 **Herrero, J.A.; García-López, J. (2002). Análisis y valoración de los efectos del entrenamiento con estimulación eléctrica neuromuscular. RendimientoDeportivo.com, N°3.**
<<http://www.RendimientoDeportivo.com/N003/Artic013.htm>> [Consulta 05/01/2004]



Análisis y valoración de los efectos del entrenamiento con estimulación eléctrica neuromuscular.

Herrero, J.A.; García-López, J.

1) INTRODUCCIÓN

Se tiene conocimiento desde épocas muy antiguas de la existencia de corrientes naturales y de la electricidad, aunque no llegó a descubrirse y denominarse como tal hasta el año 1600 por el físico William Gilbert (Boschetti, 2002; Martínez, 2002). Es en el siglo XVIII, cuando la EENM comienza a utilizarse como método terapéutico de forma previa a que los pacientes pudieran hacer ejercicios voluntarios, para el tratamiento de parálisis y para la prevención y/o restauración de las funciones musculares, empezando a surgir a finales de este siglo, los primeros estudios científicos en el ámbito de la electroterapia. La mayoría de estos trabajos tratan acerca de los efectos de la corriente eléctrica sobre los tejidos orgánicos, la utilización de diferentes tipos de corrientes eléctricas y los efectos terapéuticos de las mismas (Hainaut y Duchateau, 1992; Heyters y cols., 1994). Se considera que fue Luigi Galvani, en 1791, el primer autor que aplicó una corriente eléctrica con el fin de contraer la musculatura (Rach y Burke, 1980; Boschetti, 2002; PSC, 2002). Otras referencias consideran que fue Jallabert (1750) el primero en utilizar la EENM, reeducando un músculo paralizado con la utilización de electricidad y escribiendo el primer libro de electroterapia (Nigg y Herzog, 1994). Sea cual fuere el padre de la EENM, ambos autores datan de la misma época. Posteriormente, en 1833, Duchenne de Boulogne descubrió la manera de estimular eléctricamente un músculo sin incidir necesariamente en la piel, siendo el primer autor en utilizar la estimulación transcutánea mediante la aplicación de electrodos de superficie (Rach y Burke, 1980; Boschetti, 2002; Rozados, 2002). Para encontrar los primeros trabajos acerca de la influencia de la EENM sobre el rendimiento físico, hay que llegar a 1970, cuando Y.M. Kots utiliza por primera vez la EENM como complemento de los métodos tradicionales de trabajo de la fuerza muscular en el entrenamiento del atleta olímpico Borzov, posteriormente campeón olímpico en 1972 de 100 m en atletismo (Cometti, 1998).

Desde Kots hasta nuestros días son numerosos los estudios que se han publicado sobre la influencia de la EENM en el rendimiento físico, obteniéndose incrementos en la fuerza muscular máxima isométrica (FMI) (Dooley y cols., 1983; Delitto y cols., 1989; Alon y cols., 1999; Coarasa y cols., 2000), hipertrofia muscular (Pierre y cols., 1986; Rich, 1992), fuerza máxima aplicada en contracciones dinámicas isoinerciales (FMDii) e isocinéticas (FMDic), excéntricas y concéntricas (Westing y cols., 1990; Van Gheluwe y Duchateau, 1997) y mayores niveles de fuerza superponiendo EENM a las contracciones máximas voluntarias que en estas mismas por sí solas (Poumarat y cols., 1992; Strojnik, 1995). El objetivo de este artículo es revisar la metodología y los resultados de diferentes estudios en los que se han empleado programas de entrenamiento con EENM en diferentes poblaciones. El fin último de la revisión persigue evaluar la eficacia de la EENM para mejorar diferentes manifestaciones de fuerza y velocidad en deportistas.

2) PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO CON EENM EN DIFERENTES POBLACIONES

En la literatura, los efectos que se han descrito como consecuencia de la aplicación de programas de entrenamiento con EENM en el rendimiento físico son muy variados, pudiendo deberse a factores metodológicos como: el tipo de estimulador, la frecuencia de la corriente eléctrica, la forma del impulso eléctrico así como su duración, el porcentaje de la tensión muscular inducida por la corriente en relación a la fuerza máxima voluntaria, la impedancia entre el electrodo la piel y los músculos, la forma, magnitud, constitución y posición de los electrodos, la duración de la estimulación y de la recuperación, así como la duración y la frecuencia del entrenamiento (Portmann y Montpetit, 1991; Hainaut y Duchateau, 1992; Lake, 1992; Holcomb, 1997). A su vez, las características de la muestra sometida a EENM también pueden condicionar parte de los resultados que se obtienen con la aplicación de esta técnica, por lo que pasamos a describir diversos trabajos agrupados en función de que la muestra estuviera conformada por sujetos sedentarios, estudiantes de educación física o deportistas.

2.1. Estudios llevados a cabo en sujetos sedentarios

En las tablas 1 y 2 se esquematizan las principales características de las investigaciones llevadas a cabo con

sujetos sedentarios. La fuerza muscular es la variable más analizada en cada uno de estos estudios, existiendo controversia en cuanto a los resultados obtenidos, ya que en 3 de ellos la EENM no resultó efectiva y existe bastante diversidad en cuanto a los grupos musculares estimulados.

