durante varias horas tras el tratamiento. Algunos aparatos de electroestimulación intercalan frecuencias de 1 a 3 Hz en los periodos de reposo entre contracciones de frecuencia más elevada. Es útil utilizarlo para facilitar al músculo la recuperación entre contracciones.

De 4 a 7 Hz: Se consigue con estas frecuencias un efecto antiálgico debido a la liberación de endorfinas y encefalinas que produce. Es ideal para eliminar edemas y metabolitos acumulados por el ejercicio. Frecuencias cercanas a los 4 Hz tienen un efecto más antiálgico y según se aproximen a los 7 Hz tomará mayor importancia el aumento del flujo sanguíneo.

De 8 a 10 Hz: Aumento máximo del flujo sanguíneo (Zicot, 1995). Se generan nuevos capilares sanguíneos.

A partir de los 10-20 Hz comienza la contracción muscular pudiendo ser selectiva la activación de unas u otras fibras musculares a través de la frecuencia de corriente empleada:

De 10 a 33 Hz: Reclutamiento de fibras lentas o fibras tipo I. Se aumenta la resistencia de las mismas y puede provocarse una transformación de fibras tipo I en fibras tipo IIa.

De 33 a 50 Hz: Se estimulan las fibras intermedias tipo IIa incrementándose la resistencia a la fatiga.

De 50 a 75 Hz: Reclutamiento de fibras intermedias tipo IIb aumentando la fuerza y la resistencia muscular localizadas. Se consigue una hipertrofia muscular máxima entre los 70 y 75 Hz. Lanzan (2000) expuso una de las ventajas más importantes de la EMS frente al ejercicio físico, la posibilidad de trabajar de forma aislada ciertas fibras musculares.

De 75 a 150 Hz: Supertetanicación de las fibras II<sub>m</sub>. Se mejoran las manifestaciones reactivas de la fuerza. Permite realizar contracciones musculares máximas a gran velocidad sin dañar para ello el cartílago articular al no tener que soportar grandes pesos.

A partir de esta clasificación han sido varios los autores que han conseguido resultados mediante diferentes frecuencias de EMS en diferentes ámbitos deportivos. Child (1998), estableció las diferencias entre un protocolo que utilizaba una frecuencia de 20 Hz y otro de 100 Hz. Además de demostrar que el pico de fuerza máximo era mayor en el protocolo que utilizaba una frecuencia de 100 Hz, lo reafirmó al comprobar que la actividad de la fosfocreatina era también mayor con la frecuencia más elevada. Anteriormente y apoyando esta idea, Binder-Macleond, en 1995, realizó un estudio en el que dejando fijos el resto de parámetros de corriente incluida la intensidad de la misma, demostró como la fuerza evocada aumentaba a medida que la frecuencia de corriente se elevaba. La explicación a este hecho se basaba en la sumación temporal, y en la alta frecuencia de tetanicación de las unidades motrices rápidas. Más tarde, Meaños (2002) clasificó las frecuencias según el tipo de fuerza muscular que se quisiera

conseguir. Así pues para aumentar la fuerza máxima utilizaba frecuencias de hasta 120 Hz, pero cuando se trata de la manifestación de la fuerza explosiva-elástica-reactiva, emplea frecuencias de hasta 150 Hz. Por lo tanto frecuencias entre los 70 y 120 Hz (Lake, 1992; Child, 1998; Maffiuletti, 2000; Vanderthommen, 2001; Hainaut, 2002; Valli, 2002; Lyons, 2005; Brocherie, 2005; Gondin, 2005; Martín, 2005, 2006; Paillard, 2006; Babault, 2007; Toca-Herrera, 2008), aumentarían sólo la fuerza máxima. Por ello, Brocherie (2005) consiguió una mejora de la distancia de 10 metros, en la que se usaba la fuerza máxima, y no en la de 30 m donde se utilizaba la fuerza elástico reactiva.

En la mayoría de estos estudios además, lo que se midió fue la fuerza máxima y no las componentes reactivas de la fuerza, por lo que con frecuencias inferiores, entre 70 y 100 Hz, pudo ser suficiente (Hainaut, 1992; Lake, 1992; Maffiuletti, 2000; Vanderthommen, 2001; Meañes, 2002; Babault, 2007; Toca-Herrera, 2008). Así, Herrero (2006c) y Maffiuletti (2002) utilizaron frecuencias de 115-120 Hz, límite para el entrenamiento de fuerzas máximas y fuerzas reactivas (Paillard, 2004), pero al añadir pliométricos al entrenamiento, consiguió mejoras en el CMJ (componente elástico explosivo de la fuerza).

En los estudios de Basas (2003), se afirmó que para aumentar la fuerza explosiva debía usarse frecuencias superiores a 40-50 Hz. Otros estudios (Venable, 1991; Caggiano, 1994; Child, 1998; Holcomb, 2008; Petrofsky, 2008; Liebano, 2009) usaron frecuencias inferiores. En algunos de ellos, la muestra empleada eran personas de edad avanzada y no deportistas de élite (Caggiano, 1994), en estos últimos se debía aumentar la frecuencia de estimulación para conseguir aumentos importantes de fuerza muscular.

Gorgey en 2009 se dio cuenta de que la fuerza conseguida en el cuádriceps por una corriente de 25 Hz era mucho menor que la que producía una corriente con los mismos parámetros en los que se variaba únicamente la frecuencia siendo esta de 100 Hz.

Queda clara la existencia de una relación, aunque no lineal, entre la frecuencia de corriente aplicada y la fuerza, daño y fatiga muscular provocada. Según el objetivo perseguido se variará el protocolo de actuación, y será diferente en una rehabilitación del cuádriceps en una persona sana tras una cirugía del ligamento articular de la rodilla, que en un protocolo de entrenamiento de un deportista de élite.

### 3.3 Número de sesiones semanales

Respecto a la posología semanal a aplicar, Parker (2003) demostró en su estudio que el protocolo que utilizaba 3 días/semana, conseguía mejores resultados en cuanto a fuerza muscular se refería que cuando se aplicaba la EMS 2 días/semana, aunque los resultados no fueron significativos. Meañes (2002) afirmó por otro lado que eran necesarias 72 h para recuperarse de una sesión de EMS empleada para aumentar la fuerza muscular explosiva. Debido a que los depósitos energéticos tardan entre 48 y 72 h en reponerse tras un entrenamiento de fuerza (Cometti, 1998) y a que la EMS se asemeja a dichos entrenamientos, resultaría complicado realizar sesiones de EMS diarias como Ward (2002) o Cigdem (2002). Babault (2007) comenzó las primeras 6 semanas con una frecuencia de 3 días/semana para descender a 1 día/semana las siguientes 6 semanas. De esta forma, el programa de entrenamiento con EMS se adaptaba a los ciclos de entrenamiento-competición.

### 3.4 Ancho de impulso

El ancho de impulso es la altura que tiene la onda en su parte positiva (Benito, 1974).

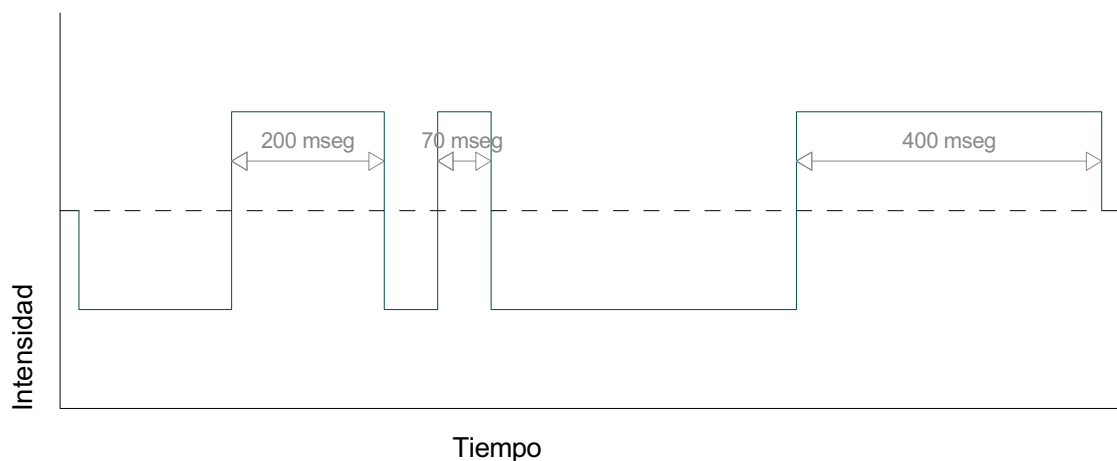


Figura 12. Diferentes anchos de impulso de corriente. Elaboración propia.

Estudios como los de Howson (1978) hablaban de estimular las neuronas con impulsos de duración de fases muy cortas ya que de esta forma podían ser estimulados los nervios motores sin hacerlo los nervios delgados no mielinizados o nociceptivos encargados de conducir la sensación dolorosa al cerebro. Además, para que el estímulo eléctrico sea eficaz y produzca contracción muscular, tiene que tener una intensidad, duración y velocidad determinado. La relación entre la amplitud de la corriente y la duración de fase determinará si un impulso es o no efectivo de tal forma que si se reduce la fase, se deberá aumentar la amplitud para provocar un estímulo apropiado y viceversa (Maya, 2010). Pero a pesar de todas estas relaciones se debe tener en cuenta la ley de Lapique por la cual, para producir una contracción muscular apreciable, el ancho de impulso de la corriente aplicada debe ser al menos igual a la cronaxia muscular (Boschetti, 2002). Esto no es un dato objetivo ni constante puesto que, la cronaxia muscular varía según los sujetos e incluso con el entrenamiento Coarsa (2000) aseguró que tanto la cronaxia muscular como la nerviosa aumentaban con el ejercicio, pero podría servir como valor orientativo para conocer por debajo de que anchos de impulsos será difícil conseguir una contracción muscular visible.

En 1985 a Bowman le pareció el ancho de impulso un parámetro relevante en los resultados de fuerza muscular que podría generar el entrenamiento con EMS, por lo que comparó dos corrientes en las que variaba el ancho de impulso, una de 50 mseg y otra de 300 mseg. Fue la de mayor ancho de impulso la que logró mejoras más significativas en la fuerza muscular del cuádriceps. Respecto a este parámetro parece existir un mayor consenso y la mayoría de los autores apuntan hacia anchos de impulso próximos a los 300 mseg. Así Babault (2007) utilizó un espectro que iba desde los 300 hasta los 400 mseg, Linares (2004) de 200 a 300 mseg, Vanderthommen (2001) habló de aplicaciones entre 200 y 400 mseg y Toca-Herrera (2008) y Wigerstad-Lossing (1988) fijaron su ancho de impulso en 300 mseg. Otros autores como Coarsa (2000), fueron más lejos y relacionaron el ancho de impulso con la intensidad que sería necesaria aplicar afirmando que, a mayor ancho de impulso se precisaba menos intensidad. Por otra parte Cigdem (2002), Caggiano (1994), y Pillard (2006) utilizaron anchos de impulso próximas a los 100 mseg, aunque en sus estudios midieron fuerza isométrica y no fuerzas reactivas. Holcomb (2006a), utilizó anchos de impulso muy elevados, 600 mseg, quizás por ello necesitó mayores tiempos de reposo. Por último Gorgey en 2009 comparó la fuerza

conseguida por corrientes de diferentes parámetros llegando a la conclusión que el ancho de impulso determina la sección de músculo estimulada.

### 3.5 Tiempo de impulso – reposo

Este parámetro habla de la proporción existente entre el tiempo de paso de corriente y el tiempo de reposo es decir, el tiempo transcurrido hasta un nuevo paso de corriente o lo que es lo mismo, el tiempo de duración de un ciclo que englobe el tiempo de trabajo o impulso y el tiempo de reposo.

Kots y Xvilon valoraron la aplicación de estímulos de corriente de 15 s de duración, obteniendo que a partir del 12,5 s, la fuerza conseguida comenzaba a decaer, por ello, cambiaron el tiempo de estimulación para estudios posteriores a 10 s (Herrero, 2006a).

El entrenamiento de la fuerza explosivo-elástica-refleja requiere tiempos de reposo elevados, por ello cuando trata de entrenarse este tipo de fuerza mediante la EMS, es importante la relación entre tiempo de impulso y de reposo. Además el cambio en el reclutamiento de las fibras mediante la EMS (se reclutan primero las fibras tipo II y no las tipo I como en el ejercicio voluntario), contribuye a un aumento de la fatiga muscular (Raquena, 2005), por lo que los tiempo de reposo deben ser mayores a los del ejercicio voluntario.

Meaños (2002) afirmó que el tiempo de contracción debía estar relacionado con la frecuencia, de tal forma que al aplicar la corriente con frecuencias elevadas, debían establecerse tiempos de contracción más cortos que cuando ésta se utilizaba con frecuencias menores. Así pues este autor estableció tiempos de contracción de 3 s para entrenamientos destinados a conseguir una mejora del componente explosivo-elástico-reflejo de la fuerza. En cuanto al tiempo de reposo este autor hablaba de tiempos entre 15 y 35 s, por lo que la proporción entre el tiempo de contracción y de reposo que establecía iba desde 1:5 a 1:7. Muchos autores compartieron la idea de Meaños y aplicaron en su protocolo una relación de 1:5. Linares (2004), el propio Kots según Ward (2002), Coarsa (2000), y Lake (1992) aunque este último también estaba de acuerdo con la postura del 1:3, Hainaut (1992), Caggiano (1994), Pichon (1995),

Maffiuletti (2002), Holcomb (2005), Lyons (2005), Brocherie (2005), Gondin (2005), o Holcomb (2006b). Valores similares fueron utilizados por Cigdem (2002) y Herrero (2006a) que establecieron una proporción de 1:4. Toca- Herrera en el 2008 fue más lejos aún, siendo el que menos tiempo de reposo aplicó, relación 1:1, aunque bien es cierto que sus estudios medían fuerza isométrica y no el componente reactivo de la misma. Hainaut en 1992, utilizó también esta proporción al igual que Vanderthommen (1999), aunque en este caso la intensidad de corriente sólo alcanzaba el 20% de la fuerza máxima de contracción voluntaria isométrica. Por otro lado, algunos autores como Venable (1991) alcanzaron proporciones de 1:6.

Fue Matheson en 1997 el que realizó un estudio para determinar que tiempos de reposo permitían obtener contracciones musculares más efectivas y cuales requerían mayores demandas energéticas, así al comparar un protocolo con 10 s de contracción y 10 de reposo y otro en el que se mantenía el tiempo de contracción pero se elevaba por 5 el de reposo, se dio cuenta que la fatiga muscular era mayor en el primer protocolo aumentando en la espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RNM) la relación de fósforo inorgánico y fosfocreatina y siendo mayor en el primer protocolo el descenso de PH intramuscular. El descenso de la fuerza evocada tras 12 contracciones fue mayor en el primer protocolo. Tras este estudio, en 2006 Holcomb realizó una investigación para determinar que tiempo de reposo era el más adecuado. Los resultados de su estudio mostraron que entre las proporciones 1:3 y 1:12, esta última era la que ocasionaba menor cansancio al músculo, aunque es cierto que este autor empleaba tiempos de contracción de 10 s, que si ya eran demasiado largos para el tipo de fuerza que intenta incrementar (fuerza máxima voluntaria isométrica) estaban muy lejos de los supuestos como adecuados por Meañes (2002) para incrementar el componente reactivo de la fuerza. Por otra parte, Basas (2001) modificaba el tiempo de contracción según la EMS fuera aplicada junto con un movimiento dinámico, 3 s o con un ejercicio estático o isométrico, de 3 a 5 s.

Muchos electroestimuladores del mercado permiten establecer tiempos de rampa, a través de los cuales, la corriente subirá durante un tiempo prefijado o tiempo de apertura para mantenerse después el tiempo establecido a la intensidad ordenada y bajar nuevamente y progresivamente en una rampa de cierre hasta el tiempo de reposo. Este efecto produce una sensación más confortable de tolerancia a la corriente (Porcari,

2005), pero no se utilizó en este estudio de entrenamiento puesto que no es lo que fisiológicamente ocurre en el gesto deportivo en el que la contracción voluntaria se produce lo más explosivamente posible y en el periodo de tiempo más corto posible. Aún así es un parámetro importante cuando la EMS es utilizada en protocolos de rehabilitación o vuelta a la actividad física tras lesión.

### **3.6 Intensidad de corriente**

La intensidad de corriente eléctrica es la cantidad de corriente que pasa por un conductor. Su unidad de medida es el amperio (Benito, 1974) y vendrá determinada por la densidad de corriente admisible y por la dimensión de los electrodos (Schmid, 1987).

Alon defendió en 2005 cuatro umbrales de intensidad de corriente: sensitivo (cuando el sujeto comenzaba a sentir la corriente), motor (cuando se apreciaba visualmente contracción muscular), dolor (cuando la sensación que provocaba la corriente es desagradable) y máximo dolor (la máxima intensidad que el sujeto era capaz de tolerar). Este mismo autor se dio cuenta que la intensidad para alcanzar estos umbrales, era menor en las mujeres que en los hombres aunque si los valores de intensidad se medían por unidad de masa muscular, las diferencias desaparecían pudiéndose concluir que la intensidad de corriente tolerada no dependía del sexo sino de la cantidad de masa muscular. Los sujetos entrenados en este método, toleran mayor intensidad de corriente que los no entrenados (Benito, 2010).

La intensidad de corriente se adapta al momento de la temporada o del microciclo en el que se encuentre el deportista y variará por varios motivos de un sujeto a otro, por la impedancia por ejemplo (Meaños, 2002; Petrofsky, 2008) que estará determinada por el estado de la piel del paciente: humedad, vello, inervación o espesor de la epidermis. Se debe tener presente que la cantidad de fuerza muscular generada por la corriente aumenta considerablemente entre los umbrales de dolor y máximo dolor. Por ello Delito (1989) estableció como principio que para que la EMS fuese un método efectivo para la ganancia de fuerza muscular, esta debía ser aplicada de forma que produjera dolor al sujeto. A pesar de ello sin embargo, no puede afirmarse que exista una relación lineal entre la intensidad de corriente aplicada y la fuerza muscular generada ya que en ello intervienen otros muchos parámetros de corriente

como puede ser el ancho de impulso. Pero si existe una relación directa entre el momento de fuerza producido y la ganancia de fuerza generada o lo que es lo mismo, en un entrenamiento con EMS, lo que determina la ganancia de fuerza no es la intensidad de corriente aplicada sino la respuesta muscular evocada por la misma por lo que no puede establecerse a priori una carga de entrenamiento determinada como en otros tipos de entrenamientos (Coarsa, 2000).

Ward (2002) demostró que a medida que pasaban los días de entrenamiento con EMS, había mayor tolerancia a la intensidad de corriente. Babault (2007) y Holcomb (2005) hablaban de una intensidad que conseguía un 60% de la prueba de contracción voluntaria máxima (con dinamómetro). En deportistas entrenados, los ejercicios pliométricos suponen entre un 150 y un 200% de la contracción voluntaria máxima (Cometti, 1998).

El parámetro intensidad es uno de los más heterogéneos en los programas de EMS, por lo general se presenta como porcentaje de fuerza de contracción isométrica máxima, aunque muchos autores también hablan de la máxima intensidad tolerada por el atleta (Lake, 1992; Gigde, 2002; Valli, 2002; Herrero, 2002, 2006; Brocherie, 2005; Lyons, 2005; Gondin, 2005, 2006; Holcomb, 2007). Si se utiliza algún porcentaje de la fuerza máxima isométrica, la intensidad necesaria para ello debe ser medida en cada sesión puesto que cambiará según el día (Ward, 2002) por la impedancia (Petrofsky, 2008) que puede variar por la alimentación del sujeto o por la propia temperatura ambiente, electrodos, etc. En cuanto a los porcentajes de contracción voluntaria isométrica máxima, muchos usaron un 60% (Venable, 1991; Pichon, 1995; Colson, 2000; Maffiuletti, 2002; Valli, 2002; Brocherie, 2005) otros un 50% (Child, 1998), incluso algunos llegaron al 100% (Delitto, 1989). Cuando la intensidad es aplicada hasta el umbral máximo tolerado por el deportista, es muy probable que aparezcan agujetas o dolores musculares durante la primera semana de entrenamiento, e incluso que aparezcan estos en la musculatura antagonista debido a que al inhibirse el reflejo miotático con la EMS, se activan otros principios como la contracción de la musculatura antagonista.

Este parámetro se modificará en cada sesión e incluso dentro de la misma puesto que existe una acomodación del nervio a la corriente por una parte y por otra, debido al hecho de que las fibras musculares bajo los electrodos se fatigan de forma más

temprana, y si la intensidad de corriente no es adaptada a la nueva situación, el porcentaje de fuerza generado disminuirá de forma considerable desde el inicio hasta el final de la sesión (Akima, 2001).

### **3.7 Tiempo de tratamiento**

Respecto a este parámetro parece existir un mayor consenso estableciendo tiempos entre 10 y 15 min la mayoría de los autores. Bien es cierto que no se ha encontrado ningún estudio que compare tiempos de aplicación diferentes. Meañes (2002) hablaba de tiempos de aplicación de 8 a 15 min para lograr incrementos de la fuerza explosiva. Muchos autores se acogieron a estos tiempos en sus protocolos: Pichon (1995), Vanderthommen (1999), Brocherie (2005), y Babult (2007) utilizaron tiempos de aplicación de 12 min, Hainaut, (1992), Caggiano (1994), Ward (2002), y Parker (2003) de 10 min. Sin embargo, Cigdem (2002), Paillard (2004), y Holcomb (2006b), apostaron por tiempos más largos y trabajaron durante 15 min. No obstante, existen al menos dos autores que utilizaron tiempos de aplicación muchos más largos Herrero (2006a) que utilizó tiempos de 29 min y Valli (2002) 30 min. Parecen tiempos demasiado largos para entrenar la fuerza dado que Herrero además aplicó una proporción entre el tiempo de estímulo y reposo de 1:3 y Valli de 1:2.

### **3.8 Colocación de electrodos**

La colocación de los electrodos es fundamental para obtener una buena respuesta muscular (Lake, 1992; Basas, 2001). Se debe tener en cuenta que existe un electrodo activo, su efecto es despolarizante y actúa en el punto donde queremos excitar el músculo o tronco nervioso. En el caso de una corriente bifásica es similar utilizar uno u otro electrodos aunque será el más activo el electrodo en el que el potencial comience por la fase negativa (Meañes, 2002).

Basas (2001) decidió aplicar la EMS en cuádriceps a través de dos canales diferentes con un electrodo proximal común para formar ambos canales: el primero con los electrodos distales del vasto externo y central y el segundo con el electrodo distal del

punto motor del vasto interno. Se realizó así puesto que las diferencias de excitabilidad del vasto interno y el externo hacen necesaria la utilización de dos canales diferentes de EMS (Coarsa, 2000). Utilizando un sólo canal podría haber diferencias o desequilibrios musculares (Cometti, 1998).



*Figura 13. Colocación de electrodos para la sesión de electroestimulación neuromuscular.*

*Elaboración propia.*

En cuanto a la zona anatómica de colocación de electrodos, varios autores fueron los que colocaron el electrodo activo en el punto motor del músculo (Babault, 2007; Benito, 2008; Lake, 1992; Paillard, 2006; Basas 2001; Benito 2010) y el otro en la zona proximal, a la altura del triángulo femoral (Holcomb, 2005; Maffiuletti, 2000), siendo el punto motor, la zona del músculo donde los electrodos consiguen con la misma corriente una contracción más eficaz. (Hainaut 1992; Lake, 1992). Además puede estimularse el punto motor o el nervio así, autores como Coarsa (1995), demostraron que la cronaxia de ambos puntos para el mismo músculo es similar e inversa a la velocidad de excitabilidad.

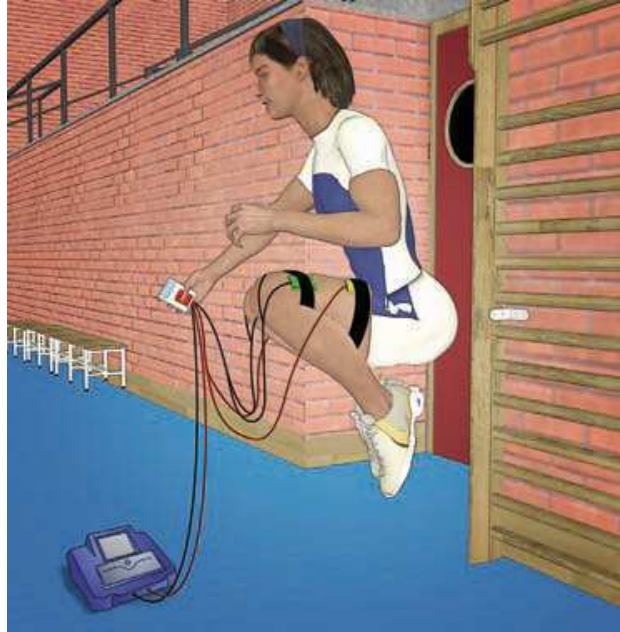
Por último concluir respecto a la colocación de los electrodos, que la línea que forman los polos positivo y negativo, debe estar alineada de forma longitudinal al

músculo para que se alcance la máxima contracción. Esta orientación puede llegar a incrementar un 64% la fuerza generada mediante la EMS (Brooks, 1990).

### **3.9 Ejercicios que se combinan**

Holcomb (2005) dejó claro en sus estudios que una de las principales desventajas del método de EMS es la falta de coordinación intramuscular. Además Maffiuletti (2002) y Bobbert (1990) hablaron de cómo la EMS restaba la capacidad elástica al músculo por lo que era necesario combinarlo con algún ejercicio voluntario que pudiera devolverla. Ningún autor que se haya encontrado en la bibliografía ha superpuesto la EMS al ejercicio voluntario pliométrico salvo Basas (2001). Este autor trabajó con saltadores de alto nivel realizando un protocolo en el que se realizaba un ejercicio voluntario en el momento en el que el atleta notaba la descarga eléctrica. A medida que se avanzaba en el protocolo se pasaba de ejercicios isométricos a concéntricos para aplicar después ejercicios excéntricos. Basas creía que no podía aplicarse la EMS dinámica en isquiotibiales o gemelos debido al dolor que generaba la técnica. Utilizó además una técnica en la que el músculo se encontraba en posición de estiramiento cuando recibía la descarga eléctrica y el paciente realizaba entonces una contracción isométrica. Esta técnica se aplicó para aumentar la fuerza sin perjudicar la elasticidad o para el tratamiento de ciertas tendinopatías.

Otros autores combinaron la EMS con ejercicios voluntarios: Ward (2002), Wigerstad-Lossing (1988), o Maffiuletti (2000) realizando ejercicios concéntricos.



*Figura. 14. Combinación de la electroestimulación neuromuscular con un ejercicio de salto pliométricos. Elaboración propia.*

A partir de lo anterior, Herrero (2006c) estudió las diferencias entre un entrenamiento a base de ejercicios pliométricos, otro basado en EMS, y un tercero que combinaban ambos métodos aunque en diferentes momentos es decir, no superponía la EMS al ejercicio pliométrico. Martínez-López (2012) utilizó varios entrenamientos combinando la EMS con la pliometría para determinar que combinación en cuanto al orden de aplicación, era la más adecuada.

Pillard (2008) dedicó todo su estudio a comparar la EMS combinada con ejercicio voluntario frente a ambos métodos aislados y obtuvo que la terapia combinada conseguía mejores resultados que la contracción voluntaria, aunque en este artículo no superponía dichos métodos. En otro estudio, en el 2006, este mismo autor ya había afirmado que la superposición de la EMS al ejercicio voluntario aumentaba el número de unidades motoras reclutadas y aumentaba así la fuerza de contracción. Afirmó además que esto sólo ocurre con el ejercicio excéntrico.

En una de las cartas escritas en la revista Sport Medicine entre Paillard y Maffiuletti (2008) se dijo que la EMS necesitaba mayores demandas de metabolitos que la contracción voluntaria, por ello quizás el músculo necesitaría más tiempo de recuperación. Además afirmó que es necesario combinar la EMS con ejercicios

específicos de cada deporte para conseguir los cambios o adaptaciones necesarias así como el control motor.

Vanderthommen (2003) apoyó que las adaptaciones fisiológicas producidas en la terapia combinada eran mucho mayores que las que se producía en terapias aisladas, ya sea de EMS o de ejercicio voluntario. Cometti (1998) descubrió en uno de sus estudios en los que comparó la ganancia de fuerza muscular entre un programa de contracción voluntaria versus un programa de contracción voluntaria más EMS, que para alcanzar la misma fuerza el uso de la EMS reducía el tiempo necesario en una proporción de 1:3.

Combinación de Electroestimulación Neuromuscular y Ejercicio Voluntario									
Nombre	Año	Tipo corriente	FC	Nº S/S	A . I	T. C/ T.R	Intensidad	T.T	Ejercicio
Cumier	1983	Rusas	2500	3	110	15 s/ 50 s		11	Ninguno
Fahey	1985		50	3		10 s/ 50 s			
Wigerstad-Lossing	1988		30	3	300	8 s/ 10 s	100 mA		Voluntario
Delitto	1989	Triangular	2500	3	200	11 s/ 180 s	Máxima		
Venable	1991	Bif simet cuadrada	50	3	200	10 s/ 60 s	60% CVM		
Lake	1992	Bif simet cuadrada	60 100		300 400	12 s/ 8s			
Poumarat	1992	Bif simet cuadrada	30-80		600				Isocinético

Continuación									
Nombre	Año	Tipo corriente	FC	Nº S/S	A . I	T. C/ T.R	Intensidad	T.T	Ejercicio
Balogum	1993		80	3	65-75	10 s/ 50 s		10	Ninguno
Caggiano	1994		25-50	3	110	15 s/ 50 s	40% CVM	10	Ninguno
Pichon	1995		85	3	300	6 s/ 20 s	60% CVM	12	
Holcomb	1997				300500				
Child	1998		100				50% CVM		
Child	1998		20				50% CVM		
Maffiuletti	2000	Bif simet cuadrada	100	3	400	3 s/ 17 s	80% CVM		Ninguno
Coarsa	2000	Bif simet	70		300	6 s /50 s			
Colson	2000		80	3	240		60-70% CVM		
Maffiuletti	2002	Bif simet cuad	120	3	400	3 s/ 17 s	60% CVM		Pliometría
Valli	2002		60-90	3		7 s/ 15 s	Máxima	30	Ninguno
Ward	2002	Kots	2500	7		10 s/ 15 s		10	

Continuación									
Nombre	Año	Tipo corriente	FC	Nº S/S	A . I	T. C/ T.R	Intensidad	T.T	Ejercicio
Cigdem	2002		85	5	100	13 s/ 50 s	Máxima	15	
Basas	2001	Bif simet cuadrada	50		300				Iso-Con-Exc
Parker	2003	Sinusoidal	5000	2	200	10 s/ 50 s	Máxima	10	
Parker	2003	Sinusoidal	5000	3	200	10 s/ 50 s	Máxima	10	
Herrero	2003		120	4	400	4 s/ 27 s		25	Ninguno
Paillard	2004	Bif simet cuadrada	20	4	350		Máxima	15	Voluntario
Holcomb	2005					10 s/ 50 s	60 % CVM	15	
Brocherie	2005		85	3	250	4 s/ 20 s	60%/Máx.	12	
Gondin	2005	Bif simet cuadrada	75	4	400	6,25 / 20	Máxima		Ninguno
Paillard	2005	Bif simet cuadrada	20	4	350		Máxima	15	Concéntric
Herrero	2006	Bif simet cuadrada	120	2	400	3 s / 20 s	Máxima	29	Pliometría
Holcomb	2006a	Rusas	2500	3		14 s/ 45 s	Máxima	15	Isométrico
Holcomb	2006b	Bif simet cuadrada	33		600	10 s /30 s			

Continuación									
Nombre	Año	Tipo corriente	FC	Nº S/S	A . I	T. C/ T.R	Intensidad	T.T	Ejercicio
Holcomb	2006a	Bif simet cuadrada	33		600	12 s/5 s			
Babult	2007	Bif simet cuadrada	100	3	300-400		60% CVM	12	
Laufer	2008	Bif simet cuadrada	50		400		Máxima	13	
Paillard	2008						60% CVM		
Petrofsky	2008	Bif simet cuadrada	30		250				
Toca Herrera	2008		100		300	10 s/10 s			Ninguno
Georgery	2008	Bif simet cuadrada	100		400	3 s/3 s	45% CVM	5	Ninguno
Georgery	2008	Bif simet cuadrada	60		250	10 s/20 s	45% CVM	5	Ninguno
Maffiuletti	2009	Bif simet cuadrada	85	3	400	5 s/ 25 s	Máxima	16	
Maffiuletti	2009	Bif simet cuadrada	85	3	400	5,25 s / 5 s	Máxima	10	Isométrico
Herrero	2006a		120		400				Concéntrico
Herrero	2006c		120		400				Pliometría
Herrero	2010	Bif simet cuadrada	120	4	400	1 s/ 1 s	70 % CVM		Concéntrico

Continuación									
Nombre	Año	Tipo corriente	FC	Nº S/S	A . I	T. C/ T.R	Intensidad	T.T	Ejercicio
Billot	2010	Bif simet cuadrada	100	3	400	3 s / 17 s	Máxima	12	Ninguno
Colson	2000			5			Máxima	20	

Tabla 2. Revisión de artículos que combinan la EMS con algún ejercicio voluntario. FC = Frecuencia, N° S/S= Número de sesiones a la semana, A.I = Ancho de impulso, T.C = Tiempo de contracción, T.R = Tiempo de reposo, T.T = Tiempo total. CMV = Contracción voluntaria máxima.



4º

**- ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR  
APLICADA AL ENTRENAMIENTO -**



## **4. Electroestimulación neuromuscular aplicada al entrenamiento**

### **4.1 Combinación del ejercicio físico y la electroestimulación neuromuscular**

Hoy en día se sabe que el entrenamiento de los grandes deportistas no acaba en las pistas. El deporte de competición ha superado el límite del entrenamiento convencional y exige métodos alternativos a éste para alcanzar nuevas metas. La EMS es una de las técnicas empleada con estos atletas, gracias a la cual el deportista sobrepasa los límites del entrenamiento clásico. En la actualidad este método es empleado en múltiples federaciones deportivas con dos modalidades diferenciadas: isométrico y anisométrico. En ésta última se diferencian anisométrica concéntrica, excéntrica o pliométrica (Bosco, 2000). La contracción isométrica será aquella en la que no exista movimiento articular durante la contracción. En las anisométricas habrá movimiento articular derivado de esta contracción muscular y se diferencian la contracción concéntrica, aquella en la que la fuerza muscular vence a la resistencia externa, o la contracción anisométrica excéntrica, aquella en la que la fuerza muscular es vencida por la fuerza externa. Por último la pliometría que supone una combinación de ambas modalidades de contracción anisométrica y que basará sus principios en el ciclo de estiramiento – acortamiento.

#### *4.1.1 Entrenamiento con Pliometría*

El entrenamiento a base de pliometría produce aumentos de rendimiento demostrado tanto en capacidad de salo como de velocidad. Así Bosco (2000) demostró como la utilización de un chaleco lastrado mejoraba el SJ y el test de Bosco durante 15 s, Hakkinen (1985) obtuvo mejoras del 6,8% para la fuerza máxima y del 21% para el SJ tras un protocolo de pliometría de 24 semanas. Por otro lado Chimera (2004) demostró como un protocolo de ejercicios pliométricos aumentaban el salto vertical y el sprint y Markovic (2007), obtuvo tras un entrenamiento con pliometría de 10 semanas a razón de 3 días/semana, que el DJ mejoró un 14,2%, un 6 % CMJ y la prueba de longitud desde una posición estática un 2,8%. A su vez Khalifa (2010) defendió además

que si al entrenamiento pliométrico se le sumaba un entrenamiento mediante pesas, el incremento en la prueba de penta saltos desde posición estática aumentaba un 2%.



*Figura 15. La fase de apoyo en la carrera de velocidad supone un ejercicio pliométrico de la musculatura del tríceps sural. Elaboración propia.*

#### *4.1.2 Entrenamiento con electroestimulación neuromuscular*

La EMS consiste en la aplicación de una corriente eléctrica al músculo o nervio periférico con el fin de lograr una contracción involuntaria (Lake, 1992). Este método de entrenamiento presenta como principal ventaja el aumento de fuerza máxima de forma más acentuada que el entrenamiento voluntario y como principal inconveniente la inhibición del reflejo miotático y del órgano tendinoso de Golgi que ocasiona, incrementándose así el riesgo de lesiones si el uso no es el adecuado (Jubeau, 2006; Delitto, 1989; Ruther, 1995). Además siempre se debe tener presente que la coordinación agonista-antagonista, no se consigue con la aplicación exclusiva de EMS (Holcomb, 2005).

A pesar de ello la EMS presenta varias ventajas que han hecho que muchos deportistas de élite de deportes que requieren grandes compromisos aeróbicos,

abandonen el trabajo de musculación en sala sustituyéndolo por la EMS. En primer lugar la EMS consigue reforzar los músculos sin tener efectos hipertróficos nefastos sobre la pared cardiaca (Pombo, 2004), así ciclistas o maratonianos están beneficiándose de esta modalidad de obtención de fuerza sin que su volumen de expulsión y en consecuencia su flujo cardiaco se vea disminuido. En segundo lugar cabe destacar la oportunidad que brinda la EMS de conservar el cartílago articular y disminuir el número de lesiones al minimizar los pesos que deben ser levantados y el número de multisaltos en deportes que requieren una importante fuerza explosiva. En último lugar deberíamos tener presente que la EMS permite a través de su frecuencia estimular 10 s nuevos tipos de fibras descubiertos que permiten realizar una manifestación explosiva-elástico-reactiva de la fuerza y que además de encontrarse en los músculos masticadores de los primates y en nuestros músculos oculares, se encuentran entre las fibras musculares del cuádriceps de grandes velocistas (Maffiuletti, 2009).

El entrenamiento basado en la EMS ha sido utilizado previamente con éxito por varios autores: Caggiano (1994) comparó el aumento de fuerza isométrica máxima conseguida a través de un entrenamiento mediante ejercicios isométricos (36%) con el que se consiguió con EMS (42%) durante 4 semanas a 25-50 Hz de intensidad, un ancho de impulso de 100 mseg y un tiempo de contracción- reposo de 15-50 s.

Años más tarde Babault (2007) consiguió mejoras del 6,6% en el salto DJ, del 2,82% en el CMJ, y del 10% en el SJ tras aplicar un programa de EMS a jugadores de rugby profesional durante 12 semanas con una frecuencia de 100 Hz, una duración de impulso entre 300 y 400 mseg, 12 min de tratamiento total y una intensidad del 60% de la contracción isométrica voluntaria máxima. Previo a este estudio, Maffiuletti (2002) obtuvo mejoras del 14% en SJ con un entrenamiento de 4 semanas a razón de 3 sesiones semanales con una frecuencia de 120 Hz, un ancho de impulso de 400 mseg y un tiempo de contracción-reposo de 3-17 s. Por otro lado Pichón (1995) alcanzó incrementos de pico de fuerza máxima isométrica, concéntrica y excéntrica, así como un 1,3% en la velocidad en 25 m en nadadores a los que se les aplicó EMS en el dorsal ancho durante 3 semanas, Herrero (2006) del 2,4% en pruebas de velocidad, y Toca Herrera (2008) consiguió un aumento del 5,11% a través de la EMS en fuerza máxima isométrica.



Figura 16. Entrenamiento con electroestimulación neuromuscular. Elaboración propia.

Más adelante Billot (2010) consiguió un aumento del 6,7% en SJ, 2,27% en CMJ y 1,71% en ABK tras aplicar durante 5 semanas a razón de 3 veces por semana un entrenamiento mediante EMS de 12 min a 100 Hz de frecuencia, 400 mseg y una contracción de 3 s y tiempo de descanso de 17. Cinco años antes Brocherie (2005) tras la aplicación durante 3 semanas a razón de 3 sesiones semanales de una corriente de 4 s de contracción y 20 s de descanso, 80 Hz de frecuencia y un ancho de impulso de 250 mseg, consiguió aumentos en la fuerza máxima isométrica así como un 5,8% en la velocidad en 10 m.

#### 4.1.3 ¿Por qué combinar la electroestimulación neuromuscular con un ejercicio voluntario?

El uso combinado del ejercicio y la EMS ha sido poco utilizado con anterioridad (Basas, 2001; Herrero, 2006; Maffiuletti, 2002). Además este uso combinado se ha utilizado mayoritariamente para obtener beneficios de rendimiento en las pruebas de salto DJ, CMJ y SJ (Herrero, 2006; Maffiuletti, 2002) y poco en pruebas de velocidad (Herrero, 2006). Dehail (2008) habló de cómo la EMS se asociaba con actividad en la

corteza sensitivo-motora 1° y el área motora suplementaria y parecía alcanzar mayores niveles de fuerza cuando se combinaba con ejercicio voluntario. Hainaut (1992) opinaba que la EMS ayudaba a la contracción de las unidades motoras largas cuya estimulación resultaba difícil a través del ejercicio voluntario

Un programa de EMS puede y debe realizarse si su objetivo es el de entrenar la fuerza muscular, asociado a una contracción voluntaria. Este hecho ha sido justificado por varios autores, Valdora (2000) expuso claramente como la estimulación muscular inducida por EMS debe ser integrada a un programa de ejercicio voluntario que mantenga la propiocepción del deportista. Además Gregory (2005) defendió que ambos métodos debía aplicarse conjuntos o simultáneos debido a que el reclutamiento de fibras es inverso en cada uno de ellos. Por otro lado Ward (2002) afirmó que se conseguían mejores resultados combinando la EMS y el ejercicio voluntario por dos motivos principales; el hecho de que se realizaba el doble de ejercicio por un lado, y que suponía un entrenamiento más completo puesto que el ejercicio voluntario reclutaba primero las fibras lentas y la EMS reclutaba primero las rápidas. Respecto a esto, Raquena (2005) explicó que la contracción de las fibras rápidas en primer lugar durante una contracción mediante EMS era debida al mayor diámetro de axón y menor impedancia de estas, a la retroalimentación de efectos cutáneos aferentes, y a la estimulación de receptores cutáneos que inhibían la contracción de fibras lentas y estimulaban las rápidas. Las fibras superficiales y las más cercanas al campo eléctrico se contraen mejor mientras que la intensidad del campo eléctrico aumenta a medida que se profundiza en el músculo. Por otro lado Wigerstand-Lossing (1988), obtuvo resultados similares en sus estudios y Holcomb (2005) dijo además que la coordinación agonista-antagonista no se consigue sólo con la EMS y que era necesario un ejercicio voluntario.

A pesar de la falta de estudios que utilicen ambos métodos de forma simultánea, si existen varios autores que defienden que este tipo de aplicación podría ser beneficiosa: Paillard (2008) dedicó todo su estudio a comparar la EMS combinada con ejercicio voluntario frente a ambos métodos aislados y obtuvo que la terapia combinada conseguía mejores resultados que la contracción voluntaria, aunque en este artículo no superpuso dichos métodos. En otro estudio, en el 2006, este mismo autor ya había afirmado que la superposición de la EMS al ejercicio voluntario aumentaba el número de unidades motoras reclutadas y aumentaba así la fuerza de contracción. Afirmó

además que esto sólo ocurría con el ejercicio excéntrico. Por otro lado Cometti (1998b) afirmó que no era aconsejado trabajar solamente con EMS, siendo necesario emplear otras formas de contracción. No aconsejaba la isometría ya que lo EMS se realizaba bajo esta modalidad, y creía que la contracción excéntrica podía causar en el atleta un agotamiento muscular muy avanzado, por lo que recomendaba la combinación de la EMS con un ejercicio concéntrico o pliométrico.

