

Cambios a corto plazo del estiramiento estático, la electroestimulación y las vibraciones de cuerpo completo en la flexibilidad de los isquiotibiales

Short-term changes of the static stretching, electromyostimulation and whole-body vibration on the flexibility of hamstrings

Carlos Ortega¹, Héctor Menéndez^{1,2}, Azael J. Herrero^{1,2}

1 Centro de Investigación en Discapacidad Física, Fundación ASPAYM, Castilla y León.

2 Grupo de Investigación en Discapacidad Física y Sensorial (GIDFYS), Dpto. de Ciencias de la Salud, Universidad Europea Miguel de Cervantes.

CORRESPONDENCIA:

Carlos Ortega Nieto

carlosortega@aspaymcy.org

Recepción: noviembre 2016 • Aceptación: julio 2017

Resumen

Objetivo. El objetivo de este estudio fue investigar los efectos agudos del estiramiento estático (EE), la electroestimulación neuromuscular (EENM), las vibraciones de cuerpo completo (VCC) y la combinación de estos protocolos (VCC+EENM) en la flexibilidad de los isquiotibiales.

Metodología. Quince varones recibieron cuatro protocolos en un diseño cruzado, uno por semana: estiramiento estático (EE); estiramiento con EENM superpuesta (EENM); estiramiento combinado con VCC (VCC); y estiramiento con EENM superpuesta combinado con VCC (VCC+EENM). Todos los protocolos se aplicaron durante 1 minuto. La flexibilidad fue evaluada por los tests *Back Saver Sit and Reach* (BSSR) y *Active Knee Extension* (AKE). Estos tests se llevaron a cabo antes (*pre*), inmediatamente tras cada protocolo (*post*) y 1, 3, 5 y 10 minutos tras cada protocolo.

Resultados. Los datos obtenidos para el BSSR fueron mayores en la valoración *post* respecto al *pre* para EENM (18.3%, $p<0.001$), VCC (10.1%, $p<0.05$), y VCC+EENM (14.9%, $p<0.01$). Diez minutos tras la aplicación de cada protocolo el BSSR fue mayor respecto al valor basal para los protocolos EE (12.0%, $p<0.001$), EENM (18.8%, $p<0.001$), VCC (12.7%, $p<0.01$) y VCC+EENM (13.6%, $p<0.001$). Todos los protocolos mejoraron el rendimiento en el test AKE por igual.

Conclusión. Nuestros datos indican que los protocolos EE, EENM, VCC y la combinación de ambos métodos son efectivos para mejorar la flexibilidad de los isquiotibiales. Además, esta mejora puede mantenerse durante los 10 minutos posteriores a la aplicación de cualquiera de los protocolos estudiados.

Palabras clave: Ejercicios de estiramiento muscular, propiocepción, entrenamiento, estimulación eléctrica, vibración.

Abstract

Aim. The purpose of this study was to investigate the acute effects of the static stretching (SS), neuromuscular electrical stimulation (NEMS), whole-body vibration (WBV) and the combination of all these protocols (WBV+NEMS) on the flexibility of hamstrings.

Methods. Fifteen males received four stretching protocols in a crossover design, one protocol per week: static stretching (SS); stretching with superimposed NEMS; stretching combined with WBV; and stretching with superimposed NEMS combined with WBV (WBV+NEMS). All protocols lasted one minute. The flexibility was assessed by both the Back Saver Sit and Reach (BSSR) and the Active Knee Extension (AKE) test. Flexibility measurements were performed before (baseline), immediately after the protocol (post) and 1, 3, 5 and 10 min post protocol.

Outcomes. The BSSR at post was greater than the baseline value for NEMS (18.3%, $p<0.001$), WBV (10.1%, $p<0.05$), and WBV+NEMS (14.9%, $p<0.01$). Ten minutes after the application of each protocol the BSSR was higher in respect to baseline value for SS (12.0%, $p<0.001$), NEMS (18.8%, $p<0.001$), WBV (12.7%, $p<0.01$), and WBV+NEMS (13.6%, $p<0.001$). All protocols improved AKE in the same way.

Conclusion. Our data indicates that SS, NEMS, WBV and the combination of both methods are effective to improve the flexibility of hamstrings. Furthermore, this improvement may be maintained for at least 10 min after the cessation of the exercise, irrespectively of the stretching protocol.

Key words: Muscle stretching exercises, proprioception, training, electric stimulation, vibration.