Autor	Dooley y cols. (1983)	Selkowitz (1985)	Duchateau y Hainaut (1988)	Poumarat y cols. (1992)	Rich (1992)	Alon y cols. (1999)
Objetivo	↑F	↑FMI	↑F ↑Vc ↑R	>F, CVd o MCVd+EENM	↑F, ↑R ↑diámetro, ↑grasa	≠umbrales a la EENM
Músculo	IOM	CF	ADP	CF	BB/TB	GS
Ángulo (°)		120		10-95	90	90
Fr (Hz)	60	50	100	30-80	50	50
Programa (*) Entrenamiento	40-80-10-20	12-10-10-120	30-200-1-1	1-1-9-4-18	18-10-10-50	1-corriente continua
Intensidad (mA)		M.T.	60-65%MCV	M.T.	M.T.	M.T.
Ergómetro	Isométrico	Isométrico	Isométrico	Isocinético	Isométrico	
Modalidad contracción	Isométrica	Isométrica	Isométrica	Concéntrica	Isométrica	Isométrica
Otros tests					R, pliegues	
Resultados	NO ↑F	↑F	↑F NO ↑Vc, ↑R	>F CVd, q MCVd+EENM	No ↑ninguna variable	4 umbrales

Tabla 1: Estudios sobre la influencia de diferentes programas de entrenamiento con EENM en sujetos sedentarios. (*) N° de sesiones · N° de contracciones · tiempo de contracción · tiempo de reposo. Abreviaturas: Fr = frecuencia (Herzios); F = fuerza; IOM = interóseos de la mano; FMI = fuerza máxima isométrica; CF = cuádriceps femoral; M.T. = máxima tolerable; Vc = velocidad de contracción; R = resistencia; ADP = aductor del dedo pulgar; CVd = contracciones voluntarias dinámicas; MCV = máxima contracción voluntaria isométrica; BB = bíceps braquial; TB = tríceps braquial; RMN = resonancia magnética nuclear.

Autor	Colson y cols. (2000)	Mela y cols. (2001)
Objetivo	↑F	↑F ≠ ángulos y ≠ Fr
Músculo	BB	TA
Ángulo (°)	90	13,0,-33
Fr (Hz)	80	varias
Programa (*) Entrenamiento	21-30-6-180	1-21-2-60
Intensidad (mA)	60-70%MCV	45 de media
Ergómetro	Isocinético	Isométrico
Modalidad contracción	Conc., isom. y exc.	Isométrica
Otros tests		Goniómetro
Resultados	↑F	a>Fr>F

Tabla 2: Estudios sobre la influencia de diferentes programas de entrenamiento con EENM en sujetos sedentarios. (*) N° de sesiones · N° de contracciones · tiempo de contracción · tiempo de reposo. Abreviaturas: F = fuerza; BB = bíceps braquial; GS = gastrocnemio; M.T. = máxima tolerable; MCV = máxima contracción voluntaria isométrica; TA = tibial anterior.

Uno de los trabajos en donde la EENM no resultó efectiva sobre la FMI es el de Dooley y cols. (1983), sugiriendo que los aumentos de fuerza reflejados en otros trabajos con la utilización de la EENM se deben a las adaptaciones en el sistema nervioso y no a un incremento intrínseco de la capacidad de generar fuerza de las fibras musculares. Rich (1992) tampoco obtuvo beneficios tras un programa de entrenamiento con EENM. La FMI, resistencia, diámetro y componente graso de los flexores y extensores del brazo permaneció invariable tras las sesiones de entrenamiento.

Los mayores incrementos de FMI reflejados en la literatura han sido los reflejados por Selkowitz (1985), quien defiende que estas ganancias pudieron estar determinadas por la habilidad de los sujetos para tolerar contracciones largas y potentes. No observó ninguna correlación entre los aumentos en la intensidad de corriente tolerada y la fuerza producida por la contracción (Coarasa y cols., 2000). Además, constató una progresiva tolerancia a la corriente eléctrica a lo largo de las sesiones de EENM (Miller y Thépaut-Mathieu, 1993). Otro estudio en el que la EENM supuso unos incrementos muy elevados fue el de Colson y cols. (2000), quienes evaluaron los efectos de un programa de EENM sobre la FMI concéntrica y excéntrica, observando un aumento significativo de la musculatura agonista, mientras que la MCV de la musculatura antagonista disminuyó significativamente. En este trabajo la EENM fue efectiva para aumentar la fuerza muscular, pero deja abierta una puerta a los posibles efectos de este tipo de entrenamiento sobre la musculatura antagonista.

Algunas investigaciones reflejan que el entrenamiento voluntario resulta más efectivo que el entrenamiento con EENM por sí solo. Así, Duchateau y Hainaut (1988) constataron mayores incrementos de la FMI, con la

utilización de contracciones voluntarias isométricas que mediante el uso de la EENM, obteniéndose escasos aumentos con el uso de la EENM. La velocidad de contracción tetánica y la resistencia sólo aumentaron en el grupo que realizó entrenamiento voluntario. A su vez, Poumarat y cols. (1992) reflejaron que la EENM tiene menos capacidad de reclutar unidades motrices que la contracción máxima voluntaria, coincidiendo con las afirmaciones de Hortobágyi y cols. (1991). Estos resultados pudieron deberse a las limitaciones de los sujetos para tolerar una mayor intensidad de corriente que produjese una mayor contracción, posiblemente por la falta de familiarización con el protocolo.