En una de las cartas escritas en la revista Sport Medicine entre Pillard y Maffiuletti (2008) se dijo que era necesario combinar la EMS con ejercicios específicos de cada deporte para conseguir los cambios o adaptaciones necesarias así como el control motor. Por último se debe tener en cuenta los estudios de Pombo (2004) que hablaban acerca de la incapacidad a través de una contracción voluntaria de mantener la frecuencia inicial de estimulación de la fibra muscular (80-100Hz) que sólo tenía cabida el primer segundo de trabajo. Sin embargo mediante la EMS, la fibra trabaja a frecuencia constante durante todo el tiempo que durara el ejercicio. A partir de lo anterior, Herrero (2006) estudió las diferencias entre un entrenamiento a base de ejercicios pliométricos, otro basado en EMS, y un tercero que combinaba ambos métodos aunque en diferentes momentos es decir, no superponía la EMS al ejercicio pliométrico.

Se ha comprobado que las adaptaciones fisiológicas producidas en la terapia combinada son mucho mayores que las que se producen en terapias aisladas, ya sea de EMS o de ejercicio voluntario (Vanderthommen, 2001). Por otra parte, Cometti (1998) descubrió en uno de sus estudios en los que comparaba la ganancia de fuerza muscular entre un programa de contracción voluntaria versus un programa de contracción voluntaria más EMS que para alcanzar la misma fuerza, el uso de la EMS reducía el tiempo necesario en una proporción de 1:3.

Lanzani (2000) afirmó que *“la EMS tiene razón de existir si se complementa con otras técnicas de entrenamiento para mejorar el gesto motor en su totalidad y solicitar todas las cualidades físicas, sean de tipo condicional o coordinativo.”* Cometti (2000) a su vez corroboró que *“el sujeto soporta la estimulación y para progresar está obligado a imponerse a tensiones tan difíciles de aguantar como las tensiones voluntarias.”* Años antes Strojnik (1995), había afirmado que para llegar a la máxima activación

muscular y por tanto al mayor nivel de fuerza era necesaria la superimposición de EMS a la contracción voluntaria.

#### *4.1.4 Estudios que usan la isometría como contracción voluntaria combinada con electroestimulación neuromuscular*

Partiendo de lo anterior, podremos asociar la corriente a una contracción isométrica: los objetivos del programa en este caso serán prevenir la atrofia por desuso, iniciar el programa de reeducación muscular y evitar complicaciones que puedan derivarse de la inmovilización (Meañes, 2002) En este caso debe trabajarse con intensidades submáximas para evitar así la movilidad articular. Debe tenerse en cuenta que con esta variedad de contracción únicamente vamos a ser capaces de mantener una determinada fuerza, y en ningún caso de aumentarla.



*Figura 17. Aplicación de la electroestimulación neuromuscular junto con un ejercicio isométrico de cuádriceps. Elaboración propia.*

Autores como Ruiz (2007) realizaron estudios utilizando la EMS combinada con contracciones isométricas. En el caso de este autor se aplicó un entrenamiento de contracciones isométricas a dos grupos de 10 sujetos diferenciándose entre ambos que uno de ellos superponía la EMS al inicio de las contracciones isométricas. Se obtuvo

como resultado un 9,11% de incremento de la fuerza de contracción isométrica máxima en el grupo que sólo entrenó contracciones voluntarias y de un 10,34% en el que las combinó de forma simultánea con EMS.

Por otro lado Valli (2002) consiguió mejoras en la fuerza máxima del 19% tras la aplicación de un entrenamiento combinado de EMS y contracciones isométricas tras 11 días de tratamiento en gente sedentaria, con una frecuencia de entre 60 y 90 Hz, 7 s de contracción y 15 de reposo y un tiempo total de 30 min de tratamiento y Maffiuletti (2009) realizó un programa de EMS (85 Hz, tiempo de contracción-reposo 5-25 s, 400 mseg y 16 min de duración) asociado a contracciones isométricas superpuestas y consiguió aumento del 6,4% en CMJ, 3,3% en la prueba de 10 m y una mejora de la fuerza máxima.

#### *4.1.5 Estudios que usan la anisometría como contracción voluntaria combinada con electroestimulación neuromuscular*

Por otro lado la corriente puede también asociarse a una contracción dinámica en cuyo caso el objetivo será continuar la potenciación muscular iniciada en el programa anterior e iniciar al paciente en actividades dinámicas complejas mejorando su coordinación (Meañes, 2002). En este caso habrá una mejora de la fuerza muscular y además podrá intervenir en la coordinación.

Willoughby (1998) combinó un entrenamiento de EMS mediante contracciones dinámicas superpuestas consiguiendo un aumento del test de máxima repetición de cuádriceps y del salto CMJ.

Dentro de las contracciones anisométricas, la contracción que se combine con la EMS puede ser concéntrica, en cuyo caso la fuerza realizada por el paciente vencerá la fuerza externa. Mediante esta contracción completaron sus estudios Herrero (2010b), que realizó un protocolo de EMS combinada con un ejercicio concéntrico y acompañada de ejercicio de musculación y pliometría consiguiendo mejoras superiores en los saltos de SJ y ABK así como en la prueba de 20 m frente al grupo que realizó únicamente el trabajo de musculación y las pesas. Y Maffiuletti (2010) que consiguió mejoras en pruebas de saltos y fuerza máxima tras aplicar un entrenamiento de EMS (100 Hz, 400 mseg, 4 semanas, 3 sesiones/semana, 3 s contracción, 17 s reposo, 12 min) combinado

con contracciones concéntricas. La contracción anisométrica puede ser también del tipo excéntrico, donde la fuerza externa ganará a la fuerza realizada por el paciente, para este caso Paillard (2005) afirmó en sus estudios que al añadir de forma superpuesta un ejercicio a la EMS, se aumentaba el número de unidades motoras reclutadas aumentando así la fuerza de contracción. Esto sólo ocurría con el ejercicio excéntrico y más tarde Herrero (2010b), complementó su protocolo de EMS (120 Hz, 400 mseg, 1 s contracción, 1 s descanso) al superponer al mismo una contracción excéntrica voluntaria. Se conseguía así un 6% más de incremento de fuerza que en el grupo que no realizaba EMS. Por último combinándose ambas contracciones se realiza un ejercicio pliométrico consistente en la acumulación de fuerza durante una fase excéntrica para realizar después una fuerte contracción concéntrica. No obstante, el uso combinado de EMS y PT ha sido poco empleado con anterioridad (Maffiuletti 2002, Herrero 2006). Además, este uso combinado se ha utilizado preferentemente para obtener beneficios de rendimiento en pruebas de potencia del miembro inferior como DJ, CMJ y SJ (Maffiuletti, 2002), pero en menor medida en pruebas de velocidad (Herrero 2006). Este último comparó en su estudio tres tipos de entrenamiento con un grupo control: el primero se basaba en EMS aislada (120 Hz, 400 mseg, 3 s contracción, 30 s reposo, 4 días/semana) el segundo en pliometría aislada (25 min, 2 días/semana) y el tercero combinó ambos métodos aunque no de forma simultánea (2 días de pliometría y 2 de EMS). Los resultados mostraron como el grupo que combinó ambos métodos conseguía mejores resultados en el SJ y en la fuerza máxima. Además Maffiuletti (2002) demostró que un protocolo realizado mediante EMS a 120 Hz, con un ancho de impulso de 400 mseg y un tiempo de contracción relajación de 3-17 s mejoraba la fuerza máxima y los saltos de SJ, CMJ y DJ ya que el trabajo de fuerza máxima que se conseguía mediante la EMS debía llevar asociado un trabajo de transferencia hacia la fuerza explosiva, lo que se realizaba a través de la pliometría. Brocherie (2005) habló en su estudio de la importancia de combinar la EMS con ejercicios pliométricos.

Previo a las investigaciones que aquí se presentan, se realizó un estudio en el que se sometía a una muestra de atletas a EMS y contracciones voluntarias, consiguiendo un incremento de la fuerza muscular del cuádriceps que fue medido mediante la comparativa de un test inicial y final de Bosco con medición de dos tipos de saltos: SJ y CMJ (Benito, 2008). El SJ se corresponde con la manifestación explosiva de la fuerza que aparece en una activación muscular de los segmentos propulsivos lo más rápida y

potente posible, partiendo desde una posición de total inmovilidad. El CMJ se trata de un ciclo de doble trabajo muscular, un estiramiento seguido de acortamiento. Manifiesta la fuerza elástico-explosiva (García, 2003). Así mismo se realizó un estudio paralelo con los mismos métodos de medición, en el que se trató de demostrar si la EMS es más efectiva realizándose simultáneamente un trabajo isométrico, un trabajo excéntrico o un trabajo pliométrico. Los resultados del estudio son claros, la EMS conseguía aumentos significativos de la fuerza explosiva frente al trabajo voluntario, pero lo hacía en diferentes porcentajes según el tipo de contracción muscular con la que fuera combinada: un 3,58% con una contracción isométrica, un 5,20% con una contracción excéntrica y un 6,40 % con un trabajo pliométrico.

#### *4.1.6 El trabajo combinado simultáneo de electroestimulación neuromuscular y ejercicio voluntario*

Pocos autores que se hayan encontrado en la bibliografía han superpuesto la EMS al ejercicio voluntario. Basas (2001) trabajó con saltadores de alto nivel realizando un protocolo en el que se efectuaba un ejercicio voluntario en el momento en el que el atleta notaba la descarga eléctrica. A medida que se avanzaba en el protocolo se pasaba de ejercicios isométricos a concéntricos para aplicar después ejercicios excéntricos. Por otra parte Ruiz (2007) superpuso a las descargas de EMS una contracción voluntaria isométrica mejorando así la fuerza de contracción voluntaria máxima. Años antes Poumarat (1992) había superpuesto en sus estudios contracciones voluntarias isocinéticas a una corriente bifásica simétrica cuadrada de 30 a 80 Hz y 300 msec de ancho de impulso. A su vez Willoughby (1998) presentó en sus estudios los efectos de las contracciones dinámicas superpuestas a la EMS sobre el salto vertical y la fuerza muscular obteniendo como resultado que ambos aumentan de forma significativa mediante este método. Tras todos estos estudios Paillard (2005) defendió que al añadir de forma superpuesta un ejercicio voluntario a la EMS, aumentaba el número de unidades motoras reclutadas mejorando así la fuerza de contracción. Además explicó que este hecho únicamente sucedía cuando el ejercicio combinado se trata de una contracción excéntrica.



*Figura 18. Electroestimulación neuromuscular combinada simultáneamente con saltos pliométricos.  
Elaboración propia.*

Características de programas de entrenamiento para salto				
Autor	Duración del programa	Altura de caída en los DJ	Número de saltos/sesión	Test en los que se obtuvo mejora
Hakkinen (1985)	24 semanas (72 sesiones)	No especifica	100-200 (apoyos)	SJ ( $p < 0,01$ )
Brown (1986)	12 semanas (36 sesiones)	No especifica	30	CMJ ( $p < 0,05$ )
Gemar (1988)	8 semanas (16 sesiones)	No especifica	No especifica	CMJ ( $p < 0,05$ )
Wilson (1993)	10 semanas (30 sesiones)	20-80 cm	30 – 60	CMJ ( $p < 0,05$ ) (10,33%)
Diallo (2001)	10 semanas (30 sesiones)	30-40 cm	200 – 300 (apoyos)	CMJ ( $p < 0,01$ ) (11,6%) SJ ( $p < 0,01$ ) (7,3%) RJ15" ( $p < 0,01$ )
Matavulj (2001)	6 semanas (18 sesiones)	50 cm 100 cm	30	SJ ( $p < 0,05$ )(12,8%) SJ ( $p < 0,05$ )(13,3%)
Spurrs (2003)	6 semanas (15 sesiones)	No especifica	127 (media) (apoyos)	CMJ ( $p < 0,05$ )

Tabla 3. Características de los programas de entrenamiento utilizados en algunos estudios. SJ = Salto Squat, CMJ = Salto contramovimiento, RJ15 = Saltos repetidos durante 15 s.

5º

**- PRINCIPIOS Y FISIOLÓGÍA DE LA  
CONTRACCIÓN MEDIANTE  
ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR -**



## 5. Principios del entrenamiento deportivo mediante electroestimulación neuromuscular

La planificación deportiva ha sido utilizada desde tiempos remotos: los griegos tenían un modelo basado en cuatro días, el Tetra, y los juegos se realizaban cada 4 años. La EMS es una herramienta de trabajo dentro del campo de la fisioterapia que lejos de su uso principal como medida de rehabilitación de lesiones, comenzó a utilizarse como método de entrenamiento en los años 70 después de que el ruso Kots consiguiera grandes logros deportivos a través de sus deportistas. A pesar de estas impresionantes mejoras conseguidas en la fuerza muscular de varios deportistas, la EMS aun es un tema controvertido y de discusión entre entrenadores, preparadores físicos, médicos o fisioterapeutas.

Como varios autores demostraron (Brocherie, 2005; Herrero, 2006; Venable 1991; Benito 2010), la EMS es un complemento al entrenamiento y no un método de entrenamiento en si mismo puesto que muchos de los estudios realizados con EMS, estaban condenados al fracaso por el simple hecho de haber hipotetizado una mejora en cuanto a fuerza o velocidad se refiere valiéndose exclusivamente de este método. A lo largo de su corta utilización en el ámbito deportivo, se ha demostrado que debe ser utilizado siempre como complemento a otro tipo de contracción voluntaria (Caggiano, 1994; Maffiuletti, 2002; Ward, 2002; Gregory, 2005; Holcomb, 2005; Raquena, 2005; Herrero, 2006; Benito, 2010). Se aplica con unos principios generales y específicos de entrenamiento y planificación, por lo que las sesiones se programan según el periodo de entrenamiento o competición en la que se halle el deportista, realizando microciclos y macrociclos, respetando y planificando los tiempos de reposo e intensidades, así como los periodos de compensación o supercompensación. Así pues se hablará de este método como eficaz, cuando se utilice con una programación acertada y unos parámetros específicos, sin esperar que cualquier ancho de impulso, frecuencia o tiempo de reposo genere mejoras espectaculares de fuerza muscular.

El entrenamiento se define como “*la realización planificada y sistemática de las medidas necesarias (contenidos y métodos de entrenamiento) para la obtención, con efectos estables y duraderos, de objetivos (objetivos de entrenamiento) en y a través del deporte*” (Meaños, 2002). Para que se produzca el fenómeno del entrenamiento debe

haber una adaptación por parte del organismos al esfuerzo físico que definiremos como “*bioadaptación, es el mecanismo sobre el cual se asienta todo entrenamiento deportivo. Básicamente es la respuesta fisiológica del organismo cuando se le aplica un estrés determinado, resultando como consecuencia una restitución ampliada del material gastado en la exigencia antes mencionada*” (Meañes, 2002).

El entrenamiento supone conseguir una pérdida del equilibrio en el que el cuerpo se mantiene para lograr así una adaptación de este al esfuerzo al que lo estamos sometiendo, y conseguir un nuevo equilibrio. Esta pérdida de equilibrio se produce a través de procesos catabólicos o degenerativos que se mantendrán mientras dure la influencia de la carga. El organismo responderá mediante procesos regenerativos y anabólicos para conseguir una recuperación. Es aquí cuando aparece el término de supercompensación, puesto que el organismo, lejos de alcanzar el punto de partida, intentará siempre sobrepasarlo. En el caso de la EMS son necesarias 5 ó 6 semanas para alcanzar la supercompensación de un entrenamiento de 3 semanas, dato importante a la hora de planificar la temporada (Cometti, 1998b).

La carga de entrenamiento es entendida como la medida cuantitativa y cualitativa de trabajo desarrollada por unidad de tiempo, que será capaz de modificar el estado del organismo (García, 2006). Si se considera la competición como el fin único del entrenamiento, puede estructurarse la carga como se muestra en la figura 19.



Figura 19. Estructura de la carga. Adaptado de García, J. (2006) Bases científicas de la periodización a través del modelo de bloque. Revista digital-Buenos Aires, 11 (102).

Los métodos estarán compuestos de un conjunto de ejercicios más o menos específicos que serán realizados con una correcta dosificación y de manera sistemática. Este autor clasificó los ejercicios en generales, aquellos que no contenían fases o técnica alguna de la disciplina deportiva que quisiera ser entrenada. Su objetivo era preparar al cuerpo para el entrenamiento que iba a ser desarrollado a continuación, o para desarrollar las capacidades físicas generales. Los ejercicios especiales contendrían en su desarrollo fases de la actividad deportiva y su objetivo sería la preparación del organismo a las acciones específicas de la parte principal del entrenamiento, así como la enseñanza y corrección de alguna de las fases de la técnica del deporte a desarrollar. Y por último los competitivos se realizaban dentro de la competición para obtener los resultados esperados.

Los componentes de la carga van a estar diferenciados entre cuantitativos: duración, volumen y frecuencia y cualitativos: intensidad y densidad (Weineck, 2005).

El volumen puede reflejarse como tiempo de entrenamiento, kilómetros recorridos, número de saltos o volumen de peso levantado. En el caso de la EMS vendrá determinado por el tiempo total de aplicación de la corriente. La Intensidad se refiere a la calidad del trabajo realizado en un periodo de tiempo. A mayor trabajo realizado por unidad de tiempo, mayor será la intensidad. Cada actividad deportiva desarrolla una intensidad diferente aunque mediante la EMS, la intensidad de corriente debe ser siempre la máxima tolerada por el deportista, y la intensidad total del entrenamiento vendrá determinada por el ejercicio que acompañe a la EMS. De la duración dependerán los sustratos metabólicos empleados en el mismo, así como los tiempos de reposo que pueden conducir a una recuperación, total o incompleta. En el caso de la EMS dependerán del tiempo de paso de corriente y los tiempos de pausa de la misma. La densidad mide la relación entre la intensidad del ejercicio realizado y la duración del mismo y la frecuencia, los días a la semana que se efectúa la carga y será diferente para principiantes que para profesionales.

### **5.1 Supercompensación y electroestimulación neuromuscular**

Por la ley de supercompensación el organismo busca una adaptación al esfuerzo físico, al entrenar mediante EMS los procesos catabólicos son más acentuados que los que se producen mediante una contracción voluntaria. El ejercicio mediante EMS implica un mayor número de unidades motoras reclutadas (Paillard, 2005) lo que supone una mayor generación de productos metabólicos de desecho muscular: las concentraciones de Adenosin Tri-Fosfato (ATP) y Fosfo-Creatina (PCr) aumentan de forma más acentuada en un músculo trabajado con EMS que en uno trabajado mediante contracción voluntaria (Vanderthommen 2001 y 2003; Calderón, 2007), además la EMS interfiere en la concentración de glucógeno en músculo de forma diferente que la contracción voluntaria (Calderón, 2007). Este mayor desgaste metabólico se debe a que mediante la EMS se contraen siempre las mismas fibras, contracción sincrónica, lo que no sucede mediante la contracción voluntaria en la que la activación es asincrónica, esto supone una mayor demanda metabólica cuando la contracción es realizada mediante EMS. (Admans, 1993; Vanderthommen, 1999; Gregory, 2005). Feiereisen (1997) atribuyó este aumento de la demanda metabólica al hecho de estimular el músculo con una frecuencia continua. Vanderthommen (2003) añadió además que la EMS a iguales niveles de carga, provocaba una mayor acidosis y una mayor oxigenación citoplasmática, esto indicaba una preferencia de reclutamiento de las fibras tipo II y una hiperperfusión del músculo durante la EMS. Otros autores como Hamada (2004), Kim (1995) revelaron una mayor concentración de lactato en sangre y una mayor presión e intercambio respiratorio. Zorn (2007) informó que el mayor pico de concentración de PCr en sangre producido por la EMS se daba a las 24 h, y que el lactato aumentaba de forma muy ligera, similar a una entrenamiento de resistencia excéntrica sin dolor retardado, claro está que estos resultados son exclusivos de la frecuencia y diferentes parámetros de corriente que utilizó este autor. De hecho Georgery (2008) reveló que la fuerza generada y por lo tanto la demanda metabólica, dependía del número de puentes cruzados entre los filamentos de actina y miosina, que estaban relacionados directamente con la hidrólisis del ATP. Un ancho de impulso mayor conseguía activar más unidades motoras aumentando así la fuerza generada y el

gasto metabólico producido. Una mayor frecuencia de corriente genera mayor gasto de ATP y PCr y aumenta la concentración de PH (Georgery, 2008). Además la EMS provoca una disminución del Na<sup>+</sup> y un aumento de K<sup>+</sup> en el fluido extracelular (Georgery, 2008). Este autor por lo tanto concluyó que: la fatiga muscular era causada por un aumento de la frecuencia de corriente y no por un aumento de la intensidad ni del ancho de impulso que generaba un incremento del área de estimulación muscular pero no la fatiga.

Sartorio (2008) se atrevió a medir concentraciones de lactato, cortisol y Hormona de Crecimiento (GH) producidos por una corriente simétrica rectangular de 75 Hz, 400 mseg, 9 min de duración y un tiempo de contracción-relajación de 6,25-20 s. La GH producida durante un ejercicio realizado mediante EMS dependía de la duración del estímulo, pero se recupera tras 2 h de reposo. Cuando se realizaba una contracción voluntaria eran necesarias de 4 a 6 h para recuperar los valores normales de GH. Además existen autores que demostraron como a nivel cardio-pulmonar un ejercicio mediante EMS aumenta el intercambio gaseoso y la frecuencia cardiaca (Banerjee, 2005).

La EMS provoca un mayor desgaste metabólico y proceso catabólico que la contracción voluntaria, por lo que los tiempos de reposo y recuperación son mayores. Existe la necesidad de descansar entre 48 y 72 h cada grupo muscular trabajado, aunque esto se requiere para una recuperación total, que según el objetivo perseguido con el entrenamiento, no siempre es necesario. A raíz de esto Babault (2007) y Billot (2010) recordaron la importancia de reducir la carga de EMS para obtener así mejores resultados produciéndose la supercompensación. La EMS consigue también mediante muchas de sus varias combinaciones de parámetros, una recuperación y regeneración más rápida. Así por ejemplo la hemoglobina decrece tanto en la EMS como en el ejercicio voluntario, pero durante el descanso aumenta de forma más pronunciada en la EMS. Ocurre exactamente lo mismo con el consumo máximo de oxígeno. Todo esto supone que a pesar de que la EMS implica mayores demandas metabólicas, el daño transitorio es mayor cuando el ejercicio se realiza de forma voluntaria (MC Neil, 2006). Además en el ejercicio realizado después de la estimulación mediante EMS, el consumo de O<sub>2</sub> disminuye un 5% (Mel, 2000). Cheng (1982) dio datos de cómo una corriente de entre 50 y 1000 microamperios (μA), podía aumentar entre un 300% y un 500% la

concentración de ATP y mejorar además el transporte de aminoácidos por la membrana celular aumentando la síntesis proteica en un 40%. Varios autores hablaron de todo lo que esta fisiología de la EMS puede acarrear: el tiempo ganado antes de aparecer el cansancio aumenta entre un 15% y un 20% (Mel, 2000), se aumenta la recuperación general (Dombrovskaya, 1997), mejora el tiempo de reacción (Flurey, 1979) y las fibras tipo II se vuelven más resistente al cansancio (Pette, 1985).

## **5. 2 Principios del entrenamiento deportivo aplicados a la electroestimulación neuromuscular**

*5.2.1 Principios para iniciar la adaptación biológica:* Como debe ser el estímulo para que produzca adaptación (Meaños, 2002).

Principio de carga y recuperación: Es necesario que el estímulo tenga una determinada intensidad para que se produzca la ruptura de la homeostasis y se de la adaptación, es decir la intensidad necesaria según diferenciamos entre fuerza, fuerza explosiva o velocidad así como una duración de estímulo determinada. En el entrenamiento mediante EMS según la manifestación de la fuerza que quiera ser mejorada, o según se quiera mejorar la resistencia aeróbica o velocidad máxima, el tiempo de paso de la corriente será largo con descansos cortos que permita la recuperación completa y una intensidad sub-máxima para mejorar la resistencia aeróbica, y cortos con largo periodos de descanso que permitan una recuperación completa a intensidades máximas toleradas para mejorar la fuerza explosiva. Así pues será imprescindible para cumplir este principio tener claro el objetivo del entrenamiento mediante EMS para adaptar los tiempos de estímulo y reposo y la intensidad de corriente. Respecto a este principio Millar (1993) habló en sus estudios de como la sobrecarga rige el entrenamiento de fuerza, tanto el realizado de forma voluntaria como mediante EMS. Además Mel (2000) informó que la imposición física de la EMS a una contracción voluntaria genera una supercompensación.

Principio de continuidad: Es importante encadenar correctamente los periodos de entrenamiento y recuperación. La EMS al producir mayores demandas metabólicas, requiere tiempos de recuperación más largos, unas 72 h pudiendo aun así alternarse los

músculos que se trabajan y realizar entrenamiento con EMS todos los días si se requiere. Al forzar una lesión la parada del entrenamiento se pierde la adaptación de este primer periodo, puede evitarse con la EMS ya que al no requerir impacto como la actividad de carrera o salto, o al no ser indispensable el movimiento articular para su utilización, podemos continuar con el entrenamiento a pesar de la lesión, en muchas más ocasiones que con el ejercicio voluntario.

Principio del incremento progresivo del esfuerzo: *“El umbral del deportista va cambiando por lo que debe incrementarse la cantidad de entrenamientos a lo largo del tiempo, de lo contrario los estímulos pasan de ser fuertes a medianos y de medianos a flojos, y no adaptan”* (Meaños, 2002). Es por esto que la intensidad de la corriente varía a lo largo de las sesiones. Puede aumentarse el porcentaje de fuerza máxima isométrica que provoca la corriente, o puede utilizarse la máxima intensidad tolerada por el deportista de forma que, al tolerar este cada día una intensidad mayor, se respeta el principio del incremento progresivo del esfuerzo. Aun así, el esfuerzo puede aumentarse o bien incrementando la intensidad del ejercicio o el tiempo del mismo.

Principio de variedad: La carga debe variarse para que no se produzca la acomodación y cese la adaptación. Puede realizarse con una carga irregular o con la variedad del esfuerzo (Meaños, 2002). Mediante la EMS la forma más sencilla de llevar a cabo este principio es modificando el ejercicio voluntario que se combina con la corriente.

### 5.2.2 Principios para garantizar la adaptación biológica

Se centran en el orden adecuado de los estímulos para que la secuencia en el tiempo se la óptima (Meaños, 2002)

Principio de Modelización: Es complicado realizarlo mediante EMS exclusivamente. La modelización consiste en conseguir en el entrenamiento unas situaciones y características similares a las que se van a dar en la competición (Meaños, 2002). Si se tuvieran en cuenta los modelos energéticos que se utilizan compitiendo, serán muy diferentes de los que toman parte en el ejercicio mediante EMS ya que las demandas metabólicas son mayores y el reclutamiento temporal es diferente al que se da en el ejercicio voluntario. Aun así mediante la EMS, debe simularse lo más posible la

situación que se va a dar en la competición ajustando los tiempo de contracción y reposo y utilizando una contracción voluntaria lo más parecida posible a la que deba reproducirse en la competición.

Principio de Periodización: El entrenamiento se desarrolla a largo plazo (Meaños, 2002) al igual que se programa la EMS a lo largo de toda la temporada con una fase de adaptaciones biológicas y una etapa de transferencia. Igualmente se programan las sesiones de descanso de EMS necesarias entre sesiones de trabajo, el momento de la temporada en el que debe aplicarse según el objetivo que se persiga, y el tiempo necesario para lograr la supercompensación.

### 5.2.3 Principios para orientar la adaptación biológica

Se centran en especializar al deportista y en conseguir las mejores marcas posibles (Meaños, 2002), aquí es donde métodos complementarios al entrenamiento como la EMS toman importancia.

Principio de Especificidad: Al realizar un trabajo más especial se deja de lado la preparación general. Deben trabajarse ciertas zonas para mantener un nivel biopositivo y que no se produzcan lesiones. Para estos fines puede utilizarse el complemento de la EMS, tanto para potenciar la musculatura específica de cada deporte, como para complementar el trabajo general que ayuda a evitar y prevenir, muchas lesiones relacionadas con un leve trabajo de ciertas zonas musculares.

Principio de individualización: Como cualquier tipo de entrenamiento, la EMS debe de estar individualizada para cualquier deportista. Quizás este principio se ponga más de manifiesto en el parámetro de intensidad puesto que muchos autores ya definieron diferencias en la percepción de la corriente entre hombres y mujeres (Maffiuletti, 2008) o personas obesas y no obesas (Bruton, 2002; Rolland, 2004; Maffiuletti, 2007).

Principio de Alternancia Reguladora: El entrenamiento debe tener una alternancia entre dos tipo de factores: “*eleva y mantiene la capacidad de rendimiento*” (Meaños, 2002). Para ello se trabaja la alternancia de varias capacidades como la resistencia aeróbica y anaeróbica, la fuerza máxima, velocidad de reacción, velocidad máxima cíclica. Todo esto supondrá un cambio en la frecuencia de corriente según el

objetivo planificado para esa sesión, y una variación también del tiempo de contracción y de reposo.

**Principio de la Preferencia:** En un momento determinado de la temporada del deportista, hay que dar preferencia a ciertas capacidades físicas sobre otras. Una vez planificado eso sobre el entrenamiento convencional, se varían para esas sesiones los parámetros de la EMS de forma que permitan también a través de este complemento al entrenamiento, dar mayor importancia a esa capacidad. Sobre este principio Young (2002) comprobó que entrenando de forma específica una forma de velocidad durante 6 semanas, podría perjudicarse otra expresión de la velocidad. Además, Little (2005) concluyó que los test específicos y los entrenamientos deberían adecuarse al componente de la velocidad que quisiera ser mejorado.

**Principio de la Regeneración Periódica:** Este principio habla de introducir 6 meses de entrenamiento general de regeneración cada 3-5 años de competición de élite. Si se planificara así la vida del deportista, en estos 6 meses se acompaña la EMS únicamente con un fin regenerador y nunca de entrenamiento, para lo que la frecuencia debería indicarse entre 3 y 15 Hz.

Así pues una vez conocidos los principios que rigen el entrenamiento deportivo, se realizará la planificación anual de EMS, la cual podrá variar a lo largo del año y adaptarse según los test que se realicen. Dependiendo del objetivo perseguido, los programas de EMS se adaptarán dentro de la planificación de una capacidad u otra es decir, se ajustará el trabajo de EMS de acuerdo a las sesiones de resistencia si lo que se persigue es mejorar la capacidad aeróbica, o a las sesiones de fuerza si lo que se busca es la ganancia de alguna de las manifestaciones de la fuerza. Debido a que la EMS es un complemento al entrenamiento, éste nunca debe planificarse según las sesiones de EMS, sino que será ésta la que se adapte a las sesiones pautadas por el entrenador.



Figura 20. Última fase de salto de longitud. Elaboración propia.

### 5.3 La periodización de la fuerza

La fuerza en sí no se utiliza en ningún deporte y requiere siempre de una conversión a potencia o resistencia-muscular según el deporte practicado. Para ello se cumplirán varias fases a lo largo de un ciclo de entrenamiento: En un primer periodo preparatorio se abordarán tres fases diferentes: la adaptación anatómica, la fase de máxima fuerza, y la fase de conversión a potencia o resistencia-muscular. En un segundo periodo de competición tendrá lugar una fase de mantenimiento de la potencia o de la resistencia muscular, y una segunda fase de cese de entrenamiento o recuperación.

#### 5.3.1 Fase de adaptación anatómica

El principal objetivo de esta fase es adaptar la musculatura, tendones y articulaciones para soportar los futuros entrenamientos. Se trata de involucrar el mayor número de músculos posibles, no sólo los grandes músculos fásicos necesarios para realizar el movimiento específico de cada deporte, sino también los tónicos y aquellos

que darán estabilidad o prevendrán lesiones. Esta fase suele tener una duración de entre 8 y 10 semanas o 3 y 5 semanas según se trate de un deportista joven e inexperto en trabajo de fuerza, o un deportista veterano con muchos años de adaptación a este trabajo (Meaños, 2002).

En cuanto a la EMS en esta fase se abordará desde dos programas diferentes:

*Programa de adaptación:* cuyos objetivos estarán basados en el aumento del metabolismo muscular y la mejora de la micro circulación e intercambio celular. Los parámetros de corriente utilizados serán una frecuencia de entre 10 y 40 Hz que permita mejorar la micro circulación y el intercambio celular, el ancho de impulso variará según la cronaxia del músculo que quiera ser trabajado. Se realizarán en torno a 20-50 repeticiones de 4 a 8 s de contracción y 5 a 15 s de reposo (Pombo, 2004). Se combinará con ejercicio voluntario isométrico o concéntrico y con un trabajo aeróbico de base.

*Programa de resistencia aeróbica:* La EMS es capaz de convertir cierto porcentaje de fibras rápidas a lentas mejorando así los objetivos que se quieren alcanzar con este programa: una mejora de la resistencia aeróbica muscular, un aumento del consumo de O<sub>2</sub> y un aumento en el intercambio gaseoso y de las enzimas oxidativas. La resistencia aeróbica está basada en el umbral anaeróbico y en el VO<sub>2</sub> máximo que depende del transporte de O<sub>2</sub> al músculo y de la capacidad de las fibras para consumir ese O<sub>2</sub>. En este programa se utilizarán frecuencias algo más bajas de entre 10 y 20 Hz, se elevarán los tiempos de contracción a los 7 a 10 s y se bajaran los de recuperación a los 2 a 4 s. La duración de estos programas es amplia ya que buscan mejorar la resistencia, entre 200 y 300 repeticiones. (Pombo, 2004)

La EMS consigue un aumento del consumo de O<sub>2</sub> únicamente en los músculos trabajados, pero se sabe que en el entrenamiento voluntario ocurre también esta especificidad, de hecho no es lo mismo realizar a un ciclista una prueba de esfuerzo en un ciclo ergómetro que en un tapiz rodante, por múltiples razones, pero esta es una de ellas.

### 5.3.2 Fase de Máxima Fuerza

Se intentará “desarrollar los niveles de fuerza más alto posibles” (Meaños, 2002). Tanto la potencia, necesaria en deportes de salto o velocidad, como la resistencia

muscular, imprescindible para deportes como los 1500 m de natación, requieren de una fuerza máxima elevada que sea luego transformada en potencia o resistencia muscular. Esta fase tendrá una duración de entre 1 y 3 meses pero siempre será un múltiplo de 3, 3, 6, 9, 12... semanas (Meaños, 2002). Respecto a la EMS en esta fase vamos a periodizarla en base a dos posibles programas:

Programa de Hipertrofia, este programa no es estrictamente necesario, es decir puede prescindirse de él si los objetivos del entrenamiento así lo requieren. Estará basado en el aumento de volumen y en la mejora de la resistencia muscular y se trabajara con una frecuencia de entre 50 y 70 Hz, un tiempo de contracción de entre 6 y 8 s y un tiempo de reposo de entre 4 y 9 s. El número de contracciones será muy inferior al realizado en al fase previa, entre 60 y 130 contracciones.

Programa de fuerza máxima en el que se tratará de mejorar la fuerza dinámica máxima y la fuerza isométrica máxima a través de una corriente de 70 a 100 Hz con un tiempo de contracción de entre 3 y 4 s y un tiempo de reposo que permita una recuperación completa, 20 a 40 s. El número de contracciones oscilará entre 20 y 40 (Pombo, 2004).

Fase de conversión donde el objetivo principal será convertir la fuerza máxima conseguida en la etapa anterior en combinaciones de fuerza específica y efectiva para cada deporte ya sean de potencia, de resistencia muscular o de la combinación de ambas. La duración de esta fase variará entre las 4 y 5 semanas para la conversión a potencia, y entre 6 y 8 para la conversión a resistencia muscular ya que la adaptación anatómica y fisiológica a esta última capacidad requiere un tiempo mayor (Meaños, 2002). En cuanto a la EMS, Billot (2010) expresó como es necesario realizar ejercicios pliométricos para transferir la fuerza ganada mediante EMS a potencia y que esta transferencia es más fácil de conseguir en gente entrenada específicamente para la velocidad. Por otro lado Pombo (2004) presentó dos programas para la conversión a potencia cuyos objetivos eran mejorar la velocidad a la que se conseguía la máxima fuerza, la velocidad de contracción muscular y la elasticidad.

En el programa de fuerza explosiva se emplea una corriente de frecuencia entre 100 y 120 Hz, con un tiempo de contracción de 3 s y un reposo que permita una recuperación prácticamente total entre 20 y 40 s. Las contracciones estarán a razón de 20 a 30.

En el programa de pliométricos la frecuencia se incrementa a 110-150 Hz y el tiempo de contracción se reduce a 3 s. El tiempo de reposo y el número total de contracciones serán el mismo que en el programa anterior.

En cuanto a la conversión a resistencia muscular, Pombo (2004) presentó como objetivos llevar al máximo posible el sistema anaeróbico láctico, y la mejora de la fuerza-resistencia muscular. Para ello utilizó un programa de resistencia muscular basado en 40 a 70 contracciones de 6 a 8 s de contracción y 4 a 8 s de reposo. La frecuencia del programa osciló entre 50 y 70 Hz.

Debe existir una fase de mantenimiento durante el periodo de competición necesaria para no sufrir el efecto del desentrenamiento (Meañes, 2002). En esta fase las sesiones de fuerza se reducen a 2 o 3 por semana y la EMS se limita a 2 sesiones semanales buscando que entre ellas exista un descanso de al menos 72 h.

Cualquier fase de cese o descanso en la temporada en la que los entrenamientos de fuerza sean suprimidos, se acompañarán de un cese de los trabajos de EMS con objetivo de mejorar la fuerza. Pueden aun así utilizarse programas aeróbicos o de recuperación según la programación del entrenamiento.



**Referencias bibliográficas**

Aceña, R.M., Díaz, G., González, J.M., Juárez Santos, D., & Navarro, F. (2007). Efecto sobre la mejora y retención de la fuerza de un programa de entrenamiento de fuerza con cargas concentradas en sujetos no entrenados. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte RICYDE*, 7(3), 24-33.

Adams, G.R., Harris, R.T., Woodard, D., & Dudley, G.A. (1993). Mapping of electrical muscle stimulation using MRI. *Journal of applied physiology*, 74(2), 532-537.

Akima, H., Kano, Y., Enomoto, Y., Ishizo, Y., Okada, M., Oishi, Y., Katsuta, S., & Kyno, S.Y. (2001). Muscle function in 164 men and woman 20 -84 years. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(2), 220-226.

Alon, G., & Smith, G. (2005). Tolerance and conditioning to neuro-muscular electrical stimulation within and between sessions and gender. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4, 395-405.

Arazi, H., & Asadi, A. (2011). The effect of aquatic and land plyometric training on strength, sprint, and balance in young basketball players. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(1), 101-111.

Babault, N., Cometti, G., Bernardin, M., Pousson, M., & Chatard, J. (2007). Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 431-437.

Banerjee, P., Caulfield, B., Crowe, L., & Clark, A. (2005). Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength and aerobic capacity in healthy sedentary adults. *Journal of Applied Physiology*, 99(6), 2307-2311.

Basas, A., Padilla, I., & Franco, M. A. (2001). Metodología de la electroestimulación en el deporte. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología*, 4(1), 36-47.

Basas, A., Fernández, C., & Martín, JA. (2003). Técnicas Fisioterápicas aplicadas en el tratamiento de la patología de rodilla. Madrid: MC Graw Hill Interamericana.

Baudry, S., Klass, M., Pasquet, B., & Duchateau, J. (2007). Ages related fatigability of the ankle dorsiflexor muscle during concentric and eccentric contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 100, 515-25.

Bax, L., States, F., & Varghagen, A. (2006). Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? *Sports Medicine*, 35(3), 191-212.

Benito, I. (1974). Principios de electricidad. Salamanca: Academia Nacional.

Benito, E. (2008). Electroestimulación: Aumento de la fuerza muscular medido por el test de Bosco. *Fisioterapia y Calidad de Vida*, 11(1), 27-33.

Benito, E., Sánchez, L., & Martínez-López, E. (2010). Effect of combined plyometric and electrostimulation training on vertical jump. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte-RICYDE*, 21, 322-334.

Benito-Martínez, E., Lara- Sánchez, A., Berdejo- del Fresno, D., & Martínez-López, E. (2011). Effects of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump and speed test. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6 (4), 603-615.

Benito, E., Lara Sánchez, A.J., Moral-García, J.E., & Martínez-López, E.J. (2012). Effects of order of application of electrical stimulation and plyometric in the training of hundred speed. *Journal of Sport and Health Research*, 4(2), 167-180.

Berdejo, D., & González, J. M. (2009). El entrenamiento de fuerza en los jugadores jóvenes del tenis. *Journal of Sport and Health Research*, 1(1), 46-55.

Bickel, C., Slade, J., Warren, G., & Dudley, G. (2003) Fatigability and variable-frequency train stimulation of human skeletal muscles. *Physical Therapy*, 83, 366-373.

Billot, M., Martin, A., Paizis, C., Cometti, C., & 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, 1407-1413.

Binder-Macleod, S., & Scott, W. (2001). Comparison of fatigue produced by various electrical stimulation trains. *Acta Physiologica Scandinavica*, 172(3), 195-203.

Blümel, G. (1992). Theoretische Positionen und allgemeine Prinzipien der Anwendung und Dimensionierung der EMS Parameter. En: *Elektromyostimulation in der Traumatologie*. Stuttgart: Wentzensen.

Bobbert, M.F. (1990). Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Medicine*, 9, 7-22.

Bompa, T. (2004). Entrenamiento de la potencia aplicado a los entrenamientos. Barcelona: INDE.

Boschetti, G. (2002). ¿Qué es la electroestimulación? Teoría, práctica y metodología del entrenamiento. Barcelona: Paidotribo.

Bosco, C. (1994). Valoración de la fuerza con el test de Bosco. Barcelona: Paidotribo.

Bosco, C., Iacovelli, M., Tsarpela, O., Cardinale, M., Bonifazi, M., Tihanyi, J., Viru, M., De Lorenzo, A., & Viru, A. (2000). Hormonal responses to whole-body vibration in men. *European Journal of Applied Physiology*, 81(6), 449-454.

Brocherie, F., Babault, N., Cometti, G., Maffiuletti, N., & Chatard, J.C. (2005). Electrostimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 455-460.

Brooks, M.E., Smith, E.M., & Currier, D. (1990). Effect of Longitudinal Versus Transverse Electrode Placement on Torque Production by the Quadriceps Femoris Muscle during Neuromuscular Electrical Stimulation. *Journal of Orthopaedic Sports and Physical Therapy*, 11(11), 530-534.

