

## APLICACIONES DE LA ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA NEUROMUSCULAR

*Alejandro Ferrer San Juan.*

*Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.*

*Dra. Margarita Pérez Ruiz.*

*Profesora de Fisiología del Ejercicio. Universidad Europea de Madrid.*

### RESUMEN

El concepto de electroestimulación no es nuevo, y los fisioterapeutas lo han empleado durante años en aplicaciones clínicas (rehabilitación muscular, alivio de los espasmos musculares, reducción de la hinchazón, control del dolor). La electroestimulación suele comprender la estimulación de los músculos con impulsos eléctricos de baja frecuencia, gracias a unas almohadillas humedecidas con electrodos pegados firmemente a la piel. La eficacia, comodidad y grado de excitación, dependen de factores como el trazado del pulso, su frecuencia, duración, intensidad y la imagen de su modulación. Siendo aun controvertido su posible valor en el entrenamiento deportivo.

Se efectúa en este artículo una revisión bibliográfica del tema.

### PALABRAS CLAVE

Electroestimulación, Estimulación eléctrica neuromuscular, Contracción muscular involuntaria, Fuerza, Rehabilitación.

Kronos nº 4, pp. 9-18, Julio-Diciembre 2003

### INTRODUCCIÓN

La estimulación eléctrica neuromuscular, también llamada electroestimulación, se ha utilizado como terapia física desde la segunda mitad del siglo XVIII. Numerosos estudios han demostrado los distintos efectos de la electroestimulación muscular en el organismo, gracias a la ganancia de fuerza que se observa o a las contracciones musculares involuntarias que ésta produce. La era moderna de la estimulación eléctrica comienza en 1791 con los estudios realizados por Galvani, observando los efectos de la corriente galvánica en preparaciones neuromusculares. Le seguirían otros autores como Volta, Faraday, Ritter, Duchenne de Boulogne, profundizando en este conocimiento. Así, Faraday diseñó un generador de corriente eléctrica, ampliando el estudio de los efectos de la estimulación eléctrica en medicina, siendo utilizado en la actualidad. Durante los siglos XIX y primera mitad del siglo XX, se observó que

la estimulación eléctrica aplicada de forma muy precoz en músculos denervados reducía la pérdida de masa muscular, previniendo la atrofia (Osborne SL 1951). De esta manera la electroterapia comienza a ser una práctica habitual en la medicina física, con el objetivo de restaurar la función muscular posterior a una lesión, cuando todavía el paciente no puede realizar movimientos voluntarios. A partir de la segunda mitad del siglo XX la estimulación eléctrica neuromuscular comienza a tomar entidad propia. Así, se utiliza para prevenir la atrofia muscular por inmovilización prolongada en deportistas y para acortar el periodo de rehabilitación de una lesión. Empleándola los fisioterapeutas en aplicaciones clínicas (rehabilitación muscular, alivio de los espasmos musculares, reducción de la hinchazón, control del dolor). Más recientemente se ha utilizado como una forma de mejorar la fuerza muscular en sujetos sanos y atletas, sugiriéndose que podría ser utilizada como una modali-

dad de entrenamiento, incluso superior a las contracciones voluntarias (Kots y Chwilon, 1971). Sin embargo, sigue siendo aún controvertido su posible valor en el entrenamiento deportivo.

Al igual que los nervios, los músculos esqueléticos son un tipo de tejido excitable que puede ser activado por estimulación eléctrica. La electroestimulación suele comprender la estimulación de los músculos con impulsos eléctricos de baja frecuencia. La eficacia, comodidad y grado de excitación, dependen de factores como el trazado del pulso, su frecuencia, duración, intensidad y la imagen de su modulación. La colocación de los electrodos se realiza en los puntos motores del músculo que queremos estimular. El punto motor es el punto en la superficie de la piel sobre el músculo en el cual se necesita la menor cantidad de corriente para producir la contracción muscular (Delitto y Robinson, 1989). El número de combinaciones posibles de estimulación hace de manifiesto de inmediato la dificultad de determinar el equilibrio óptimo de las variables y de comparar los resultados de los distintos investigadores.

A continuación se enumeran las distintas aplicaciones de la estimulación eléctrica neuromuscular, así como las conclusiones de éstas, basándonos en el estudio de revisión de Siff M. (1990), tratando de actualizarlo hasta nuestros días.

## APLICACIONES CLÍNICAS DE LA ELECTROESTIMULACIÓN

### 1. Incremento de la fuerza muscular.

Se ha demostrado que hay gran variedad de bajas y medias frecuencias que fortalecen el tejido muscular de sujetos con una lesión, enfermedad o parto (Eriksson, 1981; Lloyd et al., 1986; Chicharro et al., 1997). Algunos estudios sobre el efecto de la electroestimulación en personas sanas también han demostrado que se producen incrementos en la fuerza (Romero et al., 1982; Sekowitz, 1985), incluso se han observado mejoras en deportistas de alto rendimiento deportivo (Martin et al., 1993; Pichon et al., 1995; Maffiuletti et al., 2000, 2002), aunque otros hallaron cambios mínimos o insignificantes (Mohr et al., 1985; Singer et al., 1983). En general, la mayoría de estos estudios muestran que la electroestimulación añadida del entrenamiento físico produce, al menos, un aumento de la fuerza a largo plazo que es similar o menor al que se alcanza haciendo ejercicio. Encontrándose en general los mayores incrementos en las personas más débiles y con peor nivel de condición física (Fahey et al., 1985; Romero et al., 1982). En un interesante estudio de López Chicharro et al. (1997),

en el que se aplica un protocolo a corto plazo de electroestimulación en pacientes transplantados cardíacos, se observan mejoras significativas en la fuerza dinámica ( $10RM$ ) y la fuerza isométrica de los músculos extensores de la rodilla tras 6 semanas de tratamiento.