Introducción

Las lesiones agudas de isquiotibiales son las lesiones musculares más frecuentes producidas en el deporte (Mendiguchia, Alentorn-Geli, & Brughelli, 2012). El mecanismo lesional de la musculatura isquiotibial está constituido por un modelo multifactorial, donde la flexibilidad es uno de esos factores (Mendiguchia, et al., 2012). Un rango de movimiento (ROM) reducido (Bradley & Portas, 2007; Henderson, Barnes, & Portas, 2010; Opar, Williams, & Shield, 2012; Witvrouw, Danneels, Asselman, D'Have, & Cambier, 2003) y el dolor lumbar crónico (Purepong, Jitvimonrat, Boonyong, Thaveeratitham, & Pensri, 2012) están relacionados con lesiones en los isquiotibiales. Por otra parte, la mejora en la flexibilidad muscular está asociada con un aumento en la eficacia del movimiento y un menor riesgo de lesión (Gleim & McHugh, 1997; Woods, Bishop, & Jones, 2007).

Tradicionalmente, la flexibilidad muscular se ha entrenado a través de ejercicios de estiramientos estáticos (Dadebo, White, & George, 2004; Rodríguez, Sánchez, Rodríguez-Marroyo, & Villa, 2015) o dinámicos (Behm & Chaouachi, 2011; Dadebo, et al., 2004). En la última década, algunos estudios han observado que la aplicación del estímulo vibratorio mejora la flexibilidad muscular (Cochrane, 2013; Houston, Hodson, Adams, & Hoch, 2015; Osawa & Oguma, 2013). Se han encontrado efectos positivos agudos y crónicos del estímulo vibratorio en la flexibilidad del split frontal en jóvenes gimnastas masculinos en alto rendimiento (Sands, McNeal, Stone, Russell, & Jemni, 2006). Similares efectos agudos se reportaron para el mismo ejercicio en gimnastas femeninas después de la aplicación de un protocolo que combinó el estímulo vibratorio con un protocolo de estiramientos (Kinser et al., 2008). Fagnani, Giombini, Di Cesare, Pigozzi y Di Salvo (2006) observaron un incremento en el rendimiento para el ejercicio sit-and-reach después de un programa de entrenamiento de 8 semanas con vibraciones de cuerpo completo (VCC). Se ha sugerido que el estímulo vibratorio combinado de manera simultánea con estiramientos parece causar una mayor retención para las ganancias de flexibilidad en comparación con el estiramiento estático de manera aislada (Feland et al., 2010).

La electroestimulación neuromuscular (EENM) se ha utilizado para reducir la espasticidad y mejorar el ROM en pacientes con ictus (Sahin, Ugurlu, & Albayrak, 2012; Sentandreu Mano et al., 2011). Nuestro grupo de investigación ha observado beneficios en el ROM de flexión de cadera después de la aplicación de EENM en pacientes con lesión medular (observaciones no publicadas). Sin embargo, tan solo existe un estudio donde

se ha analizado los efectos de la EENM en el ROM en pacientes sanos, reportándose que los estiramientos mediante EENM generan más ventajas que aquellos en tensión activa (Perez & Álamo, 2001). Ningún estudio ha aplicado simultáneamente VCC y EENM para evaluar su efecto en la flexibilidad muscular. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue evaluar los efectos agudos del estiramiento estático por sí solo o superpuesto con VCC, EENM, o ambos métodos simultáneamente en la flexibilidad de los isquiotibiales.

Material y Método

Participantes

Se reclutaron 15 varones que accedieron voluntariamente a participar en este estudio (edad: 23.0 ± 2.6 años; altura: 1.77 ± 0.06 m; peso: 77.6 ± 8.8 Kg). Como criterios de inclusión se tuvieron en cuenta los siguientes:

- Ser varón.
- Tener una edad comprendida entre 20 y 30 años
- No estar realizando, ni haber realizado ningún tipo de actividad deportiva o ejercicio físico de forma habitual a lo largo de los últimos 6 meses.

Por otra parte, como criterios de exclusión del estudio se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Haber sufrido algún tipo de lesión del tren inferior en los últimos 6 meses.
- Haber padecido dolor lumbar y/o haber estado sometido a cualquier tipo de tratamiento fisioterapéutico a lo largo de los últimos 6 meses.
- Estar sometido a cualquier tipo de tratamiento farmacológico.

Finalmente, el hecho de haber iniciado algún tipo de actividad física paralelamente al desarrollo del presente estudio, o el consumo de algún tipo de medicación, supusieron criterios de eliminación que implicaban la finalización de la participación del sujeto en el estudio. Todos los participantes fueron informados previamente de los riesgos y beneficios del estudio y dieron su consentimiento por escrito para participar en el mismo. Este estudio se llevó a cabo según la declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité Ético de la Universidad.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño transversal, donde cada sujeto acudía al laboratorio en seis ocasiones. Las dos primeras sesiones se llevaron a cabo para familiarizar al suje-

to con los protocolos de valoración y los tratamientos. Durante las cuatro sesiones restantes se aplicaron cuatro protocolos de manera aleatoria en los isquiotibiales de la pierna dominante: estiramiento estático (EE); EE con EENM superpuesta; EE combinado con VCC; o EE con EENM superpuesta combinado con VCC.

