

INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR EN LA FUERZA Y LA VELOCIDAD: SU APLICABILIDAD AL ÁMBITO DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO

J.A. Herrero Alonso, D. García López y J. García López
Universidad de León

La heterogeneidad en las características de las corrientes utilizadas y en los resultados obtenidos en la literatura hace difícil establecer y distinguir los patrones ideales del entrenamiento de la fuerza y la velocidad con estimulación eléctrica neuromuscular (EENM). Con el objetivo de aproximarnos a estos patrones se aplicaron dos protocolos de EENM, con diferentes frecuencias y tiempos de contracción y reposo a dos grupos de estudiantes de educación física, conformando también un grupo control. Tras 12 sesiones de EENM, se obtuvieron incrementos significativos en la fuerza máxima isométrica (FMI) y los perímetros del grupo muscular electroestimulado, sin embargo la fuerza explosiva no mejoró y la velocidad disminuyó significativamente. Las mejoras en FMI y PD-PI fueron más acusadas en el grupo que se aplicó una corriente con un menor tiempo de contracción y una mayor frecuencia. La valoración a medio plazo constató una tendencia a la mejora de la fuerza explosiva (CMJ y ABK) y la velocidad. En el grupo control no se encontraron modificaciones significativas entre ninguno de los tests. Dado que la EENM no mejoró la explosividad ni la velocidad, se formó un tercer grupo experimental que combinó este tipo de entrenamiento con pliometría. Tras 8 sesiones de entrenamiento cada uno de los métodos, se observó una mejora de todas las cualidades analizadas.



INTRODUCCIÓN

Todavía no existe una teoría consensuada sobre la posibilidad de que la estimulación eléctrica neuromuscular (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), e incluso algunos autores han reflejado 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, en cuanto a n° de sesiones, características de la corriente, muestra seleccionada, etc (Herrero y García, 2003).

Algunos autores comentan que cuando se pretende conseguir un aumento considerable de la fuerza muscular por medio de la EENM, el principal parámetro que se debe fijar es la frecuencia de corriente, la cual debe de ser superior a 50 Hz (Poumarat y cols., 1992; Child y cols., 1998; Coarasa y cols., 2000; Mela y cols., 2001), habiéndose constatado que según aumenta este parámetro las ganancias en la fuerza muscular son mayores (Child y cols., 1998). Sin embargo, no existe una relación directa entre la frecuencia y las ganancias, como ocurre por ejemplo en el estudio de Selkovitz (1985), quien constató uno de los mayores aumentos de fuerza isométrica de la literatura (44%) aplicando una corriente de 50 Hz, mientras que otros trabajos que administraron mayores frecuencias no obtuvieron incrementos tan acentuados con el mismo número de sesiones de entrenamiento (Delitto y cols., 1989; Martin y cols., 1994; Maffiuletti y cols., 2000).

Los estudios que han analizado la influencia de programas de entrenamiento con EENM han utilizado una amplia gama de métodos de valoración: *dinamómetros isocinéticos* para medir los picos de fuerza a diferentes ángulos en contracciones concéntricas, excéntricas e isométricas (Selkovitz, 1985; Sinacore y cols., 1990; Martin y cols., 1994; Pichon y cols., 1994; Matheson y cols., 1997; Colson y cols., 1998; Maffiuletti y cols., 2002); *plataformas de contacto* para analizar las alturas de diferentes modalidades de salto vertical (Cometti, 1998b; Maffiuletti y cols., 2002); *plataformas de fuerza* para analizar los picos de fuerza producidos durante los saltos verticales (Taillerfer, 1996); *fotogrametría 2D en sistema PAL (50Hz)* para analizar los tiempos de nado (Pichon y cols., 1994); *levantamiento de pesas* para analizar el valor de 1 repetición máxima (Delitto y cols., 1989; Venable y cols., 1991); etc.

Cuando la cualidad física evaluada ha sido la velocidad muscular, los métodos utilizados han sido la velocidad de nado, para lo que se analizó el tiempo invertido en dos tests de 25 m y 50 m (Pichon y cols., 1994), o la medición del tiempo de contracción de la musculatura cuando esta era activada

mediante contracciones inducidas por EENM (Duchateau y Hainaut, 1988; Karba y cols., 1990). Las conclusiones que se derivan de estos trabajos son dispares, encontrando quienes afirman que la EENM no produce mejoras en la velocidad (Duchateau y Hainaut, 1988), frente a otros que sí las encuentran (Karba y cols., 1990; Pichón y cols., 1995). Sin embargo, mientras que Pichon y cols. (1994) valoran un gesto deportivo que exige una intervención muscular continua, de baja inercia (modalidad de contracción casi isocinética), Duchateau y Hainaut (1988) y Karba y cols. (1990) valoran contracciones aisladas que no requieren de coordinación intermuscular. Ninguno de estos estudios utiliza tests que impliquen una modalidad de contracción más natural (isoinercial), así como una mayor coordinación (intermuscular), tal y como se observa en los gestos de carrera de velocidad (Izquierdo y Aguado, 1997).

En la literatura, entre los estudios que utilizan la EENM como método de entrenamiento, sólo un trabajo investigó los efectos de la EENM a medio plazo (Maffiuletti y cols., 2000), realizándose en el resto de los casos una valoración de las cualidades físicas al principio y justo al acabar la fase experimental. Por esta razón no se conoce si la EENM pudiera tener algún efecto residual en las cualidades analizadas, que suponga una posible adaptación tardía, como han descrito algunos autores para la mayoría de los métodos de entrenamiento (Cometti, 1998a; García-Manso y cols., 1998).

OBJETIVOS

1) Valorar los efectos, a corto y medio plazo, de un protocolo de entrenamiento con EENM en el cuádriceps, sobre diferentes manifestaciones de la fuerza (fuerza máxima isométrica, hipertrofia y fuerza explosiva) y la velocidad, en un grupo de estudiantes de educación física.

2) Contrastar los efectos de dos protocolos de EENM diferentes en dichas manifestaciones, con el fin último de analizar si este método de entrenamiento pudiera ser aplicado para la mejora del rendimiento físico en deportistas sanos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sujetos

La muestra estaba compuesta por 20 estudiantes varones de educación física: peso (72,7±0,9), talla (176,3±0,2cm) y edades comprendidas entre los 18 y los 20 años (1º y 2º curso de la FCAFD de la Universidad de León). Todos ellos fueron informados del objeto de este estudio dando su consentimiento por escrito para participar de forma voluntaria en el mismo. Ninguno de ellos realizó algún ejercicio de musculación ni actividad física reglada durante las 6 semanas que duró la fase experimental. 10 sujetos se distribuyeron aleatoriamente en

**INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR EN LA FUERZA Y LA VELOCIDAD:
SU APLICABILIDAD AL ÁMBITO DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO**

Herrero Alonso, J.A.
García López, D.
García López, J.
Tomo XVII • Nº 1

dos grupos: grupo "F" y grupo "X", cada uno de ellos compuesto por 5 personas, estribando la diferencia entre ambos en el tipo de corriente que se aplicaba a cada uno de ellos. Los otros 10 sujetos formaron el grupo control.