### 2. Reeducación de la acción muscular.

Diferentes lesiones o malos hábitos cinésiológicos pueden producir patrones débiles o defectuosos de la acción muscular. La electroestimulación puede ayudar a utilizar eficazmente los músculos afectados. Pudiendo ser eficaz en el tratamiento de diferentes lesiones como la condromalacia rotuliana, el codo de tenista y la periartrosis escapulo-humeral (Eriksson, 1981; Nirch y Sobel, 1981).

### 3. Facilitación de las contracciones musculares.

Si un sujeto es incapaz de realizar contracciones musculares voluntarias debido a la falta de actividad física o por culpa de dolores o lesiones, la electroestimulación puede mejorar la actividad muscular y reducir la posibilidad de que haya una gran pérdida de tejido o atrofia (Eriksson, 1981; Vodovnik et al., 1982).

### 4. Incremento de la capacidad funcional, la resistencia muscular y general.

La aplicación prolongada de electroestimulación submáxima puede mejorar las condiciones de cansancio que se producen como resultado de un trabajo físico agotador, aumentando la resistencia de los músculos implicados (Ikai y Yabe, 1969; Johnson et al., 1977). Dombrovskaya (1982) observó mejoras en la eficacia cardiovascular, en la capacidad contractil de los músculos y en el ritmo de recuperación general. En dos estudios que siguen siendo aún novedosos actualmente, realizados por López Chicharro et al. (1997) y Vaquero et al. (1998), con pacientes transplantados cardíacos, aplicando un protocolo de electroestimulación a corto plazo se observan mejoras significativas en la capacidad funcional ( $V\dot{O}_{2max}$ ), y en otros parámetros fisiológicos: ( $V$  ventilación/min y  $V\dot{O}_{2max}$ ). Siendo este un hallazgo realmente importante para estos sujetos, en los que su baja capacidad funcional se debe principalmente a su deficiencia funcional muscular periférica, y es, por tanto, un factor limitante de su calidad de vida.

### 5. Incremento de la velocidad de las contracciones musculares.

La electroestimulación a largo plazo y con frecuencias medias-altas (superiores a 40Hz) puede mejorar el tiempo de reacción y reducir el tiempo de tensión pico de los músculos de contracción rápida (Fluery and Lagasse, 1979; Salmons and Vrbova, 1967, 1969).



### **6. Incremento del aporte de sangre local.**

La aplicación de estimulación eléctrica neuromuscular produce la contracción rítmica de los músculos, seguida de la dilatación de los vasos sanguíneos, facilitando el transporte de nutrientes a los tejidos, pudiendo acelerar la curación de los tejidos que no han sufrido lesiones graves (Dombrovskaya, 1982; Wadsworth y Chanmugam, 1980). Distintos experimentos con diferentes protocolos de electroestimulación, han registrado incrementos en el flujo sanguíneo entre el 20 % y más del 200 %, ambos durante y después de la electroestimulación, sobre todo con frecuencias empleadas por debajo de 50 Hz (Currier et al., 1986; Wakim et al., 1948, 1953). En general, cuanto mayor sea la frecuencia empleada, menor será el incremento del flujo sanguíneo (Currier et al., 1986; Wakim, 1953). Además, en un importante estudio realizado por Kim et al. (1995), se comprobó cómo la electroestimulación de media frecuencia (50 Hz), que inducía el ejercicio dinámico en una pierna, con diferentes cargas (de 0 a 40 vatios), producía el mismo pico de flujo sanguíneo que el ejercicio voluntario de esa pierna. Siendo la respuesta ventilatoria al ejercicio simulado normal, mientras que el consumo de oxígeno y la respuesta cardíaca (FC y presión sanguínea) son ligeramente superiores.

### **7. Disposición de masajes eficaces.**

La electroestimulación aumenta la acción de bombeo de los músculos sobre el sistema venoso y el sistema linfático, ayudando a las áreas lesionadas, tensas o cansadas a eliminar la acumulación de líquidos y toxinas (Dombrovskaya, 1982; Wadsworth y Chanmugam, 1980). Los masajes producidos por la electroestimulación, aumentan el flujo sanguíneo local (Currier et al.

1986; Wakim et al., 1948 y 1953) y reducen la tensión muscular, mejorando el aporte de oxígeno y nutrientes a los tejidos y la eliminación de los productos de desecho metabólicos (Dobrovsky, 1982). La población con lesiones de médula espinal (paraplégicos, tetraplégicos) tienen alterada la respuesta del aparato circulatorio al ejercicio realizado con la parte superior del tronco (Davis et al., 1990). Esta alteración en la respuesta circulatoria es contrarrestada con un aumento de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio de brazos (Hopman et al., 1992) y acompañada por una disminución en el volumen de eyección y una rápida fatiga. En estos casos la electroestimulación de los miembros inferiores se utiliza para provocar contracciones rítmicas de los músculos de las piernas paralizadas, reactivando la "bomba" muscular y consiguiendo un mayor retorno venoso (Phillips and Burkett, 1995; Figoni et al. 1989, 1991; Hooker et al. 1992; Hopman et al. 1992).