Protocolos

Estiramiento estático. Los participantes se colocaron en frente de la plataforma vibratoria (VibroFitness 500, Vibro, Madrid, Spain) con el talón de su pierna dominante descansando sobre la plataforma, con una flexión plantar de 90° y la rodilla en extensión completa (Figura 1A). La pierna no dominante se apoyaba fuera de la plataforma de manera perpendicular a esta separada por 20 cm. Cada participante colocaba sus manos en sus caderas manteniendo la espalda recta y flexionando la cadera hasta que podían sentir el estiramiento en los isquiotibiales, manteniendo esta postura por 1 min. No se aplicó estímulo vibratorio durante este protocolo.

Electroestimulación. Se aplicó una onda rectangular, bifásica, simétrica con un ancho de pulso de 380 μ s y 120 Hz en los isquiotibiales (Compex 3, DJO Ibérica, Madrid, Spain). Tres electrodos autoadhesivos de dos mm de espesor se utilizaron en el muslo de la pierna dominante: un electrodo (10x5 cm) fue colocado en la parte más proximal de la musculatura isquiotibial (5 cm debajo del pliegue del glúteo), y dos electrodos (5x5 cm) fueron colocados lo más cerca posible del punto motor del bíceps femoral y el semitendinoso (figura 1B). Los participantes realizaron un estiramiento de los isquiotibiales como el descrito para el protocolo EE, recibiendo tres incrementos en la intensidad de la corriente hasta alcanzar su umbral de máximo dolor (intensidad media tolerada 45.1 \pm 8.3 mA). Cada uno de estos incrementos tenía una duración aproximada de 10s. Una vez se detenía la corriente por llegar al umbral del máximo dolor, el participante forzaba el estiramiento de los isquiotibiales, durante los siguientes 10 s. Este ciclo de aplicación de corriente durante estiramiento, y estiramiento posterior, se repitió tres veces en 1 min.

Vibraciones de cuerpo completo. Los participantes realizaron un estiramiento de los isquiotibiales tal cual se describió en el protocolo EE (figura 1B), aplicándose simultáneamente 1 min de vibración vertical con 1.6 mm de amplitud (pico a pico) y 50 Hz de intensidad en la pierna dominante (VibroFitness 500, Vibro, Madrid, Spain). Durante todas las sesiones, los sujetos utilizaron el mismo calzado deportivo para estandarizar la amortiguación de la vibración (Marin, Bunker, Rhea, & Ayllon, 2009).



Figura 1. Posición adoptada por cada participante durante el estiramiento de los isquiotibiales en la pierna dominante (A); colocación de los electrodos en los isquiotibiales de la pierna dominante (B).

Electroestimulación + vibraciones de cuerpo completo. Ambos protocolos se aplicaron concurrentemente durante 1 min en la pierna dominante. Recibiendo cada participante tres ciclos de electroestimulación (intensidad media tolerada 48.4 \pm 7.1 mA) y estiramientos.

Material y medición

Todas las sesiones en las que se llevaron a cabo los protocolos fueron separadas entre sí por al menos una semana. Antes de cada protocolo, los participantes realizaban un calentamiento estandarizado, consistente en pedalear en un ergómetro durante cinco minutos a una potencia de 75 W entre 80 y 100 rpm. Posteriormente llevaban a cabo una serie de estiramientos dinámicos durante 5 min (flexores, extensores, rotadores, abductores y aductores de la cadera, flexores plantares y dorsales del tobillo y extensores de la espalda). Se midió la flexibilidad de la musculatura isquiotibial mediante los tests Back-Saver Sit and Reach (BSSR) y Active Knee Extension (AKE) durante cada sesión en seis ocasiones: inmediatamente antes del protocolo (Pre), después del protocolo (Post), 1 min (Post 1), 3 min (Post 3), 5 min (Post 5) y 10 min (Post 10) después de cada protocolo. Las variables dependientes del estudio fueron la máxima distancia alcanzada (medido en cm) durante el BSSR test, y el ROM obtenido durante la realización del AKE test (medido en °). Ambas varia-

Tabla 1. Rendimiento en el test BSSR en centímetros antes y después de la aplicación de diferentes protocolos para modificar la flexibilidad de los isquiotibiales.

Protocolo	Pre	Post	Post 1	Post 3	Post 5	Post 10
EE	17.6±4.8	18.6±4.6*	18.5±4.6	18.6±5.0*	19.1±5.0**	19.7±4.6***
EENM	15.8±6.1	18.7±6.0***	18.4±5.6***	18.5±5.6***	18.7±5.5***	18.8±6.1***
VCC	17.4±5.1	19.2±5.1***	19.2±4.8**	19.6±4.7***	19.4±5.5**	19.6±4.9***
VCC+EENM	17.2±5.0	19.7±5.1***	20.0±5.5**	20.5±5.5***	20.0±4.9***	19.5±4.8***
TODOS	17.0±5.2	19.1±5.1***	19.0±5.0***	19.3±5.6***	19.3±5.1***	19.4±5.0***

*, **, *** diferencias respecto a Pre con un nivel de significación de $p < 0.05$, 0.01 o 0.001 , respectivamente.

bles dependientes fueron evaluadas en las 6 ocasiones mencionadas previamente.