Bowman, B.R., & Baker, L.L. (1985). Effects of waveform parameters on comfort during transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *Annals of Biomedical Engineering*, 13(1), 59-74.

Brown, P.B., & Ritz, L.A. (1986). Dorsal horn potentials and current source densities evoked by single action potentials in single slowly adapting type I axons. *Journal of Neurophysiology*, 55(5), 1104-13.

Bruton, J.D., Katz, A., Lännergren, J., Abbate, F., & Westerblad, H. (2002). Regulation of myoplasmic Ca(2+) in genetically obese mouse single skeletal muscle fibres. *Pflugers Archives*, 444(6), 692-699.

Caggiano, E., Emery, T., Shirley, S., & Craik, R. (1994). Effects of electrical stimulation or voluntary contraction for strengthening the quadriceps femoris muscle in an aged male population. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 20(1), 22-28.

Calderón, J. (2007). *Fisiología aplicada al deporte*. Madrid: Tebar.

Chau, H. (2007). Elementos. *Ciencia y cultura*, 14(65), 49-62.

Cheng, N., Van Hoof, H., Bockx, E., Hoogmartens, M.J., Mulier, J.C., De Ducker, F.J., Sansen, W., & De Loecker, W. (1982). The effect of electric currents on ATP generation protein synthesis, and membrane transport in rat skin. *Clinical Orthopaedic Related Research*, 171, 264-72.

Chicharro, J. & Vaquero, A. (2006). *Fisiología del ejercicio*. Madrid: Panamericana.

Child, R.B., Brown, S.J., Day, S.H., Saxton, J.M., & Donnelly, A.E. (1998). Manipulation of knee extensor force using percutaneous electrical myostimulation during eccentric actions: Effects on indices of muscle damage in humans. *International Journal of Sports Medicine*, 19(7), 468-473.

Chimera, N., Swanik, K., Swanik, C., & Straub, S. (2004). Effects of plyometric training on muscle activation strategies and performance in female athletes. *Journal of Athletic Training*, 39, 24-31.

Chu, D. (1999). *Ejercicios pliométricos*. Barcelona: Paidotribo.

Cigdem, B., Ozlen, S., Ozlen, P., Aylin, K., & Elif, A. (2002). Efficacy of two forms of electrical stimulation in increasing quadriceps strength: A randomizer controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 16(2), 194-199.

Climent, J. (2001). *La electricidad médica. Historia de la rehabilitación médica*. Barcelona: Edikamed.

Coarasa, A., Morós, T., Ros Mar, R., & Vilarroya, A. (1995). Cronaxias en el ejercicio. *Archivos de Medicina del Deporte*, 12(48), 163-168.

Coarasa, A., Morós, T., Marco, C., M., & Mantilla, C. (2000). Beneficio potencial de la electroestimulación neuromuscular del cuádriceps femoral para el fortalecimiento. *Archivos de Medicina del Deporte*, 17(79), 405-412.

Colson, S., Martin, A., & Van Hoecke, J. (2000). Re - examination of training effects by electrostimulation in the human elbow musculoskeletal system. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 281-288.

Cometti, G. (1998). Los métodos modernos de musculación. Barcelona: Paidotribo.

Cometti, G. (1998b). La pliometría. Barcelona: INDE.

Cometti, G. (2002). El entrenamiento de la velocidad. Barcelona: Paidotribo.

Contreras, D., Vera, O.G., & Díaz, .D. (2006). Análisis del índice de elasticidad y fuerza reactiva bajo el concepto de longitudes y masas segmentales de los miembros inferiores. *Revista digital efdeportes.com*, 11 (96). [fecha de consulta: Marzo 2009] Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd96/masas.htm>.

Cronin, J.B., & Hansen, K.T. (2005). Strength and power predictors of sport speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 349-357.

Currier, D., & Mann, R. (1983). Muscular strength development by electrical stimulation healthy individuals. *Physical Therapy*, 63, 915-921.

Dauty, M., Bryand, F., & Potiron-Josse, M. (2002). Relation entre la force isocinetique, le saut et le sprint chez le footballeur de haut niveau. *Science of Sports*, 17, 122-127.

Dehail, P., Duclos, C., & Barat, M. (2008). Electrical stimulation and muscle strengthening. *Annales De Réadaptation Et De Médecine Physique*, 51, 441-451.

Deley, G., Cometti, C., Fatnassi, A., Paizis, C., & Babault, N. (2011). Effects of combined electromyostimulation and gymnastic training in prepubertal girls. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (2), 520-526.

Delitto, A., Brown, M., Strube, S., Rose, & Lechman, R. (1989). Electrical stimulation of quadriceps femoris in a elite weight lifter: A single subject experiment. *International Journal of Sports Medicine*, 10(3), 187-191.

Dervisevic, E., Bilban, M., & Valencic, V. (2002). The influence of low-frequency electrostimulation and isokinetic training on the maximal strength of muscle quadriceps femoris. *Isokinetic Exercise Science*, 10, 203-209.

Diallo, O., Dore, E., Duche, P., & Van Praagh, E. (2001). Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(3), 342-348.

Dick, T.E., & Kelsen, S.G. (1989). Relationship between diaphragmatic activation and twitch tension to superimposed electrical stimulation in the cat. *Respiratory Physiology*, 76 (3), 337-345.

Dombrovskaya, V.K., Miller, T.N., Konstant, Z.A., Vaivad, A., Eijsbouts, X., Hopman, M., & Skinner, J. (1997). Effect of electrical stimulation of leg muscles on physiological responses during arm-cranking exercise in healthy men. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(2), 177-181.

Duchateau, J., & Hainaut, K. (1993). Behaviour of short and long latency reflexes in fatigued human muscles. *The Journal of Physiology*, 471(1), 787-799.

Eriksson, E., Haggmark, T., Kiesseling, K.H., & Karlsson, J. (1981). Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle. *International Journal of Sport Medicine*, 2, 18-22.

Fahey, T.D., Harvey, M., Schroeder, R.V., & Ferguson, F. (1985). Influence of sex differences and knee joint position on electrical stimulation-modulated strength increases. *Medicine Science and Sports Exercise*, 17(1), 144-7.

Feiereisen, F., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1997). Motor unit recruitment order during voluntary and electrically induced contractions in the tibialis anterior. *Experimental Brain Research*, 114(1), 117-123.

Fernández, J.C., Beas, M.A., Martín, F.J., Reina, A. (2007) Fatigue and performance in the Speed and jump. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte-RICYDE*, 7, 99-110.

Filipovic, A., Kleinöder, H., Dörmann, U., & Mester, J. (2011). Electromyostimulation: a systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3218-3238.

Fleury, M., & Lagassé, P. (1979). Influence of functional electrical stimulation training on premotor and motor reaction time. *Perceptual and Motor Skills*, 48, 387-393.

García, J.M., Navarro, M., Ruiz, J.A., & Martín, A.R. (1998). La velocidad, la mejora del rendimiento en los deportes de velocidad. Madrid: Gimnos.

García, L., Audin, J., D'Alessandro, G., Bioulac, B., & Hammond, C. (2003). Dual effect of high-frequency stimulation on subthalamic neuron activity. *Journal of Neuroscience*, 23(25), 8743-8751.

García, J. (2006). Bases científicas de la periodización a través del modelo de bloque. *Revista digital-Buenos Aires*, 11, 102.

García-Manso, J.M. (1999). La adaptación y la excelencia deportiva. Madrid: Gymnos.

Gemar, J.A. (1988). The effects of weight training and plyometric training on vertical jump, standing long jump and forty-meter sprint. Oregon: University of Oregon.

Georgery, A.S., & Dudley, G.A. (2008). The role of pulse duration and stimulation duration in maximizing the normalized torque during neuromuscular electrical stimulation. *Journal of Orthopaedic Sports and Physical Therapy*, 38, 508-516.

Girold, S., Jalab, C., Bernard, O., Carette, P., Kemound, O., & Dugué B. (2012). Dry-land strength training vs electrical stimulation in sprint swimming performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26, 497-505.

Gondin, J., Guetie, M., Ballay, Y., & Martin, A. (2006). Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 97(2), 165-173.

Gondin, J., Cozzone, P.J., & Bendahan, D. (2011). Is high-frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes? *European Journal of Applied Physiology*, 111, 2473-87.

González, J.J., & Gorostiaga, A. (2002). Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo. Madrid: INDE.

González, J.M., Machado, L., Navarro, F.J., & Vilas-Boas, J.P. (2006). Acute effects of strength training from heavy loads and static stretching training on squat jump and countermovement jump. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte-RICYDE*, 2(4), 47-56.

González-Badillo, J., & Ribas, J. (2002). Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. Barcelona: Inde.

Gorgey, A., Black, C., Elder, C.P., & Dudley, G. (2009). Effects of electrical stimulation parameters on fatigue in skeletal muscle. *Journal of Orthopedic Sports and Physical Therapy*, 39(9), 684-692.

Hainaut, K., & Duchateau, J. (1992). Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Medicine*, 14(2), 100-113.

Häkkinene, K. (1985). Factors influencing trainability of muscular strength during short term and prolonged training. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 7, 32-37.

Hamada, T., Kimura, T., & Moritani, T. (2004). Selective fatigue of fast motor units after electrically elicited muscle contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(5), 531-538.

Hansson, P., & Ekblom, A. (1983). Transcutaneous electro nerve stimulation as compared to placebo TENS for the relief of acute oro-facial. *Pain*, 15, (1 – 4), 157-165.

Herrero, J., & García, J. (2002). Análisis y valoración de los efectos del entrenamiento con estimulación eléctrica neuromuscular. *Rendimiento deportivo.Com*, 3. [Fecha de consulta: Junio 2009]. Disponible en: <http://www.rendimiento deportivo.com/N003/Artic013.htm>.

Herrero, J., Abadía, O., Morante, J., & García, J. (2006). Parámetros de entrenamiento mediante electroestimulación y efectos crónicos sobre la función muscular. *Archivos de medicina del deporte*, 23(116), 455-462.

Herrero, J., Alvear-Ordenes, I., & González-Gallego, J. (2006b). Early explosive force reduction associated with exercise-induced muscle damage. Relationship with soreness and serum creatine kinase. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 62(3), 163-170.

Herrero, J., Izquierdo, M., Maffiuletti, N., & García-López, J. (2006c). Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 533-539.

Herrero, A.J., Martín, J., Martín, T., Abadía, O., Fernández, B., & García-López, D. (2010). Short-Term Effect of Plyometrics and Strength Training With and Without Superimposed Electrical Stimulation on Muscle Strength and Anaerobic Performance: A Randomized Controlled Trial. Part I. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1609-1615.

Herrero, A.J., Martín, J., Martín, T., Abadía, O., Fernández, B., & García-López, D. (2010b). Short-Term Effect of Plyometrics and Strength Training With and Without Superimposed Electrical Stimulation on Muscle Strength and Anaerobic Performance: A Randomized Controlled Trial. Part II. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1616-1622.

Holcomb, W.R. (1997). A practical guide to electrical therapy. *Journal of Sport Rehabilitation*, 6(3), 272-282.

Holcomb, W.R. (2005). Is neuromuscular electrical stimulation an effective alternative to resistance training? *Strength and Conditioning Journal*, 27(3), 76-79.

Holcomb, W.R. (2006a). Effects of training with neuromuscular electrical stimulation on elbow flexion strength. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5(2), 276-281.

Holcomb, W.R., Rubley, M., Miller, M., & Girouard, T. (2006b). The effects of rest intervals knee-extension torque production neuromuscular electrical stimulation. *Journal of Sport Rehabilitation*, 15, 116-124.

Holcomb, W.R., Rubley, M., & Girouard, T. (2007). Effects of the simultaneous application of NMES and HVPC on knee extension torque. *Journal of Sport Rehabilitation*, 16, 307-318.

Howson, D.C. (1978). Peripheral neural excitability. Implications for transcutaneous electrical nerve stimulation. *Physical Therapy*, 58(12), 1467-1473.

Juárez, D., Navarro, F., Aceña, R.M., González, J.M., Arija, A., & Muñoz, V. (2008). Relación entre fuerza explosiva en squat y acciones de salto, sprint y golpeo de balón. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte-RICYDE*, 4, 1-12.

Jubeau, M., Zory, R., Gondin, J., Martín, A., & Maffiuletti NA. (2006). Late neuronal adaptations to electrical stimulation resistance training of the plantar flexor muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 98, 202-211.

Jubeau. (2008). Comparison between voluntary and stimulated contractions of the quadriceps femoris for growth hormone response and muscle damage. *Journal of Applied Physiology*, 104(1), 75.

Khlifa, R., Aouadi, R., Hermassi, S., Chelly, M., Jlid, M., Hbacha, H., & Castagna, C. (2010). Effects of plyometric training programme with and without added load jumping ability in basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (11), 2955-2961.

Kim, C.K., Takala, T.E., Seger, J., & Karpakka, J. (1995). Training effects of electrically induced dynamic contractions in human quadriceps muscle. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 66(3), 251-255.

Kots, J.M., & Hvilon, V.A. (1971). The training of muscular power by method of electrical stimulation. Moscú: State central institute of physical culture.

Kotzamanidis, C. (2006). Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in perpubertal boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20, 441-445.

Kramer, J., Lindsay, D., & Magee, D. (1984). Comparison of voluntary and electrical stimulation contraction torque. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 5, 324-331.

Lake, D. (1992). Neuromuscular electrical stimulation. *Sports Medicine*, 13(5), 320-336.

Lanzani, A. (2000). Allenamento Elettrostimolazione. Professione Fitness.

Lara, A.J., Abián, J., Alegre, L.M., & Aguado, X. (2004). Tests de salto con plataforma de fuerzas en voleibol femenino. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 2(18), 11-16.

Lara, A., Abian, J., Alegre, L., Jimenez, L., & Aguado, X. (2005). Medición directa de la potencia con test de salto en voleibol femenino. *Archivos de Medicina del Deporte*, 106, 111-120.

Lara, A.J., Abián, J., Alegre, L.M., Linares, L., & Aguado, X. (2006). Jump tests on a force platform for applicants to a sports science degree. *Journal of Human Movement Studies*. 50,133-148.

Laufer, Y., & Elboim, M. (2008). Effects of burst frequency and duration of kilohertz-frequency alternating currents and of low-frequency pulsed currents on strength of contraction, muscle fatigue and perceived discomfort. *Physical Therapy*, 88(10), 1167-1176.

Lauren, Y., & Alboin, M. (2008). Effects of burst frequency and duration of kilohertz-frequency alternating currents and of low-frequency pulsed currents on strength of contraction, muscle fatigue and perceived discomfort. *Physical Therapy*, 88(10), 1167-1176.

Leddy, J.J., Fisher, N.M., & Pendergast, D.R. (2004) Microcurrent therapy and the treatment of soft tissue injury. *International Medicine of Sport Journal*, 5, 141-146.

Lehance, C., Croisier, J.L., & Bury, T. (2005). Optojump system efficiency in the assessment of lower limbs explosive strength. *Science Sports*, 20, 131-135.

Liebano, R.E., & Alves, L.M. (2009). Comparison of the sensory discomfort index during neuromuscular electrical stimulation with low and medium excitomotor frequencies in healthy women. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 15(1), 50-53.

Linares, M., Escalante, K., & LaTouche, R. (2004). Revisión bibliográfica de las corrientes y parámetros más efectivos en la electroestimulación del cuádriceps. *Fisioterapia*, 26(4), 235-244.

Little, T., & Williams, A.G. (2005). Specificity of acceleration maximum speed and agility in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (1), 76-78.

Luebbers, P.E., Potteiger, J.A., Hulver, M.W., Thyfault, J.P., Carper, M.J., Lockwood, R.H. (2003). Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 704-709.

Lyons, C. L., Robb, J. B., Irrgang, J. J., & Fitzgerald, G. K. (2005). Differences in quadriceps femoris muscle torque when using a clinical electrical stimulation versus a portable electrical stimulator. *Physical Therapy*, 85(1), 44-51.

Maffiuletti, N., Cometti, G., Amiridis, I., Martin, A., Pousson, M., & Chatard, J. (2000). The effects of electrostimulation of the training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *International Journal of Sports Medicine*, 21(6), 437-443.

Maffiuletti, N., Dugnani, S., Folz, M., Di Pierno, E., & Mauro, F. (2002). Effects of combined electrostimulation and plyometric training of vertical jump height. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(10), 1638-1644.

Maffiuletti, N.A., Jubeau, M., Munzinger, U., Bizzini, M., Agosti, F., De Col, A., Lafortuna, C.L., & Sartorio A. (2007). Differences in quadriceps muscle strength and fatigue between lean and obese subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 101(1), 51-59.

Maffiuletti, N. (2008). Correspondence: Caution is required when comparing the effectiveness of voluntary versus stimulated versus combined strength training modalities. *Sports Medicine*, 38(5), 437-440.

Maffiuletti, N.A., Bramante, J., Jubeau, M., Bizzini, M., Deley, G., & Cometti, G. (2009). Feasibility and efficacy on progressive electrostimulation strength training for competitive tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (2), 677-682.

Malatesta, D., Cattaneo, F., Dugnani, S. & Maffiuletti, N.A. (2003). Effects of electromyostimulation training and volleyball practice on jumping ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 573-579.

Malisoux, L., Francaux, M., & Nielens, H. (2006). Stretch-shortening cycle exercises: An effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, 100, 771-779.

Markovic, G., Jukic, I., Milanovic, D., & Metikos, D. (2007). Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 543-549.

Márquez, F.J., Orihuela, A., Jiménez, A., & Fernández, J.C. (2005). Effects of the muscle fatigue on power in squat jump and Speedy. *Revista digital Buenos Aires*, 10 (88). [fecha de consulta: Junio 2010] Disponible en: [www.efdeportes.com/efd88/squat.htm](http://www.efdeportes.com/efd88/squat.htm).

Martín, V., Millet, G.Y., Lattier, G., & Perrod, L. (2005). Why does knee extensor muscles torque decrease after eccentric-type exercise? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45(2), 143-51.

Martín, S. (2006). Stimulating muscles to reduce the pain? (interview by Waldtraud Paukstadt). *MMW Fortschr Medicine*, 148(39), 17.

Martínez, A., Paseiro, G., Fernández, R., & Raposo, I. (2003). Historia de la electroestimulación. En: *Electroestimulación aplicada*. Madrid: Fundación para el desarrollo de la formación continuada sanitaria (pp. 29-47).

Martínez-López, E.J. (2002). *Pruebas de aptitud física*. Barcelona: Paidotribo.

Martínez-López, E.J., Lara, A.J., Cachón, J., & Rodríguez, I. (2009). Characteristics, frecuencies and type of physical exercise practiced by the adolescents. Special attention to the obese pupil. *Journal of Sport Health Research*, 1(2), 88-100.

Martínez-López, E.J., Benito-Martínez, E., Hitas-Contreras, F., Lara-Sánchez, A., & Martínez-Amat, A. (2012). Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11, 727-735.

Matheson, G. O., Dunlop, R. J., McKenzie, D. C., Smith, C. F., & Allen, P. S. (1997). Force output and energy metabolism during neuromuscular electrical stimulation: A 31P-NMR study. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 29(3), 175-180.

Matususe, H., Shiba, N., Umezu, Y., Nago, T., Tagawa, Y., Kakuma, T., Nagata, K., & Basford, J.R. (2006). Muscle training by means of combined electrical stimulation and volitional contraction. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 77, 581-585.

Maulder, P., Bradshaw, E. & Keogh, J. (2006). Jump kinetic determinants of sprint acceleration performance from starting blocks in male sprinters. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5, 359-366.

Maya, J., & Albornoz, M. (2010). Estimulación eléctrica transcutánea y neuromuscular. Barcelona: Elsevier.

Meaños, E., Alonso, P., Sánchez, J., & Téllez, G. (2002). Electroestimulación aplicada. Madrid: Fundación para el desarrollo de la formación continuada.

Mel, C., & Verkhoshansky, Y. (2000). Superentrenamiento. Barcelona: Paidotribo.

Millar, C., & Thépaut-Mathieu, C. (1993). Strength training by electrostimulation conditions for efficacy. *International Journal of Sports Medicine*, 14(1), 20-28.

Nelson, R., Karen, W., & Hayes, D. (1999). Clinical Electrotherapy. Michigan: Appleton y Lange.

Ortiz, V. (1999). Entrenamiento de la fuerza y explosividad para la actividad física y el deporte de competición. Barcelona: INDE.

Osborne, S.L. (1951). The retardation of atrophy in man by electrical stimulation of muscles. *Archives of Physical Medicine*, 32, 523-528.

Paillard, T., Lafont, C., Soulat, J.M., Costes-Salon, M.C., Mario, B., & Montoya, R. (2004). Neuromuscular effects of three training methods in ageing women. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44(1), 87-91.

Paillard, T., Noe, F., Passelergue, P., & An-Dupui, P. (2005). Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Medicine*, 35, 951-966.

Paillard, T., Noé, F., Passelergue, P., & Dupui, P. (2006). Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Medicine*, 35(11), 951-966.

Paillard, T. (2008). Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports Medicine*, 38(2), 161-177.

Paillard, T., Maitre, J., Chaubat, V., & Borel, L. (2010). Stimulated and voluntary fatiguing contractions of quadriceps femoris differently disturb postural control. *Neuroscience Letters*, 477, 48-51.

Parker, J. (1987). Health and fitness. *The Packet Magazine*, 20-23, 21.

Parker, M., Bennet, M., Hieb, M., Hollar, A., & Roe, A. (2003). Strength response in human quadriceps femoris muscle during two neuromuscular electrical stimulation programs. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 33(12), 713-726.

Pascua, M. (1994). Carreras de velocidad. En: *Atletismo 1: Carreras*. España: COE. Real Federación Española de Atletismo.

Peso, D. (2005). Valoración de la potencia a través del Countermovement y Drop Jump en arqueros amateurs de fútbol. Tesis doctoral. Universidad de Lomas de Zamora.

Pette, D., & Vrbová, G. (1985). Invited review: Neural control of phenotypic expression in mammalian muscle fibers. *Muscle and Nerve*, 8(8), 676-689.

Petrofsky, J. (2008). The effects of the subcutaneous fat on the transfer of current through skin and into muscle. *Medical Engineering and Physics*, 30(9), 1168-1176.

Pichon, F., Chatard, J., Martín, A., & Cometti, G. (1995). Electrical stimulation and swimming performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(12), 1671-1676.

Pierre, D., Taylor, A., Lavoie, M., Sellen, W., & Kots, Y. (1986). Effect of 2500 Hz sinusoidal current on fibre area and strength of the quadriceps femoris. *Journal of Sports Medicine*, 26, 606-611.

Pombo, M., Rodríguez, J., Brunet, X., & Requena, B. (2004). La electroestimulación, entrenamiento y periodización. Barcelona: Paidotribo.

Porcari, J.P., Miller, J., Cornwell, K., Foster, C., Gibson, M., Mc Lean, K., & 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, 66-75.

Poumarat, G., Squire, P., & Lawani, M. (1992). Effect of electrical stimulation superimposed with isokinetic contractions. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 32, 227-233.

Prentice, W. (2009). Técnicas de rehabilitación en medicina deportiva. Barcelona: Paidotribo.

Raquena, B., Padial, P., & González-Badillo, J.J. (2005). Percutaneous electrical stimulation in strength training: An up data. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 438-448.

Riggs, M.P., & Sheppard, J.M. (2009). The relative importance of strength and power qualities to vertical jump height of elite beach volleyball players during the counter-movement and squat jump. *Journal of Human Sport and Exercise*, 3, 221-236.

Rodríguez, F.F. (1995). Entrenamiento de la capacidad de Salto. Barcelona: Stadium.

Rolland, Y., Lauwers-Cances V., Pahor, M., Fillawt, J., Orandjean, H., & Vellas, B. (2004). Muscle strength in obese elderly women: effect of recreational physical activity in a cross-sectional study. *American Journal of clinical Nutrition*, 79, 552-557.

Ruiz, P., Gonzalez, J., & Mora, J. (2007). La electroestimulación como complemento al entrenamiento isométrico voluntario en la mejora de la fuerza isométrica máxima. Diferencias entre hombres y mujeres de mediana edad. *Apunts*, 89(3), 56-63.

Ruther, C.L., Golden, C.L., Harris, R.T., & Dudley, G. (1995). Hypertrophy, resistance training and the nature of skeletal muscle activation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9(3), 131-206.

Sáez, S.V. (2010). Effect a Plyometric training in three age group age groups of women. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte-RICYDE*, 10, 393-409.

Sartorio, A., Jubeau, M., Agosti, F., De Col, A., Marazzi, N., Lafortuna, C.L., & Maffiuletti, N.A. (2008). GH responses to two consecutive bouts of neuromuscular electrical stimulation in healthy adults. *European Journal of Endocrinology*, 109, 135-144.

Sedano, S., Matheu, A., Redondo, J. C., & Cuadrado, O. (2011). Effect of plyometric training on explosive strength, acceleration capacity and kicking speed in young elite soccer players. *Journal of Sports and Medicine and Physical Fitness*, 51, 50-8.

Skurvydas, A., Kamandulis, S., & Masiulis. (2010). Effect on muscle performance of two jumping and two cycling bouts separated by 60minutes. *International Sport Medicine Journal*, 11, 291-300.

Spurrs, R.W., Murphy, A.J., & Watsford, M.L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1), 1-7.

Stefanovska, A., & Vodovnik, L. (1985). Change in muscle force following electrical stimulation. Dependence on stimulation waveform and frequency. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medical*, 17(3), 141-6.

Strojnik,V. (1995). Muscle activation level during maximal voluntary effort. *European Journal of Applied Physiology*, 72, 144–149.

Takano, Y., Haneda, Y., Maeda, T., Sakai, Y., Matsuse, H., & Kawaguchi, T. (2010). Increasing muscle strength and mass of thingh in early people with the hibrid

training method of electrical stimulation and volitional contraction. *Journal of Experience Medicine*, 221, 77-85.

Toca-Herrera, J.L., Gallach, J.E., Gómis, M., & González, L.M. (2008). Cross-education after one session of unilateral surface electrical stimulation of the rectus femoris. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 614-618.

Tricoli, V., Lamas, L., Carnevale, R., & Crielaard, J.M. (2005). Short-term effects on lower-body functional power development weightlifting vs. vertical jump training programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 433-437.

Valdora, M. (2000). Elettrostimolazione e propiocezione. *Scienza y Sport*, Planeta Isef.

Valli, P., Boldrini, L., Bianchedi, D., Brizzi, G., & Miserocchi, G. (2002). Effects of low intensity electrical stimulation on quadriceps muscle voluntary maximal strength. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(4), 425-430.

Vanderthommen, M., Depresseux, J.C., Bauvir, P., Degueudre, C., Delfiore, G., Peters, J.M., Sluse, F., & Crielaard, J.M. (1997). A positron emission tomography study of voluntarily and electrically contracted human quadriceps. *Muscle Nerve*, 20(4), 505-507.

Vanderthommen, M., & Crielaard, J.M. (2001). Electromyostimulation en médecine du sport. *Revue Médicale de Liège*, 56(5), 391-395.

Vanderthommen, M., Duteil, S., Wary, C., Raynaud, J.S., Leroy-Willis, A., & Crielaard, M. (2003). A comparison of voluntary and electrically induced contractions by interleaved. *Journal of Applied Physiology*, 94, 1012-1024.

Vanderthommen, M., Duteil, S., Wary, C., Raynaud, J.S., Leroy-Willis, A., & Crielaard, M. (2008). A comparison of voluntary and electrical induced contraction by interleave OH and P-NMRS in humans. *Journal of Applied Physiology*, 94, 1012-1024.

Vélez, M. (1992). El entrenamiento de la fuerza para la mejora del salto. *Apunts*. 29, 139-156.

Venable, M., Collins, M., Óbryant, H., Denegar, C., Sedivec, M., & Alon, G. (1991). Effects of supplemental electrical stimulation on the development of strength

vertical jump performance and power. *Journal of Applied Sport Science Research*, 5(3), 139-143.

Verkhoshansky, Y. (1999). Todo sobre el método pliométrico. Barcelona: Paidotribo.

Vittori, C. (1990). El entrenamiento de la fuerza para el sprint. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, IV(3), 2-8.

Ward, A. R., & Shkuratova, N. (2002). Russian electrical stimulation: The early experiments. *Physical Therapy*, 82(10), 1019-1030.

Weineck, J. (2005). Entrenamiento total. Barcelona: Paidotribo

Wigerstand-Lossing, I., Grimby, G., Jonsson, T., Morelli, B., Peterson, L., & Renström, P. (1988). Effects of electrical muscle stimulation combined with voluntary contractions after knee ligament surgery. *Sports Medicine*, 20(1), 93-98.

Willoughby, D., & Simpson, S. (1998). Supplemental EMS and Dynamic Weight Training: Effects on Knee Extensor Strength and Vertical Jump of Female College Track & Field Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 12(3), 131-208.

Wilson, S.A., Lockwood, R.J., Thickbrood, G.W., & Mastaglia, F.L. (1993). The muscle silent period following transcranial magnetic cortical stimulation. *Journal of the Neurological Sciences*, 114(2), 216-222.

Yanagi, T., Shiba, N., Maeda, T., Iwasa, K., Umezu, Y., Tagawa, Y., Matuso, S., Nagata, K., Yamaoto, T., & Basford, J.R. (2003). Agonist contractions against electrically stimulated antagonists. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84, 843-848.

Young, W.B., James, R., & Montgomery, I. (2002). Is muscle power related to running speed with changes of direction? *Journal of Sports Medicine and Physical fitness*, 42(3), 282-288.

Zanon, S. (1989). Past and present new studies in athletics. *Plyometrics*, 4(1), 7-17.

Zicot, M., & Rigaux, P. (1995). Effect of the frequency of neuromuscular electric stimulation of the leg on femoral arterial blood flow. , 20(1), 9-13.

Zorn, C., Szekers, T., Keilani, M., Fialka-Moser, V., & Crevenna, R. (2007). Effects of neuromuscular electrical stimulation of the knee extensor muscles on muscle soreness and different serum parameters in young male athletes: preliminary data. *British Journal of Sports Medicine*, 41, 914-916.

ARTÍCULO 1º

**Efecto del entrenamiento combinado de pliometría y electroestimulación en salto vertical**

**Effect of combined plyometric and electrostimulation training on vertical jump**



## **Efecto del entrenamiento combinado de pliometría y electroestimulación en salto vertical**

### **Effect of combined plyometric and electrostimulation training on vertical jump**

**Elisa Benito Martínez**  
**Lara Sánchez Amador**  
**Emilio J. Martínez-López**  
Universidad de Jaen

#### **Resumen**

En este estudio se han analizado los efectos del entrenamiento combinado de pliometría y electroestimulación en un entrenamiento de fuerza muscular de los miembros inferiores. El estudio incluyó tres grupos experimentales, que trabajaron ambos métodos en orden diferente y de forma simultánea, y uno de control. Participaron 78 atletas, 40 mujeres y 38 hombres, de disciplinas de velocidad (100 y 200 m lisos y 100 y 110 m vallas), con una edad de  $17,94 \pm 1,44$  años y una masa de  $58,53 \pm 8,05$  kg. El programa incluyó dos días a la semana de entrenamiento pliométrico y dos sesiones utilizando un electroestimulador Megasonic 313-P4. Tras dos meses de entrenamiento, se midió con plataforma de contacto ORGANISER PSION 2 la altura de salto vertical y potencia del tren inferior en test de Abalakov y Drop Jump. Las mayores diferencias pre/post test ( $p < 0.001$ ) de altura y potencia de salto se obtuvieron en el programa que realizó ejercicios pliométricos posteriores a la aplicación de la electroestimulación. El entrenamiento de electroestimulación y pliometría llevado a cabo de forma simultánea produjo un estancamiento en el rendimiento de los atletas.

**Palabras clave:** fuerza muscular; componente explosivo-elástico; potencia muscular; salto Abalakov; drop jump.

#### **Abstract**

This paper analyses the effects of combined electrostimulation and plyometric training on lower body strength training. The training program was applied to three experimental groups and one control group. The experimental groups used both methods simultaneously but in different order. The participants were 78 sprinters (100m and 200m, and 100m and 110m hurdles), 38 male and 40 female. Their average age was  $17,94 \pm 1,4$  years and their average weight was  $58,53 \pm 8,05$ kg. The training program consisted in two days a week of plyometric training and two sessions with a Megasonic 313-P4 electrostimulation unit. After two months training, vertical jump height and lower body power were measured in Abalakov and Drop Jump test with PSION ORGANISER II. The most significant pre- and post-test ( $p < 0.001$ ) improvements in height and jump power were obtained in the program combining electrostimulation with subsequent plyometric exercises. Simultaneous electrostimulation and plyometric exercises caused performance stagnancy.

**Key words:** muscle strength; explosive-elastic component; muscle power; Abalakov jump; drop jump.

Correspondencia/correspondence: Emilio J. Martínez-López  
Campus de Las Lagunillas. Edificio Humanidades y Ciencias de la Educación  
Universidad de Jaén. 23071 Jaén (España)  
e-mail:emilioml@ujaen.es

## Introducción

La electroestimulación neuromuscular (EE NM) consiste en la aplicación de una corriente eléctrica al músculo o al nervio periférico con el fin de lograr su contracción involuntaria (Lake, 1992). Desde su origen (Osborne, 1951; Eriksson, Haggmark, Kiesseim, Karisson, y Enect, 1981), su uso fue enfocado generalmente a pacientes lesionados incapaces de realizar una contracción voluntaria por sí mismos, sin embargo, en la década de los 70 Kots y Hvilon (1971) emplearon este tipo de técnicas en atletas de élite sanos con el fin de mejorar la fuerza muscular, empleando este método como complemento al entrenamiento convencional.

Tras estos primeros estudios, han sido muchos los autores que han hecho uso de la EE NM para mejorar la fuerza muscular en atletas, sin embargo, la gran heterogeneidad de los parámetros de corriente utilizados en sus diferentes protocolos continúan en la actualidad siendo objeto de debate entre los investigadores. Así por ejemplo, respecto al tipo de corriente empleada, ya Kramer, Lindsay, y Magee (1984) compararon la eficacia de diferentes tipos de corriente, donde la corriente bifásica asimétrica rectangular fue percibida como más confortable. Desde la década de los 90, en que Lake (1992) concluyó que la corriente bifásica era la más efectiva para provocar el mayor porcentaje de fuerza isométrica, y que la bifásica simétrica conseguía mejores resultados que la asimétrica, se comenzaron a establecer las bases para protocolos de entrenamiento, sirviendo de referente a estudios posteriores (Duchateau y Hainaut, 2003; Brocherie, Babault, Cometti, Maffiuletti, y Chatard, 2005; Babault, Cometti, Bernardm, Pousson, y Chatard, 2007).

Otro aspecto controvertido en la aplicación de la EE NM ha sido la frecuencia (Hz) a emplear Child, Brown, Day, Saxton, y Donnelly (1998), Meaños, Alonso, Sánchez, y Téllez, (2002), aunque finalmente, las frecuencias entre 70 y 120 Hz son las más empleadas para aumentar la fuerza explosiva y las comprendidas entre 120 y 150 Hz las utilizadas para mejorar la fuerza explosiva-elástica (Maffiuletti, Cometti, Amiridis, Martin, Pousson, y Chatard, 2000; Vanderthommen y Crielaard, 2001; Valli, Boldrini, Bianchedi, Brizzi, y Miserocchi, 2002; Gondin, Guetie, Ballay, y Martin, 2006; Lyons, Robb, Irrgang, y Fitzgerald, 2005; Paillard, Noé, Passelergue, y Dupui, 2006; Toca-Herrera, Gallach, Gómis y González, 2008).

Existen además tres parámetros para los que el consenso entre autores es mayor. Respecto al ancho de impulso la mayoría de los estudios apuntan hacia protocolos próximos a los 300 Ms (Vanderthommen y Crielaard, 2001; Linares, Escalante, y LaTouche, 2004; Babault et al., 2007; Toca-Herrera et al., 2008). En segundo lugar, en cuanto a la intensidad se refiere, muchos autores recomiendan elevarla hasta conseguir un 60 % de la contracción isométrica voluntaria máxima obtenida mediante dinamómetro (Colson, Martín, y Van Hoecke, 2000; Maffiuletti, Dugnani, Folz, Di pierno, y Mauro, 2002; Valli et al., 2002; Brocherie et al., 2005; Holcomb, 2005; Babault et al., 2007), aunque se considera que a medida que pasan los días de entrenamiento con EE NM, se produce una mayor tolerancia a la intensidad de corriente (Ward y Shukuratova, 2002), debiendo ésta adaptarse tanto al momento de la temporada o microciclo, como a las características del sujeto (Meaños et al., 2002; Petrofsky, 2008). Y finalmente, respecto a la relación existente entre el tiempo de paso de la corriente y el tiempo de reposo durante la sesión, se considera que el entrenamiento de la fuerza explosiva debe asegurar tiempos de reposo elevados. La principal justificación a lo anterior está relacionada con la inversión del reclutamiento de fibras, ya que durante la EE NM se activan primero las fibras tipo II y no las tipo I como ocurre durante el ejercicio voluntario, lo que contribuye a un aumento de la fatiga muscular (Raquena, Radial, y González-Badillo, 2005). Así, mientras algunos autores consideran más acertada una relación de 1:5 entre el

tiempo de paso de la corriente y el tiempo de reposo (Coarsa, Morós, Marco, y Mantiha, 2000; Linares et al., 2004), otros utilizan una proporción menor (1:3) (Maffiuletti et al., 2000; Brocherie et al., 2005; Holcomb, 2005; Lyons et al., 2005).

Referente a la posología semanal en una sesión de electroestimulación muscular, empleada para aumentar la fuerza muscular explosiva, Meañes et al. (2002) recomiendan 72 horas de recuperación, ya que es necesario entre 48 y 72 horas para reponer los depósitos energéticos (Cometti, 1998). Por la similitud del EE NM con dichos entrenamientos, resultaría complicado realizar sesiones de EE NM diarias tal y como establecieron Ward y Shkuratova (2002) y Cigdem, Ozlen, Aylin, y Elif (2002). Dentro de cada sesión de entrenamiento, y respecto al tiempo total de aplicación, parece existir mayor consenso, estableciéndose tiempos de entre 10 y 15 minutos en la mayoría de los autores (Ward y Shkuratova, 2002; Parker, Bennet, Hieb, Hollar, y Roe, 2003; Brocherie et al., 2005; Babult et al., 2007).

Finalmente, en cuanto al tipo de ejercicio a combinar con la EE NM, Cometti (1998) muestra como el uso de la EE NM reduce el tiempo necesario en una proporción de 1:3 al compararse con un programa de contracción voluntaria. Además, Vanderthommen y Crielaard (2001) apoyaron que las adaptaciones fisiológicas producidas en la terapia son mucho mayores que las que se producen en terapias aisladas, ya sea de EE NM o de ejercicio voluntario. Tras la revisión de los estudios de Verkhoshansky (1991), Herrero, Izquierdo, Maffiuletti, y García-López (2006), y Maffiuletti (2008), se constató que la pliometría es un método muy eficaz para la preparación especial de la fuerza ya que favorece la fuerza reactiva y la fuerza explosiva.

De forma general, los estudios sobre EE NM llevados a cabo en atletas han tenido como principal objetivo la mejora de la potencia muscular, sin embargo, uno de los principales problemas que aún perduran, es definir qué manifestación de la fuerza mejora mediante el protocolo de EE NM y la que realmente se mide con los test empleados para su evaluación. En este sentido, Vittori (1990) clasificó las diferentes manifestaciones de la fuerza diferenciándolas entre activas (compuestas de un único ciclo de contracción), y reactivas (en las que intervienen dos ciclos diferentes: estiramiento y contracción).

Para evaluar estas manifestaciones de la fuerza en la musculatura extensora de las extremidades inferiores, se han utilizado frecuentemente tests de salto vertical, especialmente en deportes que implican saltos o acciones de velocidad (Martínez López, 2002; Berdejo y González, 2009; Martínez-López, Lara, Cachón, y Rodríguez, 2009). Actualmente, los test de salto vertical están estandarizados, son sencillos en su aplicación y se dispone de suficiente información según las diversas disciplinas deportivas (Lara, Abián, Alegre, y Aguado, 2004). No obstante, la necesidad de obtener datos más fiables ha fomentado el uso de plataformas de fuerza (González-Badillo y Ribas, 2002; Lara, Abián, Alegre, Linares, y Aguado, 2006; Juarez, Navarro, y Aceña, 2008), que permiten obtener indicadores adecuados para evaluar la manifestación explosiva y explosiva elástica de la fuerza desarrollada por la musculatura de las extremidades inferiores durante el salto vertical.

Aunque las evidencias de los estudios referidos anteriormente han constatado que el entrenamiento de fuerza de forma aislada, tanto mediante EE NM como de pliometría, ofrecen una alta efectividad sobre la manifestación explosiva y explosiva-elástica de la fuerza, no conocemos el efecto combinado de ambos. Por tanto, los objetivos del presente estudio consistieron en primer lugar en analizar la mejora producida por un programa de entrenamiento que combina el ejercicio de EE NM con la Pliometría, y en segundo lugar, conocer el orden de trabajo más adecuado de ambos métodos durante la sesión entrenamiento.

Partiendo de la hipótesis de que el entrenamiento de ejercicios pliométricos tras la aplicación de la EE NM conseguiría mayores mejoras en la altura y potencia de salto ABK y DJ.

## Material y método

### *Participantes*

Participaron 78 atletas de nivel medio, 40 mujeres y 38 hombres, procedentes de disciplinas de velocidad (100 y 200 m lisos, y 100 y 110 m vallas). Las características del grupo son las siguientes: una edad de  $17.94 \pm 1.44$  años, un índice de masa corporal (IMC) de  $20.5 \pm 1.68$ , una masa de  $58.53 \pm 8.05$  kg; y una estatura de  $1.68 \pm 0.07$  m. La media de tiempo que llevaban entrenando los participantes en su disciplina es de  $5.64 \pm 2.13$  años. Ningún atleta había experimentado previamente con entrenamiento de electroestimulación.

### *Instrumentos*

Una báscula y tallímetro *Seca* (sensibilidad de 100 mg y 1 mm respectivamente) fue empleada para la toma de datos. El IMC se calculó mediante la fórmula de Quetelec:  $IMC = \text{masa (kg)} / \text{altura (m)}^2$ . Para registrar los tests de salto se empleó una plataforma de contacto ORGANISER PSION 2 modelo CM, a partir de los datos de tiempo de vuelo y altura se calculó la potencia de salto según la fórmula de Lara et al. (2004). Para la aplicación del protocolo de EE NM se empleó un electroestimulador Megasonic 313-P4 Sport de Medicarim.

### *Procedimiento*

Los atletas fueron distribuidos en 4 grupos por medio de un muestreo probabilístico aleatorio simple. La distribución y tratamiento de los cuatro grupos fue la siguiente:

*Grupo 1 (Control):* Formado por 20 atletas (9 mujeres y 11 hombres) de  $17.05 \pm 1.47$  años, con un IMC de  $20.0 \pm 1.5$ . Estos atletas realizaron dos veces por semana los saltos pliométricos pautados y recibieron como placebo una corriente analgésica del tipo TENS. En ningún caso se informó a los atletas de la diferencia respecto al tipo de corriente aplicada para eliminar posibles errores derivados del hecho. Se aplicó tanto la EE NM como la corriente TENS con el mismo aparato de electroterapia y se aplicó la corriente TENS de forma pulsátil de forma que se conseguía una contracción muscular. De este modo, aunque una corriente, la EE NM, tenía como finalidad el desarrollo de la fuerza y la otra, TENS, era meramente analgésica, los atletas percibían en ambos casos la contracción muscular salvándose así posibles errores derivados del hecho de conocer los atletas el tipo de corriente aplicada.