Alon y cols. (1999), establecieron cuatro umbrales mediante la aplicación de la EENM: sensitivo, motor, dolor y máximo dolor. Estos umbrales se producían a las mismas intensidades en hombres y mujeres, siendo la FMI producida significativamente inferior para las mujeres que para los hombres en los dos últimos umbrales. En base a estos resultados se sugiere que el género puede influir en la cantidad de fuerza producida mediante EENM.

Por último, Mela y cols. (2001), estudiaron la influencia de diferentes frecuencias de estimulación sobre la FMI, observando que cuanto mayor fue la frecuencia de EENM, mayor era la FMI, sin que la relación entre ambos parámetros fuese lineal.

2.2. Estudios llevados a cabo en estudiantes de Educación Física (EEF)

En la tabla 3 se muestra un esquema de las principales características de los estudios llevados a cabo con estudiantes de educación física. En esta población los tests que se utilizan para valorar las cualidades físicas son más diversos, analizándose la influencia de la EENM en gestos que implican mayor velocidad de contracción muscular. La cualidad más analizada sigue siendo la fuerza en sus diferentes manifestaciones, y la EENM resultó beneficiosa en todos ellos. A continuación se explican cuáles fueron los protocolos experimentales utilizados, así como los principales resultados y conclusiones obtenidas.

Autor	Karba y cols. (1990)	Venable y cols. (1991)	Miller y Thépaut-Mathieu (1993)	Martin y cols. (1994)	Taillefer (1996)
Objetivo	Vel.contr. Fatiga	EENM+EV / EV F, SV, Pot.	¿Parámetro determinante?	↑F Hipertrofia	↑SV
Músculo	VE	CF	BB	TS	CF/GS
Ángulo (°)	135	145, 130, 115	155	FDmáx	90
Fr (Hz)	100	50	90	70	100
Programa (*) Entrenamiento	15-150-1-1	15-10-15-60	15-25-5-30	12-30-5-15	30-20-5-25
Intensidad (mA)	80-100	+ de 60%MCV	M.T.	63,2 ± 8,6%MCV	M.T.
Ergómetro	Isométrico	Isoinercial	Isométrico	Isocinético	Plataforma contacto
Modalidad contracción	Isométrica	Pliométrica	Isométrica	Concéntrica	Concéntrica Pliométrica
Otros tests		1 RM, SV		TAC	SJ, CMJ, DJ (20, 40, 60)
Resultados	↑Vel.contr. =Fatiga	↑ (F,S,V,Pot.) = EENM+EV y EV	F producida por la corriente	↑F No Hipertrofia	↑SV

Tabla 3: Estudios sobre la influencia de diferentes programas de entrenamiento con EENM en estudiantes de educación física. (*) N° de sesiones x N° de contracciones x tiempo de contracción x tiempo de reposo. Abreviaturas: F = fuerza; EV = entrenamiento voluntario; Fr = frecuencia (Herzios); CF = cuádriceps femoral; DA = dorsal ancho; GS = gastrocnemio; TA = tibial anterior; TS = tríceps sural; BB = biceps braquial; TB = tríceps braquial; MCV = máxima contracción voluntaria isométrica; M.T. = máxima tolerable.

Karba y cols. (1990), investigaron los efectos de la EENM sobre la velocidad de contracción de la musculatura humana, produciendo una contracción mediante EENM. La velocidad de contracción, evaluada mediante un gesto no natural, mejoró con la aplicación de la EENM.

Venable y cols. (1991), constataron que el entrenamiento a corto plazo de pesas, suplementado con EENM, no incrementó la FMDii, el salto vertical ni la potencia más que el entrenamiento voluntario sólo. Por lo que en este trabajo el entrenamiento voluntario fue más efectivo que la EENM por sí sola, coincidiendo con otras investigaciones llevadas a cabo en sujetos sedentarios (Duchateau y Hainaut, 1988; Hortobágyi y cols., 1991; Poumarat y cols., 1992).

Miller y Thépaut-Mathieu (1993), analizaron cuál es el parámetro más determinante en la eficacia del entrenamiento con EENM, bien la intensidad de la corriente o bien el momento de fuerza producido por la misma. No se encontró correlación entre la intensidad de corriente y las modificaciones de fuerza, sin embargo sí que se encontró una correlación directa entre el momento de fuerza producido y la ganancia de fuerza. Los autores concluyen que los mismos principios (*principio de sobrecarga*) rigen el entrenamiento de fuerza muscular tanto de forma voluntaria como mediante EENM.

Martin y cols. (1994), reflejaron aumentos en la FMI en flexión plantar y en flexión dorsal, siendo estos

incrementos mayores en el segundo caso, sin observarse modificaciones en el área de sección transversal del tríceps sural, por lo que los beneficios pudieron deberse a adaptaciones nerviosas (Dooley y cols., 1983).