Back-Saver Sit and Reach test. Este test se llevó a cabo tal y como se ha descrito previamente en la literatura (Lopez-Minarro, Andujar, & Rodrguez-Garcna, 2009). Los participantes se sentaban en frente de la caja de *sit and reach* con su pierna dominante totalmente extendida colocando la planta del pie contra la pared de la caja. La pierna no dominante se encontraba flexionada de modo que la planta del pie se encontraba contra el suelo con una flexión de rodilla y cadera de 90° y 45° , respectivamente. Cada participante colocaba su mano derecha sobre la izquierda y las deslizaba lentamente sobre la placa de medición todo lo que fuera posible. La validez de este test para estimar la extensibilidad de los isquiotibiales ha sido reportada en la literatura (Mayorga-Vega, Merino-Marban, & Viciano, 2014). Se llevó a cabo un intento en cada valoración.

Active Knee Extension test. Cada participante se colocó en posición supina sobre una camilla, con la pelvis estabilizada por un observador y el miembro dominante evaluado en flexión de cadera y rodilla de 90° . Se utilizó un inclinómetro para comprobar la posición de rodilla y cadera (S-Digit mini, Geo-Fennel, Baunatal, Germany). Con el miembro estabilizado el evaluador indicaba al participante que debía extender su rodilla lo máximo posible para medir su ángulo de extensión. Se llevó a cabo un intento en cada valoración (Gajdosik & Lusin, 1983).

Análisis estadístico

La normalidad de los valores de flexibilidad fue comprobada y contrastada con la prueba de Shapiro-Wilk. Estos valores fueron analizados mediante un análisis de la varianza (ANOVA) con medidas repetidas (MR) en los factores (*tiempo* y *protocolo*). Cuando el valor-F fue significativo, la comparación por pares se realizó con la prueba de Bonferroni. El nivel de significación utilizado fue de $p \leq 0.05$. Los datos se muestran como media±desviación estándar. Los tamaños del efecto fueron medidos por Eta cuadrado parcial (η^2) para el

ANOVA y por la *d de Cohen's* para realizar la comparación entre los valores pre y post. El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa SPSS v20.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Resultados

No se observaron diferencias en el BSSR en la valoración Pre en los cuatro días que los sujetos acudieron al laboratorio. Se observó un efecto *tiempo* en el test BSSR ($p < 0.001$; $\eta^2 = 0.576$). En esta variable también se detectó un efecto *tiempo*protocolo* ($p < 0.05$; $\eta^2 = 0.108$). Respecto al efecto *tiempo*, los valores de flexibilidad obtenidos fueron mayores respecto a la valoración pre en post (12.1%), post 1 (12.0%), post 3 (13.4%), post 5 (13.5%) y post 10 (14.1%). Respecto al efecto *tiempo*protocolo*, los datos obtenidos en la valoración post-test (Tabla 1) fueron mayores que los pre para EENM (18.3%, $p < 0.001$, $d = 0.47$), VCC (10.1%, $p < 0.05$, $d = 0.34$), y VCC+EENM (14.9%, $p < 0.01$, $d = 0.52$). Diez minutos después de la aplicación de cada protocolo (Tabla 1) el test BSSR obtuvo valores superiores en relación a la valoración pre para EE (12.0%, $p < 0.001$, $d = 0.44$), EENM (18.8%, $p < 0.001$, $d = 0.49$), VCC (12.7%, $p < 0.01$, $d = 0.45$) y VCC+EENM (13.6%, $p < 0.001$, $d = 0.48$).

Se observó un efecto *tiempo* para el test AKE ($p < 0.01$; $\eta^2 = 0.208$). El ROM mejoró 8.3% en post respecto a pre, independientemente del protocolo aplicado (Tabla 2). No se encontró ningún efecto *tiempo*protocolo* ($p = 0.296$; $\eta^2 = 0.080$).

Finalmente, la intensidad tolerada por los participantes en el protocolo VCC+EENM fue mayor respecto a la tolerada en el protocolo EENM ($p < 0.05$; $d = 0.43$).

Discusión

Este es el primer estudio que ha evaluado la influencia de la aplicación conjunta de vibraciones de cuerpo completo y electroestimulación neuromuscular sobre

Tabla 2. Rendimiento en el test AKE en grados antes y después de la aplicación de diferentes protocolos para modificar la flexibilidad de los isquiotibiales.