*Grupo 2 (EE NM + Pliometría):* Formado por 20 atletas (11 mujeres y 9 hombres) de  $17.65 \pm 1.47$  años y un IMC de  $20.7 \pm 1.3$ . Este grupo recibió primero el entrenamiento de EE NM y posteriormente realizó el protocolo de saltos pliométricos.

*Grupo 3 (Pliometría + EE NM):* Compuesto por 19 atletas (10 mujeres y 9 hombres) de  $16.16 \pm 1.72$  años y  $20.5 \pm 2.2$  de IMC. En este caso realizaron primero los saltos pliométricos y a continuación se les aplicó los 12 min de EE NM.

*Grupo 4 (Simultáneo):* Formado por 19 atletas (10 mujeres y 9 hombres), con una edad de  $17.7 \pm 1.49$  años y un IMC de  $20.7 \pm 1.6$ . Este grupo realizó el entrenamiento simultáneo, que consistió en realizar el mismo protocolo de saltos pliométricos que los tres grupos anteriores, pero al mismo tiempo que la EE NM, es decir, el atleta saltaba cuando sentía la corriente eléctrica y descansaba en el tiempo de reposo de la misma.

### Protocolo de pliométricos

Los atletas realizaron un periodo de familiarización de dos días previo al entrenamiento, se les demostró visualmente y explicó repetidas veces la técnica de ejecución del salto pliométrico hasta que realizaron una correcta ejecución. Todos los atletas dieron voluntariamente su consentimiento informado por escrito, cumpliendo el estudio con las normas de la Declaración de Helsinki (rev. 2008).

*1º Ejercicio:* Consistió en 2 series de 8 repeticiones de saltos máximos elevando las rodillas hacia el pecho. No se permitió realizar botes pequeños en la recepción de los mismos, siendo la fase de amortiguación de un salto la fase excéntrica del siguiente salto. En el caso del grupo “Simultáneo”, este ejercicio se hacía de forma aislada, es decir, sin superponer la corriente eléctrica por la imposibilidad de cumplir el tiempo de recuperación del impulso eléctrico entre cada salto.

*2º Ejercicio:* Consistió en 2 series de saltos de 8 repeticiones partiendo desde la posición de cuclillas (flexión de rodillas y caderas manteniendo un ángulo libre de flexión pero siempre superior a 100°), donde se realizaban tres pequeños saltos previos a un cuarto salto máximo, ayudándose del impulso de las extremidades superiores. La amortiguación del mismo se hacía in situ, y se realizaban tres pequeños saltos de nuevo. En el grupo “Simultáneo” el atleta realizaba el salto máximo cuando sentía el paso de la corriente eléctrica.

*3º Ejercicio:* Incluyó 2 series de 8 repeticiones. Se realizó igual que el 2º ejercicio, con la salvedad de que la recepción del salto se efectuaba con una de las extremidades inferiores adelantada y en el primer pequeño rebote volvían a colocarse de forma paralela para realizar los otros dos botes desde esa posición.

### Protocolo de electroestimulación

Se utilizaron electrodos adhesivos, tres de ellos de 5 x 5 cm<sup>2</sup> de tamaño y uno de 10 x 5 cm<sup>2</sup>. Se colocaron a través de dos canales diferentes, uno para el vasto externo y otro para vasto interno y recto anterior. El electrodo proximal constaba de dos salidas, una de ellas conectaba con el electrodo del vasto externo para formar el canal 1 y la otra se unía con un cable bifurcado a los electrodos distales del vasto medial y del recto anterior formando el canal 2 (Basas, 2003). Se realizó el anterior procedimiento debido a que las diferencias de excitabilidad del vasto interno y el externo hacen necesaria la utilización de dos canales diferentes de EE NM (Coarasa et al., 2000), ya que la utilización de un sólo canal podría provocar desequilibrios musculares (Cometti, 1998). Se colocó el electrodo activo en el punto motor del músculo (Paillard et al., 2006; Babault et al., 2007; Benito, 2008), y el otro en la zona proximal, a la altura del triángulo femoral (Vanderthommen y Crielaard, 2001; Holcomb, 2005). Los electrodos fueron colocados, siguiendo este protocolo, por tres personas instruidas y entrenadas previamente.

Los parámetros de corriente utilizados fueron los siguientes: frecuencia de 150 Hz, un ancho de impulso de 350 Hz, un tiempo de contracción – reposo de 3 – 12 s, una posología de 2 d / sem y un tiempo total de aplicación de 12 min. La intensidad de corriente aplicada fue la máxima tolerada por el atleta, que arrojó una intensidad promedio de 26.39 ± 7.11 y 26.22 ± 5.88 mA en hombres y mujeres respectivamente. El ejercicio combinado con la EE NM se basó en ejercicios pliométricos.

### Protocolo de realización de los tests de salto sobre la plataforma de contacto

Los participantes realizaron una batería de test compuesta por los saltos ABK y DJ el primer y último día del estudio, ambas pruebas presentan una fiabilidad de 0.96 (Bosco, 1994) y 0.92

(Peso, 2005) respectivamente. Con el fin de que los atletas se familiarizaran con los saltos y disminuir así la posibilidad de sesgo por una deficiente técnica del ejercicio, se realizaron dos días de entrenamiento la semana previa al comienzo del estudio. Tras un calentamiento reglado y dirigido por el investigador, consistente en 5 minutos de carrera, 10 minutos de estiramientos, 10 ejercicios de técnica de carrera y dos progresivos de 80 metros, los atletas realizaron en primer lugar el test de salto de ABK seguido del DJ. El primero consistió en realizar desde la posición de bipedestación, una flexión de rodillas para a continuación, y sin realizar parada en el movimiento, saltar lo más alto posible impulsándose con los miembros superiores (González, Machado, Navarro, y Vilas-Boas, 2006). El segundo consistió en dejarse caer desde una altura de 0,42 m, dejando libre el ángulo de flexión de rodillas, y colocando las manos en las caderas para rebotar rápidamente en el suelo con el menor tiempo de contacto y saltar lo más alto posible (Rodríguez, 1995; Cometti, 1998). Cada atleta realizó cuatro saltos máximos de cada tipo, de los que solo se tuvo en cuenta el de mayor altura. El tiempo de recuperación entre repeticiones fue de 60 s y entre los distintos saltos de 90 s.

#### *Variables dependientes y análisis estadístico*

Para el análisis estadístico se empleó el software SPSS v. 15. Aunque el agrupamiento de atletas se aleatorizó mediante sorteo, el análisis de datos (pre) en tests ABK y DJ ofreció algunas diferencias iniciales de altura de salto (m) entre los diferentes grupos, muy probablemente determinadas por el variado número de años de entrenamiento de los atletas. Debido a la necesidad de ajuste de estos valores y para anular su efecto diferencial se ha llevado a cabo un análisis de covarianza (ANCOVA), donde la covariante fue la medida pre de altura y potencia en cada prueba, también se empleó análisis de correlación de Pearson para establecer la relación entre variables dependientes. Se utilizaron como variables dependientes (VD) la altura y la potencia tras salto de ABK y DJ, y como variable independiente (VI) el tipo de entrenamiento. Para todas las pruebas estadísticas se utilizó el nivel de significación de  $p < 0.05$ .

## **Resultados**

#### *Análisis de diferencias en la altura (m) de salto Abalakov (ABK) y Drop jump (DJ)*

En la Fig. 1 se representan las puntuaciones medias de altura de salto ABK y DJ en cada momento (pre/post) y grupo de atletas. El ANCOVA 4 (Grupo) x 2 (Momento), realizado sobre la altura (m) de salto Abalakov, mostró un incremento significativo ( $p_s < 0.01$ ) de la altura de salto del grupo EE + PLIO (Media =  $0.44 \pm 0.6$ ), respecto al grupo Simultáneo (Media =  $0.42 \pm 0.08$ ), grupo PLIO + EE (Media =  $0.40 \pm 0.10$ ) y grupo de Control (Media =  $0.36 \pm 0.07$ ). No se hallaron diferencias entre el grupo de Control y los grupos PLIO + EE, ni respecto al grupo Simultáneo ( $F < 1$ ). Por otra parte, el ANCOVA 4 (Grupo) x 2 (Momento) realizado sobre la medida de Drop Jump, mostró también un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) de la altura de salto del grupo EE + PLIO (Media =  $0.36 \pm 0.10$ ) respecto al grupo de Control (Media =  $0.29 \pm 0.05$ ), sin embargo, no se halló ningún otro efecto diferencial significativo entre el resto de grupos.

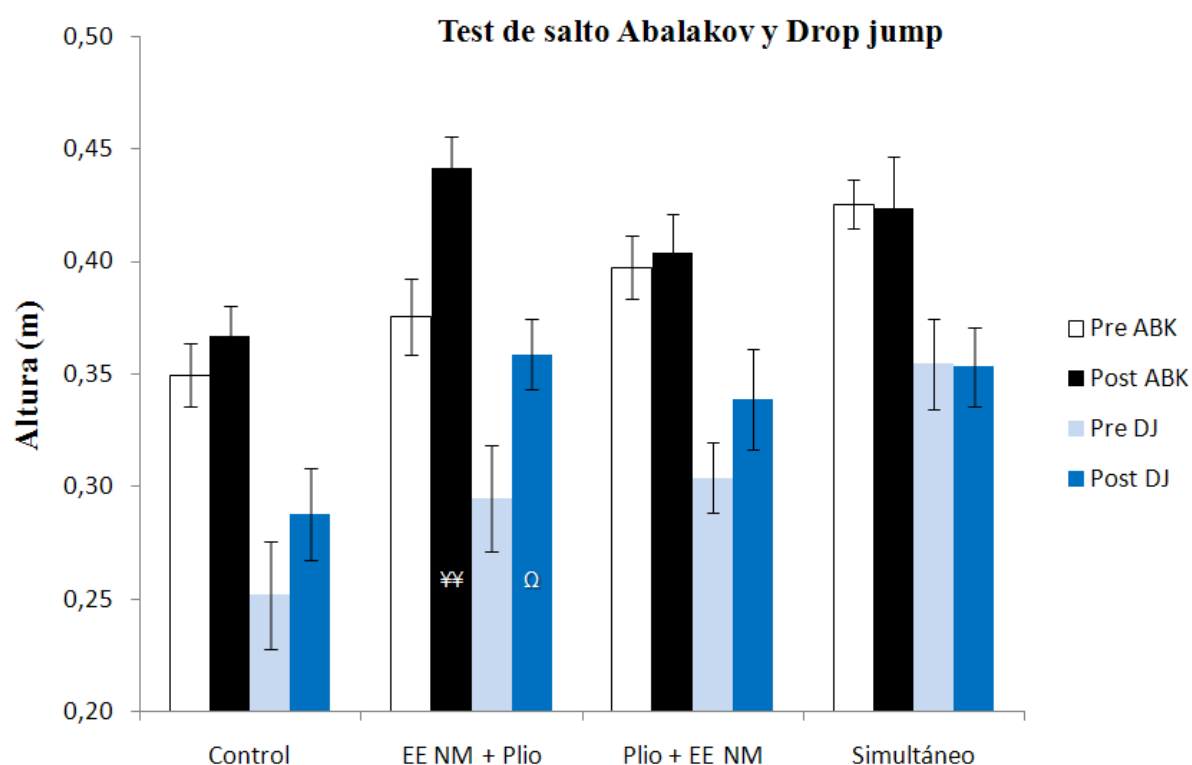


Fig. 1 Representación gráfica de las medidas de altura inicial (pre) y final (post) de salto Abalakov y Drop jump tras dos meses de entrenamiento. Efecto producido por el entrenamiento en cada grupo de atletas. Grupo 1 = Control, Grupo 2 = entrenamiento de electroestimulación (EE NM) + Pliometría (Plio), Grupo 3 = Plio + EE NM, y Grupo 4 = entrenamiento Simultáneo. El efecto intergrupos se indica:  $\Omega$  denota  $p < 0.05$  comparado con el grupo de Control de la misma medida.  $\text{¥}$  denota  $p < 0.01$  comparado con el grupo de Control de la misma medida.

#### *Análisis de diferencias en la potencia (W / kg) de salto Abalakov y Drop jump*

En la Fig. 2 se representan las puntuaciones medias de potencia de salto ABK y DJ en cada grupo de atletas. El ANCOVA 4 (Grupo) x 2 (Momento), realizado sobre la potencia de salto Abalakov, mostró un incremento significativo ( $p < 0.001$ ) de la potencia de salto del grupo EE + PLIO (Media =  $59.97 \pm 6.09$ ), respecto al grupo de Control (Media =  $51.81 \pm 8.31$ ), y también ( $p_s < 0.01$ ) respecto al grupo PLIO + EE (Media =  $55.81 \pm 10.53$ ) y grupo Simultáneo (Media =  $57.73 \pm 6.58$ ). No se hallaron diferencias entre el grupo de Control y grupo PLIO + EE, ni respecto al grupo Simultáneo ( $F < 1$ ). Por otra parte, el ANCOVA 4 (Grupo) x 2 (Momento) realizado sobre la potencia de Drop Jump, mostró también un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) de la potencia de salto del grupo EE + PLIO (Media =  $50.76 \pm 11.12$ ) respecto al grupo de Control (Media =  $43.35 \pm 5.81$ ), sin embargo, no se halló ningún otro efecto diferencial significativo entre el resto de grupos.

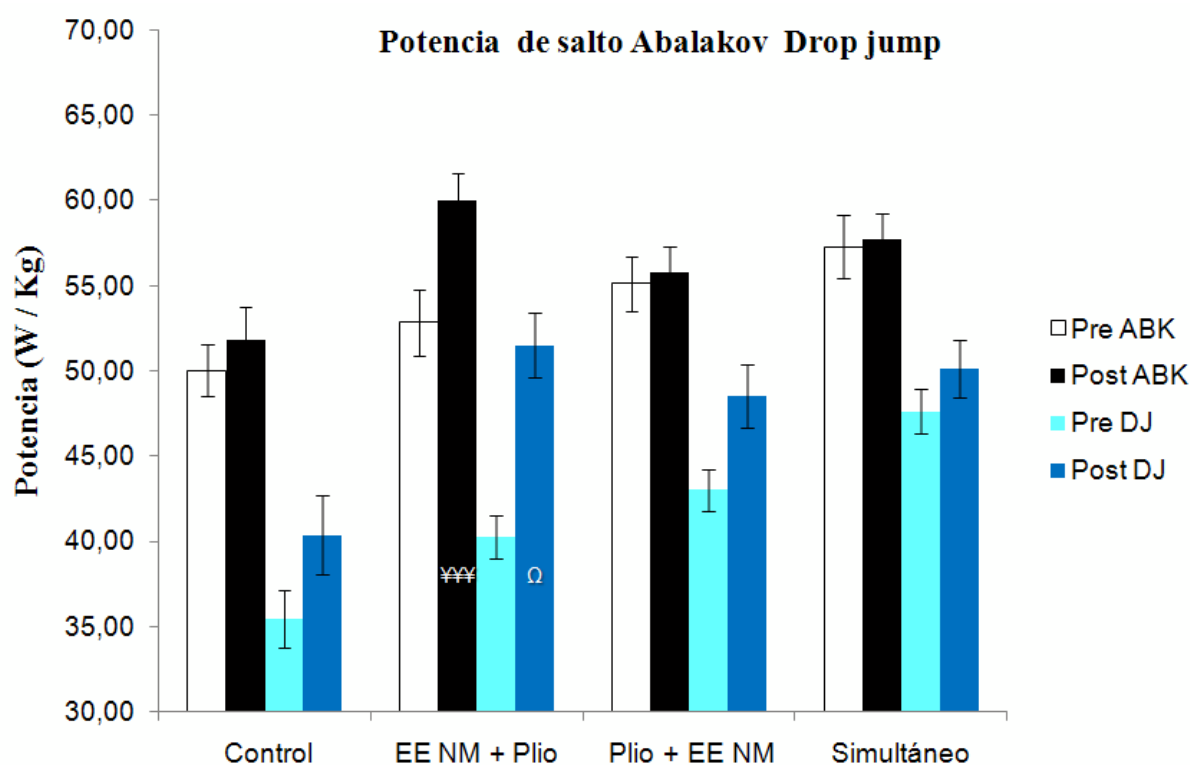


Fig. 2. Representación gráfica de las medidas de potencia inicial (pre) y final (post) de salto Abalakov y Drop jump tras dos meses de entrenamiento. Efecto producido por el entrenamiento en cada grupo de atletas. Grupo 1 = Control, Grupo 2 = entrenamiento de electroestimulación (EE NM) + Pliometría (Plio), Grupo 3 = Plio + EE NM, y Grupo 4 = entrenamiento simultáneo. El efecto intergrupos se indica: Ω denota  $p < 0.05$  comparado con el grupo de Control de la misma medida. ΞΞΞ denota  $p < 0.001$  comparado con el grupo de Control de la misma medida.

## Discusión

Los resultados de mejora obtenidos en esta investigación están en consonancia con estudios previos, donde se han aplicado técnicas de EE NM en el entrenamiento, tal y como resume la Tabla 1. A continuación, se discuten y señalan algunos aspectos de interés referentes a las contracciones voluntarias en los entrenamientos, tipo de ejercicios (saltos pliométricos), características de los sujetos (novatos/profesionales), así como otras variables (intensidades, frecuencias, etc...) relacionadas con la EE NM.

En una primera aproximación, Babault et al. (2007) consiguieron mejoras del 6,6% en la altura de salto DJ desde 0.40 m, un porcentaje inferior comparado con el 7.8 y 11.2% obtenido por este estudio, en DJ y ABK respectivamente, tras recibir un entrenamiento de EE NM + pliometría. Posiblemente, esta diferencia sea debida a que Babault et al. (2007) no aplicaron ninguna contracción voluntaria en sus entrenamientos, mientras que los atletas del grupo 2 realizaban tras la EE NM ejercicios pliométricos. Señalar además, que la intensidad de corriente que utilizamos fue muy superior a la que utilizó Babault, máxima intensidad tolerada frente al 60% de la contracción máxima voluntaria respectivamente.

Aunque los resultados de investigaciones sobre los efectos de la EE NM en la fuerza son mayoritariamente satisfactorios, también existe disparidad en los mismos. Así, el porcentaje de mejora anterior (11.3%) contrasta con los obtenidos por Hainaut et al. (1992), los cuales no

encontraron diferencias entre la utilización de un protocolo de EE NM sin combinar con ejercicios voluntarios, o los de Venable et al., (1991), que no consiguieron incremento significativo de la altura de salto entre un grupo que realizaba entrenamiento de musculación 3 días por semana y un segundo grupo al que además del entrenamiento de musculación se le aplicó EE NM. Es posible que las diferencias en cuanto a los resultados obtenidos en otros estudios se deba a la baja frecuencia que utilizaron, 50 Hz, muy lejos de la necesaria para aumentar la fuerza explosiva según Meañes et al. (2002). En contraposición, Duchateau y Hainaut (1993) afirmaron conseguir mejores resultados con la contracción voluntaria que con la intervención de trabajo exclusivo de electroestimulación. Como veremos, estudios posteriores concretan los efectos del entrenamiento de electroestimulación, aunque la comparación de resultados es complicada debido a la heterogeneidad de parámetros empleados.

Los resultados de la combinación de EE NM con el entrenamiento pliométrico del estudio han evidenciado un avance significativo en la mejora de salto de los atletas participantes. Una posible explicación a este hecho la ofrecieron Ward y Shkuratova (2002), que afirmaron que se conseguían mejores resultados combinando la EE NM y el ejercicio voluntario por dos motivos principales: por un lado, el hecho de realizar el doble de ejercicio, y por el otro, la inversión de reclutamiento de fibras que se produce con la EE NM. Esto último, supone un entrenamiento más completo al reclutar el ejercicio voluntario primero las fibras lentas y al hacerlo la EE NM en primer lugar con las rápidas. Además, el uso combinado de la EE NM estaría en todo momento recomendado debido a que la coordinación agonista-antagonista no se consigue sólo con la EE NM siendo necesario un ejercicio voluntario (Holcomb, 2005). Otro ejemplo más, puede atribuírsele a Maffiuletti et al. (2002) que obtuvieron mejoras del 14% en salto de DJ con caída de 40 cm desde la segunda semana de entrenamiento. Este porcentaje es superior al conseguido por el grupo 2 (EE NM seguido de saltos pliométricos) que consiguieron un 7.8%, y más alejado de Babault et al. (2007) con tan sólo un 6.6%. En este caso, Maffiuletti emplea en su protocolo la EE NM seguida de saltos pliométricos, con un protocolo bastante similar al utilizado en el presente estudio (Tabla 4).

Tabla 1. Comparativa de parámetros utilizados en entrenamiento de electroestimulación y resultados de salto de altura en estudios previos. T. contr/reposo = Tiempo de contracción o paso de corriente y tiempo de reposo, Hz (Hertzio), Ms (Microsegundos), s (segundos), min (minuto), sem (semana).

	Venable, 1991	Maffiuletti, 1995	Balbault, 2007	Actual, 2010
Frecuencia	50 Hz	115-120 Hz	100 Hz	150 Hz
Ancho de impulso	200 Ms	400 Ms	300-400 Ms	350 Ms
T. contr/reposo	15 – 60 s	4,25 – 17 s	5 – 15 s	3 – 12 s
Tiempo total	15,5 min	16 min	12 min	12 min
Frecuencia sem	3	3	3	2
Intensidad	60 % de contracción voluntaria isométrica máxima			Máx tolerada
Δ Mejora	No incremento	14 %	6.6% (DJ)	11.2 % (Grupo: EE NM + Plio)

Aunque Cometti (1998) afirmó que se obtienen mejores resultados de altura de salto y potencia cuando se combina adecuadamente el ejercicio voluntario con la EE NM, y que para alcanzar la misma fuerza el uso de la EE NM junto con el ejercicio voluntario reduce el tiempo necesario en una proporción de 1/3, se ha evidenciado que existen otros componentes que son determinantes en el procedimiento de este método de entrenamiento. Los resultados del presente estudio, revelan que entre los parámetros del protocolo de entrenamiento de la fuerza del tren inferior con EE NM cabe considerar dos aspectos más: por una parte, la

combinación de la EE NM con el entrenamiento voluntario de pliometría, y por otra, el orden de aplicación durante el entrenamiento. Estos beneficios han quedado patentes tanto en términos de altura, en los test de ABK y DJ expresados anteriormente, como en sus resultados de potencia situados en el 10.3 y 12.2% respectivamente. Estos resultados podrían ayudar a superar estados de estancamiento o retroceso, como por ejemplo Brocherie et al. (2005), que sorprendentemente obtuvieron una disminución de la altura de salto tras un entrenamiento exclusivo con EE NM.

Finalmente, habría que considerar que la mejora obtenida tras el entrenamiento EE NM + 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 (Aceña et al., 2007). En un ejemplo de aplicación práctica, podríamos estimar que si un atleta que salta 0.48 m mejora un 11.2% tras el entrenamiento de EE NM + Plio, podría llegar a conseguir una marca de 0.53 m, lo que supondría, según Vittori (1985), una mejora aproximada de 2 decimas en su marca de los 100 m lisos. Además, las diferencias encontradas en el grupo 2 (EE NM + pliometría), tanto en el test de ABK como DJ, revelan la idoneidad de este programa de entrenamiento para este tipo de pruebas que dependen de los mismos factores estructurales y neuromusculares, tal y como expresa el elevado índice medio pre/post de correlación entre ambas ( $r = 0.827$ ,  $p < 0.01$ ).

## Conclusión

Los resultados obtenidos permiten concluir que el entrenamiento combinado y el orden de aplicación previo de EE NM 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, y se confirma la hipótesis del presente trabajo que defendía que el mejor momento para realizar la pliometría era tras la aplicación de la EE NM.

Entre las limitaciones de presente estudio, cabe señalar la imposibilidad de control de efectos derivados de condiciones medioambientales, dietéticas, y extradeportivas que podrían influir sobre los resultados, sin embargo, la excelente mejora de rendimiento obtenido a partir del entrenamiento previo de electroestimulación a la pliometría, abre un campo muy importante que es necesario continuar. En primer lugar, conociendo cómo afectaría este entrenamiento a la adaptación futura del atleta, su compatibilidad con otros métodos, así como el nivel de rendimiento obtenido en función de la categoría amateur o profesional del deportista. Quedaría además por descubrir si estos resultados son extensivos en otras manifestación de la fuerza, por ejemplo la que interviene en los salto de contramovimiento (CMJ), triple salto y velocidad, establecer posibles correlaciones entre la intensidad de corriente y el porcentaje de mejora de fuerza muscular, comprobar si existe relación entre el porcentaje de grasa magra/grasa y la intensidad de corriente aplicada, así como medir si la cantidad de masa magra del sujeto interviene en el porcentaje de mejora de fuerza muscular.

## Referencias bibliográficas

- Aceña, R.M.; Díaz, G.; González, J.M.; Juárez Santos, D.; Navarro, F. (2007). Efecto sobre la mejora y retención de la fuerza de un programa de entrenamiento de fuerza con cargas concentradas en sujetos no entrenados. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte – RICYDE*, 7(3), 24-33.
- Babault, N.; Cometti, G.; Bernardin, M.; Pousson, M., y Chatard, J. (2007). Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 431-437.
- Basas, A. (2003). *Técnicas fisioterapéuticas aplicadas en el tratamiento de la patología de la rodilla*. Madrid: MC Graw-Hill
- Benito, E. (2008). Electroestimulación: Aumento de la fuerza muscular medido por el test de Bosco. *Fisioterapia y Calidad de Vida*, 11(1), 27-33.
- Berdejo, D., y González, J. M. (2009). El entrenamiento de fuerza en los jugadores jóvenes del tenis. *Journal of Sport and Health Research*, 1(1), 46-55.
- Bosco, C. (1994). *Valoración de la fuerza con el test de Bosco*. Barcelona: Paidotribo.
- Brocherie, F.; Babault, N.; Cometti, G.; Maffiuletti, N., y Chatard, J. C. (2005). Electrostimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 455-460.
- Child, R. B.; Brown, S. J.; Day, S. H.; Saxton, J. M., y Donnelly, A. E. (1998). Manipulation of knee extensor force using percutaneous electrical myostimulation during eccentric actions: Effects on indices of muscle damage in humans. *International Journal of Sports Medicine*, 19(7), 468-473.
- Cigdem, B.; Ozlen, S.; Ozlen, P.; Aylin, K., y Elif, A. (2002). Efficacy of two forms of electrical stimulation in increasing quadriceps strength: A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 16(2), 194-199.
- Coarasa, A.; Morós, T.; Marco, C., M., y Mantilla, C. (2000). Beneficio potencial de la electroestimulación neuromuscular del cuádriceps femoral para el fortalecimiento. *Archivos de Medicina del Deporte*, 17(79), 405-412.
- Colson, S.; Martin, A., y Van Hoecke, J. (2000). Re- examination of training effects by electrostimulation in the human elbow musculoskeletal system. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 281-288.
- Cometti, G. (1998) *Los métodos modernos de musculación*. Barcelona: Paidotribo.
- Duchateau, J., y Hainaut, K. (1993). Behaviour of short and long latency reflexes in fatigued human muscles. *The Journal of Physiology*, 471(1), 787-799.
- Eriksson, E.; Haggmark, T.; Kiesseling, K-H., y Karlsson, J. (1981). Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle. *International Journal of Sport Medicine*, 2, 18-22.
- Gondin, J.; Guetie, M.; Ballay, Y., y Martin, A. (2006). Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 97(2), 165-173.
- González, J.M.; Machado, L.; Navarro, F.J., y Vilas-Boas, J.P. (2006). Acute effects of strength training from heavy loads and static stretching training on squat jump and countermovement jump. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte-RICYDE*, 2(4), 47-56.
- González-Badillo, J., y Ribas, J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona: Inde.

- Hainaut, K., y Duchateau, J. (1992). Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Medicine*, 14(2), 100-113.
- Herrero, J.; Izquierdo, M.; Maffiuletti, N., y García-López, J. (2006). Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 533-539.
- Holcomb, W. R. (2005). Is neuromuscular electrical stimulation and effective alternative to resistance training? *Strength and Conditioning Journal*, 27(3), 76-79.
- Juarez Navarro; F., Azaña, R.M.; Gonzalez, J.M., y Arija, A. (2008). Relación entre fuerza explosiva em Squat, acciones de salto y golpe de balón. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte RICYDE*, 4 (10), 20-38.
- Kots, J.M., y Hvilon, V.A. (1971). *The training of muscular power by method of electrical stimulation*. Moscú: State central institute of physical culture.
- Kramer, J.; Lindsay, D., y Magee, D. (1984). Comparison of voluntary and electrical stimulation contraction torque. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 5, 324-331.
- Lake, D. (1992). Neuromuscular electrical stimulation. *Sports Medicine*, 13(5), 320-336.
- Lara, A.J.; Abián, J.; Alegre, L.M., y Aguado, X. (2004). Tests de salto con plataforma de fuerzas en voleibol femenino. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 2(18), 11-16.
- Lara, A.J.; Abián, J.; Alegre, L.M.; Linares, L., y Aguado, X. (2006). Jump tests on a force platform for applicants to a sports science degree. *Journal of Human Movement Studies*. 50, 133-148.
- Linares, M.; Escalante, K., y LaTouche, R. (2004). Revisión bibliográfica de las corrientes y parámetros más efectivos en la electroestimulación del cuádriceps. *Fisioterapia*, 26(4), 235-244.
- Lyons, CL; Robb, JB; Irrgang, JJ; Fitzgerald, GK (2005). Differences in quadriceps femoris torque when using a clinical electrical stimulation versus a portable electrical stimulation. *Physical Therapy* (88) 1: 44-51.
- Maffiuletti, N.; Cometti, G.; Amiridis, I.; Martín, A.; Pousson, M., y Chatard, J.(2000). The effects of electrostimulation of the training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *International Journal of Sports Medicine*, 21(6), 437-443.
- Maffiuletti, N.; Dugnani, S.; Folz, M.; Di Pierno, E., y Mauro, F. (2002). Effects of combined electrostimulation and plyometric training of vertical jump height. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(10), 1638-1644.
- Maffiuletti, N. (2008). Correspondence: Cautionis required when comparing the effectiveness of voluntary versus stimulated versus combined strength training modalities. *Sports Medicine*, 38(5), 437-440.
- Martínez-López, E.J.; Lara, A.J.; Cachón, J., y Rodríguez, I. (2009). Characteristics, frecuencies and type of physical exercise practiced by the adolescents. Special attention to the obese pupil. *Journal of Sport Health Research*, 1(2), 88-100.
- Martínez López, E.J. (2002). *Pruebas de aptitud física*. Barcelona: Paidotribo.
- Meañes, E.; Alonso, P.; Sánchez, J., y Téllez, G. *Electroestimulación aplicada*. (2002). Santiago de Compostela: Fundación para el desarrollo de la formación continuada
- Osborne, S.L. (1951). The retardation of artrophy in man by electrical stimulation of muscles. *Archives of Physical Medicine*, 32, 523-528
- Paillard, T.; Noé, F.; Passelergue, P., y Dupui, P. (2006). Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Medicine*, 35(11), 951-966.

- Parker, M.; Bennet, M.; Hieb, M.; Hollar, A., y Roe, A. (2003). Strength response in human quadriceps femoris muscle during two neuromuscular electrical stimulation programs. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 33(12), 713-726.
- Peso, D. (2005). *Valoración de la potencia a través del Countermovement y Drop Jump en arqueros amateurs de fútbol*. Tesis doctoral. Universidad de Lomas de Zamora.
- Petrofsky, J. (2008). The effects of the subcutaneous fat on the transfer of current through skin and into muscle. *Medical Engineering and Physics*, 30(9), 1168-1176.
- Raquena, B.; Padial, P., y González-Badillo, J. J. (2005). Percutaneous electrical stimulation in strength training: An up data. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 438-448.
- Rodríguez, F.F (1995). *Entrenamiento de la capacidad de Salto*. Barcelona: Stadium.
- Toca-Herrera, J. L.; Gallach, J. E.; Gómis, M., y González, L. M. (2008). Cross-education after one session of unilateral surface electrical stimulation of the rectus femoris. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 614-618.
- Valli, P.; Boldrini, L.; Bianchedi, D.; Brizzi, G., y Miserocchi, G. (2002). Effects of low intensity electrical stimulation on quadriceps muscle voluntary maximal strength. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(4), 425-430.
- Vanderthommen, M., y Crielaard, J. M. (2001). Electromyostimulation en medicine du sport. *Revue Médicale de Liège*, 56(5), 391-395.
- Venable, M.; Collins, M.; Óbryant, H.; Denegar, C.; Sedivec, M., y Alon, G. (1991). Effects of supplemental electrical stimulation on the development of strength vertical jump performance and power. *Journal of Applied Sport Science Research*, 5(3),139-143.
- Vittori, C. (1990). El entrenamiento de la fuerza para el sprint. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 4 (3), 2-8.
- Ward, A. R., y Shkuratova, N. (2002). Russian electrical stimulation: The early experiments. *Physical Therapy*, 82(10), 1019-1030.



ARTÍCULO 2º

**Efecto del orden de aplicación de la electroestimulación neuromuscular y la pliometría sobre el entrenamiento de la prueba de 100 metros lisos**

**Effects of order of application of electrical stimulation and plyometric in the training of hundred speed**





**Benito, E.; Lara Sánchez, A.J.; Moral-García, J.E.; Martínez-López, E.J. (2012).** Effects of order of application of electrical stimulation and plyometric in the training of hundred speed. *Journal of Sport and Health Research*. 4(2):167-180.

**Original**

## **EFECTO DEL ORDEN DE APLICACIÓN DE LA ELECTROESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR Y LA PLIOMETRÍA SOBRE EL ENTRENAMIENTO DE LA PRUEBA DE 100 METROS LISOS**

## **EFFECTS OF ORDER OF APPLICATION OF ELECTRICAL STIMULATION AND PLYOMETRIC IN THE TRAINING OF HUNDRED SPEED**

Benito. E.<sup>1</sup>; Lara-Sánchez A.J.<sup>2</sup>; Moral-García J.E.<sup>3</sup>; Martínez-López E.J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Federación Española de Atletismo*

<sup>2</sup>*Universidad de Jaén*

<sup>3</sup>*Universidad Pontificia de Salamanca*

---

Correspondence to:  
**Elisa Benito**  
Federación Española de Atletismo  
[elisabenitomartinez@yahoo.es](mailto:elisabenitomartinez@yahoo.es)

---

*Edited by: D.A.A. Scientific Section  
Martos (Spain)*



Received: 16-11-2011  
Accepted: 27-03-2012



## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue conocer el orden más adecuado de combinar la pliometría (PT) y la electroestimulación neuromuscular (NM ES) para entrenar la prueba de 100 metros lisos (m.l). Participaron en el estudio 98 atletas de pruebas de velocidad con una edad media de  $17.16 \pm 1,42$  años y un índice de masa corporal de  $20.37 \pm 2.68$ , repartidos en un grupo control y tres experimentales en los que se varió la frecuencia de corriente empleada y el orden de aplicación de la NM ES y PT. Se midió el tiempo necesario para recorrer una distancia de 100 m.l así como el tiempo de paso a los 20 m y a los 73 m y el tiempo empleado en recorrer los últimos 27 m. Las medidas se llevaron a cabo en tres momentos diferentes: antes del inicio de los entrenamientos (pre), después de 6 semanas (post) y tras dos semanas de descanso (descanso). Los resultados mostraron un mejor rendimiento en la prueba de 100 m.l del grupo que realizaba la NM ES a 150 Hz combinada de forma simultánea con la PT. Se concluye que el trabajo realizado con NM ES y PT debe variar según la manifestación de la fuerza que quiera ser mejorada. Para mejorar la velocidad en la prueba de 100 m puede aplicarse un complemento al entrenamiento consistente en un entrenamiento simultáneo de NM ES y PT. Las mejoras de los tiempos conseguidas por este entrenamiento se mantienen hasta al menos dos semanas después de la aplicación del mismo.

**Palabras clave:** Electroestimulación neuromuscular, pliometría, velocidad.

## ABSTRACT

The aim of this study was to determine the best order application of plyometric (PT) and neuromuscular electrical stimulation (NM ES) to the training of the event of 100 m.l. 98 sprinter athletes participated in this study. They were aged  $17.16 \pm$  years and had a Body Mass Index (BMI) of  $20.37 \pm 2.68$ . The sample was randomized into a control group and three experimental groups with a different frequency and different order application of PT and NM ES. It measured the time at the first 20m, and at 73 m, and the last 27 m and the time at 100 m.l. The measures were carried out in three different moments: before the training (pre), after six weeks of training (post) and after two weeks of detraining (descanso). Improvement were obtained in the simultaneous group (plyometric jump were performed through the passage current). It was concluded that the training with PT and NM ES must be different about the expression strength that will be training. To improve the speed at 100 m.l a complement to the training could be applied a simultaneous training of PT and NM ES. The improvement obtained by this training are kept up two weeks after the application of the same one.

**Keywords:** Electrical stimulation, plyometric, speed.

## INTRODUCCIÓN

La velocidad es entendida como una “capacidad derivada” dependiente de la aplicación de una fuerza y como efecto exclusivo de ésta última por Vittori quien además, clasificó las diferentes expresiones de la cualidad física fundamental de la motricidad, la fuerza (Vittori, 1990).

Así pues, diferenció entre expresiones de la fuerza activa, con un único ciclo de acortamiento, y fuerza reactiva compuesta por dos ciclos: uno previo de estiramiento en el que se acumulan tensiones que se desarrollan en un segundo ciclo de acortamiento.

Dentro de la fuerza activa se engloban dos expresiones de la fuerza: la expresión máxima dinámica de la fuerza, y la expresión explosiva: La expresión máxima dinámica de la fuerza, aquella que desplaza sin limitación de tiempo la resistencia de masa máxima. Es base del resto de manifestaciones aunque su correlación con ellas decrece según disminuye su porcentaje de participación en el total de la expresión expresada (Vittori, 1990).

La expresión explosiva que moverá la carga lo más rápido posible con un único movimiento de acortamiento. Correspondería con el primer impulso de los tacos de la prueba de velocidad de tal modo que existe una correlación entre la altura de salto Squat Jump o salto sin contramovimiento (SJ) con la fase de aceleración de los primeros 15 a 20 m de la prueba de velocidad (Vittori, 1990; Vélez, 1992; Bosco, 1994; Márquez et al., 2005). El mejor orden de aplicación de un entrenamiento de electroestimulación neuromuscular (NM ES) y pliometría (PT) para mejorar esta expresión de la fuerza, es realizar la PT tras la aplicación de la NM ES (Benito et al., 2010).

Al segundo grupo (fuerzas reactivas), pertenecen por un lado la expresión explosivo-elástica, aquella que se desarrolla en acortamiento tras la energía acumulada en el estiramiento previo. Correspondería a los primeros pasos de los velocistas. Aquí existiría también una correlación con la altura del salto contramovimiento (CMJ). Así, Pascua (1994) determinó que a partir de los primeros 30 m, la expresión explosiva de la fuerza pierde protagonismo a favor de la explosivo-elástica. El mejor orden de aplicación de un entrenamiento de NM ES y PT para

mejorar esta expresión de la fuerza es realizar la PT tras la aplicación de la NM ES (Benito et al., 2010).

Por otro lado la expresión elástica-explosiva-reativa que sumaría a la anterior el hecho de realizarse el movimiento con una amplitud determinada. Es la expresión más rápida de la fuerza que se pone de manifiesto en la carrera lanzada y en el test de Drop Jump (DJ) (Contreras et al., 2006; Vélez, 1992; García et al., 1998; Vittori, 1990). En este caso el mejor orden para aplicar los métodos citados anteriormente es el combinado simultáneo, es decir realizar el salto pliométrico cuando se trasmite la corriente eléctrica (Benito et al., 2010).

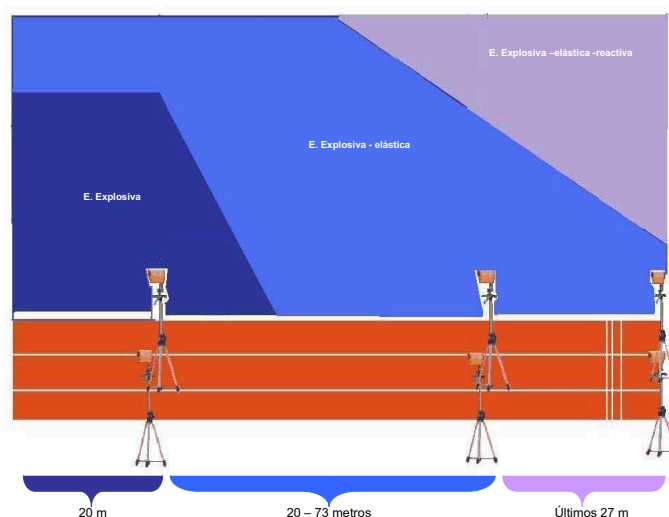


Figura 1. Gráfico de la prueba total de 100 m, distancia de colocación de las células fotoeléctricas y correspondencia con las expresiones de la fuerza (E. Explosiva = expresión explosiva; E. Explosiva - elástica = Expresión explosiva - elástica; E. Explosiva -elástica -reactiva = Expresión explosiva -elástica -reactiva).

La mayoría de los estudios no tienen en cuenta la expresión de la fuerza que quiere ser mejorada o únicamente miden alguna parte de la prueba total de 100 m. El objetivo de este estudio será encontrar el orden adecuado entre NM ES y PT y la frecuencia más apropiada que permita mejorar el cómputo total de la prueba de 100 metros lisos (m.l) y demostrar como cada expresión de la fuerza debe ser mejorada a través de protocolos diferentes.



## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Experimental Approach to the problem*

Completamos durante 8 semanas un estudio cuasiexperimental con tres medidas de resultados medida inicial (Pre); Medida final tras 6 semanas de entrenamiento (Post) y (descanso) tras dos semanas en las que no se aplica ningún tratamiento. Se aplicó un protocolo de NM ES y saltos pliométricos a cuatro grupos de atletas, diferenciándose entre ellos el orden de aplicación y la frecuencia de corriente. En cada medida se registró el tiempo empleado en recorrer la distancia de 100 m.l con el fin de demostrar la hipótesis de partida, que el entrenamiento que realiza la NM ES a 150 Hz combinado simultáneamente con la PT es el que obtiene mejores resultados en el computo total de la prueba de 100 m.l. Así mismo se medirán los tiempos de paso por los 20 primeros metros, entre los 20 y los 73 m y en los últimos 27 m con el fin de demostrar que cada expresión de la fuerza debe ser trabajada de diferente manera.