Taillefer (1996) comparó la influencia de 4 regímenes diferentes de EENM del cuádriceps y la pantorrilla sobre el salto vertical. Los cuatro protocolos de entrenamiento con EENM fueron: contracción dinámica concéntrica (ESTcon), excéntrica (ESTexc) o estática (ESTstat) del cuádriceps, seguidas o no de EENM de la pantorrilla de forma estática (M). Los grupos ESTstat y ESTstat+M mejoraron significativamente los saltos SJ y CMJ. El grupo ESTcon+M sólo mejoró el SJ. El grupo ESTexc+M mejoró en todos los saltos realizados. El grupo control no mejoró en ninguno de los saltos. Los autores concluyen que las disciplinas en las que los movimientos son mayoritariamente concéntricos, tales como el patinaje de velocidad, el salto de esquí, la salida de natación, la bicicleta...encontrarían ventajas utilizando el método de entrenamiento ESTest+M. Se debería dar preferencia al método ESTexc+M en los deportes donde la fase excéntrica tenga mayor importancia, tales como las disciplinas de atletismo, el voleibol, el baloncesto, el jockey...y todos los deportes que conlleven movimientos pliométricos. Sin embargo, estas conclusiones sólo son extrapolaciones de los resultados obtenidos en estudiantes de educación física a diferentes modalidades deportivas.

2.3. Estudios llevados a cabo en deportistas

En la tabla 4 se muestra un esquema de las principales características de los estudios llevados a cabo con sujetos deportistas. En todos ellos se evaluó la influencia de la EENM sobre la fuerza muscular en sus diferentes manifestaciones, analizándose también la repercusión en otros parámetros como la hipertrofia, velocidad, etc. La mayoría de las investigaciones utilizaron el cuádriceps como grupo muscular electroestimulado, y la fuerza máxima isométrica como cualidad analizada. La intensidad de EENM fue elevada, casi siempre la máxima tolerable por los sujetos. Sólo en uno de los estudios que se presentan en la tabla, el programa de entrenamiento con EENM no supuso beneficios sobre la fuerza muscular. A continuación pasamos a comentar detalladamente los citados trabajos.

Autor	Pierre y cols. (1986)	Delitto y cols. (1989)	Portmann y Montpetit (1991)	Pichon y cols. (1994)	Van Gheluwe y cols. (1997)	Maffioletti y cols. (2000)	Sánchez y Pablos (2002)
Objetivo	↑ F Hipertrofia	↑ F Hipertrofia	↑ F _d ↑ IMF _{Md}	↑ F ↑ vel.nado	EENM+EV ↑ F	↑ F ↑ salto vert.	↑ salto vert. ↑ FMDii
Músculo	CF	CF	CF	DA	CF	CF	CF, TS, ISQ
Ángulo (°)	90	115	90	140	Dinámico	120	
Fr (Hz)	50	75	100	80	50	100	104,108 y 111
Programa (*) Entrenamiento	7-10-10-50	12-10-11-180	24-10-10-50	9-27-6-20	15-100-2-120	12-48-3-17	16-23-3-(18, 29,30)
Intensidad (mA)	Subjetiva 33-46	M.T. hasta 200	M.T.	60%MCV	M.T.	80± 3%MCV	M.T.
Ergómetro	Isocinético	Isoinercial	Isocinético	Isocinético	Isocinético	Isocinético	Isoinercial
Modalidad contracción	Concéntrica	Pliométrica	Conc., isom.	Conc., isom., exc.	Conc., isom., exc.	Conc., isom., exc. Pliométrica	Conc., pliométrica
Otros tests	Biopsias	1 RM		25 y 50m nado		SJ, CMJ	SJ, CMJ
Resultados	↓ F	↑ F, ↑ area fibras tipo I	↑ F dinámica e isométrica	↑ F ↑ vel.nado	↑ F	↑ F	NO ↑ SJ, CMJ, ni FMDii

Tabla 4: Estudios sobre la influencia de diferentes programas de entrenamiento con EENM en sujetos deportistas. (*) Nº de sesiones x Nº de contracciones x tiempo de contracción x tiempo de reposo. Abreviaturas: F = fuerza; Fd = fuerza dinámica; IMF_{Md} = índice de manifestación de la fuerza máxima dinámica; EV = entrenamiento voluntario; Fr = frecuencia (Herzios); CF = cuádriceps femoral; DA = dorsal ancho; TS = tríceps sural; ISQ = isquiotibiales; MCV = máxima contracción voluntaria isométrica; M.T. = máxima tolerable.

Pierre y cols. (1986), estudiaron los efectos a corto plazo de la EENM utilizada como único método de entrenamiento sobre la FMDic del cuádriceps. Según los resultados de este estudio el entrenamiento con EENM no supuso una mejora en el rendimiento físico (fuerza). No obstante, el bajo número de sesiones de EENM, así como la escasa intensidad de corriente tolerada por los sujetos pudo influir en los resultados obtenidos.

Delitto y cols. (1989) evaluaron los efectos del entrenamiento con EENM sobre el rendimiento en ejercicios habituales de un halterófilo profesional (figura 1). Paralelamente al programa de EENM, el deportista siguió con su rutina de preparación habitual, obteniéndose mejoras en la FMDii valorada mediante 1RM durante diferentes ejercicios de sentadilla.



Figura 1: Representación de un halterófilo aplicándose EENM durante 1 RM.

Portmann y Montpetit (1991), estudiaron en qué medida el entrenamiento con EENM dinámica podía influenciar el índice de manifestación de la FMDic a una velocidad alta ($180^{\circ}\cdot s^{-1}$) y otra lenta ($15^{\circ}\cdot s^{-1}$). Como objetivo secundario compararon la EENM estática con la EENM dinámica. Se observaron mejoras, pero no significativas, en el índice de manifestación de la fuerza máxima bajo la modalidad de contracción lenta para los dos grupos. Tras el entrenamiento con EENM se obtuvieron mejoras significativas en el índice de manifestación de la FMDic a velocidades elevadas y en la FMI en los deportistas a los que se les aplicó EENM, tanto de modo dinámico como estático, no encontrándose diferencias significativas entre la EENM estática y la EENM dinámica.