Materiales

- Dos plataformas de fuerza extensiométricas (Dinascan 600M[®]) con capacidad para medir fuerzas en los tres ejes, una precisión de 0,1 N y una frecuencia máxima de muestreo de 1000 Hz, conectadas a una unidad electrónica externa que introduce los datos a un ordenador donde son tratados con el software Dinascan-v8.0.

- Una plataforma de contacto (Ergo Jump Bosco/System[®]), que consta de un micro ordenador (Psion Organiser II[®]) y una plataforma mecánica, con una precisión de 1000Hz para el cronometraje del tiempo de vuelo.

- Un equipo de 2 pares de células fotoeléctricas AFR Systems[®] (interconectadas a un contador de tiempo Seiko System Stop Watch S129, con una precisión de 100Hz).

- Una báscula digital Tefal Sensitive Computer[®], con un rango de medición de 0,1-150 Kg y una precisión de 0,100 Kg.

- Cuatro estimuladores Compex Sport-2[®], con cuatro canales, una intensidad máxima de 120 mA y una precisión de 1 mA.

- Un estimulador Compex Sport-P[®] con software de programación en CD-ROM, interfaz para PC, adaptador para el interfaz, cuatro canales, una intensidad máxima de 120 mA y una precisión de 1 mA.

- Un goniómetro de dos ramas de acero inoxidable Therapeutic Instruments[®] con un rango de 180° y una precisión de 1°.

- Una Cinta métrica inextensible Holtain[®] con una precisión de 1 mm.

- Un tallímetro Detecto[®], modelo D52, U.S.A.; con un rango de medición entre 60 y 200 cm, y una precisión de 0,5 cm.

- Dos soportes de barra olímpica Salter[®] regulables en altura cada 5cm.

Métodos

Los dos protocolos de EENM que fueron utilizados en el presente estudio se muestran en la tabla 1. Las principales diferencias entre ambos radican en las distintas frecuencias de estimulación utilizadas, siendo este parámetro mucho mayor en el protocolo X que en el F, mientras que el pulso de la corriente fue similar, empleando una onda cuadrangular bifásica simétrica de 400 ms. Pese a que las contracciones en el protocolo X duraban menos, el tiempo de contracción total (tiempo de trabajo efectivo) de ambos protocolos fue prácticamente idéntico.

Todos los estudiantes se vieron sometidos a 12 sesiones de EENM, a razón de 3 sesiones por semana (Delitto y cols., 1989; Sinacore y cols., 1990; Martin y cols., 1994; Maffiuletti y cols., 2000). La intensidad de estimulación fue siempre la máxima tolerable por el sujeto (Selkovitz y cols., 1985; Delitto y cols., 1989; Portmann y Montpetit, 1991; Miller y Thépaut-Mathieu, 1993; Koutedakis y cols., 1995; Taillefer, 1996; Coarasa y cols., 2000), existiendo un tiempo de calentamiento con EENM de baja frecuencia de 5 minutos en cada sesión. Se utilizaron dos tipos de electrodos adhesivos: dos electrodos de 10x5 cm que se situaban sobre cada cuádriceps, unos 10 cm por debajo de la espina iliaca anterosuperior (Koutedakis y cols., 1995); y cuatro electrodos de 5x5 cm, que se situaban en la parte más prominente de cada vasto interno y externo cuando estos se encontraban en tensión (Martin y cols., 1994). La electroestimulación se realizó siempre de modo isométrico manteniendo la rodilla en un ángulo de 120° durante cada sesión, considerando 180° la extensión completa de la misma. Se utilizó este ángulo debido a que con el se obtuvieron los mejores resultados en la bibliografía consultada (Selkovitz, 1985; Vanderthommen y cols., 1999; Maffiuletti y cols., 2000). Durante cada sesión se anotaron las intensidades toleradas por todos los sujetos para cada una de las cuatro vías del electroestimulador Compex[®].

Los estudiantes fueron evaluados mediante una batería de tests en 3 momentos distintos, asegurándose que no habían realizado ningún tipo de ejercicio físico durante al menos 48 h antes de la valoración: 1) al comenzar las sesiones de EENM; 2) al acabar dichas sesiones (4ª semana); 3) dos semanas después del programa de EENM (6ª semana). La batería de tests se aplicó en el siguiente orden:

1. *Medición de perímetros del muslo derecho (PD) e izquierdo (PI)*: Se tomaban a una distancia fija del borde superior de la rótula para cada sujeto, estando éste de pie con la pierna completamente extendida, y apoyando el peso corporal sobre la pierna que no se estaba midiendo. La cinta debía de quedar completamente perpendicular al segmento del muslo, realizándose la medición tres veces y tomando como valor a analizar la media aritmética de las tres mediciones.

2. *Medición de la velocidad en 20m*: Los sujetos se colocaban en bipedestación un metro antes de la línea de salida para evitar errores de registro. En la misma línea de salida se instaló el primer par de células fotoeléctricas, y a 20 m de la salida el segundo par de células fotoeléctricas, registrándose el tiempo de paso. Se llevaron a cabo 2 intentos, anotando el mejor de ambos y estando la salida estandarizada.

3. *Tests de salto vertical* (Vélez, 1992; Cometti, 1998b): SJ y CMJ del Test de Bosco sobre plataforma de contacto y

Protocolo	Fr(Hz)	DC(Hz)	DR(s)	NR	TC _{TOTAL} (s)	Duración Programa
Grupo F	75	4	19	40	160	15'20"
Grupo X	120	3	30	53	159	29'09"

Tabla 1. Características de los programas de EENM. Fr: frecuencia de la corriente; DC: duración de la contracción; DR: duración del reposo; NR: número de repeticiones; TCTOTAL: Tiempo de contracción total.



Herrero Alonso, J.A.
García López, D.
García López, J.
Tomo XVII • Nº 1

**INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR EN LA FUERZA Y LA VELOCIDAD:
SU APLICABILIDAD AL ÁMBITO DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO**

salto con contramovimiento y brazos libres (ABK). Todos los saltos verticales fueron realizados 3 veces en el orden inverso al que se exponen, de más natural a menos, tomando como valor a analizar la media de los tres saltos.

4. *Test de Fuerza Máxima Isométrica (FMI)*: Este test se realizó sobre dos plataformas de fuerza (un pie en cada una de ellas) y con un soporte de barra olímpica fijo y anclado en el suelo. La altura de la barra se reguló libremente para cada sujeto dependiendo de la comodidad de la postura, pero manteniendo la altura dentro de la misma sesión y en las diferentes sesiones de tests. En cada una de las series de tests se realizaron dos intentos de una duración de 6 s cada uno, siendo almacenados para su posterior tratamiento con una frecuencia

de muestreo de 100 Hz. Se tomó como intento válido el mayor de los dos ensayos.