### *Participantes*

Participaron 97 atletas de nivel medio, 47 mujeres y 50 hombres, procedentes de disciplinas de velocidad (100 y 200 m.l y 100 y 110 m vallas). Las características del grupo son las siguientes: una edad de  $17,16 \pm 1,42$  años; un IMC de  $20,37 \pm 2,68$ , una masa de  $57,72 \pm 7,63$  kg; y una estatura de  $1,63 \pm 7,87$  m. La media de tiempo que llevaban entrenando los participantes en su disciplina es de  $5,16 \pm 2,56$  años. Ningún atleta había experimentado previamente con entrenamiento de NM ES y se incluyó como criterio de exclusión cualquier tipo de lesión en miembros inferiores en los últimos seis meses. Se explicó previamente al comienzo del estudio a los atletas en que consistían los entrenamientos y la prueba de 100 m, y se pidió el consentimiento informado por escrito de los atletas, tutores legales y entrenador. El protocolo de investigación fue aprobado por el comité ético de la Universidad de Jaén (España) de acuerdo con la declaración de Helsinki (modificada en Octubre de 2008).

### *Instrumentos*

Se empleó un electroestimulador de la marca Medicarim 313 P4 Sport fabricado en Francia para aplicar el protocolo de NM ES. Así mismo se utilizaron tres pares de células fotoeléctricas de la marca Eleiko Sport RS 232 MAT fabricadas en Suecia para medir los pasos por los diferentes puntos de los 100 m.l (a los 20 m, a los 73 m y a los 100 m).

### *Procedimiento*

Se dividió la muestra total de forma aleatoria en 4 grupos con la siguiente distribución:

*Grupo 1° control (GC):* Formado por 24 atletas (12 mujeres y 12 hombres) de  $17,4 \pm 1,42$  años, con un IMC de  $18,59 \pm 2,45$ . Estos atletas realizaron dos veces por semana los saltos pliométricos pautados y recibieron como placebo una corriente analgésica del tipo TENS (Hansson, 1983). En ningún caso se informó a los atletas de la diferencia respecto al tipo de corriente aplicada para eliminar posibles errores derivados del hecho. Se aplicó tanto la NM ES como la corriente TENS con el mismo aparato de electroterapia y se utilizó la corriente TENS de forma pulsátil. De este modo, aunque una corriente, la NM ES, tenía como finalidad el desarrollo de la fuerza y la otra, TENS, era meramente analgésica, los atletas percibían en ambos casos la contracción muscular salvándose así posibles errores derivados del hecho de conocer los atletas el tipo de corriente aplicada.

*Grupo 2 (GE1):* Formado por 27 atletas (12 mujeres y 15 hombres) de  $17,01 \pm 1,4$  años y un IMC de  $21,24 \pm 2,3$ . Este grupo recibió de forma simultánea y combinada ambos tratamientos, es decir, realizan el mismo protocolo de saltos pliométricos que los otros tres grupos pero al mismo tiempo que la NM ES, el atleta realizaba el salto cuando sentía la corriente eléctrica, y descansaba en el tiempo de reposo de la misma. En este grupo la corriente se aplicó con una frecuencia de 150 Hz.

*Grupo 3 (GE2):* Compuesto por 23 atletas (11 mujeres y 12 hombres) de  $17,32 \pm 1,39$  años y  $21,03 \pm 2,2$  de IMC. Este grupo recibió primero el entrenamiento de NM ES y posteriormente realizó el protocolo de saltos pliométricos. En este caso la frecuencia de la corriente fue de 85 Hz.



*Grupo 4 (GE3):* Formado por 24 atletas (12 mujeres y 12 hombres), con una edad de  $17,4 \pm 1,5$  años y un IMC de  $20,7 \pm 2,7$ . Este grupo realizó el entrenamiento del GE1 y GE2 alternativamente, es decir de los dos días de entrenamiento semanales, uno de ellos realizó el entrenamiento del GE1 y el segundo día realizó el del GE2.

A continuación se describen los protocolos seguidos de NM ES y PT. Entre la aplicación de la NM ES y PT se estableció una recuperación de diez minutos en los GC, GE2 y en el GE3 para los días en que realizaban el entrenamiento del GE2.

### 1. Protocolo de NM ES

Se utilizaron electrodos adhesivos, tres de ellos de  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  de tamaño y uno de  $10 \times 5 \text{ cm}^2$ . Se colocaron a través de dos canales diferentes, uno para el vasto externo y otro para vasto interno y recto anterior. El electrodo proximal constaba de dos salidas, una de ellas conectaba con el electrodo del vasto externo para formar el canal 1 y la otra se unía mediante un cable bifurcado a los electrodos distales del vasto medial y del recto anterior formando el canal 2 (Basas et al., 2003). Se realizó el anterior procedimiento debido a que las diferencias de excitabilidad del vasto interno y el externo hacen necesaria la utilización de dos canales diferentes de NM ES (Coarsa et al., 2000), ya que la utilización de un sólo canal podría provocar desequilibrios musculares (Cometti, 2002). Se colocó el electrodo activo en el punto motor del músculo (Babault et al., 2007), y el otro en la zona proximal, a la altura del triángulo femoral (Vanderthommen et al., 2001).

Los parámetros de corriente utilizados fueron los siguientes: frecuencia de 150 Hz para el grupo 2 y 85 Hz para el grupo 3. El empleo de dos frecuencias diferentes se debe al hecho de que en un estudio previo (Benito et al., 2010) se comprobó como frecuencias de 85 Hz conseguían mejoras en la capacidad de salto Contramovimiento a través del entrenamiento de la manifestación explosiva –elástica de la fuerza presente en dicho salto y en los primeros 73 m de la prueba de 100 m.l. Por otro lado para la mejora de los últimos 27 m de la prueba en la que toma mayor protagonismo la manifestación explosiva –elástica –reactiva de la fuerza es preciso utilizar una frecuencia de 150 Hz (Meaños et al.,

2002). Utilizaremos una frecuencia para cada grupo y un tercer grupo que combinará ambas con el objetivo de saber cual de los entrenamientos es el más apropiada para entrenar el cómputo total de la prueba de velocidad. El resto de parámetros serán los mismos en todos los grupos experimentales utilizándose un ancho de impulso de 400 milisegundos (mseg.), un tiempo de contracción –reposo de 3 – 12 segundos (s), una posología de 2 días a la semana y un tiempo total de aplicación de 12 minutos (min). El ejercicio combinado con la NM ES se basó en ejercicios pliométricos y la intensidad de corriente aplicada fue la máxima tolerada por el atleta.

En el caso del grupo control se aplica una corriente analgésica tipo TENS (frecuencia 100 Hz, ancho impulso 100 (mseg), modo Burst y tiempo total de entrenamiento 12 min.)

### 2. Protocolo de pliométricos

Los atletas realizaron un periodo de familiarización previamente al entrenamiento, se les demostró visualmente y explicó repetidas veces la técnica de ejecución del salto pliométrico hasta que realizaron una correcta ejecución.

*1º Ejercicio:* Consistió en 2 series de 8 repeticiones de saltos máximos elevando las rodillas hacia el pecho. No se permitió realizar botes pequeños en la recepción de los mismos, siendo la fase de amortiguación de un salto la fase excéntrica del siguiente salto. En el caso del GE1 y en los días correspondientes del GE3 con el entrenamiento del GE1, este ejercicio se hacía de forma aislada, es decir, sin superponer la corriente eléctrica por la imposibilidad de cumplir el tiempo de recuperación del impulso eléctrico entre cada salto.



Figura 2. 1º ejercicio de pliometría

2º Ejercicio: Consistió en 2 series de saltos de 8 repeticiones partiendo desde la posición de cuclillas (flexión de rodillas y caderas manteniendo un ángulo libre de flexión pero siempre superior a 100°), donde se realizaban tres pequeños saltos previos a un cuarto salto máximo, ayudándose del impulso de las extremidades superiores. La amortiguación del mismo se hacía in situ, y se realizaban tres pequeños saltos de nuevo. En el GE1 y días correspondientes de GE3 el atleta realizaba el salto máximo cuando sentía el paso de la corriente eléctrica.



Figura 3. 2º ejercicio pliometría

3º Ejercicio: Incluyó 2 series de 8 repeticiones. Se realizó igual que el 2º ejercicio, con la salvedad de que la recepción del salto se efectuaba con una de las extremidades inferiores adelantada y en el primer pequeño rebote volvían a colocarse de forma paralela para realizar los otros dos botes desde esa posición.



Figura 4. 3º ejercicio de biometría

### 3. Aplicación de test de 100 m.l

Se realizó test de velocidad de 100 m.l. Se repitió desde el día de inicio del experimento hasta la finalización del mismo cada dos semanas, dejando al

menos 48 h de descanso, obteniéndose un total de tres medidas.

Tras un calentamiento reglado consistente en una carrera continua de 10 min seguida de 8 ejercicios de estiramientos y 15 de técnica de carrera, se realizaron dos test de 100 m por atleta con un descanso entre test de 5 min (Vittori, 1990). Se tuvo en cuenta el mejor resultado.

Para la realización de la prueba de 100 m se utilizaron tres pares de células fotoeléctricas colocadas a los 20 m de la línea de salida, a los 73 m y a los 100 m, correspondiéndose cada paso intermedio con una expresión diferente de la fuerza.

### Variables dependientes y análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó el SPSS v. 15. Se realizó análisis de varianza ANOVA mediante medidas repetidas en Modelo Lineal General. Se utilizó como variable dependiente el tiempo empleado en recorrer las diferentes etapas de la prueba de 100 m (paso por los 20 m, tiempo empleado en recorrer de los 20 a los 73 m, tiempo empleado en recorrer de los 73 a los 100 m y tiempo total en los 100 m), y como variable independiente el tipo de entrenamiento. El criterio de rechazo tanto para establecer las correlaciones como las diferencias significativas quedó establecido en el nivel convencional de 0.05.

### RESULTADOS

Los atletas partieron de un nivel de entrenamiento diferente pero que no presentó diferencias estadísticamente significativas.

En la Figura 5 se representa el tiempo empleado en recorrer la distancia de 20 m en cada grupo de atletas. Se obtuvieron los mayores rendimientos en el grupo 4 tanto entre las medidas pre y post como entre las pre y descanso, un 14.76% y un 4.48% respectivamente, seguidos de las mejoras conseguidas por el grupo 3 un 3.15% y un 3.43% y por último del grupo 2 un 0.28% y un 2.58% respectivamente.

El ANOVA 4 (grupo) x 4 (tiempo de paso 20 m) indicó que el tiempo de los 20 m fue diferente según los grupos ( $F(1,90) = 40107.870$  ( $MSE = 0.085$ ),  $p < 0.001$ ). y más concretamente, se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre las

medidas del GC ( $P < 0.001$ ), del GE1 ( $p < 0.001$ ), del GE2 ( $p < 0.001$ ) y del GE ( $p < 0.001$ ).

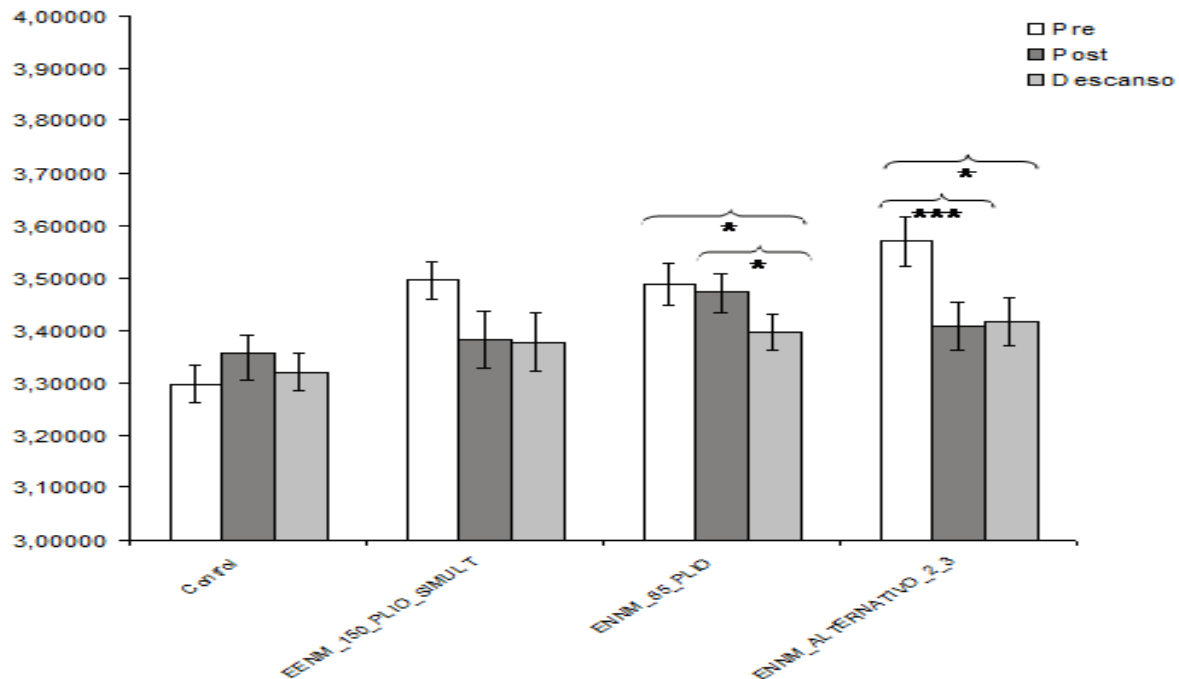


Figura 5. Representación gráfica de las medidas del tiempo empleado en recorrer 20 m y de la desviación típica, M1 (pre), M2 (post) y M3 (tras descanso). Efecto producido en cada grupo de atletas. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ .

En la Figura 6 se representa el tiempo empleado en recorrer de los 20 a los 73 m en cada grupo de atletas. Se encontraron mejoras significativas del tiempo de 20 a los 73 m principalmente en el conjunto de atletas que llevó a cabo un entrenamiento que combinó simultáneamente la NM ES a 150 Hz y la PT del 4.11% y del 2.61% entre las medidas pre y post y las medidas pre y descanso respectivamente, seguido del grupo de NM ES a 85 Hz + PT (1.67%) para las medidas pre y descanso, y del grupo 4 para las medidas pre y post (1.55%).

El ANOVA 4 (grupo) x 4 (Tiempo de 20 a 73 m) indicó que el tiempo empleado fue diferente según los grupos ( $F(1,90) = 15226.665$  (MSE = 0.535),  $p < 0.001$ ). Más concretamente se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre las medidas del GC ( $p < 0.001$ ), del GE1 ( $p < 0.001$ ), del GE2 ( $p < 0.001$ ), y del GE3 ( $p < 0.001$ ).

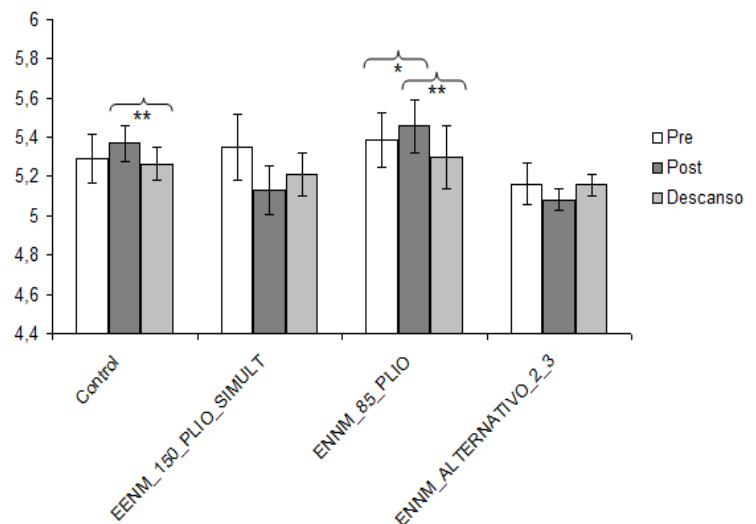


Figura 6. Representación gráfica de las medidas de tiempo de paso y de la desviación típica entre los 20 a 73 m (pre), (post) y (descanso = tras 2 semanas sin NM ERS ni PT). Efecto producido por el entrenamiento en cada grupo de atletas. Grupo 1 = Control, Grupo 2 = NM ES a 150 Hz + PT combinada simultáneamente, Grupo 3 = NM ES a 85 Hz + PT y Grupo 4 = Alternativo de grupos 2 y 3. \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ .



En la Figura 7 se representa el tiempo empleado en recorrer los últimos 27 m de la prueba en cada grupo de atletas. Se encontraron mejoras significativas del tiempo de los últimos 27 m especialmente en el conjunto de atletas que llevó a cabo un entrenamiento que combinó simultáneamente la NM ES a 150 Hz y la PT entre las medidas pre y descanso (1.12%) y del grupo 4 entre las medidas pre y post (2.53%).

El ANOVA 4 (grupo) x 4 (Tiempo de 27 últimos metros) indicó que la altura de salto fue diferente según los grupos ( $F(1,90) = 17023.236$  ( $MSE = 0.482$ ),  $p < 0.001$ ). Más concretamente, se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre las medidas del GC ( $p < 0.001$ ), del GE1 ( $p < 0.001$ ), del GE2 ( $p < 0.001$ ), y del GE3 ( $p < 0.001$ ).

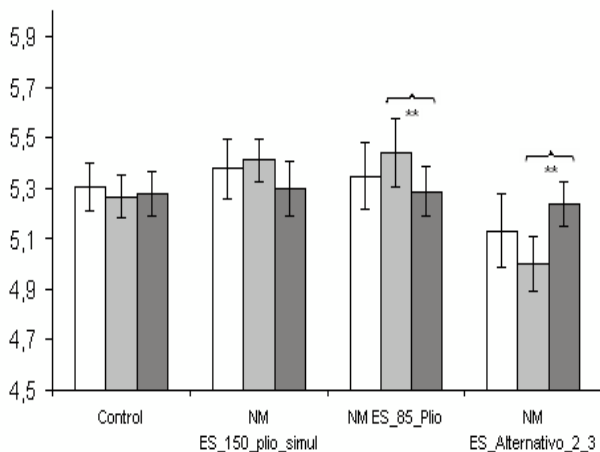


Figura 7. Representación gráfica de las medidas de paso de los últimos 27 m y de la desviación típica (pre), (post) y (descanso = tras 2 semanas sin NM ES ni PT. Efecto producido por el entrenamiento en cada grupo de atletas. Grupo 1 = Control, Grupo 2 = NM ES a 150 Hz + PT combinada simultáneamente, Grupo 3 = NM ES a 85 Hz + PT y Grupo 4 = Alternativo de grupos 2 y 3. \*\* $p < 0.01$ .

Por último en la Figura 8 se representa el tiempo empleado en recorrer los 100 m en cada grupo de atletas. Se encontraron mejoras significativas del tiempo de 100 m principalmente en el conjunto de atletas que llevó a cabo un entrenamiento que combinó simultáneamente la NM ES a 150 Hz y PT (un 2.1% entre las medidas pre y post y un 2.32% entre las medidas pre y descanso), seguido del grupo

de NM ES a 85 Hz + PT para las medidas pre y descanso (1.68%) y del grupo combinado entre grupo 2 y 3 para las medidas pre y post (1.81%).

El ANOVA 4 (grupo) x 4 (Tiempo de 100 m) indicó que el tiempo empleado fue diferente según los grupos ( $F(1,90) = 57134.949$  ( $MSE = 1.885$ ),  $p < 0.001$ ). Más concretamente, se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre las medidas del GC ( $p < 0.001$ ), del GE1 ( $p < 0.001$ ), del GE2 ( $p < 0.001$ ), y del GE3 ( $p < 0.001$ ).

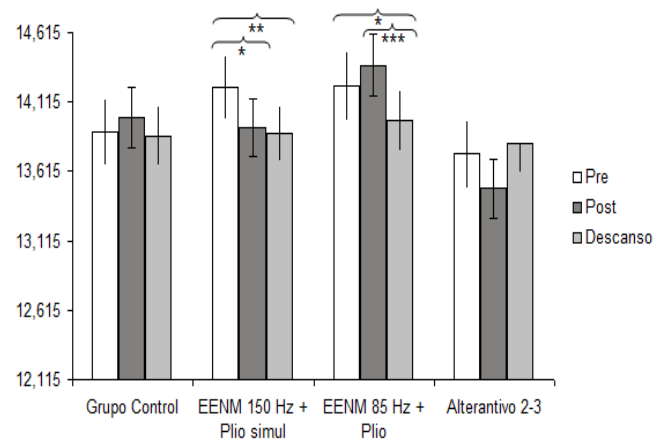


Figura 8. Representación gráfica de las medidas de tiempo de paso de los 100 m y de la desviación típica (pre), (post) y (descanso = tras 2 semanas sin NM ES ni PT. Efecto producido por el entrenamiento en cada grupo de atletas. Grupo 1 = Control, Grupo 2 = NM ES a 150 Hz + PT combinada simultáneamente, Grupo 3 = NM ES a 85 Hz + PT y Grupo 4 = Alternativo de grupos 2 y 3. \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ .

En las figuras 9 y 10 se muestra la importancia de cada tipo de entrenamiento según las diferentes etapas de la prueba de 100 m.l en las medidas pre y post y pre y descanso.

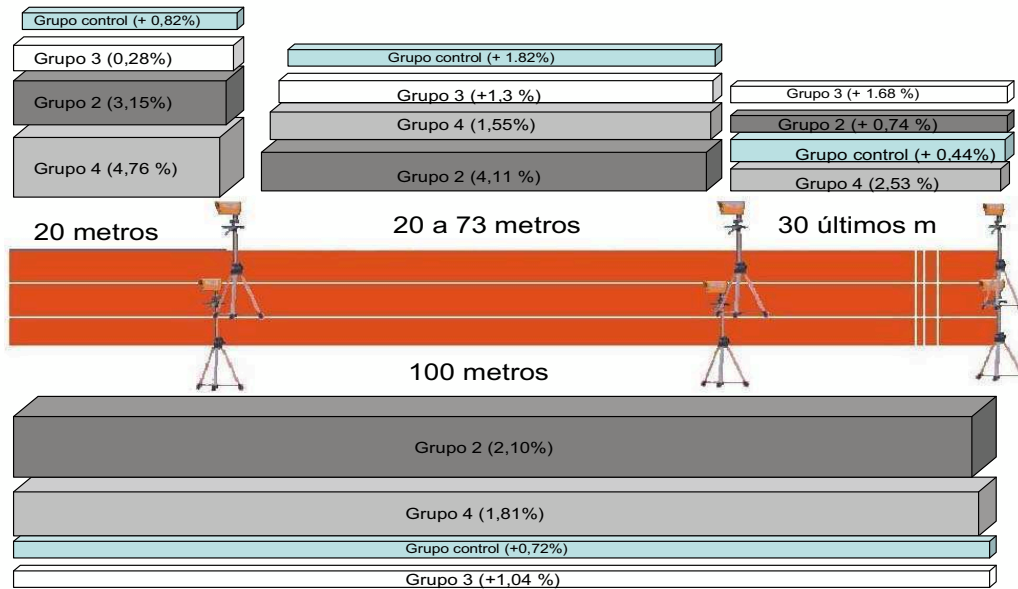


Figura 9. Importancia de cada tipo de entrenamiento en relación a las diferentes etapas de la prueba según los porcentajes de mejora entre las medidas Pre y Post

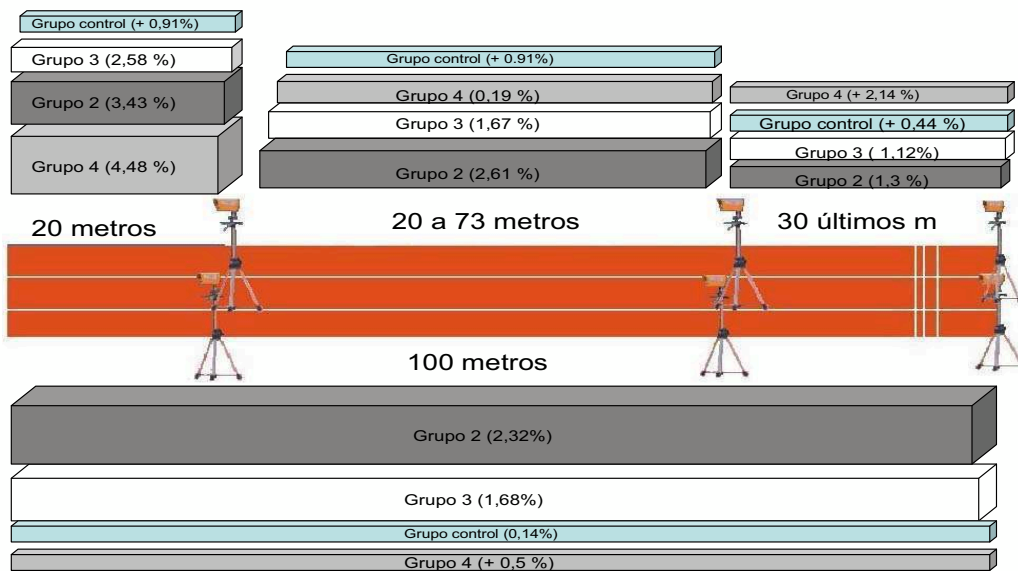


Figura 10. Importancia de cada tipo de entrenamiento en relación a las diferentes etapas de la prueba según los porcentajes de mejora entre las medidas Post y Descanso.



## DISCUSIÓN

El análisis de resultados permitió informar de dos aspectos importantes. Primero, que la frecuencia de corriente y el momento en el que se realiza la

pliometría debe depender de la expresión de la fuerza que quiera ser entrenada. Así Little et al. (2005) concluyeron que los test específicos y los entrenamientos deberían adecuarse al componente de la velocidad que quiera ser testado o mejorado. Por su parte, Young et al. (2002) comprobaron que entrenando de forma específica una forma de velocidad durante 6 semanas, podría perjudicarse los niveles de otra expresión. Por otro lado, González y Gorstiaga (2002) demostraron que el entrenamiento que influye directamente en una manifestación de la fuerza, no afecta a las otras y que la independencia de las diferentes manifestaciones aumenta en los deportistas entrenados. Esto estaría de acuerdo con los resultados del presente estudio en los que se demuestra que para mejorar los primeros 20 m de la prueba global de 100 m, se emplea una frecuencia y orden de NM ES y PT diferentes de los ideales para mejorar en los últimos metros de la prueba. De forma más detallada se observa que los primeros 20 m de la prueba, basados en la expresión explosiva de la fuerza, mejoran de una forma más significativa con el GE3 (combinación a días alternos del entrenamiento del GE1 y GE2). El hecho de que el grupo que combina ambos entrenamientos obtenga porcentajes de resultado mayores (14.76%) puede deberse a que en los primeros 20 m, además de la fuerza explosiva necesaria en los primeros metros de carrera, comienza a adquirir protagonismo la manifestación explosiva-elástica para la cual es más adecuado trabajar de forma simultánea la NM ES y la PT (Benito et al., 2010) y con una frecuencia de corriente mayor (Meaños et al., 2002). Son varios los autores que parecen estar de acuerdo con esta forma de entrenamiento para trabajar la manifestación explosiva de la fuerza. En este sentido Ortiz (1999) y García-Manso (1999) hablan del método combinado en el que se utilizan cargas pesadas en un 1º estadio (en este caso la NM ES), seguidas de un 2º estadio de cargas ligeras o ejercicios pliométricos. En el 1º estadio se actuaría sobre la coordinación intramuscular y la inhibición neuromuscular, y en el 2º sobre los componentes elásticos y la coordinación intermuscular. En cada fase se varía el carácter de la

tensión muscular evitando la acomodación del sistema nervioso al tipo de entrenamiento y produciendo una mayor incitación de los factores neuronales, de los que depende la fuerza explosiva (Ortiz, 1999). Por otro lado, Brocherie et al. (2005) obtiene resultados significativos positivos con una frecuencia de corriente de 85 Hz en la prueba de 10 m, pero no en la de 30 m posiblemente debido a que en esta última, la expresión explosiva –elástica adquiere un mayor protagonismo que la explosiva y debiera ser trabajada con una frecuencia diferente (Meaños et al., 2002; Little y Williams, 2005). Igualmente Maffiuletti et al. (2009) obtienen mejoras del 3.3 % en la prueba de 10 m con una frecuencia de 85 Hz. Por otro lado, hay autores que no coinciden con estos resultados: Billot et al. (2010) no encuentran resultados significativos en la prueba de 10 m, al igual que Herrero et al. (2010) en la prueba de 20 m. Esto posiblemente pueda ser debido a las altas frecuencias de corriente empleadas en estos estudios (100 Hz y 120 Hz respectivamente) que se corresponden con un entrenamiento específico de la manifestación explosivo-elástica de la fuerza.

Respecto a la manifestación explosiva-elástica-reactiva, estaría representada en los últimos 27 m de carrera (Vittori, 1990; Cronin y Hansen, 2005; González y Gorstiaga, 2002). En este caso la aplicación de la NM ES a 150 Hz de frecuencia combinada simultáneamente con pliometría, parece ser el método más adecuado. Así autores como Maffiuletti et al. (2002) que emplearon una frecuencia de 120 Hz, o Benito et al. (2010) que realizaron la aplicación simultánea de ambos métodos, parecen estar de acuerdo con estos resultados.

En cuanto a los metros intermedios de la carrera (20 – 73 m) donde la manifestación explosiva-elástica toma más importancia (Vittori, 1990; Cronin y Hansen, 2005; González y Gorstiaga, 2002), nuestros resultados muestran como el grupo 2 (NM ES a 150 Hz combinada simultáneamente con PT) obtiene resultados más significativos. En esta fase el reclutamiento y la sincronización instantánea del mayor número de unidades motoras es menos importante, cobrando mayor relevancia el componente elástico (Gonzalez y Gorstiaga, 2002) que se pierde con la NM ES (Maffiuletti et al., 2000) por lo que es importante la aplicación de la PT



simultanea para mantener la transferencia (Benito et al., 2010; González y Gorsitaga, 2002). Por otro lado, los resultados de Babault et al. (2007) no concuerdan con los del presente estudio al no obtener con una frecuencia de 100 Hz mejoría en la prueba de 50 m, quizá debido a que no emplearon ningún ejercicio de transferencia que preservará el componente elástico. En segundo lugar se observa, que el entrenamiento del GE1 (NM ES a 150 Hz con PT aplicada de forma simultánea) supone un empeoramiento en todas las fases de la prueba de velocidad tras las dos semanas de descanso. Esto puede deberse al hecho de que la realización combinada de ambos métodos supone una caída desmesurada en las concentraciones de fosfocreatina (PC) y adenosín trifosfato (ATP) (Vanderthommen et al., 2001 y Wigerstand-Lossing et al., 1988), la adaptación se produce durante las 6 primeras semanas pero no en la 7 al no realizarse ningún aumento en la carga de trabajo o una etapa de descanso activo en el entrenamiento, se “agota” la capacidad de adaptación y las mejoras conseguidas en los tiempos de carrera durante las primeras 6 semanas decrecen. Esto no se produce en el GE2 en el que se obtienen mejoras de los resultados tras las 2 semanas de descanso en todas las fases de la prueba debido a que el ejercicio voluntario se realiza siempre en condiciones de agotamiento previo de los niveles de PC y ATP por la realización previa de la NM ES.

En el tiempo de la NM ES el músculo acaba con sus reservas de PC y ATP de forma más desmesurada a como lo haría si se tratara de un ejercicio voluntario, lo que hace que al introducirse la transferencia con los saltos pliométricos, el cuerpo trabaje con una mayor activación de la enzima kreatinquinasa (Chicharro y Fernández, 2006; Calderón, 2007) y la adaptación se produce a la largo de más tiempo sin necesidad de aumentas las cargas. Esto estaría de acuerdo con los trabajos de Maffiuletti et al. (2000 y 2009) y Herrero et al. (2010) que obtienen mejores resultados tras el descanso de 2 semanas. En la Tabla 1 puede verse los resultados obtenidos por varios autores.

Autor	N	Participantes	Training Type	Training time	Frecuencia Ancho Impulso Tiempo/Sesión						
					10 m	20 m	30 m	50 m	73 m	100 m	
Bucherie et al. 2005			NM ES	3 weeks: 3 training sessions per week 12 weeks: During the first 6 weeks 3 sessions per week and during the last 6 week once a week	85 Hz 230 msec 12 min	4,80%		No sig.			
Babault et al. 2007	25	Elite rugby players	NM ES + Voluntary exercise		100 Hz 300-400 msec 12 min		No sig.		No sig.		
Maffiuletti et al. 2009	12	competitive tennis players	NM ES + entrenamiento muscular variado	7 Weeks: 3 weeks of ES NM sessions were integrates into weeks tennis training sessions	85 Hz 400 msec 16 min	3,30%					
Billot et al. 2010		Amateur Soccer players	NM ES	5 weeks: 3 training sessions per week	100 Hz 400 msec 12 min		No sig.				
Herrero et al. 2010 (Parte I)	28	Estudiantes educación física	Weight + NM ES	6 Weeks: 4 training sessions per week during 4 weeks + 2 weeks detraining	120 Hz 400 msec 12 min		No sig.				
Actual 2011 (GE1)	27		ES NM + Plyo (aplicación simultánea)	6 weeks training program: 2 sessions perweek	130 Hz 400 msec 12 min	2,32%			2,31%	2,21%	
Actual 2011 (GE2)	23	Atletas nivel medio de velocidad	ES NM + Plyo		85 Hz 400 msec 12 min	3,28%			2,23%	1,14%	
Actual 2011 (GE3)	24		Combinado (Grupo 2 + 3)		130 + 85 Hz 400 msec 12 min	4,03%			1,84%		

Tabla 1. Valores reportados por diferentes autores.

Por último se debe reseñar que cuando se tiene en cuenta el computo global del a prueba de 100 m, el método de entrenamiento que obtiene mejoras más significativas es el GE1 con un 2.32% de mejora frente al 1.68 % del GE2. Esto se debe a la mayor influencia de las expresiones reactivas de la fuerza en la prueba de 100 m que las activas (Vittori, 1990) por lo que un entrenamiento como el del GE1, específico para este tipo de expresiones (Benito et al., 2010, Meañes et al., 2002) obtendrá mejores resultados que el basado en las expresiones activas (GE2) presentes casi de forma exclusiva en los primeros 20 m de la prueba (Vittori, 1990; Cronin y Hansen, 2005; González y Gorstiga, 2002).

### CONCLUSIONES

El trabajo realizado con NM ES y PT debe variar según la manifestación de la fuerza que quiera ser mejorada. Además para mejorar el cómputo total de la prueba de 100 m, debe trabajarse de forma simultánea y combinada la NM ES a 150 Hz y la PT. Para mejorar la velocidad en la prueba de 100 m puede aplicarse un complemento al entrenamiento consistente en un entrenamiento simultáneo de NM ES y PT. Las mejoras de los tiempos conseguidas por este entrenamiento se mantienen hasta al menos dos semanas después de la aplicación del mismo.



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos su colaboración en el estudio a todos los atletas participantes así como al Dr. Rocandio y a D. Agustín Pérez Barroso por su incansable colaboración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Babault, N.; Cometti, G.; Bernardin, M.; Pousson, M.; Chatard, JC. (2007). Effects of the training on muscle strength and power of elite rugby players. *J Strength Cond Res.* 21: 431- 437.
2. Basas, A.; Fernández, C.; Martín, JA. (2003). *Técnicas Fisioterápicas aplicadas en el tratamiento de la patología de rodilla*. Madrid: MC Graw Hill. Interamericana.
3. Benito, E.; Lara, A.; Martínez- López, EJ. (2010). Effect of combined plyometric and electrostimulation training on vertical jump. *Ricyde.* 6: 322-334.
4. Billot, M.; Alain, M.; Cristos, P.; Cometti, C.; Babault, N. (2010) Effects for an electrostimulation training program on strength, jumping and kicking capacities in soccer players. *J Strength Cond Res.* 24 (5): 1407-1413.
5. Bosco, C. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco*. Barcelona: Paidotribo.
6. Brocherie, F.; Babault, N.; Cometti, G.; Maffiuletti, N.; Chatard, JC. (2005) Electrostimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Med. Sci. Sports. Exerc* 37 (3): 455-460.
7. Calderón, J. (2007). *Fisiología aplicada al deporte*. Madrid: Tebar.
8. Chicharro, JL.; Fernández, A. (2006). *Fisiología del ejercicio*. Barcelona: Panamericana.
9. Coarsa, A.; Moros, T.; Marcos, C.; Mantilla, C. (2000). Beneficio potencial de la Electroestimulación neuromuscular del cuádriceps femoral para el fortalecimiento. *Archivos de medicina del deporte.* 17: 405-412.
10. Cometti, G. (2002) *El entrenamiento de la velocidad*. Barcelona: Paidotribo.
11. Contreras, D.; Vera, OG.; Díaz GD. (2006) Análisis del índice de elasticidad y fuerza reactiva bajo el concepto de longitudes y masas segmentales de los miembros inferiores. *Revista digital efdeportes.com* 11 (96). Available in: <http://www.efdeportes.com/efd96/masas.htm>. [access date: 03 2009]
12. Cronin, JB.; Hansen, KT. (2005) Strength and power predictors of sport speed. *J Strength Cond Res.* 19: 349-357.
13. Fernández, JC.; Beas, MA.; Martín, FJ.; Reina, A. (2007) Fatigue and performance in the Speed and jump. *Rev int med cienc act fis deporte.* 7: 99-110.
14. García, JM.; Navarro, M., Ruiz, JA.; Martín AR. (1998) *La velocidad, la mejora del rendimiento en los deportes de velocidad*. Madrid: Gimnos.
15. García-Manso, JM. (1999) *La adaptación y la excelencia deportiva*. Madrid: GYMNOS.
16. González, JJ.; Gorostiaga, A. (2002) *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo*. Madrid: INDE.
17. Hansson, P.; Ekblom, A. (1983) Transcutaneous electro nerve stimulation as compared to placebo TENS for the relief of acute oro-facial. *Pain.* 15 (1 – 4): 157-165.
18. Herrero, A.; Martin, J.; Martin, T.; Abadia, O., Fernandez, B.; García-López, D. (2010) Short-term effect of strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and aerobic performance. A randomized controlled trial. Part I. *J Strength Cond Res* 24 (6): 1609-1615.
19. Little, T.; Williams, AG. (2005) Specificity of acceleration maximum speed and agility in professional soccer players. *J Strength Cond Res.* 19 (1): 76-78.
20. Maffiuletti, NA.; Cometti, G.; Amiridis, IG.; Martin, A.; Pousson, M.; Chatard, JC. (2000) The effects of the training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *Int J sport Med.* 21 (6): 437 -443.



21. Maffiuletti, NA.; Dugnani, S.; Folz, M; Di Pierno, E.; Mauro, F. (2002) Effects of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Medicine and Science in Sports and exercise*. 34 (10):1638-1644.
22. Maffiuletti, NA.; Bramante, J.; Jubeau, M.; Bizzini, M.; Deley, G.; Cometti, G. (2009) Feasibility and efficacy on progressive electrostimulation strength training for competitive tennis players. *J Strength Cond Res*. 23 (2): 677-682.
23. Márquez, FJ.; Orihuela, A.; Jiménez, A.; Fernández, JC. (2005) Effects of the muscle fatigue on power in squat jump and Speedy. *Revista digital Buenos Aires* 10 (88). Available in: [www.efdeportes.com/efd88/squat.htm](http://www.efdeportes.com/efd88/squat.htm) [access date: 06 2010]
24. Meañes, E.; Alonso, P.; Sánchez, J.; Téllez, G. (2002) *Electroestimulación aplicada*. Madrid: Fundación para el desarrollo de la formación continuada.
25. Ortiz, V. (1999) *Entrenamiento de la fuerza y explosividad para la actividad física y el deporte de competición*. Barcelona: INDE
26. Pascua, M. (1994) *Carreras de velocidad*. In Pascua, M. *Atletismo I: Carreras*. España: COE. Real Federación Española de Atletismo.
27. Vanderthommen, M.; Crielaard, JM. (2001) Electromyostimulation en medicine du sport. *Rev Med Liege*. 56: 391-395.
28. Vélez, M. (1992) El entrenamiento de la fuerza para la mejora del salto. *Apunts*. 29: 139-156.
29. Vittori, C. (1990) El entrenamiento de la fuerza para el sprint. *Revista de entrenamiento deportivo* IV: 2-8.
30. Wigerstad-lossing, I.; Grimby, G.; Jonsson, T.; Morelli, B.; Peterson, L.; Renström, P. (1988) Effects of electrical muscle stimulation combined with voluntary contractions after knee ligament surgery. *Sport Med*. 20: 93-98.
31. Young, WB.; James, R.; Montgomery, I. (2002) Is muscle power related to running speed with changes of direction? *J Sports Med Phys fitness*. 42(3): 282-8.




ARTÍCULO 3º

**Effects of combined electrostimulation and plyometric training on  
vertical jump and speed test**



# Effects of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump and speed tests

ELISA BENITO-MARTÍNEZ<sup>1</sup>, AMADOR J. LARA-SÁNCHEZ<sup>1</sup> , DANIEL BERDEJO-DEL-FRESNO<sup>2</sup>, EMILIO J. MARTÍNEZ-LÓPEZ<sup>1</sup>


<sup>1</sup>Research Group HUM653 Laboratory. Dep. Didactic of Musical, Plastic and Corporal Expressions. University of Jaén, Spain

<sup>2</sup>England National Futsal Team and Manchester Futsal Club, Manchester, United Kingdom

## ABSTRACT

Benito-Martínez E, Lara-Sánchez AJ, Berdejo-del-Fresno D, Martínez-López EJ. Effects of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump and speed tests. *J. Hum. Sport Exerc.* Vol. 6, No. 4, pp. 603-615, 2011. The aim of this study was to determine the performance evolution of a group of athletes after 8 weeks of training that combined electrostimulation (NM ES) and plyometrics (PT). 78 medium level sprinter athletes participated, 40 women and 38 men (age,  $15.9 \pm 1.4$  years old, body mass index,  $20.5 \pm 1.68$  kg/m<sup>2</sup>; weight  $58.53 \pm 8.05$  kg; height,  $1.68 \pm 0.07$  m). The sample was randomized into four groups [Control (PT only), NM ES + PT, PT + NM ES, and Simultaneous (plyometric jumps were performed through the passage of current)]. Improvements were obtained in the Abalakov jump of 3.57% ( $p < 0.01$ ), 13.51% ( $p < 0.001$ ), 1.23% ( $p < 0.01$ ), and 0.77%, and in the sprint of 0.45%, 3.87% ( $p < 0.05$ ), 4.56% ( $p < 0.01$ ) and 7.26%  $p < 0.001$  for the control group, NM ES + PT group, PT + NM ES group, and Simultaneous group, respectively. It was concluded that a) improvement in vertical jump requires the application of the NM ES prior to PT; b) the sprinter athlete must combine the workout simultaneously or apply the ES after the PT training; and c) in sportspeople that require improvement in both the vertical jump and speed tests (e.g. basketball) the simultaneous method is not recommended, the order of application of NM ES and PT being non-determinant. Finally, the time needed to obtain significant improvement in strength training through a combination of NM ES and PT is substantially lower (15 days) than the time needed to improve speed (30 days). **Key words:** ELECTROSTIMULATION, PLYOMETRICS, MUSCLE STRENGTH, ABALAKOV JUMP, SPEED 30 M LAUNCHED.