Pichon y cols. (1995), estudiaron la influencia de un entrenamiento con EENM en la fuerza del dorsal ancho y en el rendimiento durante competiciones simuladas en nadadores de nivel competitivo (figura 2). Se reflejaron incrementos en los niveles de FMDic excéntrica, concéntrica e isométrica, para el grupo experimental, mientras que el grupo control no obtuvo incrementos significativos en las mismas. También se midieron los tiempos de nado en 25 y 50 m, con mejoras significativas en ambas distancias para el grupo experimental.



Figura 2: Valoración de la fuerza en banco isocinético.

Van Gheluwe y Duchateau (1997) pusieron en práctica un programa de fortalecimiento muscular dinámico (contracciones concéntricas) utilizando simultáneamente los modos de contracción voluntaria y sólo EENM de forma dinámica. La FMI se midió cada 15° y todos los sujetos la aumentaron en las tres modalidades de contracción (concéntrica, isométrica y excéntrica). Este protocolo de entrenamiento fue eficaz para aumentar la fuerza máxima en deportistas.

Maffiuletti y cols. (2000), analizaron la influencia de la EENM suplementada con la rutina habitual de entrenamiento sobre la FMDic de los extensores de la rodilla (figura 3) y el salto vertical (SJ y CMJ). Tras el entrenamiento EENM los jugadores de baloncesto pertenecientes al grupo experimental habían aumentado su FMD excéntrica, isométrica y concéntrica así como el SJ. Cuatro semanas después de la fase experimental las ganancias en fuerza y SJ permanecían invariables, y se constataron incrementos en el CMJ; por lo tanto, la EENM fue eficaz para la mejora de la fuerza y de la explosividad.

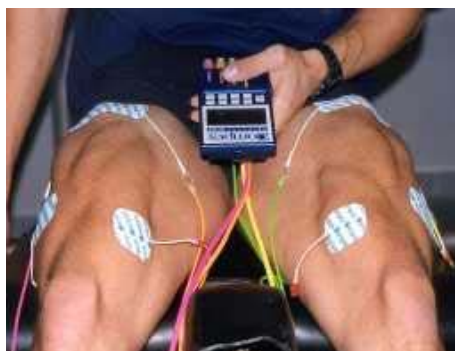


Figura 3: Aplicación de la EENM en el cuádriceps femoral.

Sánchez y Pablos (2002) no encontraron ningún beneficio del entrenamiento con EENM sobre la fuerza explosiva, justificando el hecho de que la EENM por sí sola no mejora las acciones que requieren coordinación intermuscular (como lo son los saltos verticales) porque su forma de trabajo es isométrica, sólo se incide en la musculatura superficial y no interviene el sistema nervioso central.

3) VALORACIÓN DE LA EFICACIA DEL ENTRENAMIENTO CON EENM

No existe todavía una teoría consensuada sobre la posibilidad de que la EENM represente un nuevo método de desarrollo de la fuerza muscular. Si bien, son muchos los estudios que obtuvieron beneficios con la aplicación de diferentes protocolos de entrenamiento con EENM (Selkovitz, 1985; Duchateau y Hainaut, 1988; Portmann y Montpetit, 1991; Martin y cols., 1994; Pichon y cols., 1995; Van Gheluwe y Duchateau, 1997; Colson y cols., 2000; Maffiuletti y cols., 2000), otros no constataron ningún tipo de beneficio (Dooley y cols., 1983; Venable y cols., 1991; Rich 1992; Sánchez y Pablos, 2002), e incluso algunos autores han constatado una disminución del nivel de fuerza inicial (Pierre y cols., 1986). La razón por la cual existe esta heterogeneidad en los resultados de los estudios consultados estriba posiblemente en los diferentes protocolos de EENM utilizados: nº de sesiones, características de la corriente (Figura 4), muestra seleccionada, etc.

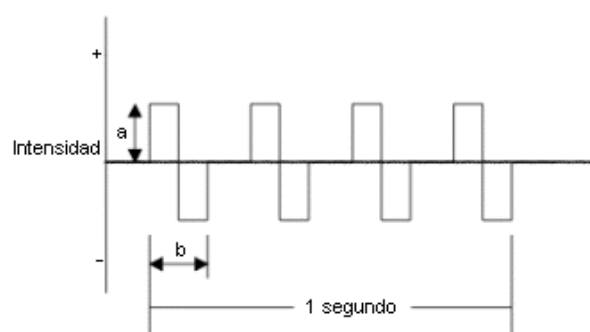


Figura 4: Características de la corriente rectangular, bifásica y simétrica normalmente utilizada en EENM: a=amplitud del impulso (intensidad); b=anchura del impulso. Frecuencia = 4 Hz.