Tratamiento gráfico y estadístico

Se utilizó la Hoja de Cálculo Excel-v7.0 para el registro de los datos y su tratamiento gráfico, y el programa SPSS-v10.0 para Windows, para el tratamiento estadístico. Los resultados aparecen como valores medios y error estándar de la media. Para el estudio de las diferencias entre los valores de las 3 sesiones de tests se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras dependientes. Para el análisis de las diferencias entre el GE y el GC, y entre los grupos E y F se

VARIABLE		TEST 1	TEST 2	TEST 3	Dif. T2-T1	Dif T3-T2	Dif T3-T1
PD (cm)	GE	52,9±0,8	54,5±0,9	54,0±0,1	1,6**(3,0%)	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
	GC	47,9±1,8	47,6±1,8	47,8±1,7	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
PI (cm)	GE	52,9±0,9	54,6±0,9	53,6±0,6	1,7**(3,2%)	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
	GC	47,8±2,0	47,5±1,9	47,9±1,8	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Vel. (s)	GE	2,95±0,03	3,02±0,04	3,02±0,04	0,07*(-2,4%)	<i>n.s.</i>	0,07* (-1,7%)
	GC	3,03±0,04	3,05±0,05	3,03±0,04	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
SJ (cm)	GE	33,8±1,2	34,5±1,1	35,1±1,1	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	1,3* (3,8%)
	GC	31,1±2,5	31,4±2,3	30,5±2,1	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
CMJ (cm)	GE	37,5±1,3	36,8±1,3	37,4±1,2	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
	GC	34,7±2,3	34,6±2,1	33,4±2,0	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
ABK (cm)	GE	44,4±1,5	43,6±1,3	45,1±1,5	<i>n.s.</i>	1,5*(3,4%)	<i>n.s.</i>
	GC	42,5±2,8	42,1±2,6	41,4±2,3	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
FMI (N)	GE	3388,4±157,2	3633,9±137,7	3871,8±117,1	245,5*(7,3%)	237,9*(6,5%)	483,4* (14,3%)
	GC	2498,5±173,8	2567,1±157,5	2522,5±162,3	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

Tabla 2. Resultados de todas las variables evaluadas en el grupo experimental y el grupo control. PD = Perímetro muslo derecho; PI = Perímetro muslo izquierdo; Vel = velocidad; SJ = Squat jump; CMJ = Countermovement jump; ABK = Abalakov; FMI = Fuerza máxima isométrica; GE = Grupo experimental; GC = Grupo control. Niveles de significación: * = p<0,05; **=p<0,01; ***= p<0,001.

INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR EN LA FUERZA Y LA VELOCIDAD: SU APLICABILIDAD AL ÁMBITO DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO

Herrero Alonso, J.A.
García López, D.
García López, J.
Tomo XVII • N° 1

utilizó la prueba no paramétrica para muestras independientes U de Mann-Whitney.

RESULTADOS

En la tabla 2 se muestran los resultados del grupo experimental (GE) y grupo control (GC) en las 3 sesiones de tests. En la tabla 3 se exponen los resultados del análisis diferencial por grupos (F y X). Sólo se expresan los porcentajes de variación cuando la diferencia entre los tests analizados fue significativa.

En el GE (tabla 1) y en la valoración a corto plazo, se observan incrementos significativos en los perímetros de ambos muslos (PD y PI, $p < 0,01$) y en la FMI ($p < 0,05$); el SJ aumenta ligeramente mientras que el CMJ y el ABK muestran una tendencia a disminuir, igual que la velocidad, que lo hizo de forma significativa ($p < 0,05$). En la valoración a medio plazo de este mismo grupo, se refleja un descenso de los perímetros, sin llegar a ser estadísticamente significativo, mientras que la FMI sigue aumentando ($p < 0,01$) y los saltos verticales y la velocidad muestran una ligera recuperación. En el GC no se observan diferencias significativas entre ninguno de los 3 tests.

En el análisis diferencial por grupos (X y F) se refleja que los dos protocolos de EENM obtuvieron un aumento de los perímetros de ambos muslos (figuras 1 y 2) tras las sesiones de entrenamiento, siendo este aumento significativo para el grupo X ($p < 0,05$). En ambos grupos se observa una tendencia a la disminución de los perímetros del muslo una vez que cesa el entrenamiento con EENM.

Tanto el grupo F como el X obtuvieron incrementos de la FMI tras 4 y 6 semanas (figura 3); sin embargo estos incrementos sólo son estadísticamente significativos para el grupo X ($p < 0,05$). En cuanto a la fuerza explosiva y la velocidad, se observó, que indistintamente del protocolo de EENM aplicado, estas variables no mejoran o incluso empeoran (velocidad).

Por último, la figura 4 muestra las intensidades medias toleradas por cada grupo durante las sesiones de EENM. Progresivamente se observa una mayor tolerancia a la intensidad eléctrica, constatándose un incremento medio de 33,8 mA entre la primera y la última sesión, siendo este incremento de 26 mA para el grupo F y de 41,6 mA en el grupo X ($p < 0,05$). Desde la quinta sesión hasta la última los valores de intensidad tolerada por cada grupo son diferentes, siempre a favor del grupo X ($p < 0,05$).

Antes de proceder a la discusión de los resultados obtenidos, nos preguntamos por qué la EENM no mejoró la fuerza explosiva ni la velocidad, la cual empeoró significativamente. Han sido varios los autores que han intentado dar respuesta a este interrogante, sin embargo, en la literatura no está claro si la EENM por sí sola mejora la fuerza explosiva o la velocidad en acciones intermusculares (Duchateau y Hainaut, 1988; Karba y cols., 1990; Venable y cols., 1991; Pichón y cols., 1995; Taillefer, 1996; Strojnik, 1998; Maffiuletti y cols., 2000; Sánchez y Pablos, 2002).

Se ha descrito que la EENM podría provocar una pérdida de elasticidad muscular, por lo que algunos autores recomien-

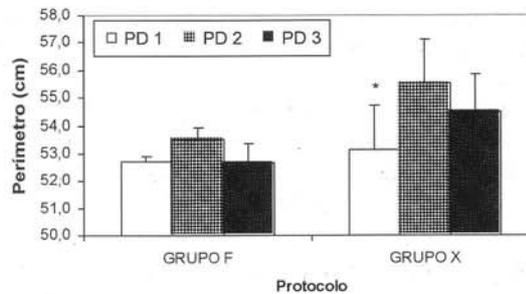


Figura 1. Perímetros de la pierna derecha en los 3 tests en los dos grupos de EENM. Niveles de significación: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$.

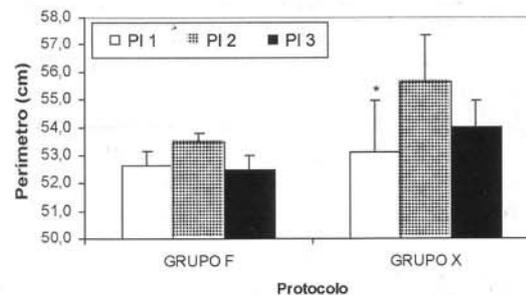


Figura 2. Perímetros de la pierna derecha en los 3 tests en los dos grupos de EENM. Niveles de significación: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$.