Protocolo	Pre	Post	Post 1	Post 3	Post 5	Post 10
EE	64.3±8.7	64.1±8.4	64.6±7.5	64.3±8.4	64.9±8.1	65.8±9.5
EENM	60.9±8.8	64.8±7.9	63.7±9.5	64.9±9.3	64.2±9.5	64.6±7.4
VCC	65.3±8.1	67.3±7.5	67.6±7.1	67.0±7.8	66.9±7.7	62.6±7.8
VCC+EENM	63.5±8.7	63.6±9.2	65.5±7.3	65.3±8.7	65.6±9.0	64.5±9.1
TODOS	63.5±8.5	65.7±8.2*	65.3±7.8	65.4±8.4	65.4±8.4	65.3±8.3

* Diferencias respecto a Pre con un nivel de significación de $p < 0.05$.

la flexibilidad muscular en sujetos sanos. Nuestros datos indican que los protocolos EE, EENM, VCC y VCC+EENM tienen potencial para aumentar de forma aguda la flexibilidad de los isquiotibiales. Además, el aumento en el rendimiento de los estiramientos es mantenido durante al menos 10 minutos después de que cese el estímulo independientemente del protocolo aplicado.

El test BSSR ha sido ampliamente utilizado para medir la flexibilidad de los isquiotibiales (Hui & Yuen, 2000; Lau, Yu, & Woo, 2015). De acuerdo con nuestros resultados, se ha demostrado previamente que la aplicación de VCC de manera aguda puede influir sobre el rendimiento del *Sit and Reach* (Bunker, Rhea, Simons, & Marin, 2011; Gerodimos et al., 2010; Jacobs & Burns, 2009). Por ejemplo, 6 minutos de tres frecuencias de vibraciones diferentes (15, 20 y 30 Hz) utilizando una plataforma oscilante (6mm de amplitud) induce mejoras en el rendimiento del *Sit and Reach* de 2.9, 3.6 y 4.6%, respectivamente (Gerodimos, et al., 2010). La participación de hombres en vez de mujeres, además de una frecuencia de vibración más elevada y el uso de un dispositivo de vibración vertical, podrían explicar la mejora en el test BSSR observada en nuestro estudio. Por otra parte Jacobs y Burns(2009) observaron que las VCC pueden llegar a mejorar el rendimiento en el *Sit and Reach* en mayor medida que en nuestro estudio (16.6% vs 12.6%). Sin embargo, esta ganancia podría ser debida a la falta de un protocolo de calentamiento y a una mayor exposición al estímulo vibratorio en su investigación. De acuerdo con estudios anteriores, nuestros datos indican que el efecto de las VCC en la flexibilidad de los isquiotibiales se mantuvo, al menos, 10 minutos después del cese del estímulo (Gerodimos, et al., 2010), habiéndose observado en trabajos similares cómo esta mejora se extiende hasta 30 minutos (Tsuji et al., 2014). En este sentido, una de las limitaciones del presente estudio podría ser la ausencia de mediciones pasado el periodo de los 10 minutos, a fin de determinar si las mejoras observadas en la flexibilidad se hubieran mantenido en alguno de los protocolos por más de 10 minutos.

Según Pérez, Field-Fote, y Floeter(2003), la estimulación del nervio peroneo común mediante electroestimulación transcutánea en la cabeza del peroné provocó un aumento en la fuerza de inhibición recíproca del sóleo de un 17% e incrementó hasta un 22% pasados 5 minutos, para posteriormente ir disminuyendo progresivamente hasta los valores basales. Por lo tanto, creemos que el hecho de que los valores más altos de flexibilidad para el test BSSR se hayan manifestado en la valoración post 10 minutos fue debido a un aumento en la fuerza del mecanismo de inhibición recíproca del cuádriceps mediante la activación de las interneuronas inhibitorias la del músculo antagonista.

El rendimiento en el test AKE mejoró después de la aplicación de todos los protocolos, sin embargo, esta mejora no parecía estar influenciada ni por el estiramiento por sí solo, ni por el estiramiento en combinación con EENM, VCC o VCC+EENM. Mientras que el test BSSR puede implicar la movilidad de las articulaciones de la cadera y el tronco, así como la flexibilidad de la espalda baja, el test AKE evita la contribución del tronco y la cadera. Por otra parte, estos resultados pueden deberse a que principalmente en los protocolos llevados a cabo la flexibilidad se ha trabajado de manera estática lo cual está orientado a la mejora de la flexibilidad pasiva (Holt, Travis, & Okita, 1970), una manifestación de la flexibilidad que se da sobre todo en el test BSSR mientras que el test AKE es más adecuado para la identificación de la flexibilidad activa. Además, podría ser interesante replicar el estudio utilizando test de medición que valoren de forma específica y aislada la flexibilidad de la musculatura isquiotibial, junto con un mayor tamaño de la muestra.