Hoy en día se sabe que para conseguir aumentos de fuerza con EENM deben de utilizarse anchos de impulso bastante superiores a la cronaxia del grupo muscular electroestimulado (Coarasa y cols., 2000), y quizás esta pudo ser la razón por la que Rich (1992) no obtuvo beneficios, ya que utilizó un ancho de impulso de 100 μ s para la estimulación eléctrica de los flexores y extensores del brazo, cuyas cronaxias oscilan entre 100-150 μ s y 200-250 μ s respectivamente (Plaja, 1999). De hecho, la cronaxia debería ser bastantes mayor, ya que los últimos estudios en este campo han reflejado que la cronaxia muscular aumenta proporcionalmente con la intensidad del esfuerzo (Coarasa y cols., 1995). Con EENM, los mayores niveles de fuerza se logran con anchuras de impulso de 300-400 μ s (Lake, 1992; Holcomb, 1997), requisito que no reúne alguno de los estudios que aquí se han revisado.

Otro parámetro de la corriente que debemos de fijar adecuadamente para conseguir beneficios con la aplicación de EENM es la frecuencia de estimulación. En los estudios donde se superpuso la EENM a las contracciones voluntarias máximas, comparándose la fuerza desarrollada con la fuerza en condiciones de contracción voluntaria, sólo se consiguieron mayores valores de fuerza con EENM superpuesta en aquellas ocasiones en que se utilizaron frecuencias bastante elevadas, como por ejemplo los 100 Hz empleados en los trabajos de Strojnik (1995 y 1998). En los estudios donde se utilizó una frecuencia menos elevada, de 50 Hz (Westing y cols., 1990; Hortobagyi y cols., 1991) o de 30 y 80 Hz (Poumarat y cols., 1992) se consiguieron mayores niveles de fuerza mediante contracciones voluntarias. Además, se ha demostrado que según aumenta la frecuencia de estimulación, la fuerza producida por la corriente es mayor (Poumarat y cols., 1992; Child y cols., 1998; Mela y cols., 2001), y aunque no linealmente (Selkovitz, 1985, Mela y cols., 2001), esta circunstancia puede deberse a un mayor reclutamiento de unidades motrices de tipo II (Delitto y cols., 1989; Child y cols., 1998).

Normalmente, los dos parámetros mencionados (ancho de impulso y frecuencia), se fijan de antemano en el electroestimulador, y el único parámetro que modifica el deportista o investigador durante la aplicación de la corriente es la amplitud o intensidad de la misma. Como es lógico, cuanto más intensidad se administre, mayor será la cantidad de fuerza ejercida por la musculatura, eso sí, existe un límite a partir del cual una mayor intensidad no va a producir un incremento en la fuerza muscular (Alon y cols., 1999). Por esta razón la intensidad en la mayoría de los estudios debería ser la máxima tolerable por los sujetos. En alguno de los estudios que no obtuvieron mejoras en los entrenamientos con EENM esta intensidad era demasiado baja, como es el caso de Pierre y cols. (1986), quienes alcanzaron valores de 33 a 46 mA, o el de Rich (1992), quien llegó a administrar un valor máximo de 70 mA. En este último trabajo, teniendo en cuenta la realización de 18 sesiones de EENM, la intensidad de corriente no parece muy elevada, puesto que se ha descrito que existe una progresiva tolerancia a la corriente eléctrica con cada sesión de estimulación (Selkovitz, 1985;

Miller y Thépaut-Mathieu, 1993). No obstante, tampoco la intensidad de la corriente por sí misma es la responsable última de los resultados del programa de entrenamiento con EENM una vez que se han fijado las anchuras de impulso, ya que siempre que fuera posible deberíamos monitorizar la fuerza que produce cada contracción, y no la intensidad que se tolera (Miller y Thépaut-Mathieu, 1993; Coarasa y cols., 2000).

En la mayoría de los estudios analizados el músculo más estimulado fue el cuádriceps, destacándose una mayor heterogeneidad cuando formaron parte de la muestra personas sedentarias (Dooley y cols., 1983; Duchateau y Hainaut, 1988; Rich, 1992; Colson y cols., 2000; Mela y cols., 2001). De las cuatro cualidades que determinan la condición física (resistencia, velocidad, flexibilidad y fuerza), la más estudiada es la fuerza, pudiendo afirmar que gran parte de los trabajos se centran única y exclusivamente en ella (Dooley y cols., 1983; Portmann y Montpetit, 1991; Poumarat y cols., 1992; Colson y cols., 2000). Dos estudios evaluaron la influencia de la EENM sobre la resistencia muscular (Gauthier y cols., 1992; Rich, 1992), y otros tres analizaron los efectos de la EENM sobre la velocidad (Duchateau y Hainaut, 1988; Karba y cols., 1990; Pichon y cols., 1995).

Un análisis pormenorizado de estos últimos muestra resultados contradictorios. Karba y cols. (1990) sí obtuvieron una mejora de la velocidad, pero para valorarla emplearon un test en el que se utilizó un gesto no natural, donde la contracción muscular se realizaba de forma inducida, lo cual no tiene transferencia con alguna modalidad deportiva. El trabajo de Duchateau y Hainaut (1988) es de características similares al de Karba y cols. (1990), porque para conocer la velocidad de contracción diseñaron un protocolo en el que la contracción muscular se inducía eléctricamente. A pesar de ello, no obtuvieron mejoras en la velocidad de contracción del aductor de la mano no dominante en sujetos sedentarios tras 30 sesiones de EENM. Por último, para Pichon y cols. (1995), el entrenamiento con EENM sí mejora la velocidad durante un test de nado, sin embargo, los sujetos que formaron parte de la muestra no dejaron de entrenar complementariamente a las sesiones con EENM. Pese a las discrepancias encontradas, lo cierto es que ningún estudio evalúa los efectos de la EENM en un gesto mucho más natural como la carrera a pie. Resulta sorprendente, pero en la literatura consultada, no se refleja el test de velocidad de carrera como un medio de control de los efectos de la EENM.