### **8. Reducción del espasmo muscular.**

Un espasmo protector puede producirse en músculos sobrecargados, lesionados, inflamados o doloridos. La eficacia de la electroestimulación reduciendo los espasmos y la espasticidad ha sido atribuida a uno o más de los siguientes mecanismos (Mills et al., 1984; Wadsworth y Chanmugam, 1980):

- ⊙ Promoción de la fatiga muscular.
- ⊙ Interrupción del ciclo dolor-espasmo.
- ⊙ Restauración del proceso normal de contracción-relajación.

### **9. Incremento de la amplitud de movimiento.**

La electroestimulación se puede usar junto con técnicas de movilización FNP (Facilitación Neuromuscular Propioceptiva) para mejorar su eficacia. En el caso de las lesiones, la electroestimulación puede mejorar la relajación y la movilidad mediante la disminución del dolor, la hinchazón y la mejora de la microcirculación de los tejidos (Wadsworth y Chanmugam, 1980).

### **10. Reducción de la inflamación.**

La electroestimulación de baja intensidad puede rápidamente reducir la inflamación cuando no tiene un origen infeccioso (Wadsworth y Chanmugam, 1980). Este efecto puede deberse a la acción de bombeo de los músculos y/o a la creación de un gradiente eléctrico en las membranas celulares desencadenando la acción del sistema linfático, el cual absorbe el líquido sobrante.

### **11. Reducción de las alteraciones musculoesqueléticas.**

La aplicación de un protocolo de electroestimulación en músculos específicos de la espalda, ha detenido o re-

tardado el proceso de curvatura anormal de la columna vertebral en los casos de escoliosis leves a moderadas (Axelgaard et al., 1983; Kotz y Chwilon, 1971).

### **12. Reclutamiento preferente de las distintas fibras musculares.**

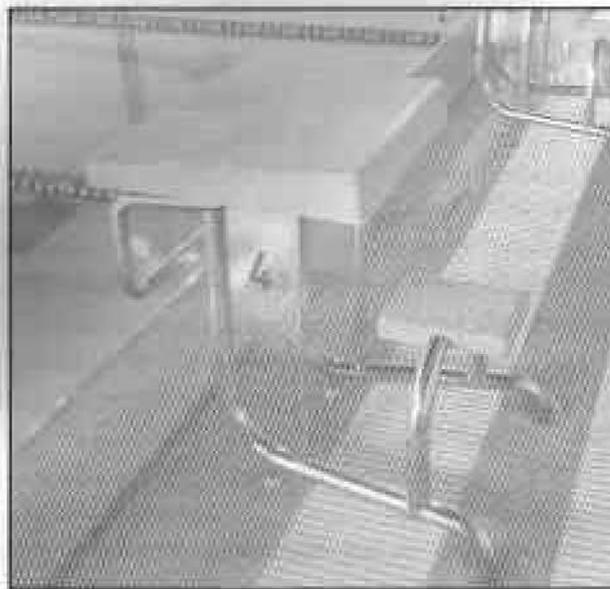
La electroestimulación tiende a reclutar en primer lugar los axones de mayor diámetro (Enoka, 1988), a la inversa del orden natural de reclutamiento. Estos axones grandes son difíciles de activar en condiciones normales de entrenamiento, desempeñando un papel suplementario muy útil en este sentido.

### **13. Modificaciones bioquímicas, histológicas y metabólicas del músculo.**

Recientemente, análisis inmunohistoquímicos y/o de electroforesis han completado la clasificación del sistema e identificado cuatro tipos de fibras en el músculo de la rata, el tipo IIX presente en las unidades motoras fisiológicamente clasificadas como rápidas de fatiga intermedia, e histoquímicamente como rápidas intermedias. Las múltiples isoformas de las proteínas contráctiles y reguladoras han sido identificadas, pudiendo aparecer en infinitas combinaciones, con mayor porcentaje de fibras híbridas (distintas isoformas) que puras. El problema actualmente es que la mayoría de los estudios centrados en los efectos de la electroestimulación en la modificación de los tipos de fibras musculares estaban basados en técnicas de análisis histoquímicos tradicionales (técnica ATPasa), detectando en conjunto fibras puras. Por lo que una revisión actualizada de estas investigaciones, aplicando las nuevas técnicas es necesaria. De esta manera y utilizando estas nuevas técnicas Pérez M. et al. (2002) demuestran cómo con un protocolo de ES de corta duración (30min/sesión) y de baja-media frecuencia (45-60Hz) produce cambios relativos a las características fenotípicas del músculo y, concretamente, a las fibras tipo IIX. La combinación en el presente estudio de técnicas de electroforesis e identificación inmuno-histoquímica permite detectar los diferentes tipos de fibras musculares, de acuerdo a las isoformas de cadena pesada de miosina que expresan. La presencia de un considerable número de fibras híbridas IIX, no identificadas con el tradicional método de ATPasa, demuestra que numerosas investigaciones anteriores basadas solamente en esta técnica, son probablemente erróneas. En conclusión, los resultados de este estudio muestran una adaptación muscular con un incremento de la expresión de la isoforma MHC-IIa, que parece ocurrir debido a un cambio bidireccional en las isoformas MHC-I y MHC-IIX hacia la MHC-IIa.