---

 **Corresponding author.** University of Jaén. Dep. Didactic of Musical, Plastic and Corporal Expressions. Faculty of Humanities and Education Sciences (D-2, 143). P. Las Lagunillas. 23071, Jaén. Spain.

E-mail: [alara@ujaen.es](mailto:alara@ujaen.es)

Submitted for publication September 2011

Accepted for publication October 2011

JOURNAL OF HUMAN SPORT & EXERCISE ISSN 1988-5202

© Faculty of Education. University of Alicante

doi:10.4100/jhse.2011.64.04

## INTRODUCTION

Neuromuscular electrostimulation (NM ES) consists on applying an electric current on the muscle or peripheral nerve in order to provoke its involuntary contraction (Lake, 1992). Its use for the training of athletes has as a main advantage a higher increase in force than in voluntary training (VT) (Maffiuletti et al., 2002; Brocherie et al., 2005; Babault et al., 2007). However, its main disadvantages lie in the inhibition of the myotatic reflex and Golgi organ tendon during its application, thereby increasing the risk of injury if their use is not adequate (Raquena et al., 2005; Jubeau et al., 2006), and secondly in the athlete's inability to obtain improved agonist-antagonist muscle coordination (Holcomb, 2005; Paillard, 2008).

In the last two decades, training with NM ES to develop lower body power in athletes has been successfully used by authors such as Babault (2007) and Maffiuletti (2002), which obtained improvements of 2.4% and 5.8% in Drop Jump (DP), respectively. Similarly, they found incremental improvements of 2.4% (Herrero et al., 2006) and 5.8% (Brocherie et al., 2005) in 20-meter and 50-meter sprint, respectively.

Moreover, the term Plyometrics (PT) was first used in 1975 by Wilt (Chu, 1999). Its Latin root plyo + metric stands for "measured increase" and consists of the muscular use of the movement eccentric phase prior to its concentric contraction. This method offers several advantages such as the increase in jumping ability and the improvement of intramuscular coordination (Kotzamanidis, 2006; Markovic et al., 2007). Likewise, it does not show any significant disadvantages for the athlete, as long as it is not used in a state where a strong mechanical muscle overload is not recommended, i.e. in periods of detraining and overtraining, after an injury, or during the time before immediate competition (Lehance et al., 2005; Takano et al., 2010). For several decades, most of the results obtained in athletes after plyometric training have provided high efficiency and significantly, since both explosive and reactive strength improve (Verkhoshansky, 1999; Herrero et al., 2006; Markovic et al., 2007; Maffiuletti, 2008; Arazi & Asadi, 2011).

Although previous evidence has confirmed that strength training in isolation, either by NM ES or PT, can offer high efficiency on the explosive and explosive-elastic-reactive force manifestation, the combined effect of both is not known. It was found that the physiological adaptations produced in the combined therapy are much greater than those that occur in isolated therapies such as NM ES or VT - (Vanderthommen & Crielaar, 2001; Kotzamanidis, 2006). However, the combined use of NM ES and PT has not been commonly used previously (Maffiuletti et al., 2002; Herrero et al., 2006). Furthermore, the combined use has been employed mainly to benefit from performance in tests on lower limb power as a DJ, Countermovement Jump (CMJ) and Squat Jump (SJ) (Maffiuletti et al., 2002), but less so in speed (Herrero et al., 2006).

In order to evaluate the previous demonstrations of force in the extensor muscles of the lower limbs sprint and vertical jump tests (Berdejo & González, 2009; Martínez-López et al., 2009; Riggs & Sheppard, 2009) have often been used. Currently, race tests to measure the explosive-elastic-reactive force involving a limited muscle amplitude show high validity and reliability due to the use of photocells. Besides, the vertical jump tests are standardized, as well as simple to implement, and there is enough information according to the various sporting disciplines. However, the need for more reliable data has encouraged the use of contact platforms that allow to obtain indicators to evaluate the explosive demonstration of force (Lara et al., 2006; Juárez et al., 2008).

The aim of this study was to determine the evolution of physical performance after 8 weeks of NM ES and PT training. Particularly, it sought to know the possible differences between performance in speed and jumping, derived from combined NM ES and PT training, performed with different implementation protocols. It was hypothesized that the order of application of NM ES and PT during training had different effects depending on the needs of the athletic event.

## MATERIAL AND METHODS

### *Experimental approach to the problem*

This is a quantitative study of a duration of 8 weeks where 4 measures ( $M_1$  = initial measure,  $M_2$  = 2<sup>nd</sup> week,  $M_3$  = 4<sup>th</sup> week, and  $M_4$  = 8<sup>th</sup> week) were made. The dependent variables were the vertical jump height and the running time, which were taken through the Abalakov test and the 30-meter sprint launched test. The independent variable was the training method.

### *Subjects*

78 mid-level athletes participated in this study, 40 women and 38 men from speed disciplines (100 and 200-meter dash and 100 and 110-meter hurdles). The group characteristics were the following: they were aged  $15.9 \pm 1.4$ , had a Body Mass Index (BMI) of  $20.5 \pm 1.68$ , a weight of  $58.53 \pm 8.05$  kg, and a height of  $1.68 \pm 0.07$  m. The average time that participants had been training in their discipline was  $5.64 \pm 2.13$  years. Athletes had not previously experienced electrical training.

### *Procedures*

The weight and height of the participants were measured with a 100-milligram sensitivity scale and a 1-millimeter sensitivity tape measure SECA (SECA Ltd, Germany). The Body Mass Index (BMI) was calculated using the Quetelet formula:  $BMI = \text{weight (kg)} / \text{height (m}^2\text{)}$ . Two photoelectric cells Eleiko Sport MAT RS 232 (United Kingdom) were employed to record the times of the 30-meter sprint launched test. The jump tests were recorded with a jump contact platform PSION ORGANISER 2 CM (British). Also an electrostimulator Megasonic P4 313 Sport of Medicarim (Spain) was used for the electrostimulation training. Athletes were distributed through a simple random probability sampling. The distribution and treatment of the four groups was as follows:

Group 1 (Control): made up of 20 athletes (9 women and 11 men) aged  $17.05 \pm 1.47$ , with a BMI of  $20.0 \pm 1.5$ . These athletes performed the planned plyometric jumps twice a week and received as a placebo a Type TENS analgesic current. The athletes were never informed of the type of current applied to eliminate potential mistakes derived from this fact. Both NM ES and TENS were applied through the same electrotherapy device and the TENS current was applied in a pulsating way to obtain muscular contraction. This way, although the NM ES current had the purpose of developing strength, the TENS current was merely analgesic. However, the athletes perceived muscular contraction in both cases, thus avoiding any potential mistakes derived from the athletes' awareness of the type of current applied.

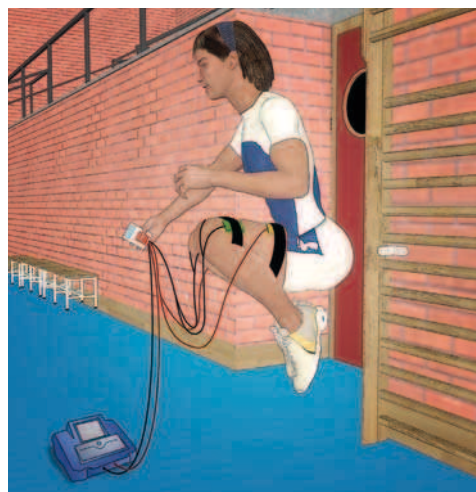
Group 2 (NM ES + Plyometrics): comprised by 20 athletes (11 women and 9 men) aged  $17.65 \pm 1.47$  and with a BMI of  $20.7 \pm 1.3$ . In the first place, this group received the ES training and later did the plyometric jumps protocol (Figure 1).



**Figure 1.** Application of electrostimulation to the athlete before plyometric training [Group 2: NM ES + PT] and after plyometric training [Group 3: PT + NM ES].

Group 3 (Plyometric + NM ES): consisting of 19 athletes (10 women and 9 men) aged  $16.16 \pm 1.72$  and with a BMI of  $20.5 \pm 2.2$ . In this case, the athletes did the plyometric jumps first and then 12 min of NM ES were applied.

Group 4 (Simultaneous): made up of 19 athletes (10 women and 9 men), aged  $17.7 \pm 1.49$  and a BMI of  $20.7 \pm 1.6$ . This group did the combined training, which consisted on doing the same protocol of plyometric jumps as the other groups, together with the simultaneous application of NM ES. In other words, the athletes jumped when they felt the electrical current and had their rest time when the current was not applied (Figure 2).



**Figure 2.** Combined training with plyometric jumps and electrostimulation [Group 4: Simultaneous].

*Electrostimulation protocol*

The search for an ideal NM ES training protocol has led to the use of a wide variety of electrical current parameters. More recent studies have allowed to establish as the most appropriate use a stimulus frequency of between 120 and 150 Hz, a pulse width of between 0.30 and 0.40 s, a ratio of pulse time and resting time of 1:3 and 1:4, and a treatment duration of between 10 and 15 min (Maffioletti et al., 2002; Brocherie et al., 2005; Herrero et al., 2006; Babault et al., 2007). Regarding the applied current intensity, which is measured by the percentage of maximal isometric voluntary contraction, the established range has been very wide, being used from 50% (Child et al., 1998) up to 100% (Delitto et al., 1989), or even maximum intensities tolerated by athletes (Brocherie et al., 2005; Herrero et al., 2006).

The current parameters used were: frequency of 150 Hz, a pulse width of 0.35 s, a time of contraction-rest of 3-12 s, a dosage of 2 days / week and a total time of 12 min application. The current intensity applied was the maximum tolerated by the athlete, which corresponded to an average intensity of  $26.39 \pm 7.11$  and  $26.22 \pm 5.88$  mA in men and women, respectively.

*Plyometric protocol*

The plyometric protocol consisted on the following exercises:

*1<sup>st</sup> Exercise:* it consisted of two sets of 8 repetitions each of maximum jumps raising the knees towards the chest. Small bounces were not allowed in the landing, the jump's impact absorbing stage being the eccentric phase of the next jump. As for the Simultaneous group, this exercise was done isolatedly, that is, without superimposing the electric current, since it was impossible to meet the required recovery time of the electrical impulse between jumps.

*2<sup>nd</sup> Exercise:* it consisted of two series of jumps of 8 repetitions each starting from a squatting position (flexion of knees and hips while maintaining a clearance angle of flexion but always wider than  $100^\circ$ ), where three small jumps were done before the fourth maximum jump. Athletes could help themselves with their upper limbs momentum. The landing jump had to be done in situ, and three small jumps were performed again. In the Simultaneous group the athlete performed the maximum jump when they felt the electrical current.

*3<sup>rd</sup> Exercise:* it included 2 sets of 8 repetitions each. It contained the same steps as in the 2<sup>nd</sup> exercise, except that the landing jump was done with one of the lower limbs in an advanced position. Also, after the first little bounce, the feet came back to a parallel position to do the other two bounces from that position.

The athletes performed a 2-day familiarization period prior to training, where the plyometric jump technique was shown visually and repeatedly explained until they performed the exercises correctly. All athletes submitted their written informed consent and the study complied with the Declaration of Helsinki (rev. 2008).

*Test application*

Abalakov (ABK) tests and 30-meter sprint launched tests were repeated from the first day of the experiment until the end of it every two weeks, letting at least 48 hours of rest. As for the Abalakov test, there were two days of training during the week before the first tests, so that athletes became familiar with the jumps and with the aim to avoid the possibility of bias because of poor exercise technique. After a regulated warm-up, directed by the researcher, the athletes did the ABK jump test, which consisted of bending their knees from the standing position and without making stop motion, and then jumping as high as possible with the help of their upper limbs (González et al., 2006). Every athlete

performed four maximum jumps and only the highest was recorded. The recovery time between sets was 1 min.

Two photocells were used to perform the 30 meters launched test, which were placed 10 and 40 meters from the start, respectively. Athletes were advised that they should run as fast as possible from the start line to the second cell (Cometti, 2002). Every athlete performed this distance twice and only the best time was recorded. The athletes had a 3-minute rest period between both sprints (Vittori, 1990).

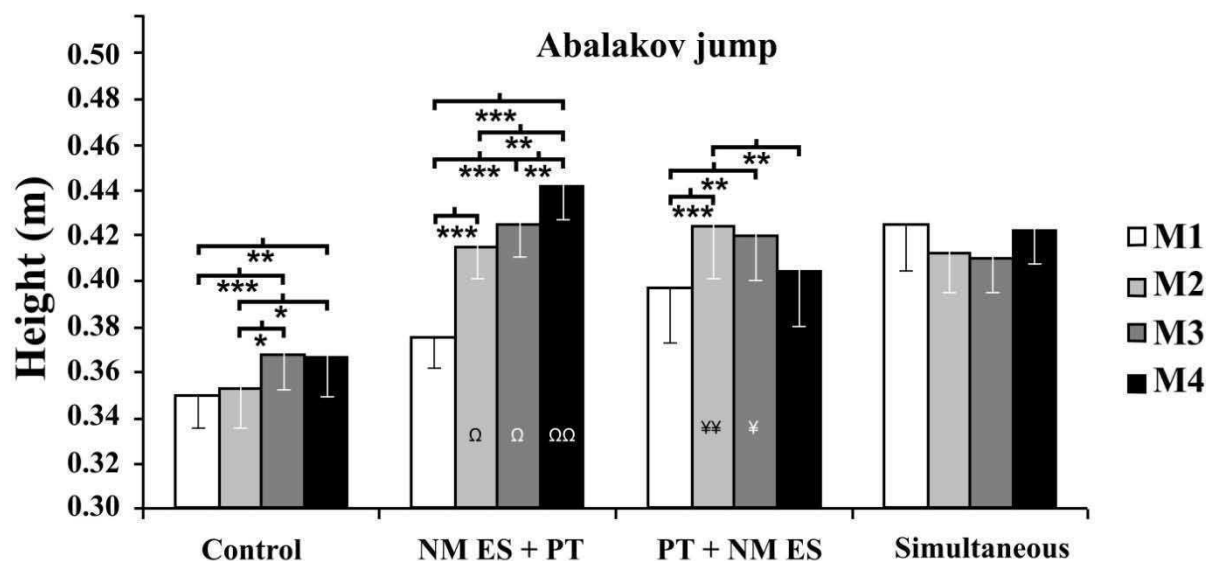
### **Statistical analysis**

The statistical analysis was carried out using SPSS v. 19. The analysis of variance through repeated measures ANOVA with adjusted confidence interval by Bonferroni and Pearson bivariate correlation were done. The rejection criterion for establishing both the correlations and the significant differences was set at the conventional level of 0.05.

## **RESULTS**

The vertical jump height in each group of athletes is shown in Figure 3. A 4 (group) x 4 (ABK jump) ANOVA of the ABK Tests found a training effect between the vertical jump and the different treatment groups (Control group, NM ES + PT group, PT + NM ES group, and Simultaneous group)  $F(9.222) = 6.31$ , effect size ( $\eta^2$ ) = 0.20, which indicated that the jump height was different according to the different groups. More specifically, statistically significant differences were found between the measurements of the Control group [ $F(3.57) = 6.39$ ,  $\eta^2 = 0.25$ ], the NM ES + PT group [ $F(3.57) = 15.12$ ,  $\eta^2 = 0.44$ ] and the PT + NM ES group [ $F(3.54) = 6.10$ ,  $\eta^2 = 0.25$ ]. However, no differences were found in the Simultaneous group [ $F(3.54) = 0.96$ ,  $\eta^2 = 0.05$ ].

Further analysis showed that the vertical jump highest performances were obtained in the group that applied NM ES before PT. These improvements ( $p < 0.001$ ) were significant from the first 15 days of training, continuing in the next two periods. Not so in the PT group that performed PT prior to NM ES, where despite a significant increase ( $p < 0.001$ ) in the first 15 days, there was a reverse progression that played down the benefits previously acquired. Nor did this happen in the Simultaneous group, where no significant differences between any of the measurements were found. Finally, the Control group experienced statistically significant improvements in jump height, especially from the first month of training.

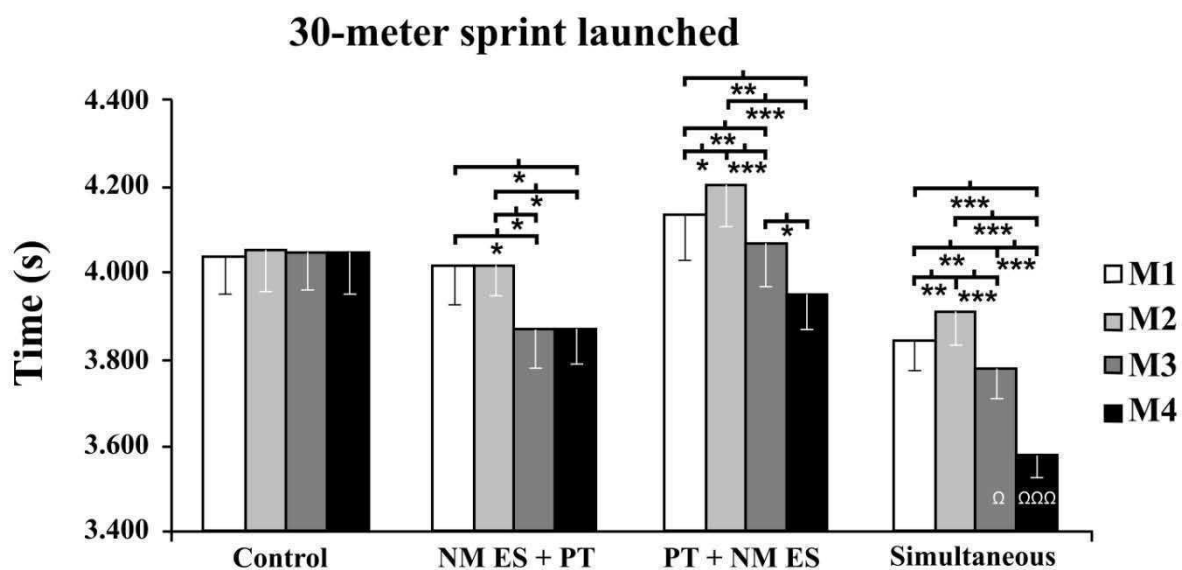


**Figure 3.** Graphic shows the height of Abalakov jump, M<sub>1</sub> (initial), M<sub>2</sub> (2<sup>nd</sup> week), M<sub>3</sub> (4<sup>th</sup> week) and M<sub>4</sub> (8<sup>th</sup> week). Effect produced in each group of athletes: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ . The intergroup effect is shown as:  $\Omega$ , and  $\Omega\Omega$  denote  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$  compared with Control group respectively on same measure.  $\text{¥}$  and  $\text{¥¥}$  denote  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$  compared with Control group respectively on same measure.

The intergroup analysis confirmed the existence of significant differences according to the training method used [F (3.74) = 2.82,  $\eta^2 = 0.10$ ]. The group that performed NM ES before PT obtained the greatest and most progressive improvements compared to the Control group [M<sub>2</sub> = (Mean = 0.41±0.06 and 0.35±0.08 m,  $p < 0.05$ )] for NM ES + PT and Control respectively; [M<sub>3</sub> = (Mean = 0.42±0.06 and 0.36±0.06 m,  $p < 0.05$ )] and [M<sub>4</sub> = (Mean = 0.44±0.06 and 0.36±0.07 m,  $p < 0.01$ )]. Although the group that trained in reverse way (PT + NM ES) improved significantly ( $p < 0.01$ ) compared to the Control group during the first 15 days of training (M<sub>2</sub>), a regression effect in M<sub>3</sub> and M<sub>4</sub> was obtained, with a progressive loss of benefits as the training progressed. It is important to report that the intergroup analysis of Abalakov test showed previous (M<sub>1</sub>) significant differences ( $p < 0.01$ ) only between the Control group and the Simultaneous group.

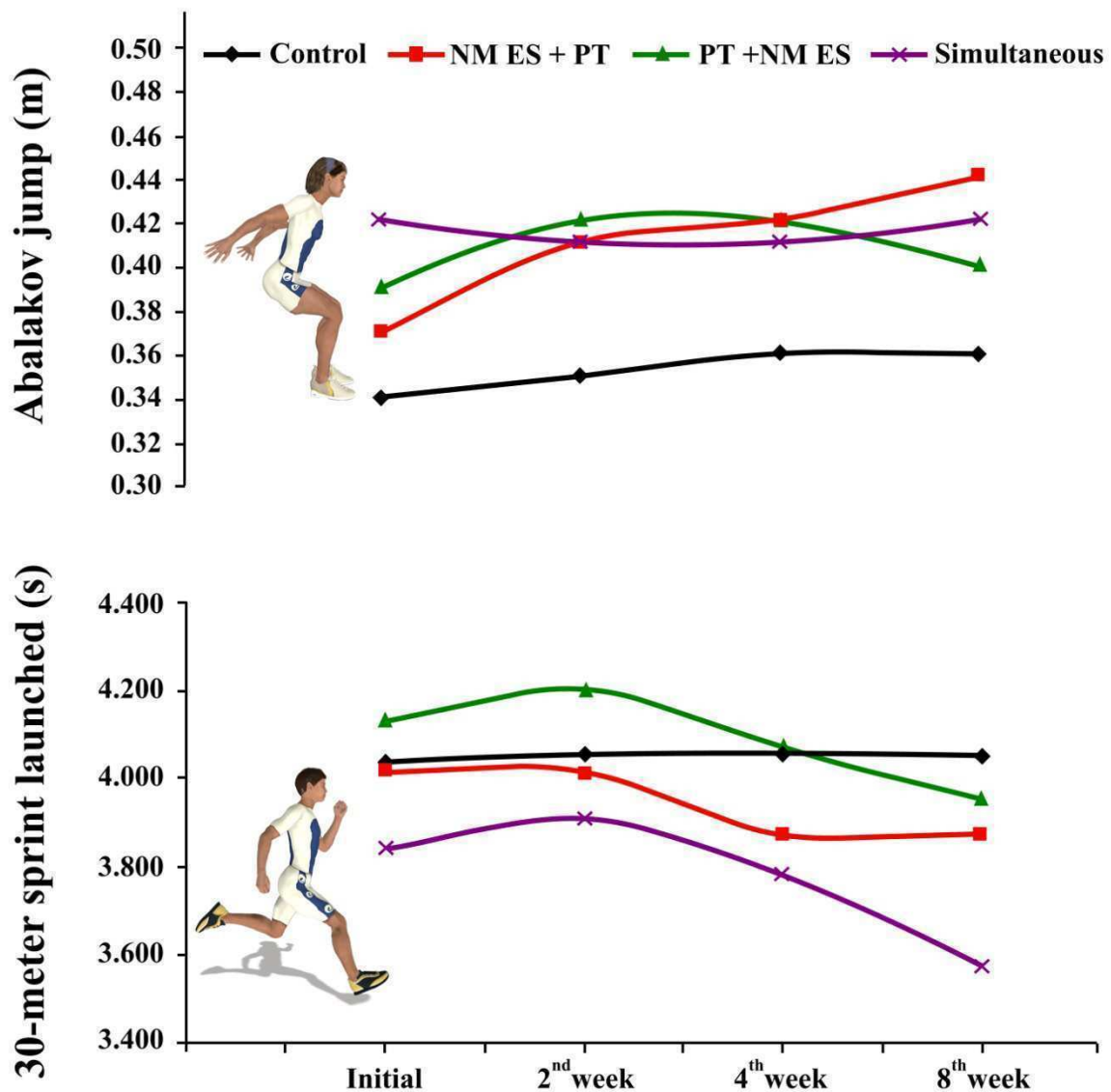
The time used to run the 30-meter distance in each group of athletes is shown in Figure 4. A 4 (group) x 4 (30-meter sprint launched) ANOVA found a training effect between the results of the 30-meter sprint launched test and the different treatment groups [F (9.222) = 3.43,  $\eta^2 = 0.12$ ]. More specifically, statistically significant differences were found between the measurements of the NM ES + PT group [F (3.57) = 4.41,  $\eta^2 = 0.19$ ], those of the PT + NM ES group [F (3.54) = 12.13,  $\eta^2 = 0.40$ ], and of the Simultaneous group [F (3.54) = 34.76,  $\eta^2 = 0.66$ ]. No differences were found in the Control group [F (3.57) = 0.02,  $\eta^2 = 0.001$ ].

Further analysis showed that the best performances in the 30-meter sprint launched were obtained in the group where PT was applied prior to NM ES ( $p < 0.01$ ) and especially in the group of athletes who trained NM ES and PT ( $p < 0.001$ ) simultaneously. Although significant improvements ( $p < 0.05$ ) were also seen in athletes who had trained ES previously, the former occurred only after the first month of training, coming to a halt in the subsequent records M<sub>3</sub> and M<sub>4</sub>. In the Control group no changes were appreciated in the speed of participants regarding any of the measures.



**Figure 4.** Graphical representation of the measures of time spent in 30-meter sprint launched test,  $M_1$  (initial),  $M_2$  (2<sup>nd</sup> week),  $M_3$  (4<sup>th</sup> week) and  $M_4$  (8<sup>th</sup> week). Effect produced in each group of athletes: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ . The intergroup effect is shown as:  $\Omega$ , and  $\Omega\Omega\Omega$  denote  $p < 0.05$  and  $p < 0.001$  respectively compared with Control group on same measure.

The intergroup analysis in 30-meter sprint launched test, showed the existence of significant differences according to the training method used [ $F(3,74) = 31$ ,  $\eta^2 = 0.11$ ]. Only athletes who trained simultaneously obtained significant improvements in speed from the first month ( $M_3$ ) ( $M = 3.77 \pm 0.31$  s,  $p < 0.05$ ) compared to the Control group ( $M = 4.04 \pm 0.39$  s), further enhancing ( $p < 0.001$ ) in  $M_4$  (Simultaneous group =  $3.57 \pm 0.21$  s, and Control group =  $4.05 \pm 0.43$  s). It is necessary to report that in the intergroup analysis the 30-meters sprint launched test showed previous ( $M_1$ ) significant differences ( $p < 0.05$ ) only between the PT + NM ES group and the Simultaneous group.



**Figure 5.** Effect of different training methods for eight weeks. Smoothed curves. PT training from the previous stimulation of the muscle fiber by NM ES improves significantly the vertical jump ( $p < 0.05$ ), but does not translate immediately into increase of the athlete's speed. Simultaneous training does not cause significant improvements in vertical jump, but in the 30-meter sprint launched test ( $p < 0.05$ ).

## DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Next, some aspects of interest relating to combined NM ES and PT training will be discussed, as well as their suitability to improve both strength and speed. The results analysis in the Abalakov jump tests allowed to report three main aspects. First, the application of NM ES pre-training prior to PT causes a more progressive and greater improvement than that of the other combinations (13.51%), since the overstimulated muscle (Jubeau et al., 2006) is more active and receptive, allowing the subsequent performance of plyometric exercises at greater intensity and, therefore, there would be a higher training overload.

Secondly, if both methods are applied in reverse order (PT + NM ES) the jump improvements are lower (1.23%) and less steady, obtaining a progressively worsening effect on the jump and loss of the acquired improvements during the first weeks. And finally, the simultaneous application of PT and NM ES slows down the improvement (0.77%) in the athlete's jumping ability. In this case, it is believed that muscle tension during the current application does not allow a full movement of extension in every bound, and more importantly, the disruption of every jump, due to the need to reach the current adjustment, would prevent the benefit of the eccentric phase between jumps and consequently the benefit of training the former.

Moreover, regarding the 30-meter sprint launched test, the highest performance was obtained in the athletes who performed PT prior to NM ES (4.56%), and especially those who exercised simultaneously (7.26%). Although both groups showed a worsening effect on the results after the first 15 days ( $M_2$ ), later they took better advantage of supercompensation until they achieved a considerable and progressive increase in performance from the first month of training. Unlike them, the group that used NM ES previously showed that, although there was a significant improvement ( $p < 0.05$ ) during the training period (3.87%), this occurred later ( $M_3$ ) and without any progression.

In order to understand the above mentioned counter effects on the results of both tests, we should first isolate the obtained performances of our athletes in each training method, especially the PT training that does not include the application of electrostimulation. Although most authors consider that PT is effective to improve jump height (Bobbert, 1990; Yanagi et al., 2003), others suggest that the positive effects are not significant (Herrero et al., 2006; Markovic et al., 2007), and even cause adverse effects (Luebbbers et al., 2003). In the PT group significant improvements ( $p < 0.01$ ) of 3.57% were seen in the Abalakov jump. These results are lower than the averages reported by Markovic (Herrero et al., 2006) between different types of vertical jumps SJ, DJ and CMJ with 6.9%, and similar to 3.6% in SJ by Tricoli et al. (2005). However, in the same group a total stagnation in the time of 30-meter sprint launched test was found. This confirms that PT training causes a disparate impact on the athletes' improvement similar to that found in other studies that showed improvements in the sprint phases (Kotzamanidis, 2006) but not in the acceleration phase (Herrero et al., 2006). It has been evidenced that greater jumping ability does not involve any increase in the athlete's speed, as the moderate correlations between the measures of both tests have shown ( $r = -0.65$ ,  $r = -0.59$ ,  $r = -0.68$ , and  $r = -0.57$ ,  $p_s < 0.01$ ) in  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  and  $M_4$  respectively. Therefore, the speed improvements gained in the other groups would be determined primarily by the effect of NM ES and not by PT training.

On the other hand, isolated NM ES training has offered clear benefits, as concluded by Billot et al. (2010), who after five weeks of NM ES training obtained not only improvements in vertical jump and speed, but also in ball skills in soccer players. Furthermore, although the benefits of exclusive NM ES training need a minimum intensity threshold of at least 8 sessions to induce strength development (Miller & Thepautmathieu, 1993), through the use of combined training the present study has obtained significant increases in strength and speed from the first 4 and 8 training sessions, respectively.

As deduced from our results, the combined NM ES and PT training has been an important benefit in the athletes' strength and speed, confirming that the order of implementation is crucial in terms of the ability to be developed (Figure 5). Some answers about the causes for the above results could be found in previous studies that have used NM ES in combination with VT. For example, at a therapeutic level hybrid training (NM ES + VT) has been proved to be the most effective for maintaining and increasing the muscle volume and extensor strength in different body limbs in both elderly (Takano et al., 2010) and bedridden patients or astronauts in outer space (Martínez-López et al., 2009). In addition, more muscle adaptations were made in athletes, since NM ES + VT can facilitate the training accumulative effects and causes an improvement in the performance of complex dynamic movements (Paillard,

2008). However, the main aspects related to the differences in performance of the jump and speed tests in this study could be related to the effects produced by fatigue and motor control.

Thus, pre-training fatigue (NM ES + PT) allowed to overload and localize muscle training so that the effect was more focused on the muscle power which was necessary in the jump, where the technical role was relegated to the purely muscular role, the latter being more suitable for beginners (Cometti, 2002). However, if NM ES is combined with VT or PT training (post-fatigue), it will not increase the recruitment of motor units (Paillard et al., 2005) but will not damage the postural control either, creating a positive change in the contribution of proprioceptive information (Paillard, 2008) and thereby achieving significant improvements in speed. Finally, the monitoring of the athletes during the implementation showed that the Simultaneous group focused more on getting the coordination required to perform successful plyometric jumps during the current application than on jump height itself. In this sense, the results were consistent, since jump height did not vary but excellent speed times were found due to an increase in the coordination between agonist and antagonist muscles, thus facilitating the learning of specific coordination of the complex movements in the race.

The present results must be treated with caution, because although a sample higher than usual was used to avoid conflicting results (Markovic et al., 2007), many factors that can strongly influence the effects of the intervention still coexist. For example, derivatives of the training design (type of exercise, volume and intensity of training, weekly frequency, training time and daily rest), characteristics of the participants (gender, age, years of training), psychological factors (motivation for training, suffering capacity or effort) and qualitative aspects related to the execution techniques. Also, the performance evolution after the interruption of the treatment is not known, for a period of two weeks would be needed to complete the assessment.

In conclusion, combined NM ES and PT training has shown different effects depending on the physical type or requirements demanded in each athletic event. Its application in a single session can provide both positive and negative effects. NM ES training can be used to supplement PT training, since it notably increases vertical jumping ability as well as the athlete's speed. However, its usefulness is determined by the order of application during the training session.

The improvement in vertical jump test requires the use of NM ES prior to PT. Failure to do so, the application of NM ES would be contraindicated because there would be fewer benefits than those caused by a unique PT training. On the other hand, the improvement in the 30-meter sprint launched test requires to perform combined NM ES and PT training simultaneously or applying NM ES after PT training. Furthermore, if the aim is to achieve improvements in both vertical jump tests and speed tests, the order of application of NM ES and PT is irrelevant, although the simultaneous method is not advised.

Finally, with regard to the time required to achieve improvements in these tests with combined NM ES and PT training, it should be substantially lower in the jump test than in the sprint test.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

*We would like to express our gratitude to Spanish translator and interpreter Andrea Pérez-Arduña for the translation into English and style correction of the present paper.*

## REFERENCES

1. ARAZI H, ASADI A. The effect of aquatic and land plyometric training on strength, sprint, and balance in young basketball players. *J Hum Sport Exerc.* 2011; 6(1):101-111. doi:10.4100/jhse.2011.61.12 [Back to text]
2. BABAULT N, COMETTI G, BERNARDIN M, POUSSON M, CHATARD J. Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *J Strength Cond Res.* 2007; 21:431-437. [Abstract] [Back to text]
3. BERDEJO D, GONZÁLEZ JM. Strength training in young tennis players. *J Sport Health Res.* 2009; 1:46-55. [Full Text] [Back to text]
4. BILLOT M, MARTIN A, PAIZIS C, COMETTI C, BABAULT N. Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping and kicking capacities in soccer players. *J Strength Cond Res.* 2010; 24:1407-1413. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d43790 [Back to text]
5. BOBBERT MF. Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Med.* 1990; 9:7-22. doi:10.2165/00007256-199009010-00002 [Back to text]
6. BROCHERIE F, BABAULT N, COMETTI G, MAFFIULETTI N, CHATARD JC. Electrostimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Med Sci Sports Exerc.* 2005; 37:455-460. doi:10.1249/01.MSS.0000155396.51293.9F [Back to text]
7. CHILD RB, BROWN SJ, DAY SH, SAXTON JM, DONNELLY AE. Manipulation of knee extensor force using percutaneous electrical myostimulation during eccentric actions: Effects on indices of muscle damage in humans. *Int J Sports Med.* 1998; 19:468-473. doi:10.1055/s-2007-971946 [Back to text]
8. CHU D. *Ejercicios Pliométricos.* Barcelona: Paidotribo; 1999. [Abstract] [Back to text]
9. COMETTI G. *El entrenamiento de la velocidad.* Barcelona: Paidotribo; 2002. [Abstract] [Back to text]
10. DELITTO A, BROWN MJ, STRUBE SJ, ROSE LECHMAN RC. Electrical stimulation of quadriceps femoris in an elite weight lifer: A single subjects experiment. *Int J Sports Med.* 1989; 10:187-191. doi:10.1055/s-2007-1024898 [Back to text]
11. GONZÁLEZ JM, MACHADO L, NAVARRO FJ, VILAS-BOAS JP. Acute affects of strength training from heavy loads and static stretching training on squat jump and countermovement jump. *Rev Int Cienc Deporte.* 2006; 2:47-56. [Full Text] [Back to text]
12. HERRERO J, IZQUIERDO M, MAFFIULETTI N, GARCÍA-LÓPEZ J. Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *Int J Sports Med.* 2006; 27:533-539. doi:10.1055/s-2005-865845 [Back to text]
13. HOLCOMB WR. Is neuromuscular electrical stimulation and effective alternative to resistance training? *Strength Condit J.* 2005; 27:76-79. [Back to text]
14. JUÁREZ D, NAVARRO F, ACEÑA RM, GONZÁLEZ JM, ARIJA A, MUÑOZ V. Relación entre fuerza explosiva en squat y acciones de salto, sprint y golpeo de balón. *Rev Int Cienc Deporte.* 2008; 4:1-12. [Full Text] [Back to text]
15. JUBEAU M, ZORY R, GONDIN J, MARTIN A, MAFFIULETTI NA. Late neuronal adaptations to electrical stimulation resistance training of the plantar flexor muscle. *Eur J Appl Physiol.* 2006; 98:202-211. doi:10.1007/s00421-006-0264-z [Back to text]
16. KOTZAMANIDIS C. Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J Strength Cond Res.* 2006; 20:441-445. [Abstract] [Back to text]
17. LAKE D. Neuromuscular electrical stimulation. *Sports Med.* 1992; 13:320-336. doi:10.2165/00007256-199213050-00003 [Back to text]
18. LARA AJ, ABIÁN J, ALEGRE LM, LINARES L, AGUADO X. Jump tests on a force platform for applicants to a sports science degree. *J Hum Mov Stud.* 2006; 50:133-148. [Full Text] [Back to text]

19. LEHANCE, C, CROISIER, JL, AND BURY, T. Optojump system efficiency in the assessment of lower limbs explosive strength. *Sci Sports*. 2005; 20:131-135. doi:[10.1016/j.scispo.2005.01.001](https://doi.org/10.1016/j.scispo.2005.01.001) [[Back to text](#)]
20. LUEBBERS PE, POTTEIGER JA, HULVER MW, THYFAULT JP, CARPER MJ, LOCKWOOD RH. Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power. *J Strength Cond Res*. 2003; 17:704-709. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
21. MAFFIULETTI N, DUGNANI S, FOLZ M, DI PIERNO E, MAURO F. Effects of combined electrostimulation and plyometric training of vertical jump height. *Med Sci Sports Exerc*. 2002; 34:1638-1644. doi:[10.1249/01.MSS.0000031481.28915.56](https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000031481.28915.56) [[Back to text](#)]
22. MAFFIULETTI, N. Caution is required when comparing the effectiveness of voluntary versus stimulated versus combined strength training modalities. *Sports Med*. 2008; 38:437-440. doi:[10.2165/00007256-200838050-00006](https://doi.org/10.2165/00007256-200838050-00006) [[Back to text](#)]
23. MARKOVIC G, JUKIC I, MILANOVIC D, METIKOS D. Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *J Strength Cond Res*. 2007; 21:543-549. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
24. MARTÍNEZ-LÓPEZ EJ, LARA AJ, CACHÓN J, RODRÍGUEZ I. Characteristics, frequencies and type of physical exercise practiced by the adolescents. Special attention to the obese pupil. *J Sport Health Res*. 2009; 1:88-100. [[Full Text](#)] [[Back to text](#)]
25. MATSUSE H, SHIBA N, UMEZU Y, NAGO T, TAGAWA Y, KAKUMA T, NAGATA K, BASFORD JR. Muscle training by means of combined electrical stimulation and volitional contraction. *Aviat Space Environ Med*. 2006; 77:581-585. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
26. MILLER C, THEPAUTMATHIEU, C. Strength training by electrostimulation conditions for efficacy. *Int J Sports Med*. 1993; 14:20-28. doi:[10.1055/s-2007-1021140](https://doi.org/10.1055/s-2007-1021140) [[Back to text](#)]
27. PAILLARD T, NOÉ F, PASSELERGUE P, AN DUPUI P. Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Med*. 2005; 35:951-966. doi:[10.2165/00007256-200535110-00003](https://doi.org/10.2165/00007256-200535110-00003) [[Back to text](#)]
28. PAILLARD T. Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports Med*. 2008; 38:161-177. doi:[10.2165/00007256-200838020-00005](https://doi.org/10.2165/00007256-200838020-00005) [[Back to text](#)]
29. RAQUENA B, PADIAL P, GONZÁLEZ-BADILLO JJ. Percutaneous electrical stimulation in strength training: An up data. *J Strength Cond Res*. 2005; 19:438-448. [[Back to text](#)]
30. RIGGS MP, SHEPPARD JM. The relative importance of strength and power qualities to vertical jump height of elite beach volleyball players during the counter-movement and squat jump. *J Hum Sport Exerc*. 2009; 3:221-236. doi:[10.4100/jhse.2009.43.04](https://doi.org/10.4100/jhse.2009.43.04) [[Back to text](#)]
31. TAKANO Y, HANEDA Y, MAEDA T, SAKAY Y, MATSUSE H, KAWAGUCHI T, TAGAWA Y, SHIBA N. Increasing muscle strength and mass of thigh in elderly people with the hybrid-training method of electrical stimulation and volitional contraction. *Tohoku J Exp Med*. 2010; 221:77-85. doi:[10.1620/tjem.221.77](https://doi.org/10.1620/tjem.221.77) [[Back to text](#)]
32. TRICOLI V, LAMAS L, CARNEVALE R, CRIELAARD JM. Short-term effects on lower-body functional power development weightlifting vs. vertical jump training programs. *J Strength Cond Res*. 2005; 19:433-437. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
33. VANDERTHOMMEN M, CRIELAARD JM. Electromyostimulation en médecine du sport. *Rev Med Liege*. 2001; 56:391-395. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
34. VERKHOSHANSKY Y. *Todo sobre el método pliométrico*. Barcelona: Paidotribo; 1999. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
35. VITTORI C. El entrenamiento de la fuerza para el sprint. *Revista de Entrenamiento Deportivo*. 1990; 4:2-8. [[Back to text](#)]
36. YANAGI T, SHIBA N, MAEDA T, IWASA K, UMEZU Y, TAGAWA Y, MATSUO S, NAGATA K, YAMAMOTO T, BASFORD, JR. Agonist contractions against electrically stimulated antagonists. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003; 84:843-848. doi:[10.1016/S0003-9993\(02\)04948-1](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(02)04948-1) [[Back to text](#)]



ARTÍCULO 4º

**Effects of electrostimulation and plyometric training program  
combination on jump height in teenage athletes**



Research article

## Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes

Emilio J. Martínez-López<sup>1</sup>✉, Elisa Benito-Martínez<sup>2</sup>, Fidel Hita-Contreras<sup>3</sup>, Amador Lara-Sánchez<sup>1</sup> and Antonio Martínez-Amat<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Research Group HUM653 Laboratory, Department of Didactic of Musical, Plastic and Body Expression, University of Jaén, Spain; <sup>2</sup>Royal Spanish Athletics Federation, Spain; <sup>3</sup>Department of Health Sciences, University of Jaén, Spain

### Abstract

The purpose of this study was to examine the effects of eight-week (2 days/week) training periods of plyometric exercises (PT) and neuromuscular electrostimulation (EMS) on jump height in young athletes. Squat jump (SJ), counter movement jump (CMJ) and drop jump (DJ) were performed to assess the effects of the training protocols 98 athletes (100 & 200m and 100m & 110m hurdles) voluntarily took part in this study, 51 males (52%) and 47 females (48%), 17.91 ± 1.42 years old, and 5.16 ± 2.56 years of training experience. The participants were randomly assigned to four different groups according to the frequency and the timing of the stimulation. Analysis of covariance was used to analyze the effects of every training program on jump height. Our findings suggest that compared to control (Plyometrics (PT) only), the combination of 150Hz EMS + PT simultaneously combined in an 8 week (2days/week) training program, we could observe significant jump height improvements in the different types of strength: explosive, explosive-elastic, and explosive-elastic-reactive. The combination of PT after ≤ 85 Hz EMS did not show any jump height significant increase in sprinters. In conclusion, an eight week training program (with just two days per week) of EMS combined with plyometric exercises has proven useful for the improvement of every kind of vertical jump ability required for sprint and hurdles disciplines in teenage athletes.