Algo similar ocurre con la fuerza explosiva, siendo la manifestación de la fuerza que se ha valorado en menor número de ocasiones (Venable y cols., 1991; Taillefer, 1995; Strojnik, 1998; Maffioletti y cols., 2000; Sánchez y Pablos, 2002). A pesar de ello ha existido bastante consenso en utilizar el salto vertical como método para evaluarla, aunque en la literatura no queda claro si la EENM resulta beneficiosa en esta cualidad (Venable y cols., 1991; Taillefer, 1996; Maffioletti y cols., 2000; Sánchez y Pablos, 2002), posiblemente por los motivos reflejados por Sánchez y Pablos (2002) relativos a su forma de aplicación, al reclutamiento preferente de la musculatura superficial y a la no intervención del sistema nervioso central.

Por otro parte, está ampliamente aceptado que las adaptaciones producidas en el organismo son consecuencia de un proceso de entrenamiento que no se manifiestan de inmediato, sino que se requiere un tiempo determinado en función de la naturaleza, intensidad, duración y frecuencia de los estímulos, siendo diferente en cada individuo (García-Manso, 1998b). Igualmente, el periodo de tiempo durante el cual pueden continuar los incrementos de la eficiencia funcional, al igual que el tipo de mejora depende entre otros factores, del tipo de entrenamiento (Bosco, 1991). Para conocer exactamente el tipo de adaptaciones que produce la EENM, no basta con valorar las cualidades nada más haber acabado las sesiones de entrenamiento, si no que habría que hacerlo después de la aplicación de los estímulos del entrenamiento, consideración que solo se llevó a cabo en uno de los estudios consultados (Maffioletti y cols., 2000).

En conclusión, según la literatura revisada se han analizado diferentes pautas y criterios para utilizar la EENM como método de entrenamiento. Ésta sólo ha sido efectiva para el aumento de la fuerza máxima muscular, presentando una serie de limitaciones para la mejora de la velocidad y de la fuerza explosiva (acciones intermusculares que requieren elasticidad muscular), por lo que en los deportes donde estas cualidades sean importantes de cara al rendimiento se recomienda considerarla como un complemento del entrenamiento y no como una alternativa.

4) BIBLIOGRAFÍA

Alon, G.; Kantor, G.; Smith, G.V. (1999). Peripheral nerve excitation and plantar flexion force elicited by electrical stimulation in males and females. *J. Orthop. Phys. Ther.*, 29 (4): 218-224.

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

Bosco, C. (1991). Aspectos fisiológicos de la preparación física del futbolista. Ed. Paidotribo. Barcelona.

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. *Int. J. Sports Med.*, 19 (7): 468-473.

Coarasa, A.; Moros, M.T.; Ros, R. Villarroya, A. (1995). Cronaxias en el ejercicio. *Archivos de Medicina del Deporte*, 12 (48): 263-268.

Coarasa, A.; Moros, T.; Marco, C.; Mantilla, C. (2000). *Archivos de Medicina del Deporte*, 17 (79): 405-412.

Colson, S.; Martin, A.; Cometti G.; Van Hoecke J. (2000). Re-examination of training by electrostimulation in human elbow musculoskeletal system. *Int. J. Sports. Med.*, 21 (4): 281-288.

Cometti, G. (1998). *Los Métodos Modernos de Musculación. Capítulo 6: La electroestimulación.* Ed.

Paidotribo. Barcelona.

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. *Int. J. Sports. Med.*, 10 (3): 187-191.

Dooley, P.; McDonagh, J.N.; White, M.J. (1983). Training using involuntary electrically evoked contractions does not increase voluntary strength. *J. Physiol.*, 346: 61.

Duchateau, J.; Hainaut, K. (1988). Training effects of sub-maximal electrostimulation in a human muscle. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20 (1): 99-104.

García-Manso, J.M.; Navarro, M.; Ruiz, J.A., Martín, R. (1998). *Bases teóricas del entrenamiento deportivo: Principios y aplicaciones. Capítulo 1: Definición del concepto de entrenamiento.* Ed. Gymnos. Madrid.

Gauthier, J.M.; Thériault, R.; Thériault, G.; Gélinas, Y.; Simoneau J.A. (1992). Electrical stimulation-induced changes in skeletal muscle enzymes of men and women. *Med. Sci. Sport Exerc.*, 24 (11): 1252-1256.

Hainaut, K.; Duchateau, J. (1992). Neuromuscular Electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med.*, 14 (2): 100-113.

Heyters, M.; Carpentier, A.; Duchateau, J.; Hainaut, K. (1994). Twitch analysis as an approach to motor unit activation during electrical stimulation. *Can. J. Appl. Physiol.*, 19 (4): 451-461.

Holcomb, W.R. (1997). A practical guide to electrical therapy. *J. Sport Rehab.*, 6 (3): 272-282.