En los modelos de desuso la tendencia del músculo a expresar un fenotipo de fibra rápida y desarrollar una

atrofia en respuesta al desuso ha sido generalmente atribuido a la reducida actividad neuromuscular, habiendo observado las transiciones naturales resultantes en lesiones de la médula espinal o tenotomía. Sin embargo, la conversión de lento a rápido y la atrofia muscular pueden ser marcadamente diferentes en diferentes músculos, a pesar de tener niveles similares de actividad electromiográfica (EMG). Esta atrofia y conversión muscular es más pronunciada en aquellos músculos que soportaban el peso corporal o que eran monoarticulares. Parece, por tanto, que otros factores, además de la reducida actividad neuromuscular, contribuyen a esta pérdida, como es la carga de peso sobre el músculo. La heterogeneidad de las fibras musculares y unidades motoras puede, por lo tanto, ser explicada por diferencias en la carga mecánica o por diferencias independientes e intrínsecas, establecidas durante el desarrollo de este proceso, de las que se desconoce aún el responsable (Gordon y Pattullo, 1993). Este cambio en el fenotipo muscular produce un incremento de la velocidad de contracción, asociado con la conversión del tipo de fibra I al tipo de fibra II, resistencia reducida, y cambios en la fuerza, particularmente en los músculos extensores. La conversión de lento a rápido, nunca es completa, en general, los músculos posturales que soportan el peso corporal son los más afectados, como es el caso del sóleo. El mantenimiento de la alta actividad oxidativa enzimática y la resistencia a la fatiga en el sóleo, incluso tras la eliminación de la actividad neuromuscular, es uno de los más llamativos ejemplos de la resistencia al cambio. Esto se ve reforzado en estudios que demuestran que las conversiones de fibras tipo I a IIX nunca se producen a IIb, en ninguna especie (gato, cerdo o humano) (Jiang et al. 1990; Karpati et al. 1968; Grimby et al. 1976). Tras una inmovilización en cama, los músculos se vuelven



rápidos, mostrando una conversión de fibras tipo I a tipo II, tanto en animales como en humanos, pero los cambios son menores que en las secciones de la médula espinal. Lo mismo encontramos con una disminución de la carga de peso corporal, como una suspensión o un vuelo espacial. En la población con lesiones de médula espinal la electroestimulación es una herramienta que puede reducir la posibilidad de que haya una gran pérdida de tejido o atrofia muscular.

#### **14. Incremento agudo de la fuerza.**

La electroestimulación puede tener un profundo efecto sobre la fuerza después de una sesión (Howard y Enoka, 1987; Alon, 1985). Alon (1985), aplicó una sesión de electroestimulación a un grupo de 14 sujetos, observando que tras la sesión se producía un incremento medio del 13% en la fuerza del cuádriceps.

#### **15. Regeneración y creación de tejidos.**

La electroestimulación puede, en el caso de los injertos (White y Devors, 1993) o en cualquier otra situación, aumentar la vascularización del músculo electroestimulado.

En el caso del tejido óseo, Wang et al. (1998) mostraron un aumento de la concentración del ion calcio libre intracelularmente, de 2,3 veces respecto a su nivel original, bajo una corriente directa de 100 microA/cm<sup>2</sup> en células osteoblásticas in-vitro. También varias investigaciones han demostrado el aumento en la velocidad de curación de las fracturas. Zorlu et al. (1998) estudiaron el efecto y las diferencias entre la aplicación de un protocolo de ES, ultrasonidos, y otro de ES + ultrasonidos, en la reparación de fracturas en ratas. Tras 14 días de ES directa (electrodo introducido en el hueso fracturado), se comprobó que todos los grupos experimentaban una aceleración en su proceso de curación y que no existían diferencias significativas entre los diferentes protocolos.

Los sujetos con lesiones en la médula espinal tienen un mayor riesgo de fracturas debido a una osteoporosis de carácter neurogénico. En el estudio de Bedell et al. (1996), los valores de base en espina lumbar (L2-L4) no presentaban diferencias, pero sí en el triángulo de Ward 82%, cuello del fémur 79%, y trocánter bilaterales 71%, respecto a la población sana con la misma edad, sexo y raza. En este estudio se evaluaron los efectos de ES-LEC (Leg Cycling Evoque; or Induced) y ACE (Arm Crank Exercise) + ES-LEC en la densidad mineral ósea de sujetos con lesiones de médula espinal, entre 2 y 19 años después de la lesión (9.7 +/- 5.1). No se encontraron mejoras en la densidad mineral ósea en general, pero

hubo una tendencia a la mejora en la espina lumbar tras 25 ± 9 semanas de entrenamiento. Deberán realizarse otras investigaciones que utilicen ACE + ES-LEC durante los primeros meses de post-traumatismo modular para evaluar los posibles resultados en el tratamiento de la osteopenia.

#### **16. Mejora de la eficiencia muscular.**

Otro estudio de gran interés por su aplicación práctica es el que realizaron Pérez M. et al. (2003). En él aplicaron un protocolo de electroestimulación de corta duración, en un grupo de 10 sujetos jóvenes sanos. Observando mejoras significativas en dos de los principales determinantes de la capacidad de la resistencia, la Cinética del VO<sub>2</sub> y la Delta Eficiencia.