**Key words:** Jump height, squat jump, counter movement jump, drop jump, combined training.

### Introduction

Electrical muscle stimulation (EMS) consists of electrical currents application in muscles or peripheral nerves in order to obtain involuntary muscle contractions (Kots and Havilon, 1971). Several investigators have reported increased isometric muscle strength in athletes (Babault et al., 2007; Brocherie et al., 2005; Maffiuletti et al., 2002; Porcari et al., 2005), producing neuromuscular improvements (Bax et al., 2005; Colson et al., 2000; Gondin et al., 2005; Maffiuletti et al., 2002; 2009; Malatesta et al., 2003; Porcari et al., 2005). Nevertheless, EMS has some important disadvantages, such as Golgi tendon organ and myotatic reflex inhibition, which can lead to an increased injury risk (Jubeau et al., 2006; Requena et al., 2005), and some difficulties in obtaining improvements in agonist and antagonist muscle coordination (Holcomb, 2005; Paillard, 2008).

In the 1970's, Kots and Hvilon (1971) used EMS

as a complementary tool for strength training in the former Soviet Union and they found strength improvements of up to 40%, providing the basis of this technique as a support in elite athletics training (Kots and Havilon, 1971). Over the last two decades, most of the EMS studies successfully aimed at lower limb power development applied to quadriceps femoris muscle (Bax et al., 2005) in athletic performance and other sport disciplines. After two months of EMS (85Hz) + PT training, an 11.2% increase was obtained for drop jump (DJ) in sprinters (Benito et al., 2010). Several studies have focused on the effect of EMS training on other sport disciplines: Volleyball, with a 6.5% and 5.4% increase for squat jump (SJ) and counter-movement jump (CMJ) respectively; Rugby, with a 10% and 6.6% improvement for SJ and DJ respectively after EMS (100Hz) training; tennis with a 10-m sprint time 3.3% shorter and a 6.4% enhancement of CMJ height (Maffiuletti et al., 2009) and soccer, with an increment of 6.7%, 2.27% and 1.71% in SJ, CMJ and ABK (Abakalov jump) respectively after 5 weeks of EMS training (Billot et al., 2010).

Vittori (1990) described two types of strength, active and reactive strength, and more specifically, three different types of strength manifestations: explosive, explosive-elastic, and explosive-elastic-reactive, which could be assessed by squat jump, counter-movement jump and drop jump respectively (Maulder et al., 2006). Although EMS training has been proved to be effective in improving explosive, explosive-elastic and explosive-elastic-reactive strength (Holcomb, 2006; Khlifa et al., 2010; Maffiuletti, 2008; Markovic et al., 2007; Paillard et al., 2005; Parker et al., 2003), it has been shown that the physiological adaptations produced by EMS as one single training method are slightly lower than EMS combined with sport practice (Brocherie et al., 2005; Deley et al., 2011; Holcomb, 2006), weight training (Delitto et al., 1989; Willoughby and Simpson, 1998) or plyometry (PT). EMS and PT combination have obtained improvements in vertical jump ability (Dervisevic et al., 2002; Maffiuletti et al., 2009; Malatesta et al., 2003), specific soccer skills such as ball speed (Bilot et al., 2010), sprint run (Dauty et al., 2002; Herrero et al., 2006) and anaerobic power (Herrero et al., 2010a; Herrero et al., 2010b) in both amateur (Holcomb, 2005; Jubeau et al., 2006) and professional athletes (Benito et al., 2012; Pichon et al., 1995). A recent review (Filipovic et al., 2011) reveals that EMS is effective for developing physical performance, offering a

promising alternative to traditional strength training for enhancing the strength parameters.

To our knowledge, there is no unanimous consensus about the best specific training program for jump height enhancement according to EMS stimulation frequency (Babault et al., 2007; Benito et al., 2010; Maffiuletti et al., 2009) and the timing of stimulation (before PT or concurrent with PT) (Gondin et al., 2005; Maffiuletti, 2002). There is some controversy about these parameters. The timing of stimulation can determine an important muscle power improvement (Benito et al., 2010) and the stimulation frequency is considered as a basic element that can determine the efficacy of a training program (Maffiuletti et al., 2000). According to the type of strength manifestation, Meañes et al. (2002) described that a frequency of stimulation of 70-90Hz and 100-150Hz could lead to improvements in explosive and explosive-elastic-reactive strength respectively. Furthermore, some authors have shown that stimulation frequency is directly related to an increase in muscle fatigue (Bickel et al., 2003; Gorgey et al., 2009). Finally, it must be considered that the improvement obtained by the combination of EMS and PT training is related to physical capacity, and thus novice athletes have a greater margin of improvement (Aceña et al., 2007), but the ideal frequency of stimulation according to the level of physical capacity has not been determined yet.

Based on these previous facts, the aim of this study was to analyze the effects of a training program based on PT and EMS according to the stimulation frequency and the timing of application. We hypothesize that high-frequency EMS action simultaneously combined with PT can lead to greater jump height improvements compared to other EMS and PT combinations.

## Methods

### Experimental approach to the problem

The study was conducted among adolescent athletes of similar experience level and it was designed to determine the right chronological order of EMS and PT application as well as the most appropriate stimulation frequency for each type of strength manifestation (SJ, CMJ, y DJ). An eight-week (2 days/week) quasi-experimental design with pre- and post-treatment measures was carried out. This is a simple randomized controlled trial with 3 treatment groups (according to the timing and the stimulation frequency) and 1 control group. SJ, CMJ and DJ height were considered as the dependent variables and the type of training was considered as the independent one.

### Sample

One hundred and thirteen medium level athletes from a

total of one hundred and sixty four voluntarily decided to take part in this study. 8 athletes were excluded, 4 due to lower limb injury within the last 6 months, 3 did not received parental authorization for EMS and 1 because of being under the effects of specific medication. Finally, from the 105 participants who started the study, 7 abandoned the training program. The 98 athletes (51 males (52%) and 47 females (48%)) who completed the study were included in the final analysis. A flow diagram of the participants is presented in Figure 1. Anthropometric characteristics are: weight ( $58.17 \pm 6.56$  kg), height ( $1.64 \pm 0.075$  m), body mass index – BMI - ( $21.54 \pm 4.57$  kg·m<sup>-2</sup>), age ( $17.91 \pm 1.42$  years old), and  $5.16 \pm 2.56$  years of training experience (Anthropometric characteristics of the participants by gender and groups are presented in Table 1). The participants were 100 & 200m sprinters and 100m & 110m hurdles runners, enrolled in the Athletics Federation of Madrid.

Prior to participation, an informed consent or parent/guardian consent for participants under the age of 18 years was signed. None of the participants had previously engaged in EMS training. Each subject gave written informed consent to participate in the training program. The investigation protocol was approved by the Academic and Ethical Committee of the University of Jaén (Spain) according to the ethical guidelines of the Declaration of Helsinki (last modified in October 2008).

### Procedures and instruments

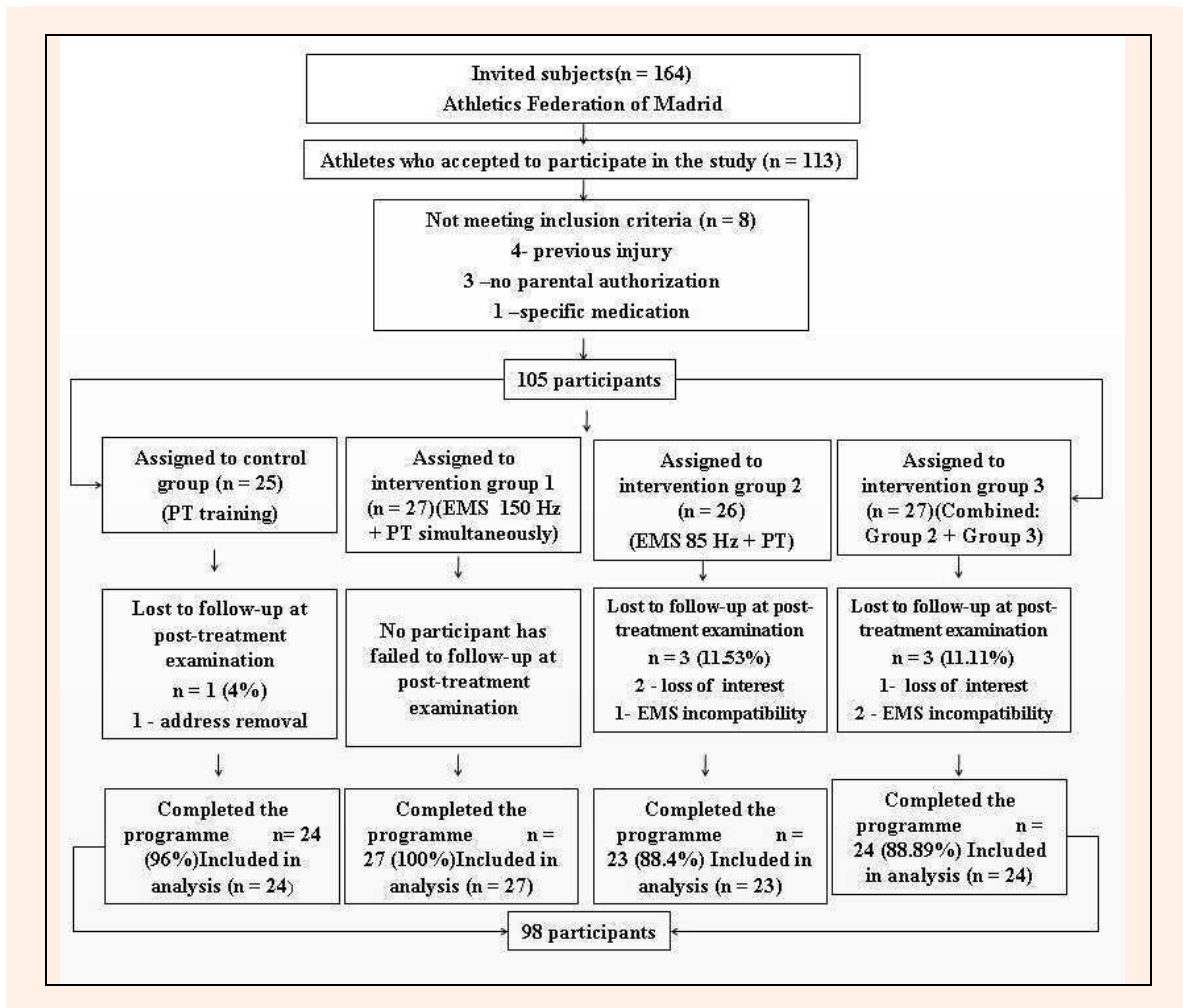
Prior to the study, each subject participated in two familiarization sessions with the intervention program. The participants were asked to maintain their usual food intake (lunch time from 14:00 to 15:00), 2.5 liters of daily water intake and 8 hours of sleep. The daily training was performed in the evening. After 20 minutes of warm-up, the training program was performed on Monday and Thursday for eight weeks. The rest of the days (including Monday and Thursday morning), the athletes performed their usual training program. All the participants followed the same training program.

### EMS protocol

The EMS groups participated in an 8-week training program. Organizer Psion 2 cm contact platform (Great Britain) was used to register the jump tests. A Megasonic 313-P4 Sport electrostimulation unit, Medcarim (France) was used for EMS protocol application of the training program. Three positive ( $5 \times 5$ cm<sup>2</sup>) and one negative ( $10 \times 5$ cm<sup>2</sup>) self-adhesive electrodes were placed, by three well-trained professionals over each thigh, in two different channels: channel 1 for the vastus lateralis and channel 2 for vastus medialis and rectus femoris muscles. The active electrodes were placed as close as possible to

**Table 1.** Age, years of training experience (Tr. Exp.) and anthropometric characteristics of the athletes in the beginning of the study by gender and groups. Values are expressed as mean ( $\pm$ SD).

	Male (n=51)	Female (n=47)	P value	CG (n=24)	G1 (n=27)	G2 (n=23)	G3 (n=24)	P value
Age (yrs)	18.3 (1.5)	17.5 (1.4)	.091	18.0 (1.6)	17.7 (1.3)	18.2 (1.4)	18.1 (1.5)	.565
Tr. Exp. (yrs)	5.4 (2.9)	4.9 (2.1)	.314	5.2 (2.0)	5.4 (2.6)	5.0 (3.2)	5.1 (2.4)	.933
Weight (kg)	59.9 (8.9)	55.4 (4.9)	.003	55.8 (7.2)	61.6 (7.4)	59.1 (7.0)	56.2 (4.5)	.035
Height (m)	1.64 (.08)	1.63 (.06)	.599	1.61 (.07)	1.68 (.06)	1.66 (.06)	1.63 (.05)	.022
BMI (kg·m <sup>-2</sup> )	22.1(18.8)	18.8 (2.8)	<.001	21.5 (1.5)	21.8 (2.1)	21.4 (1.4)	21.2 (1.2)	.695



**Figure 1.** Flow chart of randomized group allocation and participation throughout trial.

the motor point of the muscles (Babault et al., 2007; Benito et al., 2010; Paillard et al., 2005) and the negative electrode was placed over the femoral triangle (Holcomb, 2005; Vanderthommen and Crielaard, 2001). The EMS parameters were: 85 and 150 Hz stimulation frequency for group 2 and 3 respectively, 350 ms pulse width and contraction-relaxation time was 3 to 12 seconds. Each EMS session lasted 12 minutes. The intensity level was set individually at the maximum tolerated (Herrero et al., 2010a) with mean levels of  $25.22 \pm 7.21$  and  $26.51 \pm 5.71$  mA in male and female respectively.

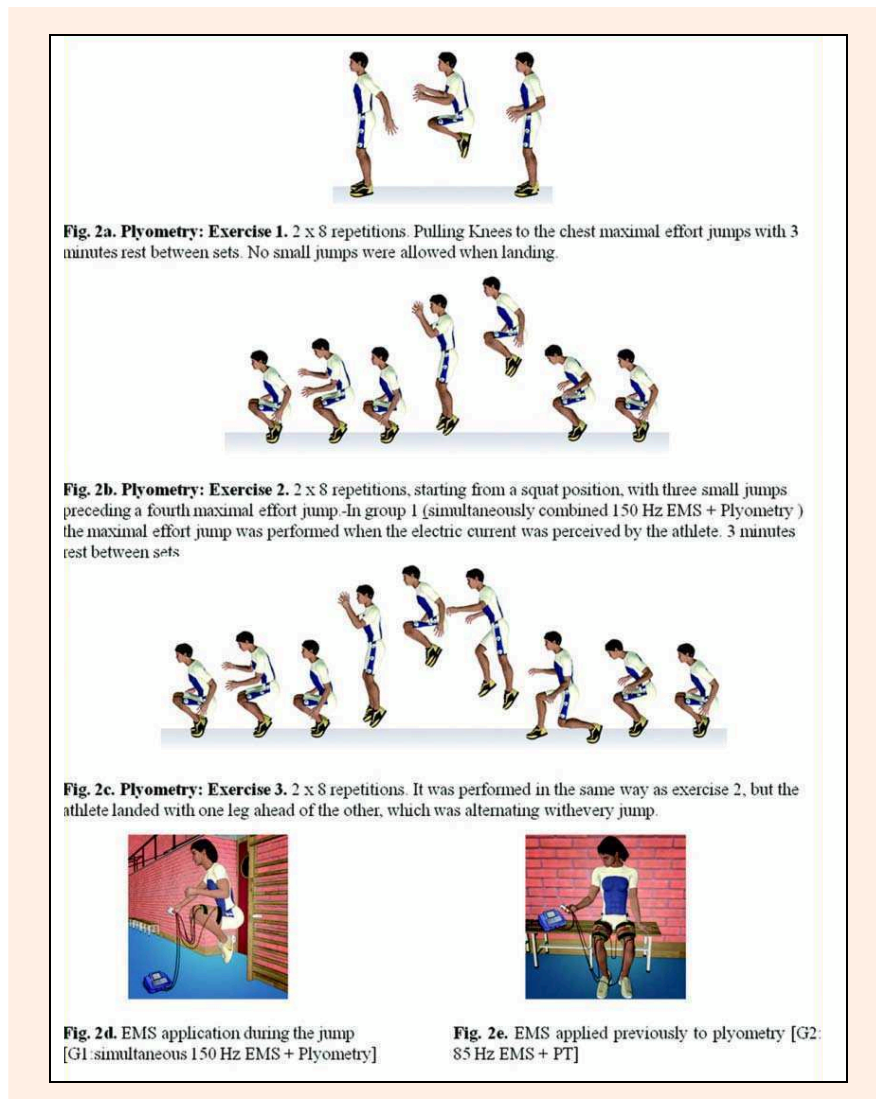
### Training protocols

The program consisted of 2 days/week training with PT (Figures 2a, 2b, and 2c) and EMS (Figures 2d and 2e) combination. This training program was carried out during the pre-season period (October and November). None of the athletes were participating in competitions. The athletes were divided into 4 groups and prior to the beginning of the study, they were familiarized with the training protocol for 2 days, and every exercise technique was visually shown and repeated in order to accomplish the right exercise performance. Four groups in the study received the following training conditions: Control group (CG, Plyometric (PT) only): The participants performed only the PT in every training session. G1: 150 Hz EMS

training and PT simultaneous combination (EMS+PT). G2: PT was performed after 85 Hz EMS training (EMS/PT). G3: In this group, G1 and G2 training sessions were alternatively performed in each one of the 2 weekly training days.

### Testing protocols

Vertical jump tests have been frequently used to evaluate lower limb extensor muscle strength. PT training protocol has been established according to the plyometric method suggested by Wilt (1975). Squat jump (SJ), counter movement jump (CMJ) and drop jump (DJ) are well considered to evaluate explosive strength, explosive-elastic strength and explosive-elastic and reactive strength respectively (Cometti et al., 2001). The tests were carried out in the beginning and in the end of the study, with no prior activity in previous 48 hrs. After a 10-minute warm-up period, the participants performed three attempts of each type of jump on platform, with 2-minute rest between sets. The best of the three attempts in every jump test were registered. No EMS was applied during the jump testing. We examined the test-retest reliability of each test one week prior to the study. The participants performed two jump of each test with a 72-hour interval. The tests showed excellent intraclass correlation coefficients ( $R = 0.898$ , 95% CI = 0.885–0.948;  $R = 0.967$ ,



**Figure 2.** Neuromuscular electrostimulation and plyometric exercises during the training program.

95% CI = 0.956–0.998; and  $R = 0.856$ , 95% CI = 0.778–0.902) for SJ, CMJ, and DJ respectively.

The participants performed the following vertical jumps: the SJ started from a static semisquatting position (90° knee flexion), maintained 1 second; subjects were instructed to jump without any preliminary movement. The CMJ started from a standing position. Subjects were instructed to squat down until a 90° knee flexion angle and to extend the knee in 1 continuous movement. The DJ started from a standing position at a 40-cm height above the floor. Subjects then dropped on the contact mat, squatted down until 90° knee flexion and extended the knee in 1 continuous movement.

### Data analysis

We used a two-factor (4 group x 5 time) analysis of covariance with repeated measures to assess the training effects on the outcome variables (SJ, CMJ and DJ) after adjusting for weight and height. Analyses were performed separately for each variable. We reported the P value corresponding to the group (between-subjects), time (within-subjects) and interaction (group×time) effects. Significance was determined at  $p < 0.05$ . We calculated

the P value for within-subjects differences by group when a significant interaction effect was present. Multiple comparisons were adjusted using Bonferroni corrections. Intraclass correlation analysis was used to assess the reliability of the tests in the beginning of the study. Statistical analyses were performed using the Statistical Package for Social Sciences (SPSS, v. 16.0 for Windows; SPSS, Chicago).

### Results

All test measurements and participants characteristics, obtained at the beginning of the test, were normally distributed (kolmogorov-Smirnov) and comparables at baseline except athlete's weight and height (Table 1). No differences by sex were observed. Adherence to intervention was 93%. The program was well received by young athletes, with only 3 intolerance cases (3.1%) but no injuries or health deterioration were observed at the end of the treatment. The study protocol was carried out with no modifications or deviations.

### SJ results

The results of the SJ test (cm) and percent change scores

**Table 2.** Effects of training on jump height after 8 weeks of study. ANCOVA for repeated measures 4 (group) x 5 (time) after adjustment for weight (kg) and height (cm) was used. Data are expressed as mean ( $\pm$ SD).

Variable	Group	Week 0	Week 2	Week 4	Week 6	Week 8	Group	Time	Group x Time
							F	F	F
							P	P	P
							Eta <sup>2</sup>	Eta <sup>2</sup>	Eta <sup>2</sup>
							1-B	1-B	1-B
SJ (cm)	Control (n=24)	25.32 (5.03)	25.57 (4.67)	26.06 (4.42)	25.37 (4.77)	27.47 (4.23)			
	G1 (n=27)	26.68 (4.41)	30.88*** (6.15)	30.73** (5.66)	29.56** (3.66)	36.30*** (8.42)	(3,92)=8.33	(4,368)=5.64	(12,368)=8.07
	G2 (n=23)	25.61 (6.20)	26.23 (2.70)	26.76 (2.54)	28.97* (2.33)	29.39 (2.83)	<.001	<.001	<.001
	G3 (n=24)	27.10 (2.24)	27.70 (2.94)	29.90** (1.63)	30.85*** (1.22)	31.67** (1.80)	.214	.058	.208
							.991	.979	>.999
CMJ (cm)	Control (n=24)	29.15 (6.58)	31.54 (7.66)	33.40 (5.76)	31.85 (7.11)	30.95 (6.03)			
	G1 (n=27)	31.33 (5.83)	35.14 (6.28)	34.26 (6.70)	35.42 (6.32)	37.41** (7.03)	(3,92)=1.98	(4,368)=.41	(12,368)=6.63
	G2 (n=23)	29.13 (5.10)	28.70 (6.60)	30.53 (5.49)	32.72 (4.98)	33.54 (4.82)	.122	.801	<.001
	G3 (n=24)	28.43 (3.70)	31.75 (2.73)	32.03 (2.50)	34.04 (3.44)	34.22 (2.36)	.061	.004	.178
							.496	.146	>.999
DJ (cm)	Control (n=24)	44.94 (7.68)	49.72 (4.22)	47.78 (4.84)	48.42 (4.76)	49.29 (5.05)			
	G1 (n=27)	48.78 (7.45)	53.63 (6.80)	52.38* (6.72)	56.88*** (5.95)	55.12** (5.73)	(3,92)=4.96	(4,368)=1.99	(12,368)=5.60
	G2 (n=23)	45.83 (5.55)	47.94 (4.81)	50.15 (4.47)	51.46 (4.51)	49.73 (4.41)	.005	.095	<.001
	G3 (n=24)	47.61 (4.75)	50.03 (2.15)	50.57 (2.27)	50.44 (2.86)	50.93 (3.36)	.128	.021	.154
							.869	.597	.936

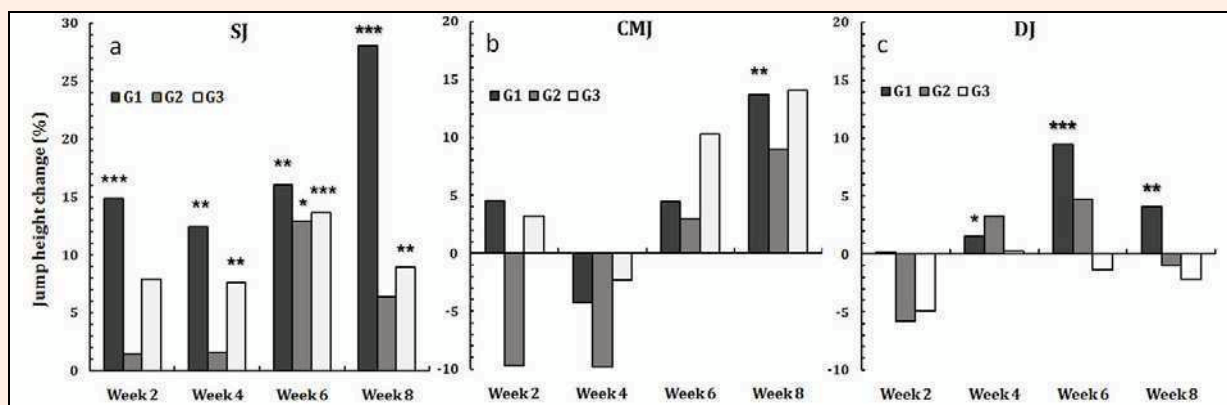
SJ = Squat jump, CMJ = Counter-movement jump, DJ = Drop jump. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$  and \*\*\*  $p < 0.001$  indicate differences between experimental and control groups for the same measure.

for jump height are shown in Table 2 and Figure 3a respectively. Within and between subjects significant differences were observed on jump height ( $F_{(3,92)} = 8.33$ ,  $p < 0.001$  and  $F_{(4,368)} = 5.64$ ,  $p < 0.001$ , respectively). After the multiple comparison adjustment, a significant interaction effect between group and time was observed ( $F_{(12,368)} = 8.07$ ,  $p < 0.001$ ). Post-hoc analysis revealed that G1 and G3 showed statistically significant increases compared to the CG in most of post-intervention measures. The results between G2 and CG were similar, except for one significant improvement of G2 in week 6 ( $p < 0.05$ ). There was

no significant time effect in each group ( $p > 0.05$ ). No significant between and within-subjects effects for weight and jump height were observed ( $p > 0.05$ ).

### CMJ results

The results of the CMJ test (cm) and percent change scores for jump height are shown in Table 2 and Figure 3b respectively. No between or within-groups significant differences were observed in jump height ( $F_{(3,92)} = 1.98$ ,  $p = 0.122$ ;  $F_{(4,368)} = 0.41$ ,  $p = 0.801$ , respectively). A significant interaction effect between group and time was



**Figure 3.** Percent change scores for jump height for each test during the study. Jump height percent change was calculated as  $((\text{post} - \text{pre experimental groups}) - (\text{post} - \text{pre control group})) / \text{pre experimental group} * 100$ . SJ = Squat jump, CMJ = Counter-movement jump, DJ = Drop jump. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$  and \*\*\*  $p < 0.001$  indicate differences between experimental and control groups for the same measure.

observed after the multiple comparison adjustment ( $F_{(12,368)} = 6.63$ ,  $p < 0.001$ ). Post-hoc analysis showed a significantly higher jump height in G1 ( $p < 0.01$ ), compared to CG in the eighth week of training. There was no significant time effect in each group ( $p > 0.05$ ). No significant between and within-subjects effects for weight and jump height were observed ( $p > 0.05$ ).

### DJ results

The results of the DJ test (cm) and percent change scores for jump height are shown in Table 2 and Figure 3C respectively. We found statistically significant between-subjects differences ( $F_{(3,92)} = 8.33$ ,  $p < 0.001$ ) in jump height but there were no significant within-subjects differences ( $F_{(4,368)} = 1.99$ ,  $p = 0.095$ ). A significant interaction effect between group and time was observed after the multiple comparison adjustment ( $F_{(12,368)} = 6.77$ ,  $p < 0.001$ ). Post hoc analysis revealed that, compared to the CG, G1 showed significantly higher jump height from the fourth week, and these differences became more evident in the next weeks, especially in week 6 ( $p < 0.001$ ). No statistically significant differences were found in G2 and G3 compared to CG. There was no significant time effect in each group ( $p > 0.05$ ). Between and within subjects tests showed a significant effect of the weight of the participants on jump height ( $p = 0.006$  y  $p < 0.001$  respectively), nevertheless height was not significant ( $p > 0.05$ ).

### Discussion

The findings of the present study showed that a simultaneously combined EMS and PT 8-week training program (2 days/week) can lead to significant improvements in SJ, CMJ and DJ. Our results have shown that high-frequency EMS action combined with simultaneous PT application (G1) produce statistically significant improvements in sprinters compared to other combinations (EMS + PT). In fact, when PT was combined with 85 Hz EMS (G2), there was only evidence of significant improvements in SJ but any improvements in CMJ or DJ were observed. The alternate high and low stimulation frequencies (G3) showed jump height improvements in SJ and DJ but no differences were observed in CMJ.

### Squat jump height

G1 athletes (150 Hz EMS + PT), showed a significantly higher jump height (28.02%) compared to the CG at the end of the study, improving the results obtained by Maffiuletti et al. (2002) in volleyball players after 115-120 Hz EMS + PT training program (21.4%) and by Babault et al. (2007) in rugby elite players after 100 Hz EMS + weight training (10%). G3 showed a significant jump height increase (8.93%) in week 8, but a greater and faster significant improvement was observed in G1 (week2). Finally, G2 (85 Hz EMS/PT) had only one significant increase in the 6th week ( $p < 0.05$ ). These results are supported by Maffiuletti et al. (2009) and Herrero et al. (2010b), who used  $\leq 120$  Hz stimulation frequencies in competitive tennis players (EMS + non-specific muscle training) and physical education students (weight + PT + EMS) respectively.

These results could be influenced by the decrease in muscle elastic capacity associated with the use of EMS as a single training method (Maffiuletti et al., 2009; Paillard, 2008; Paillard et al., 2010). It has been shown that elastic strength decreases after EMS application. Nevertheless, the strength tests reflect a satisfactory progress if EMS is followed by a multi-jump training routine (Cometti, 2002). We consider that this negative influence of EMS on jump height could be compensated with a simultaneous combination of EMS+PT.

### Counter movement jump height

Based on our results, significant CMJ height improvements were only found in G1 (13.67%), greater than the data obtained by Maffiuletti et al. (2000) 8.3%, Maffiuletti et al. (2009) with 85 Hz EMS combined with non-specific muscle training in competitive tennis players (6.4%), and Billot et al. (2010) with 100 Hz EMS + non-specific soccer training amateur soccer players (6.7%). Compared to these studies (3 days/week), the jump height increase was observed with a two days/week training program, but this improvement appeared from the 8-week of training, later than other author's results.

We consider that this increase could be due to the use of a higher stimulation frequency (150 Hz) (Filipovic et al., 2011). Nevertheless, it could be also influenced by the relation between stimulation intensity and creatine kinase level of activity or by the simultaneous application of EMS+PT. This was justified by Ward and Shkuratova, (2002) who stated that the combination of voluntary exercise and EMS appeared to be more effective in increasing jump height, since the total amount of exercise is greater and it is a more complete training program, because voluntary exercise and electrical stimulation preferentially recruit different fiber types.

### Drop jump height

Finally we could only observe a statistically significant DJ height improvement in G1 compared to control group (1.56% at week 4, 9.46% at week 6 and 4.08% at week 8). Our improvement average (3.81%) was slightly lower than the results obtained by Babault et al, (2007) after 12 weeks of training (7.06%), and Benito et al, (2010), with 150 Hz EMS + PT in sprinters after 8 weeks of training (11.2%), although these results can be attributable to the longer training period (12 weeks) and the higher stimulation frequency (150Hz). Moreover, DJ results are especially relevant since simultaneous PT+EMS training would allow a positive influence for transferring the strength gains to increase transfer focused on specific types of sport movements (Filipovic et al, 2011).

Previous studies (Herrero et al., 2010a; 2010b; Herrero et al., 2006; Maffiuletti et al., 2002) showed that greater jump height improvement is observed when EMS is combined with voluntary training based on plyometric exercises, but the EMS effect combined with PT, can only be achieved with high stimulation frequency (150 Hz). Blümel (1992) described that a complete tetanus can be reached with a frequency of 200 Hz. In our study, G2 (EMS/PT) did not show any strength enhancement compared to the control group, but this result could be due to

the use of a lower stimulation frequency (85 Hz) and it can be considered as a limitation to our study. Finally, when high and low frequencies were alternatively used (150 + 85 Hz) within the same training session, only SJ height increase was observed.

Although some authors have reported that EMS superimposed onto voluntary muscular contraction is more effective than exclusive voluntary muscular training (Bax et al., 2005), most of the studies have shown that higher jump height improvements were obtained when voluntary exercise and EMS are appropriately combined (Benito et al., 2010; Billot et al., 2010; Brocherie et al., 2005; Herrero et al., 2006; Maffiuleti et al., 2009; Malatesta et al., 2003), and showed a 33.3% time reduction in order to obtain the same strength (Cometti, 2002). Our findings allow us to state that, 150 Hz EMS + PT simultaneous combination can lead to different levels of jump height improvement according to the type of strength, and thus, it can be adapted to specific sport techniques that require the improvement of specific type of strength (Babault et al., 2007; Benito et al., 2010; Billot et al., 2010; Brocherie et al., 2005).

As we hypothesized high-frequency EMS action and PT simultaneously combined (EMS+PT) is the more effective combination to increase jump height. Nevertheless, it is important to consider that PT exercises must be focused on the type of strength, but because of the large number of variables studied in previous investigations (i.e., kind, volume, and intensity of the exercises), it is not easy to design an ideal training protocol according to the type of strength. Another important advantage of our training program is the fact that it was a 2 days/week protocol, whereas most of the studies have designed a 3 days/week (Babault et al., 2007; Bickel et al., 2003; Herrero et al., 2010b; Herrero et al., 2006) or 4 days/week (Dauty et al., 2002; Deley et al., 2011) training programs.

There are some limitations to our study: the first one is the use of different stimulation frequencies for each group. A second limitation is the fact that two determinant variables have been included in the same study group. This group cannot allow us to determine the single effect of each variable on every type of jump. Nevertheless, the results of the present study reveal that three important aspects must be considered in vertical jump + EMS training protocol parameters: EMS and voluntary plyometric training combination, PT exercises and EMS simultaneously combined during training performance, and finally, EMS stimulation frequency. There are some other variables that may determine the type of training, such as the gender and the period during the competitive season, which have not been considered in the present study. Further investigations should be considered to analyze these factors. According to our results, the simultaneous application of EMS + PT is associated with improvement in training efficiency and this combination could prevent the significant decrease in vertical jump height after 3 weeks of EMS training described by Brocherie et al. (2005).

In conclusion, the results observed in this study suggest that an eight-week training program with PT and 150 Hz EMS simultaneously combined, just 2 days a

week, produces significant improvement SJ, CMJ and DJ in teenage athletes. PT after EMS ( $\leq 85$  Hz) showed SJ improvements but any jump increase was observed in CMJ or DJ. A high-frequency ( $\geq 150$  Hz) EMS and its simultaneous application with PT can significantly contribute to the improvement of the three different types of strength manifestations (explosive, explosive-elastic and explosive-elastic-reactive strength).

The use of EMS as a complementary method in lower limb strength training can improve jump height when high frequency (150Hz) is combined or co-applied with PT training. Compared to weight training, 2 days/week of EMS and PT simultaneous combination is related to a lower joint stress and may be beneficial for athletes of this age. The timing of EMS and PT application should be considered according to the type of jump. Our results showed that 150 Hz EMS and PT simultaneously applied produced SJ, CMJ and DJ improvements, whereas only SJ height was increased when PT after 85Hz EMS and 150 Hz EMS co-applied with PT were alternatively performed. This variation of stimulation frequencies may be beneficial in preventing the muscle adaptation induced by the stimulation, providing a greater performance.

## Conclusion

In conclusion, an eight week training program (with just two days per week) of EMS combined with plyometric exercises has proven useful for the improvement of every kind of vertical jump ability required for sprint and hurdles disciplines in teenage athletes. A high-frequency ( $\geq 150$  Hz) EMS and its simultaneous application with PT can significantly contribute to the improvement of the three different types of strength manifestations (explosive, explosive-elastic and explosive-elastic-reactive strength).

## Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude to Medicarim Centro Company for their logistic support, Mr Agustín Pérez-Barroso for his help in both technical and practical issues in this study, Dr Valentín Rocandio-Cilveti for his collaboration in the theoretical framework of this study and every athlete who participated in the research. The authors declare that they have no conflict of interest. The results of this study do not constitute endorsement of the products by the author or the National Strength and Conditioning Association. The study was financially supported by Research Group HUM 653, Department of Didactic of Musical, Plastic and Body Expression, Faculty of Educational Sciences, University of Jaén.

## References

- Aceña, R.M., Díaz, G., González, J.M., Juárez Santos, D. and Navarro, F. (2007) Efecto sobre la mejora y retención de la fuerza de un programa de entrenamiento de fuerza con cargas concentradas en sujetos no entrenados. *Revista Internacional Ciencias del Deporte* 7(3), 24-33.
- Babault, N., Cometti, G., Bernardin, M., Pousson, M. and Chatard, J. (2007) Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21, 431-437.
- Bax, L., Staes, F. and Verhagen, A. (2005) Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Medicine* 35, 191-212.
- Benito, E., Lara, A. and Martínez-López, E.J. (2010) Effect of combined plyometric and electrostimulation training on vertical jump.

- Revista Internacional de Ciencias del Deporte* **6** (21), 322-324.
- Benito, E., Lara-Sánchez, A.J., Moral-García, J.E. and Martínez-López, E.J. (2012). Effects of order of application of electrical stimulation and plyometric in the training of hundred speed. *Journal of Sport and Health Research* **4**(2), 167-180.
- Bickel, C., Slade, J., Warren, G. and Dudley, G. (2003) Fatigability and variable-frequency train stimulation of human skeletal muscles. *Physical Therapy* **83**, 366-373.
- Billot, M., Martin, A., Paizis, C., Cometti, G. and 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**, 1407-1413.
- Blümel, G. (1992) Theoretische Positionen und allgemeine Prinzipien der Anwendung und Dimensionierung der EMS Parameter. In: *Elektrostimulation in der Traumatologie*. Eds: Wentzensen, A. and Schmelz, A. Georg Thieme Verlag. 1st edition. Stuttgart: Germany, 21-26. (In German).
- Brocherie, F., Babault, N., Cometti, G., Maffiuletti, N. and Chatard, J.C. (2005) Electrostimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Medicine Science of Sports and Exercise* **37**, 455-460.
- Colson, S., Martin, A., Cometti, G. and Van Hoecke, J. (2000) Re-examination of training by electrostimulation in human elbow musculoskeletal system. *International Journal of Sports Medicine* **21**, 281-288.
- Cometti, G. (2002) *El entrenamiento de la velocidad*. 1<sup>st</sup> edition. Paidotribo, Barcelona. (In Spanish).
- Cometti, G., Maffiuletti, N.A., Pousson, M., Chatard, J.C. and Maffulli, N. (2001) Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur french soccer players. *International Journal of Sports Medicine* **22**(1), 45-51.
- Dauty, M., Bryand, F. and Potiron-Josse, M. (2002) Relation entre la force isocinetique, le saut et le sprint chez le footballeur de haut niveau. *Science of Sports* **17**, 122-127. (In French)
- Deley, G., Cometti, C., Fatnassi, A., Paizis, C. and Babault, N. (2011) Effects of combined electromyostimulation and gymnastic training in prepubertal girls. *Journal of Strength and Conditioning Research* **25** (2) 520-526.
- Delitto, A., Brown, M., Strube, M.J., Rose, S.J. and Lehman, R.C. (1989) Electrical Stimulation of quadriceps femoris in an elite weight lifter: A single subject experiment. *International Journal of Sport Medicine* **10**, 187-191.
- Dervisevic, E., Bilban, M. and Valencic, V. (2002) The influence of low-frequency electrostimulation and isokinetic training on the maximal strength of m. quadriceps femoris. *Isokinetic Exercise Science* **10**, 203-209.
- Filipovic, A., Kleinöder, H., Dörmann, U. and Mester, J. (2011) Electromyostimulation—a systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. *Journal of Strength and Conditioning Research* **25**(11), 3218-3238.
- Gondin, J., Guette, M. and Ballay, M. (2005) Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **37**, 1291-1299.
- Gorgey, A., Black, C., Elder, C.P. and Dudley, G. (2009) Effects of electrical stimulation parameters on fatigue in skeletal muscle. *Journal of Orthopedic Sports and Physical Therapy* **39**(9), 684-692.
- Herrero, A., Martin, J., Martin, T., Abadia, O., Fernandez, B. and García-López, D. (2010a) Short-term effect of strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance. A randomized controlled trial. Part I. *Journal of Strength and Conditioning Research* **24**, 1609-1615.
- Herrero, A., Martin, J., Martin, T., Abadia, O., Fernandez, B. and García-López, D. (2010b) Short-term effect of strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and anaerobic performance. A randomized controlled trial. Part II. *Journal of Strength and Conditioning Research* **24**(6), 1616-1622.
- Herrero, J., Izquierdo, M., Maffiuletti, N. and García-López, J. (2006) Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *International Journal of Sports Medicine* **27**, 533-539.
- Holcomb, W.R. (2005) Is neuromuscular electrical stimulation and effective alternative to resistance training? *Strength and Conditioning Journal* **27**, 76-79.
- Holcomb, W.R. (2006) Effect of training with neuromuscular electrical stimulation on elbow flexion strength. *Journal of Sports Science and Medicine* **5**, 276-281.
- Jubeau, M., Zory, R., Gondin, J., Martin, A. and Maffiuletti, N.A. (2006) Late neuronal adaptations to electrical stimulation resistance training of the plantar flexor muscle. *European Journal of Applied Physiology* **98**, 202-211.
- Khlifa, R., Aouadi, R., Hermassi, S., Chelly, M., Jlid, M., Hbacha, H. and Castagna, C. (2010) Effects of plyometric training program with and without added load jumping ability in basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research* **24** (11), 2955-2961.
- Kots, J.M. and Hvilon, V.A. (1971) *The training of muscular power by method of electrical stimulation*. 1<sup>st</sup> edition. State Central Institute of Physical Culture, Moscú.
- Maffiuletti, N. (2008) Correspondence: Caution is required when comparing the effectiveness of voluntary versus stimulated versus combined strength training modalities. *Sports Medicine* **38**, 437-440.
- Maffiuletti, N., Dugnani, S., Folz, M., Di Pierno, E. and Mauro, F. (2002) Effects of combined electrostimulation and plyometric training of vertical jump height. *Medicine Science and Sports Exercise* **34**, 1638-1644.
- Maffiuletti, N.A., Bramanti, J., Jubeau, M., Bizzini, M., Deley, G. and Cometti, G. (2009) Feasibility and efficacy of progressive electrostimulation strength training for competitive tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research* **23**, 677-682.
- Maffiuletti, N.A., Cometti, G., Amiridis, G., Martin, A., Pousson, M. and Chatard, J.C. (2000) The effects of the training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *International Journal of Sports Medicine* **21**, 437-443.
- Malatesta, D., Cattaneo, F., Dugnani, S. and Maffiuletti, N.A. (2003) Effects of electromyostimulation training and volleyball practice on jumping ability. *Journal of Strength and Conditioning Research* **17**, 573-579.
- Markovic, G., Jukic, I. and Milanovic, D. (2007) Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* **21**, 543-549.
- Maulder, P., Bradshaw, E. and Keogh, J. (2006) Jump kinetic determinants of sprint acceleration performance from starting blocks in male sprinters. *Journal of Sports Science and Medicine* **5**, 359-366.
- Meañes, E., Alonso, P., Sánchez, J. and Téllez, G. (2002) *Electroestimulación aplicada*. 2nd edition, Barcelona. (In Spanish)
- Paillard, T., Noé, F., Passelergue, P. and Dupui, P. (2005) Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Medicine* **35**, 951-966.
- Paillard, T. (2008) Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports Medicine* **38**, 161-177.
- Paillard, T., Maitre, J., Chaubart, V. and Borel, L. (2010) Stimulated and voluntary fatiguing contractions of quadriceps femoris differently disturb postural control. *Neuroscience Letters* **477**, 48-51.
- Parker, M.G., Bennett, M.J., Hieb, M.J., Hollar, A.C. and Roe, A.A. (2003) Strength response in human quadriceps femoris muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs. *Journal of Orthopedic Sports and Physical Therapy* **33**, 719-726.
- Pichon, F., Chatard, J.C., Martin, A. and Cometti, G. (1995) Electrical stimulation and swimming performance. *Medicine and Sciences of Sports Exercise* **27**, 1671-1676.
- Porcari, J., Miller, J., Cornwell, K., Foster, C., Gibson, M. McLean, K. and Kernozek, T. (2005) The effects of neuromuscular electrical stimulation training on abdominal strength, endurance, and selected anthropometric. *Journal of Sports Science and Medicine* **4**, 66-75.
- Requena, B., Padial, P. and González-Badillo, J.J. (2005) Percutaneous electrical stimulation in strength training: An update. *Journal of Strength and Conditioning Research* **19**, 438-448.
- Vanderthommen, M. and Crielaard, J.M. (2001) Electromyostimulation en médecine du sport. *Revue Médicale de Liege* **56**, 391-395. (In French)
- Vittori, C. (1990) L'allenamento della forza nello sprint. *Atleticastudi* **21**(1), 3-25. (In Italian)
- Ward, A. and Shkuratova, N. (2002) Russian electrical Stimulation: The

- early experiments. *Physical Therapy* **82(10)**, 1019-1030.
- Willoughby, D.S. and Simpson, S. (1998) Supplemental EMS and Dynamic weight training: Effects on knee extensor strength and vertical jump of female college track and field athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* **12**, 131-137.
- Wilt, F. (1975) Plyometrics: what it is and how it works. *Athletic Journal* **55**, 76-90.