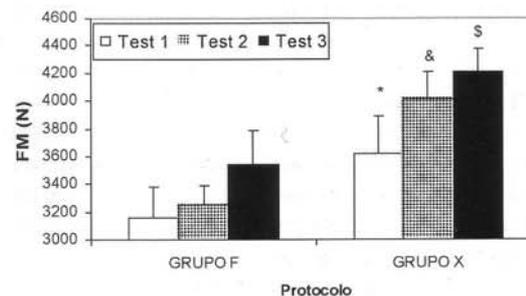


Figura 3. Fuerza máxima isométrica (FMI) en los 3 tests en los dos grupos de EENM. Niveles de significación: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$.

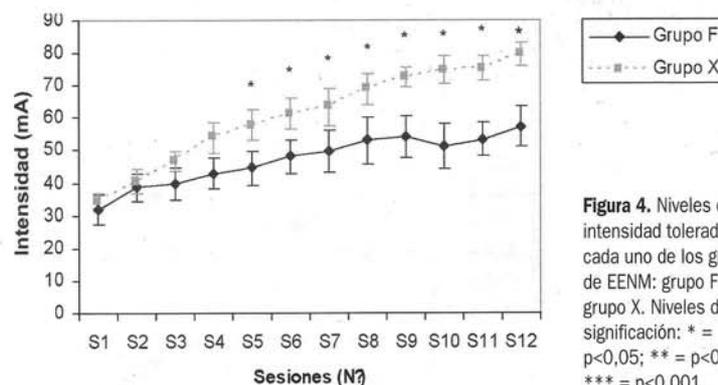


Figura 4. Niveles de intensidad tolerados por cada uno de los grupos de EENM: grupo F y grupo X. Niveles de significación: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$.



Herrero Alonso, J.A.
García López, D.
García López, J.
Tomo XVII • N° 1

**INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR EN LA FUERZA Y LA VELOCIDAD:
SU APLICABILIDAD AL ÁMBITO DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO**

VARIABLE	TEST 1	TEST 2	TEST 3	Dif. T2-T1	Dif T3-T2	Dif T3-T1
PD (cm)	45,7±1,0	46,8±1,1	46,5±1,2	1,1*(2,4%)	<i>n.s.</i>	0,9*
PI (cm)	46,1±0,9	47,1±0,9	46,6±0,9	1,0*(2,2%)	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Velocidad 20m (s)	2,99±0,05	2,95±0,05	2,94±0,06	-0,04*(1,7%)	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
SJ (cm)	34,7±2,7	37,3±2,8	34,9±2,1	2,6*(7,5%)	-2,3*(6,1%)	<i>n.s.</i>
CMJ (cm)	37,1±2,9	39,6±2,8	38,3±2,7	2,5*(6,7%)	-1,3*(3,3%)	<i>n.s.</i>
ABK (cm)	45,2±3,3	46,3±2,8	45,2±2,9	<i>n.s.</i>	-1,1*(2,4%)	<i>n.s.</i>
FMI (N)	3546,1±249,69	3898,6±263	3411,5±177,98	352,46*(9,9%)	-487*(12,5%)	<i>n.s.</i>

Tabla 3. Resultados de todas las variables evaluadas en los sujetos que se sometieron a un entrenamiento de EENM y pliometría. Niveles de significación: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$ (para la consulta de abreviaturas, véase la Tabla 2).

dan combinar los programas de EENM con trabajo de pliometría, y de esta forma transferir las ganancias en fuerza máxima obtenidas con EENM (Cometti, 1998b). No tenemos conocimiento de ningún estudio que haya compaginado ambos métodos de entrenamiento, por lo que se formó un grupo experimental más, al que denominamos EP (electroestimulación y pliometría), integrado por 7 estudiantes de la misma facultad que el resto de la muestra (81,1±1,6 kg; 178,3±0,2 cm; 21,5±0,7 años). El objetivo con el que se formó este grupo fue analizar y comprobar la eficacia del trabajo pliométrico como complemento del entrenamiento con EENM, sobre la fuerza explosiva y velocidad. El grupo EP se sometió a cuatro semanas de entrenamiento en las que se combinaron 8 sesiones de EENM con 8 sesiones de pliometría (95 apoyos de media por sesión), realizándose la pliometría el día siguiente a la EENM. El protocolo de EENM aplicado fue el mismo que se suministró al grupo X, ya que resultó ser el más efectivo. Los tests que

se pasaron a este grupo fueron los mismos que a los dos grupos anteriores, realizándose de nuevo tres sesiones de valoración. Los resultados obtenidos en este tercer grupo se presentan en la tabla 3. En la figura 5 se observa las intensidades de corriente toleradas durante las sesiones de EENM.

DISCUSIÓN

El aumento de los perímetros izquierdo (1,7 cm, 3,2%) y derecho (1,6 cm, 3%) en el GE (grupos X y F) es similar al obtenido por Cometti y Cottin (citado en Cometti, 1998a), de 2 cm en ambos muslos tras 9 sesiones de EENM, e inferior al reflejado por Kots (1971, citado en Cometti, 1998a), de un 11% tras 19 días. La mayor hipertrofia acontecida en el grupo X pudo deberse a haber tolerado mayores intensidades de electricidad durante las sesiones del programa de EENM. Se refleja que los mayores incrementos se obtienen con frecuencias de estimulación elevadas, coincidiendo estos resultados con los de Poumarat y cols. (1992), Child y cols. (1998) y Mela y cols. (2001), quienes describieron que a mayor frecuencia de corriente, la fuerza producida por la musculatura es mayor, desarrollando un mayor trabajo y produciendo una mayor hipertrofia. En el grupo EP se constata un incremento de los perímetros del muslo derecho (1,1 cm; 2,4%) e izquierdo (1,0 cm; 2,2%), aumentos inferiores a los reflejados en protocolos de entrenamiento en los que solamente se

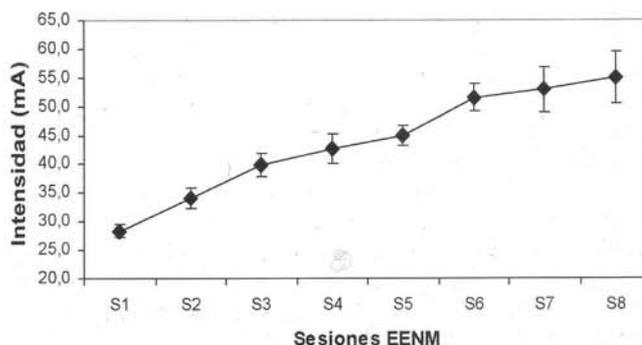


Figura 5. Niveles de intensidad tolerados por los sujetos del grupo de EENM y pliometría (EP).

INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR EN LA FUERZA Y LA VELOCIDAD: SU APLICABILIDAD AL ÁMBITO DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO

Herrero Alonso, J.A.
García López, D.
García López, J.
Tomo XVII • Nº 1

utilizó EENM (Cabric y cols. 1988; Cometti y Cottin, citado en Cometti, 1998a). También son inferiores estos incrementos al compararlos con los obtenidos por el GE (3% y 3,2% respectivamente), pudiendo deberse a que el número de sesiones de EENM fue menor (8 con respecto a 12). No obstante estos incrementos son significativos probablemente porque la corriente utilizada era la misma que se aplicó al grupo X, es decir, la corriente que produjo una mayor hipertrofia (4,5% en PD y 4,7% en PI). Este aumento de los perímetros del músculo se puede deber casi por completo a las sesiones de EENM, ya que Diallo y cols. (2001) tras 30 sesiones de entrenamiento pliométrico no observaron ninguna variación significativa de la masa muscular de los muslos como consecuencia del trabajo realizado, probablemente porque el entrenamiento pliométrico actúa básicamente sobre los factores nerviosos (Wilson y cols., 1993). Futuros estudios que pretendan evaluar los efectos de la EENM en la hipertrofia muscular debieran utilizar una metodología más sensible y precisa como podría ser el área de sección muscular corregida con los pliegues cutáneos (López-Calbet y cols., 1993). El hecho de no haber utilizado esta técnica en el presente trabajo se justifica por la imposibilidad de comparar las modificaciones en el área de sección muscular corregida en estudiantes de educación física con la de otros estudios. No obstante, podemos afirmar que la realización de tres mediciones exactamente en la misma zona y por el mismo evaluador ofrece cierta consistencia a esta prueba. Además, en ambos grupos experimentales (GE y EP) esta valoración se mostró sensible a los efectos de los programas de entrenamiento realizado.

Se han constatado incrementos en la FMI, independientemente del grupo experimental analizado (F, X y EP), lo que coincide con los resultados de otros estudios con EENM. Sin embargo, dichos incrementos son inferiores a los constatados por Miller y Thépaut-Mathieu (1993), quienes refieren aumentos del 15,6% en la fuerza isométrica del bíceps braquial tras 15 sesiones de EENM, e inferiores a los obtenidos por Pichon y cols. (1994), quienes reflejaron incrementos de un 21% en la fuerza isométrica del dorsal ancho tras 9 sesiones de EENM. No existen grandes diferencias entre el protocolo aplicado por Miller y Thépaut-Mathieu (1993) con respecto al nuestro, salvo que tuvo 3 sesiones más de EENM, sin embargo el tiempo total de contracción de cada sesión fue de 125 s mientras que en el grupo X fue de 159 s. Una suposición que podría dar respuesta a las diferencias en las ganancias obtenidas en ambos estudios puede ser que estos autores estimularon el bíceps braquial, músculo no requerido para las actividades cotidianas en la misma medida que el cuádriceps. Esta hipótesis se ve apoyada por los resultados de Colson y cols. (2000), quienes estimularon el bíceps braquial durante 21 sesiones obteniéndose unos incrementos en la FMI de 33% y 47,5% a 120° y 60° de flexión del codo respectivamente. Las mayores ganancias de Pichon y cols. (1995) pueden deberse al hecho de que los sujetos siguiesen entrenándose durante la fase experimental, ya que el tiempo total de contracción de su protocolo fue prácticamente idéntico al nuestro (162 s), pese a que realizó 3 sesiones menos de EENM. Uno de los autores que registró mayores ganancias mediante la aplicación de la

EENM fue Selkovitz (1985), quien reflejó aumentos de la FMI de un 44% tras 12 sesiones de EENM. En este trabajo se resalta la habilidad de los sujetos para soportar altas intensidades de corriente (superando siempre los 50 mA en cada sesión y llegando hasta 90 mA) mantenidas durante un tiempo prolongado (aproximadamente 10 s), lo que pudiera haber provocado una mayor adaptación. Sin embargo, también se constata que el grupo control aumentó un 18% la FMI ($p < 0,05$), por lo que las mejoras del 44% podían relativizarse a unas mejoras del 26% (44%-18%). Una vez más se pone de relieve la dificultad de comparar los resultados producidos por la EENM en la literatura, debido a la falta de concordancia entre los parámetros de la corriente y las características de la carga (Portmann y Montpetit, 1991; Hainaut y Duchateau, 1992; Lake, 1992; Holcomb, 1997).

Los mayores incrementos de FMI descritos en el grupo X con respecto al grupo F pueden deberse también a la mayor intensidad tolerada durante las sesiones de EENM, lo que pudo suponer un mayor reclutamiento de unidades motrices en cada sesión. Además, el protocolo X, con una frecuencia de estimulación de 120 Hz, pudiera haber provocado un mayor reclutamiento de fibras musculares rápidas y una mayor tetanización; ejerciendo estos sujetos más fuerza durante todas las sesiones con respecto al grupo F (75 Hz) (Sinacore y cols., 1990). Al respecto, y para poder ratificar definitivamente estas hipótesis, futuros estudios deben monitorizar también la fuerza ejercida durante cada una de las contracciones con EENM.

Comparando los dos grupos que se administraron la misma corriente, X y EP, se refleja un menor incremento de la FMI en el grupo EP (9,9% con respecto al 10,9% del grupo X), que puede deberse al menor número de sesiones de EENM. En otros estudios donde se combinó la EENM con entrenamiento voluntario, y por lo tanto, con un entrenamiento de transferencia, la FMI aumentó tras 12 sesiones (31,2%) (Maffiuletti y cols., 2000) y tras 9 sesiones (21%) (Pichon y cols., 1995). La característica común de estos trabajos es que los sujetos eran deportistas que suplementaban su entrenamiento diario con el entrenamiento de EENM, siendo el tiempo total de contracción en cada sesión de 144 s y 162 s, respectivamente, muy similar al utilizado en este estudio (159 s), y resultando nuestro volumen total de entrenamiento voluntario e inducido menor que en los dos estudios mencionados, repercutiendo en que sus mejoras fueran más acusadas. Existe constancia de que el entrenamiento pliométrico tiene muy poca capacidad para desarrollar la FMI (Ebben, 2001), lo que ha sido demostrado por Wilson y cols. (1993) tras un entrenamiento pliométrico de 20 sesiones, no constatando ningún incremento en la FMI en un test similar al presentado aquí. Por este motivo, los aumentos en la FMI del presente trabajo pueden deberse básicamente a los efectos de la EENM, y no al entrenamiento pliométrico.

En los grupos experimentales que solamente entrenaron con EENM (F y X) se constata una disminución de la altura de los saltos CMJ y ABK tras las sesiones de EENM, mientras que el SJ tiende a aumentar, pudiendo deberse esta tendencia a la escasa intervención de la elasticidad muscular en esta modalidad de salto (Vélez, 1992). Se observa que, conforme



**INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR EN LA FUERZA Y LA VELOCIDAD:
SU APLICABILIDAD AL ÁMBITO DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO**

los protocolos de salto utilizados conllevan una mayor implicación del componente elástico y/o reflejo, la EENM tiende a disminuir el rendimiento (Vélez, 1992; Cometti, 1998b). En la literatura también se han descrito incrementos del salto vertical (14% en SJ) tras un programa de entrenamiento con EENM (Maffiuletti y cols., 2000), siendo estos incrementos tan elevados probablemente debido a la combinación de EENM y entrenamiento voluntario. Por el contrario, en el grupo EP se reflejan incrementos en todos los protocolos de salto tras la fase experimental, siendo significativos en el SJ (2,6 cm; 7,5%) y el CMJ (2,5cm; 6,7%), por lo que el entrenamiento pliométrico supuso un buen trabajado de transferencia del entrenamiento con EENM, incidiendo en los factores intermusculares y no tanto en los factores intramusculares de la fuerza (como lo hace la EENM). Estos incrementos son inferiores a los obtenidos con programas de entrenamiento pliométrico puro, como en el caso de Matavulj y cols. (2001), quienes constataron aumentos de 4,8 cm en el CMJ tras 18 sesiones de entrenamiento pliométrico, y en el caso de Wilson y cols. (1993), quienes tras 20 sesiones de entrenamiento pliométrico observaron incrementos en el CMJ del 10,3%, mientras que los aumentos que observaron en el SJ no fueron significativos. Estos autores justifican el aumento significativo en el CMJ y no en el SJ debido a que la pliometría mejora la habilidad para utilizar la elasticidad y los beneficios neurales del ciclo de estiramiento-acortamiento. Esta razón pudo ser la causante de los incrementos obtenidos en grupo EP en el CMJ. Sin embargo, también aumentó el SJ, como en el estudio de Maffiuletti y cols. (2001), pudiendo explicarse este aumento por el hecho de que este test está basado en la coordinación intramuscular, que es el factor de la fuerza que se trabaja mediante la EENM (Sánchez y Pablos, 2002).

Taillefer (1996) también encontró aumentos en el SJ (15,8%) y el CMJ (10,3%) mayores que los presentados aquí, posiblemente debido, en primer lugar, al elevado número de sesiones de EENM (30 sesiones), y en segundo lugar, a que paralelamente se electroestimuló el gemelo en régimen de contracción dinámica, y no isométrica (su forma más habitual). En este sentido, otros protocolos de EENM deben ser probados, en los que, además de registrar la fuerza realizada en cada contracción, el régimen de la misma no sea isométrico.

Maffiuletti y cols (2000) fueron los únicos que realizaron una valoración a medio plazo (4 semanas después de las sesiones de EENM), constatando un mantenimiento de las ganancias de SJ y un incremento del CMJ (17%), pudiendo deberse a que los sujetos siguieron entrenándose durante este periodo. En el GE se observa esta tendencia a aumentar el salto vertical dos semanas después de las sesiones de EENM, sin embargo, estas diferencias no son significativas porque los sujetos no realizaron ningún tipo de ejercicios o actividades alternativas. Así pues, en el grupo EP se constata una disminución significativa en la explosividad y de la FMI tras el cese del entrenamiento, pudiendo deberse a que los sujetos no realizaron ningún tipo de ejercicio físico entre los tests 2 y 3. Esto pone de manifiesto la importancia de controlar el nivel de actividad física de los sujetos tras finalizar la fase experimental, por la información adicional que aporta esta valoración a medio plazo.

Se puede observar, en el análisis de los grupos F y X, que indiferentemente del protocolo de EENM aplicado, la velocidad y la fuerza explosiva se ven perjudicadas tras el periodo de entrenamiento con EENM por sí sola. Contrariamente a lo que se podía suponer, el protocolo que tiene una mayor frecuencia (120 Hz) tampoco tuvo un efecto positivo sobre estas manifestaciones. En el grupo que compaginó EENM y entrenamiento voluntario (grupo EP) la velocidad mejoró significativamente (1,7%). La complementación con entrenamiento pliométrico parece ser la explicación de estos beneficios, ya que se le considera uno de los mejores métodos para desarrollar la velocidad (Ebben, 2001). Un ejemplo claro de ello es el trabajo de Diallo y cols. (2001), donde tras 30 sesiones de entrenamiento pliométrico se mejoró la velocidad en 20 m en un 2,8%, siendo estos aumentos algo superiores a los mostrados en el presente estudio, lo que puede deberse tanto al número de sesiones de entrenamiento como al hecho de haber utilizado solamente entrenamiento pliométrico.

Quizás, para que la corriente eléctrica suponga algún tipo de beneficio sobre estas acciones, las contracciones producidas con su aplicación debieran aproximarse más en su duración a las requeridas en estos gestos explosivos. La mayoría de los aparatos electroestimuladores, entre ellos los que hemos utilizado en este trabajo, no permiten aplicar corrientes con tiempos de contracción inferiores a 3 s, mientras que la fase excéntrica y concéntrica de la batida de un salto vertical tiene una duración aproximada de 0,5 s (Kibele, 1998), siendo todavía inferior la de un apoyo en la carrera de velocidad, con una duración aproximada entre 0,1 y 0,2 s (Mero y Komi, 1992). La razón por la cual no permiten este tipo de contracciones es de tipo preventivo, para que no se produzca una lesión, ya que con la EENM el músculo no se encuentra preactivado ni pre-tensado, mientras que en una contracción voluntaria la preactivación muscular se manifiestan antes de la realización de cualquier gesto (López-Calbet y cols., 1995; Feiereisen y cols., 1997). Resultaría imposible inducir, con los sistemas que se conocen en la actualidad, una corriente eléctrica que provocara una intensidad de contracción y con duración similar a las descritas para los dos gestos anteriores (carrera de velocidad y salto), por lo que también se debe avanzar en esta dirección, buscando un protocolo de EENM que reproduzca, en la mayor medida posible, las características de los gestos explosivos que posteriormente son evaluados.

No existe en la bibliografía ningún estudio que haya utilizado una manifestación de la velocidad de forma similar a la presentada aquí para evaluar la eficacia de programas de entrenamiento con EENM. Pichon y cols. (1994) valoraron la velocidad a través de los tiempos de nado tras 9 sesiones de EENM, observando disminuciones significativas de los mismos a los 25 y 50 m, por lo que, además de beneficiarse de un trabajo de transferencia, los regímenes de contracción muscular son más parecidos a una contracción isocinética que a una contracción isoercial, como la que se manifiesta en la carrera de velocidad. Este puede ser otro de los motivos por el cual, cuando se combinó la EENM con la pliometría (grupo EP) la velocidad mejoró significativamente. Otro motivo que explicaría que la EENM no produzca mejoras en los tiempos en 20 m (grupos X

**INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR EN LA FUERZA Y LA VELOCIDAD:
SU APLICABILIDAD AL ÁMBITO DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO**

Herrero Alonso, J.A.
García López, D.
García López, J.
Tomo XVII • Nº 1

y F) lo encontramos en aquellos autores que afirman que esta modalidad de entrenamiento disminuye de la elasticidad muscular, y que sólo trabaja la coordinación intramuscular, no la intermuscular (Cometti, 1998a, Sánchez y Pablos, 2002).