#### **17. Alivio del dolor.**

La Estimulación Nerviosa Transcutánea Eléctrica (TENS) puede ayudar a disminuir los espasmos o tensiones musculares dolorosos, así como aliviar el dolor agudo o crónico causado por diferentes enfermedades musculoesqueléticas (Lloyd et al., 1986; Mannheim and Carlsson, 1979).

#### **18. Promoción de la relajación y la recuperación.**

La electroestimulación intensa y a corto plazo de la contracción de los músculos y la estimulación con TENS pueden ayudar a promover la relajación local y general. Este efecto se ha atribuido a personas y animales, consistiendo en la liberación de endorfinas y encefalinas en el sistema nervioso (Gersh y Wolf, 1985; Sjölund y Eriksson, 1979). Utilizándose en deportistas para recuperarse de las sesiones de entrenamiento y para facilitar el comienzo del sueño (Dombrovskaya, 1982).

### **APLICACIONES DEPORTIVAS DE LA ELECTROESTIMULACIÓN**

#### **1. Incremento de la fuerza muscular.**

Cuando se emplea junto con programas de ejercicios periodizados, la electroestimulación parece incrementar en alguna medida la fuerza de los deportistas de alto nivel, aunque estos cambios pueden ser resultado indirecto de otros efectos de la electroestimulación ya tratados. Martín et al. (1993), utilizaron un protocolo de estimulación en el tríceps sural a 70Hz, 3 sesiones por semana, durante 4 semanas. Produciéndose un aumento significativo de fuerza isométrica y dinámica, diferenciándose por tanto de los entrenamientos clásicos (voluntarios), en los que la ganancia se produce específicamente en las condiciones de éste (estáticas o dinámicas). En otro estudio reciente, Pichon et al. (1995), investigan el resultado de un programa de electroestimulación.

lación de tres semanas, 3 sesiones por semana en el músculo dorsal largo, dentro de un grupo de nadadores velocistas de medio-alto nivel en 50 o 100m estilo libre. La corriente usada fue de 80Hz, observándose un aumento significativo en fuerza de la flexo-extensión del brazo dominante en condiciones isométricas, concéntricas y excéntricas:

- ⊙ Aumento del pico de potencia entre el 10 y 24 % de media
- ⊙ Aumento del rendimiento 13 - 14 %, sobre 25 y 50m, asociado a un aumento en la longitud de brazada.
- ⊙ Aumento del momento de fuerza a velocidades altas, pudiendo deberse a adaptaciones nerviosas, que podrían resultar de un aumento en el reclutamiento de las fibras rápidas.

Maffiuletti et al (2000), con un protocolo de electroestimulación (100Hz, 3 sesiones por semana durante 4 semanas con jugadores de baloncesto, produciendo un 80% de su máxima contracción voluntaria), junto con sesiones de entrenamiento de baloncesto durante 4 semanas, y después 4 semanas más de entrenamiento de baloncesto. Observó:

- ⊙ Aumento significativo en fuerza de los extensores de la rodilla en condiciones isométricas, concéntricas y excéntricas.
- ⊙ Aumento de fuerza en dos angulaciones adyacentes al ángulo de entrenamiento.
- ⊙ Aumento significativo de la fuerza isocinética a altas velocidades en movimiento excéntrico y concéntrico. No encontrándose diferencias a baja velocidad.

Tras las segundas 4 semanas de entrenamiento de baloncesto solamente, los valores de fuerza se mantuvieron. Podría pensarse que el entrenamiento de balon-



cesto es uno de los factores que contribuyen al aumento de la fuerza, además de la ES, pero ya Amiridis et al. (1997) demostraron que el entrenamiento regular de baloncesto no tenía efectos beneficiosos para la ganancia de fuerza. Por lo que la electroestimulación, es el único factor que puede influir en estos resultados.

Maffiuletti et al. (2002), en un estudio más reciente, con un protocolo de electroestimulación (115-120Hz, 3 sesiones por semana durante 4 semanas con jugadores de voleibol, produciendo más de un 60% de su máxima contracción voluntaria) + entrenamiento pliométrico, junto con sesiones de entrenamiento de voleibol durante 4 semanas y después 2 semanas más de entrenamiento de voleibol. Observó:

- ⊙ A las 2 semanas, un aumento significativo de la máxima contracción voluntaria (MCV) de los músculos extensores de la rodilla y de los músculos flexores plantares
- ⊙ A las 4 semanas, un aumento significativo de la MCV de los músculos extensores de la rodilla y de los músculos flexores plantares
- ⊙ Tras las 2 semanas de entrenamiento de voleibol solamente, los valores de fuerza se mantuvieron.

## 2. Incremento de la potencia de salto vertical.

Maffiuletti et al. (2000), tras 4 semanas de entrenamiento con electroestimulación (protocolo antes descrito) junto al entrenamiento de baloncesto, Observó:

- ⊙ Aumento Squat Jump del 14% tras 4 semanas ES + baloncesto
- ⊙ Aumento contra movement jump 17% tras otras 4 semanas de baloncesto

Como en el caso de la fuerza, podría pensarse que el entrenamiento de baloncesto es uno de los factores que contribuyen al aumento de la fuerza, además de la electroestimulación, pero como hemos visto antes para la ganancia de fuerza Amiridis et al. (1997) ya demostraron que el entrenamiento regular de baloncesto no tenía efectos beneficiosos para la ganancia de salto. Por lo que la electroestimulación es el único factor que puede influir en estos resultados

En el estudio de Maffiuletti et al. (2002), tras un protocolo de electroestimulación + entrenamiento pliométrico durante 4 semanas (protocolo antes descrito), junto al entrenamiento de voleibol. Observó:

- ⊙ A las 2 semanas, un aumento significativo del Squat Jump<sub>90°</sub> (SJ<sub>90°</sub>) y del Drop Jump (DJ).
- ⊙ A las 4 semanas, un aumento significativo del SJ<sub>90°</sub>, Squat Jump<sub>70°</sub> (SJ<sub>70°</sub>), DJ, Salto en contramovimiento (CMJ), Salto en contramovimiento con ayuda de brazos (CMJ<sub>A</sub>) y Acción de Remate (R).