### Key points

- The combined use of high frequency electromyostimulation and plyometric training 2 days/week in an 8 week training program produce significant improvements in jump height in teenage athletes.
- A high-frequency ( $\geq 150$  Hz) EMS and its simultaneous application with PT can significantly contribute to the improvement of the three different types of strength manifestations (explosive, explosive-elastic and explosive-elastic-reactive strength).
- An alternate training with different stimulation frequencies [85Hz EMS/ PT combination and 150Hz EMS + PT simultaneous combination] only has significant improvement effects in SJ.
- The combination of PT after  $\leq 85$  Hz EMS did not show any jump height significant increase in teenage athletes.
- The timing of EMS and PT application during training must be taken into account according to the type of jump.

### AUTHORS BIOGRAPHY



#### **Emilio J. MARTÍNEZ-LÓPEZ**

##### **Employment**

Professor of Physical Education. Department of Musical, Plastic and Corporal Expression Didactic. Research Group HUM 653 laboratory. Universidad de Jaén (Spain).

##### **Degree**

PhD

##### **Research interests**

Young obesity, fitness training, fitness test, didactic of physical education

**E-mail :** emilioml@ujaen.es



#### **Elisa BENITO-MARTÍNEZ**

##### **Employment**

Collaborator of RFEA (Royal Spanish Athletics Federation), Spain.

##### **Degree**

MS

##### **Research interests**

Fitness training, fitness test, physical education

**E-mail :** agracru@upo.es



#### **Fidel HITA-CONTRERAS**

##### **Employment**

Department of Health Sciences, University of Jaén (Spain).

##### **Degree**

MD

##### **Research interests**

Sports and health training, fitness training, young obesity.

**E-mail :** fhita@ujaen.es



#### **Amador LARA-SÁNCHEZ**

##### **Employment**

Professor of Physical Education. Department of Musical, Plastic and Corporal Expression Didactic. Research Group HUM 653 laboratory. Universidad de Jaén (Spain).

##### **Degree**

PhD

##### **Research interests**

Fitness training, fitness test, didactic of physical education

**E-mail :** alara@ujaen.es



#### **Antonio MARTÍNEZ-AMAT**

##### **Employment**

Department of Health Sciences, University of Jaén (Spain).

##### **Degree**

PhD

##### **Research interests**

Sports and health training, fitness training, young obesity.

**E-mail :** amamat@ujaen.es

#### ✉ **Emilio J. Martínez-López**

Dpto. Didáctica Musical, Plástica y Expresión Corporal, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación (D-2), Campus Las Lagunillas. 23071, Jaén, SPAIN



ARTÍCULO 5º

**Effect of combined electrostimulation and plyometric training on 30 meters dash and triple jump**



**Aceptación del 5º artículo**

**De:** Paola Sabini - Edizioni Minerva Medica SpA

[mailto:journals6.dept@minervamedica.it]

**Enviado el:** viernes, 08 de marzo de 2013 12:51

**Para:** emilioml@ujaen.es

**Asunto:** Scientific paper no. 3872 - J. SPORTS MEDICINE PHYS.FITN.

Dear DR.. MARTINEZ-LOPEZ EMILIO J.,

I am pleased to inform you that your paper entitled:

**EFFECT OF COMBINED ELECTROSTIMULATION AND PLYOMETRIC TRAINING ON 30 METERS DASH AND TRIPLE JUMP**

submitted to J. SPORTS MEDICINE PHYS.FITN. and registered with the number 3872, has been accepted as ORIGINAL ARTICLE by the Editorial Committee following the positive opinion of the referees.

After acceptance the paper was submitted to editorial revision and is currently being set. The proofs will be sent to you in a few days.

I congratulate you and your co-authors and send you my very best regards.

Managing Editor

Prof. Alberto Oliaro



## Effect of combined electrostimulation and plyometric training on 30 meters dash and triple jump

E. BENITO-MARTÍNEZ<sup>1</sup>, A. MARTÍNEZ-AMAT<sup>2</sup>, A. J. LARA-SÁNCHEZ<sup>3</sup>  
D. BERDEJO-DEL-FRESNO<sup>4</sup>, E. J. MARTÍNEZ-LÓPEZ<sup>5</sup>

**Aim.** The aim of this paper was to analyze the effects of training combining plyometrics (PT) and neuromuscular electrostimulation (ES) on speed training and triple jump. The study consisted on the application of an electrostimulation protocol and plyometric jumps to four groups of young athletes (Control, G II, G III and G IV).

**Methods.** Eighty-four young athletes took part in the study (40 girls and 44 boys). All of them were sprinters (100 and 200 meters dash, and 100 and 110 hurdles meters), their mean age, weight and height being  $15.9 \pm 1.4$  years old,  $58.53 \pm 8.05$  kg, and  $1.68 \pm 0.07$  m, respectively. After 8 weeks of training, a 30-meter sprint launched test –time being measured by photoelectric cells – and a triple jump test from static position were completed. Repeated measures ANCOVA were used.

**Results.** The only group that improved significantly in the speed test ( $P < 0.001$ ) relative to the control group was G IV. In the triple jump test, improvements were significant, ( $P < 0.05$ ) and ( $P < 0.01$ ), in G II and G IV, respectively, relative to the control group. The results of ES + PT combined training offered no significant differences in either speed test and triple jump by gender.

**Conclusion.** The most effective training aimed at improving the speed of 30 m is simultaneous combined training. Regarding triple jump, the results showed significant improvements in the performance of athletes who used both simultaneous combined training and used ES followed by plyometrics. However, no significant improvement was observed after PT training prior to ES.

**KEY WORDS:** Transcutaneous electric nerve stimulation - Athletes - Training

Neuromuscular electrostimulation (ES) consists on applying an electric current on the muscle or peripheral nerve to provoke involuntary contraction.<sup>1</sup>

Corresponding author: Emilio J. Martínez-López, Depart Didáctica Musical, Plástica y Expresión Corporal, Facultad de Ciencias de la Educación (D-2), Campus Las Lagunillas 23071, Jaén, Spain.  
E-mail: emilicml@ujaen.es

<sup>1</sup>Physiotherapist of Care Physiotherapy Clinic (Spain)  
Physiotherapist of FEDDI, Collaborator of RFEA  
(Royal Spanish Athletics Federation), Spain

<sup>2</sup>Department of Health Sciences  
University of Jaén, Jaén, Spain

<sup>3</sup>Department of Didactics of Corporal Expression  
University of Jaén, Jaén, Spain

<sup>4</sup>Strength and Conditioning in High Performance  
Physical Activity and Health, Physical Education, UK

Although in the beginning it was only used either in injury rehabilitation<sup>2</sup> or as a strength measuring method,<sup>3</sup> in the last decades this technique has been focused on the training of healthy athletes to improve their performance. Particularly after Russian researcher Yadou Kots obtained 40% increases in muscle strength in young athletes. No reproduction has ever obtained such positive results again, perhaps due to linguistic-related problems, yet some authors have come close.<sup>4</sup>

The search for an ideal protocol for this kind of training eventually ended up in the use of a wide variety of electric current parameters.<sup>2</sup> These include the current frequency used in different settings depending on the type of manifestation of muscular strength to be improved; for example, using 120-to-150 Hertz (Hz) intervals to increase the explosive-elastic-reactive manifestation.<sup>5</sup> The choice of pulse width was based on the fact that most authors relate values close to 300 milliseconds (ms),<sup>6-8</sup> as well as applied current intensity, measured by the percentage of maximal isometric voluntary contraction, where intensities from 50%<sup>9</sup> up to 100%,<sup>10</sup> or even maximum athlete-tolerated intensities have been used.<sup>11-14</sup>

Continuing with the previous range of parameters, three aspects stand out. Firstly, that ES involves different muscle fiber recruitment. That is, while in voluntary contraction type I and afterwards type II fibers contract, the opposite sequence is observed in ES. This leads to greater energy consumption and therefore demands longer recovery time.<sup>15, 16</sup> In spite of the foregoing, recovery times substantially varied among different authors; thus, Benito *et al.* (2010)<sup>17</sup> set 3:15 s of contraction, while Cigdem *et al.* (2002) used a lower proportion, 1:4,<sup>11</sup> and Brocherie *et al.*, (2005), Gondin *et al.* (2005), Maffiuletti *et al.* (2000) and Holcomb (2005) used 1:3.<sup>13, 14, 18, 19</sup> Secondly, increased strength requires 8 to 12 min<sup>7, 13, 20, 21</sup> of training time. Finally, there is broad consensus on the convenient weekly frequency of ES application: mostly three days a week.<sup>7, 13, 18</sup>

Last, there is a parameter that has been researched to a lower extent but could represent a significant difference in strength training effectiveness: the type of exercise to be combined to ES. Although Maffiuletti *et al.* (2000)<sup>18</sup> argue that current application must be combined with voluntary exercise to improve muscular strength, this consideration has been generally ignored and outshone by focus on the configuration of the first parameters previously indicated in this article. Nevertheless, some authors such as Basas (2003)<sup>22</sup> - who structured a protocol for high level jumpers in which a voluntary plyometric exercise was completed while the athlete was applied the electric current - or Herrero *et al.* (2006)<sup>23</sup> - who studied the differences between plyometrics-based training, electrostimulation-based training, and combining both training methods at different times - opened a research line that demands concrete results in the determination of the type of voluntary exercise that proves the most suitable to be coupled to ES and the precise time when both methods should become compatible to obtain the athlete's maximum performance.

On the one hand, review of previous research showed that plyometrics (PT) is defined as "the specific capacity to develop an elevated impulse of force immediately after sudden muscle mechanic stretching",<sup>24</sup> and confirmed that plyometrics is a very useful method for strength-specific preparation, since it favors reactive and explosive strength.<sup>17, 24, 25, 26</sup> On the other hand, the studies on athlete-applied ES are mainly focused on increasing muscular power.

Therefore, its effect when applied combined (PT & ES) remains unknown, as well as its specific performance in athletic events such as jumping or speed.

The present study poses a hypothesis: simultaneous development of ES+PT combined training leads to over 30-m improvements in throw and triple jump relative to other ES+PT combinations. The main aim was analyzing the effect of a training program including different ES+PT combinations on 30-m throw and triple-jump tests. We also attempted to determine whether the order of application of ES and PT may influence the results in these tests.

## Materials and methods

This quantitative and quasi-experimental study lasted 8 weeks, including two result measurements (pre- and post-training). An ES protocol and PT jumps were applied to 4 groups of young athletes. Different training application orders were applied to these groups.

### Participants

A total number of 84 national-level, young athletes (42 girls and 40 boys) took part in this study, but only 78 completed it. Six participants (3 from each group III and group IV) abandoned the program: five due to personal reasons, and another one due to ES-training incompatibility. All of them practiced speed disciplines (100 and 200 m dash, and 100 and 110 m hurdles). These were the features of the group: average age was 15.9±1.4, average weight was 58.53±8.05 kg, and average height was 1.68±0.07 m (Table I). Their average training time in their discipline was 5.64±2.13 years. No athlete had previously experimented electrostimulation training. A voluntary written consent form was signed by all athletes and their parents or guardians.

### Instruments

Participants' weight and height were measured with a 100-milligram sensitivity scale and a 1-millimeter SECA sensitivity tape-measure (SECA Ltd, Germany). Two photoelectric cells ELEIKO SPORT RS 232 MAT (Sweden) were used to record the time in the 30 m dash launched test, and a tape measure

TABLE I.—Means and standard deviation ( $\pm$ ) in baseline according to age, anthropometric variables, 30-meter sprint launched, and triple jump. Values split in groups: Control, G II (ES + PT), G III (PT + ES), and G IV (Simultaneous). P-values denote comparison between groups. \*  $P < 0.05$  and \*\*  $P < 0.01$ .

All	Control (N=20)	Group II (N=20)	Group III (N=19)	Group IV (N=19)	P value
Age (years)	16.80 $\pm 1.54$	16.95 $\pm 1.43$	16.94 $\pm 1.47$	17.05 $\pm 1.45$	0.962
Weight (kg)	57.25 $\pm 8.88$	58.30 $\pm 6.22$	57.68 $\pm 8.13$	60.94 $\pm 8.81$	0.493
Height (cm)	1.68 $\pm 0.07$	1.66 $\pm 0.05$	1.67 $\pm 0.06$	1.71 $\pm 0.07$	0.208
Speed: 30 m (s)	4.03 $\pm 0.38$	4.02 $\pm 0.40$	4.13 $\pm 0.44$	3.84 $\pm 0.29$	0.132
Triple Jump Length (m)	6.11 $\pm 0.65$	6.55 $\pm 0.68$	6.51 $\pm 0.76$	6.71 $\pm 0.80$	0.064
Boys	Control (N=11)	Group II (N=9)	Group III (N=9)	Group IV (N=9)	P value
Age (years)	16.72 $\pm 1.61$	16.88 $\pm 1.53$	16.88 $\pm 1.53$	17.11 $\pm 1.53$	0.960
Weight (kg)	61.0 $\pm 10.03$	63.6 $\pm 4.12$	59.8 $\pm 10.62$	68.6 $\pm 5.78$	0.125
Height (cm)	1.72 $\pm 0.077$	1.71 $\pm 0.041$	1.68 $\pm 0.07$	1.77 $\pm 0.034$	0.031*
Speed: 30 m (s)	3.82 $\pm 0.27$	3.78 $\pm 0.43$	3.86 $\pm 0.42$	3.65 $\pm 0.212$	0.614
Triple Jump Length (m)	6.40 $\pm 0.65$	6.63 $\pm 0.82$	7.05 $\pm 0.65$	7.44 $\pm 0.12$	0.004**
Girls	Control (N=9)	Group II (N=11)	Group III (N=10)	Group IV (N=10)	P value
Age (years)	16.88 $\pm 1.53$	17.00 $\pm 1.41$	17.00 $\pm 1.49$	17.00 $\pm 1.49$	0.998
Weight (kg)	52.55 $\pm 4.06$	53.90 $\pm 3.59$	55.70 $\pm 4.78$	54.00 $\pm 3.52$	0.411
Height (cm)	1.63 $\pm 0.052$	1.62 $\pm 0.031$	1.66 $\pm 0.043$	1.65 $\pm 0.035$	0.324
Speed: 30 m (s)	4.29 $\pm 0.33$	4.20 $\pm 0.26$	4.37 $\pm 0.322$	4.00 $\pm 0.241$	0.044*
Triple jump length (m)	5.75 $\pm 0.46$	6.48 $\pm 0.56$	6.02 $\pm 0.43$	6.06 $\pm 0.53$	0.023*

was used to measure triple jump length statically. Besides, an electrostimulator MEGASONIC 314 P4 SPORT (MEDICARIM) (France) was used for the ES protocol.

### Procedures

The study met the standards of the Declaration of Helsinki (rev. 2008). Young athletes were distributed in a simple random probability sampling. The distribution and training of the four groups were as follows:

— Group 1 (Control): it included 9 girls and 11 boys. These athletes performed the planned plyometric jumps for 8 weeks (2 days/week  $\times$  12 min/day), and received a Type TENS analgesic current as a placebo. The athletes were never informed about the current type applied to eliminate potential mistakes derived from this fact. These were current parameters used: 350 ms, and 50 Hz. Both ES and TENS were applied through the same electrotherapy device and the TENS current was applied in a pulsating way to obtain muscular contraction. This way, although the ES current was meant to develop strength, the TENS

current was merely analgesic. However, the athletes perceived muscular contraction in both cases, thus avoiding any potential mistakes derived from their awareness of the type of current applied;

— Group 2 (G II): it comprised 11 girls and 9 boys. Firstly, this group received ES training and later, after a 10-minute rest period, it completed the plyometric jumps protocol (ES + PT). Group 3 (G III): it consisted of 10 girls and 9 boys. In this case, the young athletes completed the plyometric jumps first and, after 10 min, the ES was applied (PT + ES). Finally, Group 4 (Simultaneous): it included 10 girls and 9 boys. This group completed combined training, which consisted on doing the same protocol of plyometric jumps as the other groups, together with simultaneous ES application. This group performed a total number of 48 jumps in every single session. These 48 jumps concurred with the 48 cycles of ES current. The young athletes performed the last set of the last plyometric jumps when the ES had already finished (Figure 1).

#### *Electrostimulation protocol*

The ES groups took part in a 8-week training program. Three positive (5×5 cm<sup>2</sup>) and one negative (10×5 cm<sup>2</sup>) self-adhesive electrodes were placed by three well-trained professionals on each thigh in two different channels: channel 1 for vastus lateralis and channel 2 for the vastus medialis and rectus femoris muscles. The active electrodes were placed as close as possible to muscles' motor point<sup>7, 17, 28</sup> and the negative electrode was placed on the femo-



Figure 1.—Simultaneous training with plyometric jumps and electrostimulation.

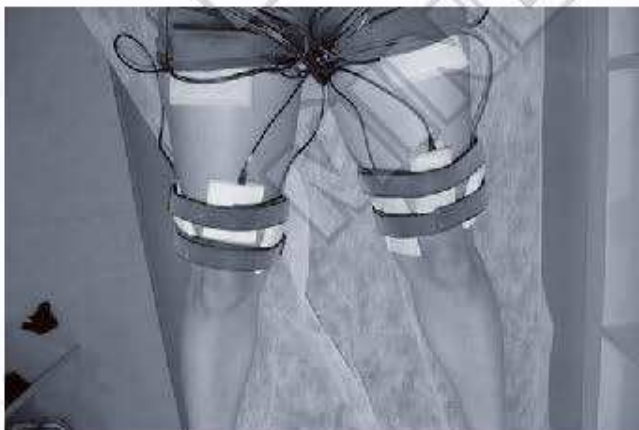


Figure 2.—Electrode location on the athlete's lower limbs during the electrostimulation protocol.



ral triangle.<sup>6, 19</sup> The motor point was located with a stimulation pen electrode (Figure 2). These were the electrostimulation parameters used in G II and G III: 150 Hz frequency, 350 Hz pulse width, 3-12 s contraction-rest time, 2 days/week  $\times$  12 min/day dosage. Thirty-six contractions were performed during the training sessions. The exercise combined with ES was based on plyometric exercises and the maximally athlete-tolerated intensity was applied, varying between 60 and 130 milli ampere (mA).

#### *Plyometric protocol*

Plyometric training consisted of performing three exercises involving vertical jump with different execution. Two series of 8 repetitions were completed

in each exercise. The athletes performed a familiarization period prior to training, where the plyometric jump technique was shown visually and repeatedly explained until correct performance. The first exercise consisted on several knee-to-chest vertical jumps at maximum intensity (Figure 3A). The second began in the squat position (flexed knees and hips keeping knee bent over  $100^\circ$ ). Three small jumps preceded the maximum jump in the first exercise (Figure 3B). Finally, the third exercise started in the same position as the second, but the landing jump was done with a leg in an advanced position. In addition, after the first little bounce, the feet recovered parallel position to complete the other two bounces from that position (Figure 3C). In all jumps G IV received electrical impulse during maximum jump performance.

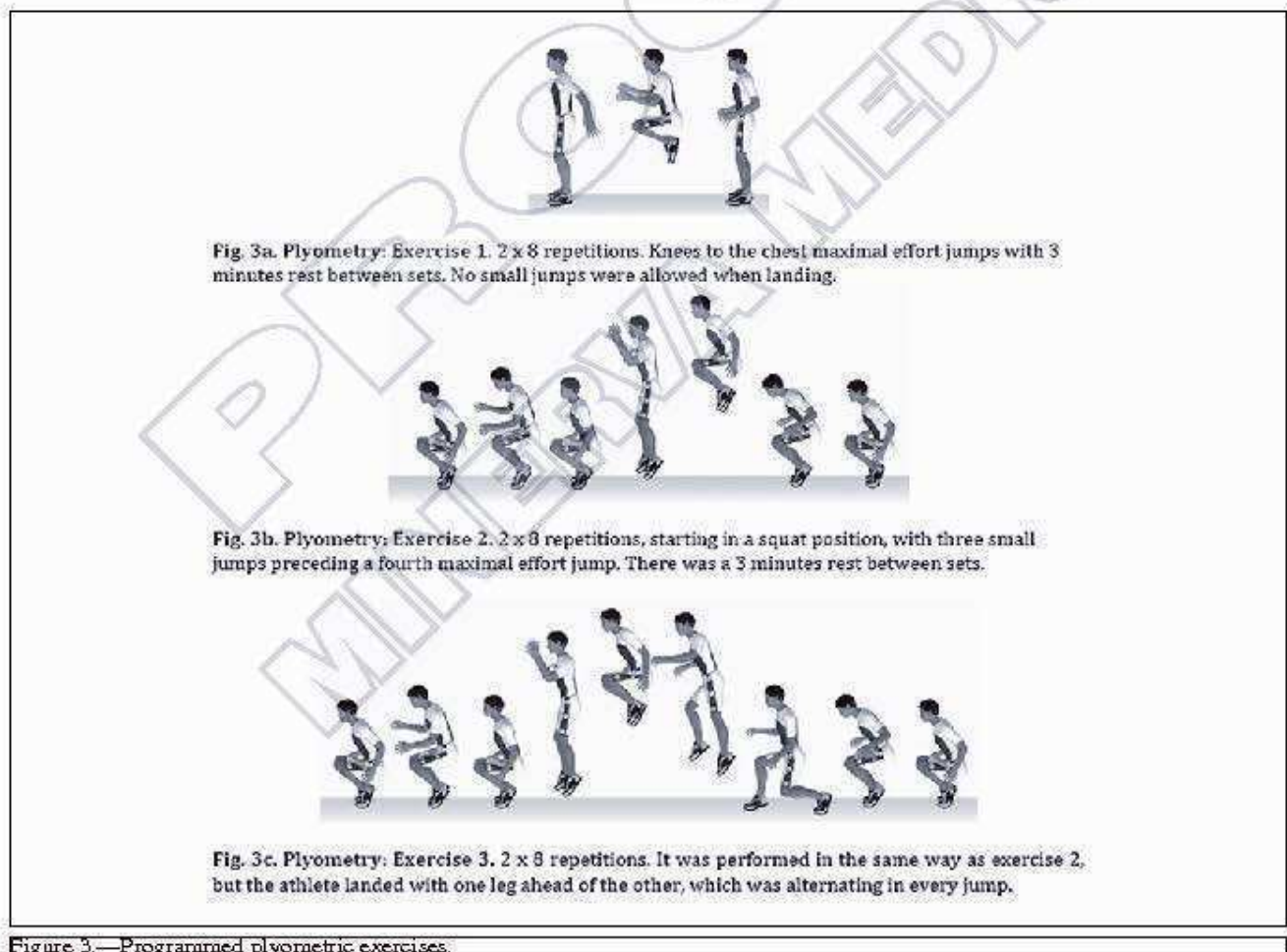


Figure 3.—Programmed plyometric exercises.

### Triple jump protocol

After the previously planned warm-up – consisting of 10 min of continuous running, 15 min of stretching, 10 technical exercises, and 2 progressive 80 m sprints – the athletes performed triple jump in the sandpit. For this purpose, the jumping line was placed 3 and 4 m far from the sandpit. The jump was as follows: athletes had to begin standing with their feet together and gather momentum with trunk flexion and arm swinging, then perform two two-foot landings, and fall into the sandpit. A rest period of 120 s separated consecutive jumps.

### Thirty meter sprint protocol

Two photocells, placed 10 and 40 m from the start, respectively. Athletes were advised to run as fast as possible from the track line that marked the first cell (10 m) to the second cell. Each athlete performed the distance twice and their personal best mark was recorded. The athletes were given a 3 min recovery time between races.

### Statistical analysis

Statistical analysis was completed with SPSS v. 19. A one-way ANOVA was used for the comparison of variables depending on the group at the beginning of the study. Although groups were assigned randomly, (pre) data analysis showed height differences between the groups of young athletes, as well as in 30 m and triple jump performance. Due to the need to adjust these values so as to nullify their effect, analysis of covariance (ANCOVA) with adjustment using Bonferroni confidence interval was completed, where the covariate was the baseline measurement of each athlete's test (pretraining) and height. The

time used to run the 30 m as well as triple jump length from a standing position, were used as a dependent variable, and the type of training and gender as an independent variable. The rejection criterion chosen to set both correlations and significant differences was  $P \leq 0.05$ .

## Results

We performed a descriptive analysis of all variables across the distribution of absolute frequencies (N) and summary measures such as mean, standard deviation, and standard mean error. All variables followed normal patterns. Mean 30 m speed and triple jump in the participating athletes was  $4.01 \pm 0.38$  s and  $6.46 \pm 0.74$  m, respectively. (Pre) data analysis showed differences among groups in boys' height ( $P=0.031$ ) and 30 m performance ( $P=0.044$ , only in girls) and triple jump ( $P=0.004$  for boys and  $P=0.023$  for girls). No height or age differences were found between the athletes in each group ( $P > 0.05$ ). Participant's baseline features are provided in Table I.

Time used to run the 30 m distance in each group is shown in Table II. A 4 (group)  $\times$  2 (gender) ANCOVA of the 30 m sprint found a main effect between variables group and gender ( $F[3.68]=12.37$ ,  $P < 0.001$ ; and  $F[1.68]=20.32$ ,  $P < 0.001$ , respectively), but no interaction was found in group  $\times$  gender ( $F < 1$ ). Further analysis showed that group G IV (mean =  $3.57 \pm 0.21$  s) had highly significant differences ( $P < 0.001$ ) relative to control group ( $M = 4.05 \pm 0.42$  s), and significant differences ( $P < 0.01$ ) relative to G III ( $M = 3.95 \pm 0.37$  s) and G II ( $M = 3.87 \pm 0.36$  s). No differences were found in the 30 m launched test's initial and final time between control group and the rest of the groups. Mean time in the 30-meter launched test was

TABLE II.—Means and standard deviation ( $\pm$ ) of the time obtained by each group of athletes in the 30 m sprint launched after 8 weeks of training. Control, G II (ES + PT), G III (PT + ES), and G IV (Simultaneous). Diff.: differences between groups. \*\* $P < 0.01$ ; \*\*\* $P < 0.001$ .

	All (N=78)	Boys (N=38)	Girls (N=40)	Diff. (all)			
				Control	G II	G III	G IV
Control	$4.05 \pm 0.42$	$3.82 \pm 0.31$	$4.33 \pm 0.39$	-	0.090	0.168	<0.001***
G II	$3.87 \pm 0.36$	$3.67 \pm 0.34$	$4.03 \pm 0.31$	-	-	0.996	0.002**
G III	$3.95 \pm 0.37$	$3.70 \pm 0.28$	$4.17 \pm 0.29$	-	-	-	0.001**
G IV	$3.57 \pm 0.21$	$3.41 \pm 0.20$	$4.16 \pm 0.12$	-	-	-	-

TABLE III.—Means and standard deviation ( $\pm$ ) of the time obtained by each group of athletes in the length of the standing triple jump after 8 weeks of training. Control, G II (ES + PT), G III (PT + ES), and G IV (Simultaneous). Diff.: differences between groups. \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

	Length of triple jump (m)			
	All (N=78)	Boys (N=38)	Girls (N=40)	Diff. (all)
				Control
Control	6.21 $\pm$ 0.72	6.65 $\pm$ 0.54	5.69 $\pm$ 0.54	0.019*
G II	6.84 $\pm$ 0.67	7.17 $\pm$ 0.67	6.57 $\pm$ 0.57	0.121
G III	6.75 $\pm$ 0.80	7.36 $\pm$ 0.67	6.21 $\pm$ 0.44	0.999
G IV	7.06 $\pm$ 0.81	7.81 $\pm$ 0.16	6.38 $\pm$ 0.48	0.845

significant higher ( $P < 0.001$ ) in girls than in boys ( $M = 4.17 \pm 0.27$  s, and  $M = 3.65 \pm 0.28$  s, respectively).

triple jump length from a stationary position in each group of athletes is shown in Table III. A 4 (group)  $\times$  2 (sex) ANCOVA of the triple jump measurement found a main effect between variables group and gender ( $F[3.68] = 5.06$ ,  $P = 0.003$ ,  $y F[1.68] = 2.08$ ,  $P < 0.001$ , respectively), but showed no group  $\times$  gender interaction ( $F < 1$ ). Further analysis showed that G IV (mean =  $7.06 \pm 0.81$  m) showed the most significant differences ( $P = 0.01$ ) relative to Control ( $M = 6.21 \pm 0.72$  m). Besides, G II (mean =  $6.84 \pm 0.67$  m) increased ( $P < 0.05$ ) jump distance significantly relative to Control, yet this did not occur relative to G III ( $P = 0.121$ ). No differences in triple jump were observed between the remaining groups. Girl's average jump distance in girls was significantly lower ( $P < 0.001$ ) than boys\* ( $M = 6.21 \pm 0.50$  m, and  $M = 7.24 \pm 0.51$  m, respectively).

### Discussion

The present study was aimed at analyzing the effect of a training program including different ES+PT combinations on 30 m launched tests and triple jump. It was also meant to determine whether ES+PT order of application could influence results in these tests. Results suggest that the most effective training aimed at improving 30 m speed is simultaneously combined training. Regarding triple jump, the results showed significant improvement in the performance of athletes who used both simultaneously-combined training and used ES followed by plyometrics. The 30 m sprint launched test was chosen to carry out the research due to its extensive referencing in traditional scientific literature as a strict test for speed assess-

ment.<sup>26</sup> Secondly, the present paper was sought to justify the use of the triple jump test as a control test of exclusive participation of the momentum power in the final effect of speed.<sup>27</sup>

The athletes who simultaneously combined both training types (G IV) obtained 6.78% improvement in the 30 m sprint launched test. This outperforms those in others studies that report 2.4 and 3.3% improvement, respectively.<sup>23, 28</sup> Possible explanations for this increased performance can be: first, the current frequency used in this study exceeds that used by Maffiuletti (150 Hz vs. 85 Hz);<sup>29</sup> and, second, current application time was lower than that applied by Herrero *et al.*<sup>23</sup> (3 to 12 s vs. 3 to 30 s), which could reserve to muscle depletion caused by increased energy demand ES.<sup>6, 16</sup>

However, not all results are documented in the same direction. Babault *et al.*, Billot *et al.* and Brocherie *et al.* found no significant improvement in sprint times after ES training. One possible explanation is that the first two trained ES in isolation, with the consequent loss of agonist-antagonist coordination achieved when combined with voluntary exercise.<sup>19</sup> In addition, the increase in the number of muscle fibers recruited in each contraction due to the reverse order of recruitment (voluntary contraction and ES) between the two techniques is lost when a voluntary contraction is not made to complement ES.<sup>15, 16, 20</sup> Similar studies showed that both exclusive plyometric training<sup>30-32</sup> and isolated ES training<sup>33-35</sup> does not improve speed, which justifies the need to use ES as a complementary technique to other voluntary training methods to improve speed.

Regarding the results of improvement in triple jump, substantial improvement in jump was observed when ES was used prior to PT, being even higher in the group that combined ES+PT simulta-

neously, reaching 5.21% increase in jump distance. Similar improvements were achieved with unique training plyometric jumps (5.6%)<sup>36</sup> and to a lesser extent-based training sprint (3.2%).<sup>31</sup> In addition, high correlation between triple jump and jump counter-movement (CMJ) and drop jump (DJ) ( $r=0.848$  and  $r=0.805$ ,  $P_2<0.01$ )<sup>31</sup> allows comparing the results of this study with others that use ES to improve jumps, some of which obtained similar results to ours and others'. Therefore, Babault *et al.* obtained percentages of improvement of 6.60% and 2.82% for DJ and CMJ, respectively, and Maffiuletti *et al.*<sup>29</sup> and Billot *et al.*<sup>36</sup> made gains of 6.4% and 2.27%, respectively, in CMJ. However, other studies reached no improvement after a training jump with ES,<sup>28</sup> or even negative rates of 5.5% relative to initial marks.<sup>5</sup> This could be due to, on the one hand, the low frequency of current used,<sup>28</sup> or short recovery time between sessions,<sup>5</sup> which prevents the athlete's recovery by requiring ES greater metabolic demand than conventional training.<sup>6, 16, 23</sup>

The results of the speed test and triple jump showed no significant gender differences. Other studies that worked ES similarly found no gender differences,<sup>38-41</sup> but there are opposite research findings, in which the percentage of force thus increasing ES is gender-dependent. So, Alón's<sup>42</sup> results showed that women need more sessions to accommodate the current intensity necessary to achieve optimal training threshold. Maffiuletti<sup>18</sup> found significant gender differences, as girls needed lower current intensity to reach the supramotor threshold. This may be due to the difference in the quadriceps area between boys and girls. On the threshold motor, Maffiuletti found no significant gender differences.

Speed and triple jump results revealed that simultaneous ES+PT training renders the most significant improvement by ES+PT training, while PT training + ES is unprofitable on the athlete's jump and speed. The high correlation between triple jump and speed tests ( $r=0.814$ ,  $P<0.01$ )<sup>27</sup> justifies the fact that both tests achieve the best results with the same training (simultaneous ES+PT combination), since both tests are based on the development of the same strength expression (explosive-elastic-reactive).<sup>17</sup> Therefore, it would be reasonable to think that both improve with the same type of training. Nevertheless, authors fail to consider the order of ES and PT application as a study variable. Only Basas took this factor into ac-

count to increase exercise difficulty in a training protocol for patellar tendinopathy, where the application of both techniques in simultaneous combination involved greater difficulty than those involving one of both techniques or both yet not simultaneously. However, no data were collected on muscle strength improvement.

## Conclusions

The results of the present study suggest that ES+PT combination and their order of application is a key factor in athletic speed and triple jump tests. The simultaneous combination of both techniques in training renders the best results in the 30 m speed launched test. Both the simultaneous ES+PT combination and the application of ES prior to PT significantly improve triple jump athletes' performance. However, no significant improvement is obtained in any of both tests — 30 m launched and triple jump — when PT precedes ES in training. Finally, gender does not prove a determining factor in speed results or jumping capacity when ES and PT are trained in young athletes.

## References

1. Lake D. Neuromuscular electrical stimulation. *Sports Med* 1992;13:320-36.
2. Leddy JJ, Fisher NM, Pendergast DR. Microcurrent therapy and the treatment of soft tissue injury. *Int Sportmed J* 2004;5: 141-6.
3. Skurvydas A, Kamandulis S, Masiulis. Effects on muscle performance of two jumping and two cycling bouts separated by 60 minutes. *Int Sportmed J* 2010;11:291-300.
4. Pierre D, Taylor A, Lavoie M, Sellers W, Kots Y. Effects of 2500 Hz sinusoidal current on fibre area and strength of the quadriceps femoris. *J Sports Med* 1986;26:606.
5. Herrero A, Martín J, Martín T, Abadía O, Fernández B, García-López D. Short-term effect of strength training with and without superimposed electrical stimulation on muscle strength and aerobic performance. A randomized controlled trial. Part I. *J Strength Cond Res* 2010;24:1609-15.
6. Vanderthommen M, Crielaard JM. Electromyostimulation en médecine du sport. *Rev Med Liege* 2001;56:391-5.
7. Babault N, Cometti G, Bernardin M, Pousson M, Chatard JC. Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *J Strength Cond Res* 2007;21:431-7.
8. Toca-Herrera JL, Gallach JE, Ómis M, González LM. Cross-education after one session of unilateral surface electrical stimulation of the rectus femoris. *J Strength Cond Res* 2008;22:614-8.
9. Child RB, Brown SJ, Day SH, Donnelly AE. Manipulation of knee extensor force using percutaneous electrical myostimulation during eccentric actions: Effects on indices of muscle damage in humans. *Int J Sports Med* 1998;19:468-73.
10. Delitto A, Brown MJ, Strube SJ, Rose SJ, Lehman RC. Electrical

- stimulation of quadriceps femoris in a elite weight lifter: A single subject experiment. *Int J Sports Med* 1989;10:187-91.
11. Bircan C, Senocak O, Peker O, Kaya A, Tamci SA, Gulbahar S *et al*. Efficacy of two forms of electrical stimulation in increasing quadriceps strength: A randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2002;16:194-9.
  12. Valli P, Boldrini L, Bianchedi D, Brizzi G, Miserocchi G. Effects of low intensity electrical stimulation on quadriceps muscle voluntary maximal strength. *J Sports Med Phys Fitness* 2002;42:425-30.
  13. Brocherie F, Babault N, Cometti G, Maffiuletti N, Chatard JC. Electro-stimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:455-60.
  14. Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A. Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:1291-9.
  15. Paillard T. Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports Med* 1998;38:161-77.
  16. Vanderthommen M, Duteil S, Wary C, Raynaud JS, Leroy-Willis A, Cnelaard M *et al*. A comparison of voluntary and electrical induced contractions by interleaved OH and <sup>31</sup>P-NMRS in humans. *J Appl Physiol* 2008;94:1012-24.
  17. Benito E, Lara A, Martínez-López E. Effect of combined plyometric and electrostimulation training on vertical jump. *RICYDE* 2010;6:322-4.
  18. Maffiuletti N, Cometti G, Aminidis IG, Martin A, Pousson M, Chatard JC. The effects of electrostimulation of the training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *Int J Sports Med* 2000;21:437-43.
  19. Holcomb, W. R. Is neuromuscular electrical stimulation and effective alternative to resistance training? *Strength Cond J* 2005;27:76-9.
  20. Ward AR, Shkuratova N. Russian electrical stimulation: The early experiments. *Phys Ther* 2002;82:1019-30.
  21. Parker M, Bennett MJ, Hieb MJ *et al*. Strength response in human quadriceps femoris muscle during two neuromuscular electrical stimulation programs. *J Orthop Sports Phys Ther* 2003;33:713-26.
  22. Basas A. Metodología de la electroestimulación en el deporte. *Fisioterapia* 2001;23:36-47.
  23. Herrero J, Izquierdo M, Maffiuletti NA, García-López J. Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *Int J Sports Med* 2006;27:533-9.
  24. Verkhovansky Y. Un nuevo sistema de entrenamiento en deportes cíclicos parte I y II. *Revista Fisiología Sportiva* 1993;27:37-45.
  25. Sedano S, Matheu A, Redondo J C, Cuadrado G. Effects of plyometric training on explosive strength, acceleration capacity and kicking speed in young elite soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2011;51:50-8.
  26. Berdejo D, González JM. Strength training in young tennis players. *J Sports Health Res* 2009;1:46-55.
  27. Dick F. Guide lines for coaching conduct. *Athletics Coach* 1989;23:3-6.
  28. Paillard T, Nocé F, Passelegue P, Dupui P. Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Med* 2005;35:951-66.
  29. Maffiuletti NA, Bramanti J, Jubea M, Bizzini M, Deley C, Cometti G. Feasibility and efficacy of progressive electro stimulation strength training for competitive tennis players. *J Strength Cond Res* 2009;23:677-82.
  30. Chimera N, Swanik K, Swanik C, Straub S. Effects of plyometric training on muscle activation strategies and performance in female athletes. *J Athl Train* 2004;39:24-31.
  31. Markovic G, Jukiv I, Milanovic D, Metikos D. Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *J Strength Cond Res* 2007;21:543-9.
  32. Sáez SV. Effect of plyometric training in three age groups of women. *RICYDE* 2010;10:393-409.
  33. Dehail P, Duclos C, Barat M. Electrical stimulation and muscle strengthening. *Ann Readapt Med Phys* 2008;51:441-51.
  34. Girold S, Jalab C, Bernard O, Carette P, Kemoun G, Dugué B. Dry-land strength training vs. electrical stimulation in sprint swimming performance. *J Strength Cond Res* 2012;26:497-505.
  35. Gondin J, Cozzone PJ, Bendahan D. Is high-frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes? *Eur J Appl Physiol* 2011;111:2473-87.
  36. Khalifa R, Aouadi R, Hermassi S, Chelly M, Jlid M, Hbacha H *et al*. Effects of plyometric training programme with and without added load jumping ability in basketball players. *J Strength Cond Res* 2010;24:2955-61.
  37. Billot M, Martin A, Faizis C, Cometti C, Babault N. Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping and kicking capacities in soccer players. *J Strength Cond Res* 2010;24:1407-13.
  38. Paillard T, Lafont C, Soulat T, Montoya R, Costes-Salon M, Dupui P. Short-term effects of electrical stimulation superimposed on muscular voluntary contraction in postural control in elderly women. *J Strength Cond Res* 2005;19:640-6.
  39. Baudry S, Klass M, Pasquet B, Duchateau J. Age-related fatigability of the ankle dorsiflexor muscle during concentric and eccentric contractions. *Eur J Appl Physiol* 2007;100:515-25.
  40. Rolland Y, Lauwers-Cances V, Pahor M, Fillaux J, Grandjean H, Vellas B. Muscle strength in obese elderly women: effect of recreational physical activity in a cross-sectional study. *Am J Clin Nutr* 2004;79:552-7.
  41. Bax L, States F, Varghagen A. Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? *Sports Med* 2006;35:191-212.
  42. Alon G, Smith G. Tolerance and conditioning to neuro-muscular electrical stimulation within and between sessions and gender. *J Sports Sci and Med* 2005;4:395-405.

*Conflicts of interest.*—None.

*Acknowledgements.*—The authors wish to express their gratitude to Medicinim Centro Company for their logistic support; to Mr Agustín Pérez-Barroso for his help in both technical and practical issues; to Dr Valentín Rocandio-Olveti for his collaboration in the theoretical framework of this study; and to every athlete who has taken part in the research. In addition, the authors would like to thank Spanish translator and interpreter Andrea Pérez-Arduña for English translation and style correction of the present paper.