Las causas mediante las cuales el EE incrementa el ROM han sido atribuidas a los cambios en la longitud y rigidez de la unidad músculo-tendinosa, así como un aumento de la tolerancia al estiramiento (Issurin, 2005). Por otra parte, se ha sugerido que los aumentos en el ROM inducidos por las VCC son debidos a su capacidad de involucrar mecanismos neurales, circulatorios y termorreguladores (Cochrane, 2013; Issurin, 2005). De acuerdo con esto, se ha demostrado que las

VCC aplicadas de manera aguda son una buena herramienta para aumentar la temperatura corporal (Cochrane, 2013; Cochrane, Stannard, Firth, & Rittweger, 2010) y estimular el flujo sanguíneo de manera superficial (Petrofsky, Lawson, Berk, & Suh, 2010) y profunda (Herrero, Martin, et al., 2011; Herrero, Menendez, et al., 2011; Kersch-Schindl et al., 2001). Esto podría reducir la viscosidad tisular e incrementar la elasticidad muscular (Issurin, 2005). Finalmente, las VCC podrían reducir la sensación de dolor y, en consecuencia, aumentar el umbral del dolor, permitiendo estiramientos más profundos (Gerodimos, et al., 2010; Van den Tillaar, 2006). El efecto de las VCC en la inhibición del dolor percibido durante la aplicación de EENM podría ser el objetivo de investigaciones futuras.

El incremento del rendimiento en el test BSSR obtenido mediante el protocolo EENM, parece ser debido a que este estímulo es capaz de provocar una contracción involuntaria (con EENM) y estirar el músculo contraído por una contracción voluntaria del antagonista. Esto provoca la inhibición de los aparatos de Golgi y los husos neuromusculares, estirando el tejido conjuntivo conectado en serie, en paralelo y la propia fibra muscular (Perez, 1994). Apenas existe literatura que apoye el uso de EENM para mejorar la flexibilidad en sujetos sanos, por lo tanto, no existen valores de referencia para determinar la intensidad óptima de la corriente. Es frecuente entrenar ajustando la intensidad de la corriente acorde al umbral máximo de tolerancia del dolor del sujeto (Filipovic, Kleinoder, Dormann, & Mester, 2011). Como se ha observado en nuestro estudio, las VCC reducen el estímulo nociceptivo producido por la EENM, permitiendo a los

participantes tolerar intensidades significativamente mayores de corriente. Sin embargo, el incremento de la intensidad de la EENM permitido por el estímulo vibratorio superpuesto no mostró efecto, ni en los valores para el test BSSR ni en el test AKE. Es posible que la EENM pueda producir una concatenación contracción-estiramiento similar a la producida por los estiramientos de facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP). De hecho, mientras que la realización de contracciones máximas a través de los estiramientos FNP ha sido un estándar a lo largo del tiempo, se ha demostrado que la flexibilidad puede ser afectada de manera entre nula y leve por la intensidad de la contracción FNP (Feland & Marin, 2004; Kwak & Ryu, 2015; Sharman, Cresswell, & Riek, 2006). Es necesario realizar un mayor número de investigaciones para clarificar si bajas intensidades de corriente podrían dificultar resultados en la flexibilidad como los observados después de utilizar EENM para producir contracciones máximas.

Conclusiones

Nuestros datos indican que los protocolos EE, EENM, VCC y EENM + VCC son capaces de mejorar el rendimiento en los test BSSR y AKE. Además, la mejora es mantenida durante al menos 10 min después del ejercicio, sin tener en cuenta el protocolo llevado a cabo. La EENM por sí sola o combinada con las VCC podría considerarse como un protocolo efectivo para su aplicación en atletas o pacientes con falta de flexibilidad en los isquiotibiales.

BIBLIOGRAFÍA

- Behm, D. G., & Chaouachi, A. (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European Journal of Applied Physiology*, 111(11), 2633-2651. doi:10.1007/s00421-011-1879-2
- Bradley, P. S., & Portas, M. D. (2007). The relationship between pre-season range of motion and muscle strain injury in elite soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1155-1159. doi:10.1519/R-20416.1
- Bunker, D. J., Rhea, M. R., Simons, T., & Marin, P. J. (2011). The use of whole-body vibration as a golf warm-up. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(2), 293-297. doi:10.1519/JSC.0b013e3181bfff5a1
- Cochrane, D. (2013). The sports performance application of vibration exercise for warm-up, flexibility and sprint speed. *European Journal of Sport Science*, 13(3), 256-271. doi:10.1080/17461391.2011.606837
- Cochrane, D. J., Stannard, S. R., Firth, E. C., & Rittweger, J. (2010). Acute whole-body vibration elicits post-activation potentiation. *European Journal of Applied Physiology*, 108(2), 311-319. doi:10.1007/s00421-009-1215-2
- Dadebo, B., White, J., & George, K. P. (2004). A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 388-394. doi:10.1136/bjism.2002.000044
- Fagnani, F., Giombini, A., Di Cesare, A., Pigozzi, F., & Di Salvo, V. (2006). The effects of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 85(12), 956-962. doi:10.1097/01.phm.0000247652.94486.92
- Feland, J. B., Hawks, M., Hopkins, J. T., Hunter, I., Johnson, A. W., & Eggett, D. L. (2010). Whole body vibration as an adjunct to static stretching. *International Journal of Sports Medicine*, 31(8), 584-589. doi:10.1055/s-0030-1254084
- Feland, J. B., & Marin, H. N. (2004). Effect of submaximal contraction intensity in contract-relax proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), E18. doi:10.1136/bjism.2003.010967
- Filipovic, A., Kleinoder, H., Dormann, U., & Mester, J. (2011). Electromyostimulation--a systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(11), 3218-3238. doi:10.1519/JSC.0b013e318212e3ce
- Gajdosik, R., & Lusin, G. (1983). Hamstring muscle tightness. Reliability of an active-knee-extension test. *Physical Therapy*, 63(7), 1085-1090.