- A las 6 semanas, un aumento significativo del  $S_{1/2}$ ,  $CMV$ , y R. Los demás saltos aumentaron ligeramente pero no de forma significativa.

En estos estudios se observa cómo la electroestimulación influye en la componente elástica del músculo, produciéndose una pérdida en la elasticidad muscular, como ya señaló Cometti (1989). Por tanto, parece que los movimientos complejos que utilizan la energía elástica del músculo, necesitan un período de entrenamiento específico, después de la ganancia de fuerza producida por la electroestimulación.

#### CONCLUSIONES

1. La mejora de los procesos de recuperación, la mejora de la resistencia, la disminución de la tensión muscular residual, el alivio del dolor, la eficacia de los masajes, el cambio de las características contractiles del músculo, el aumento de la velocidad de las contracciones musculares y la reducción de ciertos trastornos musculoesqueléticos constituyen en conjunto una impresionante variedad de posibles ayudas para cualquier programa de entrenamiento destinado, tanto a la actividad física y salud, como al alto rendimiento deportivo. Además, algunos protocolos de electroestimulación integrados en programas de entrenamiento cuidadosamente periodizados aumentan en gran medida la fuerza, la resistencia y eficiencia muscular y la potencia (Martin et al. 1993; Piccini et al. 1995; López Chiribaco et al. 1997; Vaquero et al. 1998; Maffiuletti et al. 2000, 2002; Pérez et al. 2003).
2. El umbral de dolor determina la intensidad máxima admisible de corriente de estimulación y su poder de penetración a través del músculo.
3. Hay que tener en cuenta la posibilidad de sobreentrenamiento, sobre todo si la electroestimulación se incorpora a un programa de entrenamiento agotador. No es recomendable, por lo general, aplicar más de 10-15 minutos de electroestimulación intensa por grupo de músculos, ya que durante los días siguientes al tratamiento puede manifestarse una necrosis tisular y una sensibilidad dolorosa prolongada.
4. La electroestimulación muscular debe ser siempre parte complementaria y no principal de un programa de entrenamiento, ya sea enfocado a la salud o al alto rendimiento deportivo en sujetos sanos.



#### BIBLIOGRAFÍA

1. ALON, G. (1985). High voltage stimulation: effects of electrode size on basic excitatory responses. *Physical Therapy* 65, 890-895.
2. AMIRIDIS IG.; COMETTI G.; MORLON B.; MARTIN L.; MARTIN A. (1997). Effects of the type of recovery training on the concentric strength of the knee extensors. *J Sports Sci*, 15(2), 175-180.
3. ASTRAND, PO ; RODAHL, K. (1986). Textbook of work physiology. 3<sup>rd</sup> Edition, Edt. McGraw-Hill, New York, 46, 188.
4. AXELGAARD, J.; NORDWALL, A.; BROWN, J. (1983). Correction of spinal curvatures by transcutaneous electrical muscle stimulation. *Spine*, number July-August, 463.
5. BEDELL, KK.; SCREMIN, AM.; PERELL, KL.; KUNKEL, CF. (1996). Effects of functional electrical stimulation-induced lower extremity cycling on bone density of spinal cord-injured patients. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 75 (1), 29-34.
6. COMETTI G. (1989). Les méthodes modernes de musculation. Tomo 1 y 2. Edt. VFR STAPS Dijon, Université de Bourgogne.
7. CURRIER, D.; PETRELLI, C.; THRELKELD, A. (1986). Effect of graded electrical stimulation on blood flow to healthy muscle. *Phys. Ther* 66 (6), 957-943.
8. DAVIS, GM.; SERVEDIO, FJ.; GLASER, RM.; GUPTA, SC.; SURYAPRASAD, AG. (1990). Cardiovascular responses to arm cranking and FNS-induced leg exercise in paraplegics. *Journal of Applied Physiology* 69, 671-674.
9. DELITTO, A.; ROBINSON, AJ. (1989). Electrical stimulation of muscle: techniques and applications. Snyder-Mackler L & Robinson AJ. (Eds). *Clinical Electrophysiology: Electrophysiology and Electrophysiological testing*, Williams & Wilkins, Baltimore, 95-138.
10. DELITTO, A.; SNYDER-MACKLER, L. (1990). Two theories of muscle strength augmentation using percutaneous electrical stimulation. *Physical Therapy* 70, 158-164.
11. DOMBROVSKAYA, I. (1982). Effect of sinusoidal modulated currents on the cardiovascular system and work capacity of athletes. *Kurortologii Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury, USSR*, 5, 33.
12. DUBROVSKY, V. (1982). Changes in muscle and venous blood flow after massage. *Teoriya i Praktika Fizicheskoi Kultury* 4, 56-57.
13. ENOKA, R. (1988). Muscle strength and its development: new perspectives. *Sports Medicine*, 6, 146-168.
14. ERIKSSON, E. (1981). Rehabilitation of muscle function after sport injury - major problem in sports medicine. *Int. J. Sports Med.*, number february, 1.
15. FAHEY, T.; HARVEY, M.; SCHROEDER, R.; FERGUSON, F. (1985). Influence of sex differences and knee joint position on electrical stimulation-modulated strength increases. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17 (1), 144-147.
16. FIGONI, SF.; GLASER, RM.; HOOKER, SP. (1989). Peak hemodynamic responses of spinal cord injured