Hortobágyi, T.; Lambert, N.J.; Tracy, C.; Shinebarger, M. (1991). Voluntary and electromyostimulation forces in trained and untrained men. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24 (6): 702-707.

Karba R.; Stefansovska A.; Dordevic, S. (1990). Human skeletal muscle: phasic type of electrical stimulation increases its contractile speed. *Ann. Biomed. Eng.*, 18 (5): 479-490.

Lake, D.A. (1992). Neuromuscular electrical stimulation. An overview and its application in the treatment of sport injuries. *Sports Med.*, 13 (5): 320-336.

Maffiuletti, N.A.; Cometti G.; Amiridis I.G.; Martin A.; Pousson, M.; Chatard J.C. (2000). The effects of electrostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *Int. J. Sports Med.*, 21 (6): 437-443.

Martin, L.; Cometti, G.; Pousson, M.; Morlon, B. (1994). The influence of electrostimulation on the mechanical and morphological characteristics of the triceps surae. *J. Sports. Sci.*, 12 (4): 377-381.

Martínez, F. (2002). Historia de la electricidad. <<http://www.geocities.com/SiliconValley/Program/7735/historia.html>> [Consulta: 20/9/2002].

Mela, P.; Veltink, P.H.; Huijing, P.A. (2001). The influence of stimulation frequency and ankle joint angle on the moment exerted by human dorsiflexor muscles. *J. Electromyogr. Kines.*, 11 (1): 53-63.

Miller C.; Thépaut-Mathieu C. (1993). Strength training by electrostimulation conditions for Efficacy. *Int. J. Sports. Med.*, 14 (1): 20-28.

Nigg, B.M.; Herzog, W. (1994). *Biomechanics of the musculo-skeletal system.* Ed. John Wiley & Sons. New York.

Pichon F.; Chatard J.C.; Martin A.; Cometti G. (1995). Electrical stimulation and swimming performance. *Med. Sci. Sport Exerc.*, 27 (12): 1671-1676.

Pierre, D.; Taylor, A.W.; Lavoie, M.; Sellers, W.; Kots, Y.M. (1986). Effects of 2500 Hz sinusoidal current on fibre area and strength of the quadriceps femoris. *J. Sports Med.*, 26 (1): 60-66.

Plaja, J. (1999). *Guía práctica de electroterapia. Capítulo 9: Electrodiagnóstico.* Ed. CARIN-Electromedicarín, S.A. Barcelona.

Portmann, M.; Montpetit, R. (1991). Effects de l'entraînement par électrostimulation isométrique et dynamique sur la force de contraction musculaire. *Sci. Sports.*, 6 (3): 193-203.

Poumarat, G.; Squire, P.; Lawani, M. (1992). Effect of electrical stimulation superimposed with isokinetic contractions. *J. Sports Med. Phys. Fit.*, 32 (3): 227-233.

PSC (2002). "Historia de la electricidad" Programas Santa Clara, S.A. <<http://www.contenidos.com/fisica/electricidad/>> [Consulta: 20/9/2002]

Rach, P.J.; Burke, R.K. (1980). *Kinesiología y anatomía aplicada. La ciencia del movimiento humano. Capítulo 1: Historia de la kinesiología.* Ed. Ateneo, S.A. Barcelona.

Rich, N.C. (1992). Strength training via high frequency electrical stimulation. *J. Sports Med. Phys. Fit.*, 32 (1): 19-25.

Rozados, R. (2002). Historia del electromagnetismo. <<http://www.psicomag.com/historia/HISTORIA%20ANTIGUA.php>> [Consulta: 26/9/2002]

Sánchez, J.V.; Pablos, C. (2002). Los métodos de electroestimulación y de contraste como sistemas complementarios del entrenamiento de la fuerza en el taekwondo. *RΣ D*, 16 (2): 27-38.

Selkowitz D.M. (1985). Improvement in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation. *Phys. Ther.*, 65 (2): 186-196.

Strojnik, V. (1995). Muscle activation level during maximal voluntary effort. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 72 (1/2): 144-149.

Strojnik, V. (1998). The effects of superimposed electrical stimulation of the quadriceps muscles on performance in different motor tasks. *J. Sports Med. Phys. Fit.*, 38 (3): 194-200.

Van Gheluwe, C. ; Duchateau, J. (1997). Effects de la superposition de l'électrostimulation à l'activité volontaire au cours d'un renforcement musculaire en mode isocinétique. *Am. Kinésithér.*, 24 (6): 267-274.

Venable M.P.; Collins M.A.; O'Bryant H.S.; Denegar C.R.; Sedivec M.J.; Alon G. (1991). Effect of supplemental electrical stimulation on the development of strength, vertical jump performance and power. *J. Appl. Sport. Sci. Res.*, 5 (3): 139-143.

Taillerfer, F. (1996). Évolution de L'impulsion verticale au cours de différents types d'entraînement par électrostimulation. [Tesis doctoral]. Montréal : Département d'éducation physique, Ed. Université de Montréal.

Westing, S.H.; Seger, J.Y.; Thorstensson, A. (1990). Effects of electrical stimulation on eccentric and concentric torque-velocity relationships during knee extension in man. *Acta Physiol. Scand.*, 140 (1): 17-22.

Imprimir

RendimientoDeportivo.com
Revista Digital

Depósito Legal: LE-1832-01

ISSN: 1578-7354