En contra del protocolo para valorar la velocidad que aquí se ha propuesto, debemos reconocer que es cierto que en el test de carrera de velocidad intervienen más grupos musculares que el cuádriceps, y además, el régimen de contracción de este último durante la carrera es diferente a la contracción isométrica que se induce mediante EENM. Una posible solución para valorar aisladamente los efectos de la EENM en el cuádriceps de los estudiantes sería la utilización de otros ergómetros más específicos, como los isocinéticos (MacDougall, 1995). Sin embargo, y como ha sido referido, son aparatos demasiado sofisticados para emplearlos en el ámbito del entrenamiento deportivo, poco aplicados y demasiado inespecíficos para la mayoría de las disciplinas deportivas (García, 2000). En tanto que el fin último del uso de la EENM es utilizarla en deportistas, no pensamos que un test para valorar una musculatura en una articulación aislada sea lo suficientemente sensible a las mejoras en el rendimiento físico de éstos, por lo que estamos más a favor de electroestimular otros músculos que contribuyan a la carrera, conjuntamente con el cuádriceps, que de analizar las mejoras en el rendimiento físico con un gesto inespecífico.

A tenor de los resultados obtenidos en todos los grupos experimentales analizados, podemos afirmar que la EENM por sí sola no mejora la fuerza explosiva ni la velocidad, ya que éstas sólo se vieron incrementadas cuando se combinó con el entrenamiento pliométrico. Sin embargo, hubiera sido interesante aislar los efectos de la EENM de los efectos del entrenamiento pliométrico, para lo que se podía haber utilizado un grupo control que sólo realizara las 8 sesiones de pliometría. No obstante, pensamos que estas sesiones por sí solas no hubieran tenido ningún beneficio en la explosividad y velocidad, porque todos los estudios consultados que obtuvieron mejoras con este tipo de entrenamiento, utilizaron muchas más sesiones y mayor número de apoyos por sesión (200 de media) (Poole y Maneval, 1987; Adams y cols., 1992; Wilson y cols., 1993; Fatouros y cols., 2000; Witzke y Show, 2000; Diallo y cols., 2001; Matavulj y cols., 2001). Para poder contrastar esta hipótesis de forma definitiva, en un futuro se deberían realizar trabajos con un grupo control que sólo llevara a cabo el entrenamiento pliométrico similar al realizado aquí (2 sesiones semanales durante 4 semanas con 95 apoyos de media por sesión).

Referente a la intensidad de corriente tolerada y, en consonancia con nuestros resultados, Selkowitz (1985) y Miller y Thépaut-Mathieu (1993) ya habían reflejado una progresiva mayor tolerancia a la intensidad de la corriente a medida que transcurrían las sesiones. Aunque existen en la literatura indicios de que unos sujetos pueden soportar mayor cantidad de corriente que otros debido a la resistencia ohmica de la piel y a la capacidad de impedancia (Lake, 1992), la homogeneidad del protocolo de electroestimulación (colocación de electrodos, horario del día, etc.) y la distribución aleatoria de los grupos X y F nos hace pensar que este factor no influyó. Por tanto, el hecho de que el grupo X tolerase mayores intensidades duran-

te las sesiones de EENM, pudo deberse a que el tiempo de contracción era menor (3 s para grupo X; 4 s para grupo F) y a que el tiempo de reposo entre cada contracción era mayor (30 s para grupo X; 19 s para grupo F). La razón por la cual el grupo EP toleró menores niveles de intensidad de corriente que el grupo X, que se aplicó la misma corriente, pudo deberse al menor número de sesiones de EENM por semana, por lo que la adaptación a la corriente sería ligeramente menor.

CONCLUSIONES

1. Al utilizar la EENM como método de entrenamiento de la fuerza en estudiantes de educación física, siempre que la intensidad de corriente administrada sea la máxima tolerada, se obtendrán mayores incrementos con protocolos de una mayor frecuencia de estimulación (120 Hz) y un menor tiempo de contracción (3 s).

2. La EENM en el cuádriceps, por sí sola, no es capaz de mejorar la fuerza explosiva ni la velocidad de carrera en estudiantes de educación física. Es necesario llevar a cabo posteriores estudios, en los que se generen nuevos protocolos de EENM o se combine con otros métodos de entrenamiento, para afirmar que resulta beneficiosa en el desarrollo de estas cualidades físicas.

3. Si se pretenden mejorar la fuerza explosiva y velocidad en estudiantes de educación física con el uso de la EENM, se recomienda combinarla con el entrenamiento pliométrico. Futuros estudios deben aislar las mejoras que son propias de cada método de entrenamiento.

4. Según los resultados obtenidos, la valoración a medio plazo de los efectos de la EENM sobre las manifestaciones de la fuerza e hipertrofia, puede ser un factor interesante de conocer y estudiar, siempre y cuando se lleve a cabo en personas que, tras el periodo de entrenamiento, mantengan un grado de actividad física controlado.

En resumen, la EENM aplicada a personas físicamente activas es capaz de mejorar la hipertrofia muscular y la fuerza máxima isométrica, aunque existen bastantes dudas sobre su utilidad para la mejora de otras cualidades como la fuerza explosiva y la velocidad. Por ello, se necesitan más estudios antes de ser aplicada a deportistas sanos en los que estas cualidades son fundamentales para su rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, K.; O'Shea, J. P.; O'Shea, K.L.; Climstein, M. The effect of six weeks of squat, plyometric and squat-plyometric training on power production. *J. Appl. Sport Sci. Research*. 6(1): 36-41. 1992
- Cabric, M.; Appell, H.J.; Resic, A. Fine structural changes in electrostimulated human skeletal muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57(1): 1-5. 1988
- Child, R.B.; Brown, S.J.; Day, S.H.; Saxton, J.M.; Donnelly, A.E. 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. 1998
- Coarasa, A.; Moros, T.; Marco, C.; Mantilla, C. *Archivos de Medicina*



INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR EN LA FUERZA Y LA VELOCIDAD:
SU APLICABILIDAD AL ÁMBITO DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO

- del Deporte*. 17(79): 405-412. 2000
- Colson, S.; Martin, A.; Cometti G.; Van Hoecke J. Re-examination of training by electrostimulation in human elbow musculoskeletal system. *Int. J. Sports Med.* 21(4): 281-288. 2000
- Cometti, G. Los Métodos Modernos de Musculación. Capítulo 6: La electroestimulación. Ed. Paidotribo. Barcelona. 1998a
- Cometti, G. La Pliometría. Capítulo X: Pliometría y electroestimulación. Ed. Inde. Barcelona. 1998b
- Delitto A.; Brown M.; Strube M.J.; Rose S.J.; And Lehman R.C. Electrical stimulation of quadriceps femoris in an elite weight lifter: a single subject experiment. *Int. J. Sports Med.* 10(3): 187-191. 1989
- Diallo, O.; Dore, E.; Duche, P.; Van Praagh, E. Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 41(3): 342-348. 2001
- Duchateau, J.; Hainaut, K. (1988) Training effects of sub-maximal electrostimulation in a human muscle. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20(1): 99-104
- Dooley, P.; McDonagh, J.N.; White, M.J. Training using involuntary electrically evoked contractions does not increase voluntary strength. *J. Physiol.* 346: 61. 1983
- Ebben, W.P. Maximum power training and plyometrics for cross-country running. *Strength Cond. J.* 23(5): 47-50. 2001
- Fatouros, I.G.; Jamurtas, A.Z.; Leontsini, D.; Taxildaris, K.; Aggelousis, N.; Kostopoulos, N.; Buckenmeyer, P. Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *J. Strength Cond. Res.* 14(4): 470-476. 2000
- Feiereisen, P.; Duchateau, J.; Hainaut, K. Motor unit recruitment order during voluntary and electrically induced contractions in the tibialis anterior. *Exp. Brain Res.* 114(1): 117-123. 1997
- García, J. Aplicaciones tecnológicas para la valoración biomecánica de la cinemática del salto vertical y la evaluación funcional de un umbral anaeróbico interválico en el fútbol. [Tesis doctoral]. León: Departamento de Fisiología, Ed. Universidad de León. 2000
- García-Manso, J.M.; Navarro, M.; Ruiz, J.A., Martín, R. Bases teóricas del entrenamiento deportivo: Principios y aplicaciones. Capítulo 1: Definición del concepto de entrenamiento. Ed. Gymnos. Madrid. 1998
- Hainaut, K.; Duchateau, J. Neuromuscular Electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med.* 14(2): 100-113. 1992
- Herrero, J.A.; García-López, J. Análisis y valoración de los efectos del entrenamiento con estimulación eléctrica neuromuscular. *Rendimiento Deportivo.com*, Nº3. Disponible en <<http://www.RendimientoDeportivo.com/N003/Artic013.htm>> [Consulta 28/1/03]
- Holcomb, W.R. A practical guide to electrical therapy. *J. Sport Rehab.* 6(3): 272-282. 1997
- Izquierdo, M.; Aguado, X. Estimación de la producción explosiva de fuerza: consideraciones y tópicos. *Archivos de Medicina del Deporte*. 14 (62): 493-503. 1997
- Karba R.; Stefansovska A.; Dordevic, S. Human skeletal muscle: phasic type of electrical stimulation increases its contractile speed. *Ann. Biomed. Eng.* 18(5): 479-490. 1990
- Kibele, A. Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: a methodological study. *J. Appl. Biomech.* 14(1): 105-117. 1998
- Koutedakis Y.; Frischknecht R.; Vrbová G.; Craig Sharp N.C.; Bugdett R. Maximal voluntary quadriceps strength patterns in Olympic overtrained athletes. *Med. Sci. Sport Exerc.* 27(4): 566-572. 1995
- Lake, D.A. Neuromuscular electrical stimulation. An overview and its application in the treatment of sport injuries. *Sports Med.* 13(5): 320-336. 1992
- López-Calbet, J.A.; Ortega, F.; Dorado, C.; Armengol, O.; Sarmiento, L. Valoración antropométrica en ciclistas de alto nivel. Estudio de una pretemporada. *Archivos de Medicina del Deporte*. 10(38): 127-132. 1993
- López-Calbet, J.A.; Arteaga, R.; Cavaren, J.; Dorado, C. Comportamiento mecánico del músculo durante el ciclo estiramiento-contracción (II). Factores neuromusculares. *Archivos de Medicina del Deporte*. 12(47): 219-223. 1995
- MacDougall, J.D.; Wenger, H.A.; Green, A.J. Physiological testing of the high-performance athlete. Ed. Human Kinetics. Champaign. 1991
- Maffiuletti, N.A.; Cometti G.; Amiridis I.G.; Martin A.; Pousson, M.; Chatard J.C. The effects of electrostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *Int. J. Sports Med.* 21(6): 437-443. 2000
- Matavulj, D.; Kukolj, M.; Ugakovic, D.; Tihanyi, J.; Jaric, S. Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 41(2): 159-164. 2001
- Matheson, G.O.M.; Dunlop, R.J.; McKenzie, D.C.; Smith, C.F.; Allen, P.S. Force output and energy metabolism during neuromuscular electrical stimulation: a ³¹P-NMR Study. *Scand. J. Rehab. Med.* 29: 175-180. 1997
- Martin, L.; Cometti, G.; Pousson, M.; Morlon, B. The influence of electrostimulation on the mechanical and morphological characteristics of the triceps surae. *J. Sports. Sci.* 12(4): 377-381. 1994
- Mela, P.; Veltink, P.H.; Huijting, P.A. The influence of stimulation frequency on ankle joint angle on the moment exerted by human dorsiflexor muscles. *J. Electromyogr. Kines.* 11(1): 53-63. 2001
- Mero, A.; Comí, P.V. Biomechanics of sprint running. *Sports Med.* 13(6): 376-392. 1992
- Miller C.; Thépaut-Mathieu C. Strength training by electrostimulation conditions for Efficacy. *Int. J. Sports Med.* 14(1): 20-28. 1993
- Pichon F.; Chatard J.C.; Martin A.; Cometti G. Electrical stimulation and swimming performance. *Med. Sci. Sport Exerc.* 27(12): 1671-1676. 1995
- Pierre, D.; Taylor, A.W.; Lavoie, M.; Sellers, W.; Kots, Y.M. Effects of 2500 Hz sinusoidal current on fibre area and strength of the quadriceps femoris. *J. Sports Med.* 26(1): 60-66. 1986
- Poole, W.H.; Maneval, M.W. The effects of two ten-week depth jumping routines on vertical jump performance as it relates to leg power. *J. Swimm. Res.* 3(1): 11-14. 1987
- Portmann, M.; Montpetit, R. Effects de l'entraînement par électrostimulation isométrique et dynamique sur la force de contraction musculaire. *Sci. Sports.* 6(3): 193-203. 1991
- Poumarat, G.; Squire, P.; Lawani, M. Effect of electrical stimulation superimposed with isokinetic contractions. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 32(3): 227-233. 1992
- Rich, N.C. Strength training via high frequency electrical stimulation. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 32(1): 19-25. 1992
- Sánchez, J.V.; Pablos, C. Los métodos de electroestimulación y de contraste como sistemas complementarios del entrenamiento de la fuerza en el taekwondo. *RSD.* 16(2): 27-38. 2002
- Selkowitz D.M. Improvement in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation. *Phys. Ther.* 65(2): 186-196. 1985
- Sinacore D.R.; Delitto A.; King D.S.; Rose S.J. Type II fiber activation with electrical stimulation: a preliminary report. *Phys. Ther.* 70(7): 416-422. 1990
- Van Gheluwe, C.; Duchateau, J. 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. 1997
- Venable M.P.; Collins M.A.; O'Bryen H.S.; Denegar C.R.; Sedivec M.J.; Alon G. Effect of supplemental electrical stimulation on the development of strength, vertical jump performance and power. *J. Appl. Sport. Sci. Res.* 5(3): 139-143. 1991
- Taillerfer, F. 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. 1996
- Vanderthommen M.; Gilles R.; Carlier P.; Ciancabilla F.; Zahlan O.; Sluse F.; Crielaard J.M. Human Muscle energetics during voluntary and electrically induced isometric contractions as measured by ³¹P-NMR spectroscopy. *Int. J. Sports Med.* 20(5): 279-283. 1999
- Vélez, M. El entrenamiento de fuerza para la mejora del salto. *Apunts* 29(112): 139-156. 1992
- Wilson, G.J.; Newton, R.U.; Murphy, A.J.; Humpries, B.J. The optimal training for the development of dynamic athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25(11): 1279-1286. 1993
- Witzke, K.A.; Snow, C.M. Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(6): 1051-1057. 2000