subjects during FNS leg cycle ergometry. In: Proc. 12 th Annual RESNA Conference, New Orleans, Washington, DC : RESNA Press, 97-98.

17. FIGONI, SF ; GLASER, RM ; RODGERS, MM. (1991). Acute hemodynamic responses of spinal cord injured individuals to FNS-induced knee extension exercise. *J. Rehabil. Res. Devel.* 28, 9-18.
18. FLUVERY, M AND LAGASSE, P. (1979) Influence of functional electrical stimulation training on premotor and motor reaction time. *Percept Motor Skills*, number April, 387.
19. GERSH, M. AND WOLF, S. (1985). Applications of TENS in the management of patients with pain : state-of-the-art update. *Phys. Ther.* 65 (3), 314-336.
20. GORDON, T ; PATTULLO, M. (1993). Plasticity of muscle fiber and motor unit types. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 21, 351-362.
21. GRIMBY, G ; BROBERG, E ; KROTKIEWSKA, I ; KROTKIEWSKI, M. (1976). Muscle fiber composition in patients with traumatic cord lesion. *Scand. J. Rehab. Med.* 8, 37-42.
22. HOOKER, SP, FIGONI, SF ; RODGERS, MM. (1992). Metabolic and hemodynamic responses to concurrent arm crank and electrical stimulation leg cycle exercise in quadriplegics. *J. Rehabil. Res. Devel.* 29, 1-11.
23. HOPMAN, MTE ; OESEBURG, B ; BINKHORST, RA (1992) Cardiovascular responses in paraplegic subjects during arm exercise. *Pflügers Archiv. European Journal of Physiology* 65, 73-78.
24. HOWARD, J ; ENOKA, R. (1987) Enhancement of maximum force by contralateral-limb stimulation. *J. Biomech.* 20, 908.
25. IKAI, M.; YABE, K. (1969) Training effect of muscular endurance by means of voluntary and electrical stimulation. *Int. Z. Angew. Physiol.* 28 (1), 55.
26. JIANG, B ; ROY, RR ; EDGERTON, VR (1990). Enzymatic plasticity of medial gastrocnemius fibers in the adult chronic spinal cat. *Am. J. Physiol.* 259, C507-C514.
27. JOHNSON, D ; THURSTON, P ; ASHCROFT, P. (1977). The russian technique of faradism in the treatment of chondromalacia patellae. *Physiotherapy Canada* 25 (5), 55.
28. KARPATI, G ; ENGEL, WK. (1968) Correlative histochemical study of skeletal muscle after suprasedgmental denervation, peripheral nerve section and skeletal fixation. *Neurology* 18, 681-692.
29. KIM, CK ; STRANGE S ; BANGSBO J ; SALTIN, B. (1995). Skeletal muscle perfusion in electrically induced dynamic exercise in humans. *Acta Physiol Scandinavica* 155, 279-287.
30. KOTZ, Y ; CWILON, W. (1971). Muscle training with the electrical stimulation method. *Teoriya i Praktika Fizicheskoi Kultury, USSR*, 3-4.
31. LAUGHMAN, RK, YODAS, JW ; GARRET, TR ; CHAO, EYS. (1983). Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Physical Therapy* 63, 494-499.
32. LLOYD, T, DE DOMENICO, G, STRAUSS, G AND SINGER, K. (1986). A review of the use of electromotor stimulation in human muscles. *Austral. Journal of Physiology* 32 (1), 18-30.
33. LÓPEZ CHICHARRO J ; FERNÁNDEZ VAQUERO A ; GIL FRAGUAS L ; PÉREZ RUIZ M ; URREA MORENO S ; LUCIA MULAS A ; SÁNCHEZ SÁNCHEZ V ; MANJÓN LUENGO P ; GÓMEZ SÁNCHEZ MA. (1997). Potenciación muscular mediante electroestimulación en pacientes transplantados de corazón. *Mapa Medicina* 8, 91-99.
34. MAFFIULETTI, NA ; COMETTI, G ; AMIRIDIS, IG ; MARTINI, A ; POUSSON, M ; CHATARD, JC. (2000). The effects of electromyostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *International Journal of Sports Medicine* 21, 437-443.
35. MAFFIULETTI, NA ; DUGNANI S ; FOLZ M ; DI PIERNO E ; MAURO F. (2002). Effect of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34 (10): 1658-1644.
36. MANNHEIMER, C AND CARLSSON, C (1979). The analgesic effect of TENS in patients with rheumatoid arthritis : A comparative study of different pulse patterns. *Pain* 6, 329-354.