- Gerodimos, V., Zafeiridis, A., Karatrantou, K., Vasilopoulou, T., Chanou, K., & Pispirikou, E. (2010). The acute effects of different whole-body vibration amplitudes and frequencies on flexibility and vertical jumping performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(4), 438-443. doi:10.1016/j.jsams.2009.09.001
- Gleim, G. W., & McHugh, M. P. (1997). Flexibility and its effects on sports injury and performance. *Sports Medicine*, 24(5), 289-299. doi:10.2165/00007256-199724050-00001
- Henderson, G., Barnes, C. A., & Portas, M. D. (2010). Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(4), 397-402. doi:10.1016/j.jsams.2009.08.003
- Herrero, A. J., Martín, J., Martín, T., García-López, D., Garatachea, N., Jiménez, B., & Marín, P. J. (2011). Whole-body vibration alters blood flow velocity and neuromuscular activity in Friedreich's ataxia. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 31(2), 139-144. doi:10.1111/j.1475-097X.2010.00992.x
- Herrero, A. J., Menéndez, H., Gil, L., Martín, J., Martín, T., García-López, D., Marín, P. J. (2011). Effects of whole-body vibration on blood flow and neuromuscular activity in spinal cord injury. *Spinal Cord*, 49(4), 554-559. doi:10.1038/sc.2010.151
- Holt, L. E., Travis, T. M., & Okita, T. (1970). Comparative study of three stretching techniques. *Perceptual and Motor Skills*, 31(2), 611-616. doi:10.2466/pms.1970.31.2.611
- Houston, M. N., Hodson, V. E., Adams, K. K., & Hoch, J. M. (2015). The effectiveness of whole-body-vibration training in improving hamstring flexibility in physically active adults. *Journal of Sport Rehabilitation*, 24(1), 77-82. doi:10.1123/JSR.2013-0059
- Hui, S. S., & Yuen, P. Y. (2000). Validity of the modified back-saver sit-and-reach test: a comparison with other protocols. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(9), 1655-1659.
- Issurin, V. B. (2005). Vibrations and their applications in sport. A review. *The Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 45(3), 324-336.
- Jacobs, P. L., & Burns, P. (2009). Acute enhancement of lower-extremity dynamic strength and flexibility with whole-body vibration. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 51-57. doi:10.1519/JSC.0b013e3181839f19
- Kerschach-Schindl, K., Grampp, S., Henk, C., Resch, H., Preisinger, E., Fialka-Moser, V., & Imhof, H. (2001). Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clinical Physiology*, 21(3), 377-382.
- Kinser, A. M., Ramsey, M. W., O'Bryant, H. S., Ayres, C. A., Sands, W. A., & Stone, M. H. (2008). Vibration and stretching effects on flexibility and explosive strength in young gymnasts. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(1), 133-140. doi:10.1249/mss.0b013e3181586b13
- Kwak, D. H., & Ryu, Y. U. (2015). Applying proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: optimal contraction intensity to attain the maximum increase in range of motion in young males. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(7), 2129-2132. doi:10.1589/jpts.27.2129
- Lau, C., Yu, R., & Woo, J. (2015). Effects of a 12-Week Hatha Yoga Intervention on Cardiorespiratory Endurance, Muscular Strength and Endurance, and Flexibility in Hong Kong Chinese Adults: A Controlled Clinical Trial. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 958727. doi:10.1155/2015/958727
- López-Minarro, P. A., Andújar, P. S., & Rodríguez-Garcna, P. L. (2009). A comparison of the sit-and-reach test and the back-saver sit-and-reach test in university students. *Journal of Sports Science & Medicine*, 8(1), 116-122.
- Marín, P. J., Bunker, D., Rhea, M. R., & Ayllon, F. N. (2009). Neuromuscular activity during whole-body vibration of different amplitudes and footwear conditions: implications for prescription of vibratory stimulation. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(8), 2311-2316. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b8d637
- Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R., & Viciano, J. (2014). Criterion-Related Validity of Sit-and-Reach Tests for Estimating Hamstring and Lumbar Extensibility: a Meta-Analysis. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(1), 1-14.
- Mendiguchia, J., Alentorn-Geli, E., & Brughelli, M. (2012). Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction? *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 81-85. doi:10.1136/bjsm.2010.081695
- Opar, D. A., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2012). Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury. *Sports Medicine*, 42(3), 209-226. doi:10.2165/11594800-000000000-00000
- Osawa, Y., & Oguma, Y. (2013). Effects of vibration on flexibility: a meta-analysis. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, 13(4), 442-453.
- Pérez, J. (1994). Estiramientos con electroestimulación. *Fisioterapia*, 1994(16), 7.
- Pérez, J., & Álamo, D. (2001). Comparative study between muscular stretching by active tension and electrostimulation. *Fisioterapia*, 23(1), 4.
- Pérez, M. A., Field-Fote, E. C., & Floeter, M. K. (2003). Patterned sensory stimulation induces plasticity in reciprocal Ia inhibition in humans. *Journal of Neuroscience*, 23(6), 2014-2018.
- Petrofsky, J. S., Lawson, D., Berk, L., & Suh, H. (2010). Enhanced healing of diabetic foot ulcers using local heat and electrical stimulation for 30 min three times per week. *Journal of Diabetes*, 2(1), 41-46. doi:10.1111/j.1753-0407.2009.00058.x
- Purepong, N., Jitvimonrat, A., Boonyong, S., Thaveeratitham, P., & Pensri, P. (2012). Effect of flexibility exercise on lumbar angle: a study among non-specific low back pain patients. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 16(2), 236-243. doi:10.1016/j.jbmt.2011.08.001
- Rodríguez, A., Sánchez, J., Rodríguez-Marroyo, J. A., & Villa, J. G. (2015). Effects of seven weeks of static hamstring stretching on flexibility and sprint performance in young soccer players according to their playing position. *The Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, Apr;56(4):345-51.
- Sahin, N., Ugurlu, H., & Albayrak, I. (2012). The efficacy of electrical stimulation in reducing the post-stroke spasticity: a randomized controlled study. *Disability & Rehabilitation*, 34(2), 151-156. doi:10.3109/09638288.2011.593679
- Sands, W. A., McNeal, J. R., Stone, M. H., Russell, E. M., & Jemni, M. (2006). Flexibility enhancement with vibration: Acute and long-term. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(4), 720-725. doi:10.1249/01.mss.0000210204.10200.dc
- Sentandreu Mano, T., Salom Terradez, J. R., Tomás, J. M., Meléndez Moral, J. C., de la Fuente Fernández, T., & Company José, C. (2011). [Electrical stimulation in the treatment of the spastic hemiplegic hand after stroke: a randomized study]. *Medicina Clínica (Barcelona)*, 137(7), 297-301. doi:10.1016/j.medcli.2010.10.024
- Sharman, M. J., Cresswell, A. G., & Riek, S. (2006). Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: mechanisms and clinical implications. *Sports Medicine*, 36(11), 929-939. doi:10.2165/00007256-200636110-00002
- Tsuji, T., Kitano, N., Tsunoda, K., Himori, E., Okura, T., & Tanaka, K. (2014). Short-term effects of whole-body vibration on functional mobility and flexibility in healthy, older adults: a randomized crossover study. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 37(2), 58-64. doi:10.1519/JPT.0b013e318295dacd
- van den Tillaar, R. (2006). Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings?. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(1), 192-196. doi:10.1519/R-17064.1
- Witvrouw, E., Danneels, L., Asselman, P., D'Have, T., & Cambier, D. (2003). Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 31(1), 41-46. doi:10.1177/0363546503031001180
- Woods, K., Bishop, P., & Jones, E. (2007). Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Medicine*, 37(12), 1089-1099. doi:10.2165/00007256-200737120-00006



Programas

Sports Management University



PREPARACIÓN FÍSICA

- Visitas a ocho clubes de Primera y Segunda División.
- Profesorado con gran experiencia profesional en equipos de LaLiga.
- Atención personalizada.
- Perfecta combinación de clases prácticas y teóricas.
- Prácticas externas en clubes de fútbol.
- Alta tasa de inserción laboral.



ALTO RENDIMIENTO

- Primer Máster en España con sello de calidad de la NSCA.
- Profesorado de élite.
- Clases prácticas en nuestros dos centros de alto rendimiento.
- Posibilidad de experimentar con deportistas UCAM del más alto nivel
- Acceso a estudios de doctorado.
- Con el sello del Comité Olímpico Español.

HIGH PERFORMANCE

- Elite Professors.
- Learning in action.
- With the endorsement of the Spanish Olympic Committee.
- US National Strength and Conditioning Association NSCA recognition.
- Gives access to PhD.
- Two High Performance Sports Center.



Para más información:

UCAM Sports Management University

Campus de Los Jerónimos, Guadalupe 30107 Murcia, Spain