37. MARTIN, L.; COMETTI, G.; POUSSON, M.; MORLON, B. (1993). Effect of electrical stimulation training on the contractile characteristics of the triceps surae muscle. *European Journal of Physiology* 67, 457-461.
38. MOHR, T.; CARLSSON, B.; SULENTIC, C.; LANDRY, R. (1985). Comparison of isometric exercise and high volt galvanic stimulation on quadriceps femoris strength. *Phys. Ther.* 65 (5), 606-612.
39. NIRCH, R.; SOBEL, J. (1981). Conservative treatment of tennis elbow. *Physician Sportsmed.* 9, 42.
40. OSBORNE SL. (1951). The retardation of atrophy in man by electrical stimulation of muscles. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 32(8): 523.
41. PÉREZ, M.; LUCIA, A.; RIVERO, J.L.; SERRANO, AL; CALBET, JAL; DELGADO, MA; CHICHARRRO, JL. (2002). Effects of transcutaneous short-term electrical stimulation on M. vastus lateralis characteristics of healthy young men. *Pflügers Archiv. European Journal of Physiology* 443 (5-6): 866-874.
42. PÉREZ, M.; LUCIA, A.; SANTALLA, A.; CHICHARRRO, JL. (2003). Effects of electrical stimulation on VO<sub>2</sub> kinetics and delta efficiency in healthy young men. *Br. J. Sports Med.* 37 (2): 140-143.
43. PHILLIPS, W.; BURKETT, LN. (1995). Arm crank exercise with static leg FNS in persons with spinal cord injury. *Med. Sci. Sports Exer.* 27, 530-535.
44. PICHON, F.; CHATARD, JC.; MARTIN, A.; COMETTI, G. (1995). Electrical stimulation and swimming performance. *Med. Sci. Sports Exer.* 27 (12), 1671-1676.
45. RAYMOND, J.; DAVIS, GM; CLIMSTEIN, M.; SUTTON, JR. (1999). Cardiorespiratory responses to arm cranking and electrical stimulation leg cycling in people with paraplegia. *Med. Sci. Sports Exer.* 31 (6), 822-828.
46. ROMERO, J.; SANFORD, T.; SCHROEDER, R.; FAHEY, T. (1982). The effects of electrical stimulation of normal quadriceps on strength and girth. *Med. Sci. Sports Exer.* 14 (3), 194.
47. SALMONS, S. AND VRBOVA, G. (1967). Changes in the speed of mammalian fast muscle following long-term stimulation. *Journal of Physiology* 192, 39.
48. SALMONS, S. AND VRBOVA, G. (1969). The influence of activity on some contractile characteristics of mammalian fast and slow twitch muscles. *Journal of Physiology* 210, 535-549.
49. SEKOWITZ, D. (1985). Improvement in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation. *Phys. Ther.* 65, 186-196.
50. SIFF, M. (1990). Applications of electrostimulation in physical conditioning: a review. *Journal Applied Sport Science Research* 4 (1), 20-26.
51. SINGER, K.; GOW, P.; OTWAY, W.; WILLIAMS, M. (1983). A comparison of electrical stimulation, isometric, isotonic, and isokinetic strength training programmes. *NZ J. Of Sports Med.* 11 (3), 61-63.
52. SJOLUND, B.; ERIKSSON, M. (1979). Endorphins and analgesia produced by peripheral conditioning stimulation. *Advances in Pain Research and Therapy* 3, 587.
53. VAQUERO, AF.; CHICHARRRO, JL.; GIL, L.; RUIZ, MP.; SÁNCHEZ, V.; LUCÍA, A.; URREA, S.; GÓMEZ, MA. (1998). Effects of muscle electrical stimulation on peak VO<sub>2</sub> in cardiac transplant patients. *International Journal of Sports Medicine* 19, 317-322.
54. VODOVNIK, L.; VALENCIC, V.; STRONIK, P.; KLUN, B.; STEFANCIC, M.; JELNIKAR, T. (1982). Improvement of some abnormal motor functions by electrical stimulation. *Med. Prog. Technol.* 9 (2-3), 141.
55. WADSWORTH, J.; CHANMUGAM, A. (1980). Electrophysical agents in physiotherapy. *Science Press*, Chapters 8, 9 y 12.
56. WAKIM, K.; TERRIER, J.; ELKINS, E.; KRUSEN, F. (1948). Effects of percutaneous stimulation on the circulation in normal and in paralyzed lower extremities. *Am. J. Physiol.* 153, 183.
57. WAKIM, K. (1953). Influence of frequency of muscle stimulation on circulation in the stimulated extremity. *Arch Phys. Med.* 34, 291-295.
58. WANG, Q.; ZHONG, S.; OUYANG, J.; JIANG, L.; ZHANG, Z.; XIE, Y.; LUO, S. (1998). Osteogenesis of electrically stimulated bone cells mediated in part by calcium ions. *Clin. Orthop.* 348, 259-268.
59. WHITE, T.P.; DEVOR, S.T. (1993). Skeletal muscle regeneration and plasticity of grafts. *Exercise & Sport Sciences Reviews* 21, 263-295.
60. ZORLU, U.; TERCAN, M.; OZYAZGAN, I.; TASKAN, I.; KARDAS, Y.; BALKAR, F.; OZTURK, F. (1998). Comparative study of the effect of ultrasound and electrostimulation on bone healing rats. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 77 (5), 427-432.



Autor para establecer correspondencia:  
Alejandro Ferrer San Juan  
E-mail: alejandroferrer@airtel.net