

Efectos del entrenamiento neuromuscular sobre el balance dinámico y actividad muscular en deportistas con inestabilidad funcional de tobillo: un estudio preliminar

Effects of neuromuscular training on dynamic balance and muscle activity in athletes with ankle functional instability: a preliminary study

Entrenamiento neuromuscular sobre el balance dinámico y actividad muscular en la inestabilidad funcional de tobillo



Cristian Caparrós Manosalva^{1,2}, Juan Morales Verdugo¹, Alexis Dabanch Santis¹, Francisco Díaz Valenzuela¹, Diego Molina Gómez¹, Joaquín Salazar Méndez¹, Nelson Viscay Sanhueza¹

1. Escuela de Kinesiología, Universidad de Talca

2. Laboratorio de Análisis del Movimiento Humano, Escuela de Kinesiología, Universidad de Talca

Resumen

Los Entrenamientos Neuromusculares (ENM) han demostrado ser efectivos sobre el balance postural y la activación muscular en sujetos con inestabilidad funcional de tobillo (IFT). Sin embargo, los estudios utilizan condiciones muy controladas con poca información del comportamiento en evaluaciones más funcionales. **Objetivo:** Analizar el efecto a corto plazo del entrenamiento neuromuscular sobre el balance dinámico y la activación muscular de tobillo en sujetos con inestabilidad funcional de tobillo. **Métodos:** Diseño cuasi experimental. Se intervinieron a 5 sujetos con IFT durante 3 semanas con un ENM. Se evaluó el Test de excursión de balance de la estrella (SEBT) y la activación muscular durante el aterrizaje en un salto vertical. **Resultados:** Se observó un aumento en el desplazamiento medial del COP durante el SEBT ($p=0,043$) después de la intervención, no así en las otras direcciones. El área y velocidad del COP no mostraron cambios. Las longitudes en el SEBT, mostraron un aumento significativo para los alcances laterales ($p=0,043$) y mediales ($p=0,045$), no así en la dirección anteroposterior ($p>0,05$). Los tiempos de activación muscular mostraron un aumento significativo en el Fibular Largo (valor $p=0,002$), posterior al ENM. La activación muscular no presento cambios significativos ($p>0,05$). **Conclusiones:** El entrenamiento neuromuscular en sujetos con inestabilidad funcional de tobillo mejora la percepción de inestabilidad, permitiendo un mejor balance dinámico en el alcance y en la excursión mediolateral durante el SEBT, pero sin cambios en el patrón de activación muscular de tobillo durante un aterrizaje.

Palabras clave: Entrenamiento neuromuscular, traumatismos del tobillo, balance postural, electromiografía.

Abstract

Neuromuscular training (NMT) have proven effective on postural balance and muscle activation in subjects with functional ankle instability (IFT). However, studies using highly controlled conditions with little more information on functional behavioral assessments. **Objective:** To analyze the short-term effect of neuromuscular training on dynamic balance and ankle muscle activation in subjects with functional ankle instability. **Methods:** Design cuasiexperimental. 5 subjects with IFT were submitted for three weeks with an NME. We evaluated the Star Excursion Balance Test (SEBT) and muscle activation during landing in a vertical jump. **Results:** An increase in the medial displacement of COP during SEBT ($p = 0.043$) after the intervention was observed, but not in the other directions. The COP area and speed were unchanged. The lengths in the SEBT, showed a significant increase scope for side ($p = 0.043$) and medial ($p = 0.045$), but not in the anteroposterior direction ($p > 0.05$). Muscle activation times showed a significant increase in the fibularis longus (p -value = 0.002), after the NME. Muscle activation were no significant differences ($p > 0.05$). **Conclusions:** The neuromuscular training in subjects with functional ankle instability enhances the perception of instability, allowing better dynamic balance in the extent and in the mediolateral excursion during SEBT, but no change in the pattern of muscle activation ankle during a landing.

Key words: Neuromuscular Training; Ankle injuries; Postural balance; Electromyography.

Introducción

El esguince de tobillo es una de las lesiones musculoesqueléticas más comunes en deportistas jóvenes y adultos (1,2). Éstas representan el 25% de todos los casos de traumatismos del aparato locomotor. Dentro de ello, el esguince lateral de tobillo (ELT) es la más frecuente y su mecanismo de lesión se produce generalmente por un aterrizaje en flexión plantar con inversión del pie, producto de movimientos bruscos, cambios de dirección repentina y/o pivotes (1,3).

La complicación más común después del ELT es la inestabilidad funcional (IFT) que desarrollan entre el 15 a 60% de los atletas que sufren ELT (4). La inestabilidad funcional de tobillo (IFT) se describe como una sensación subjetiva de inseguridad (Giving way) o inestabilidad en dicha articulación (5). La IFT es el movimiento de la articulación que no necesariamente supera los límites funcionales del tobillo, pero que si excede el control voluntario (6). Se ha reportado que los factores que pueden desencadenar una inestabilidad funcional de tobillo son la debilidad muscular, la inestabilidad mecánica y las deficiencias del balance neuromuscular, lo cual implicaría deficiencias en los tiempos de reacción muscular, en el balance postural y la propiocepción (7,8).

Los tratamientos de la IFT se han centrado en los Entrenamientos Neuromusculares (ENM). Se ha reportado que la aplicación de este tipo de entrenamientos, después de lesiones de tobillo y rodilla, puede ser eficaz para la prevención de lesiones recurrentes y la mejora de la funcionalidad de las articulaciones (9). La duración de las intervenciones de este tipo de entrenamientos varían entre 4 y un máximo de 12 semanas. Aparentemente, los períodos de entrenamiento más largo, de por lo menos 6 semanas son más eficaces para las adaptaciones fisiológicas (10). A pesar de que la mayoría de los estudios indican tendencias desde las primeras semanas, existe poca información sobre los efectos en periodos cortos de entrenamiento.

Los ENM evaluados a través del control postural han observado una mejoría significativamente mayor después del entrenamiento (10). Estos resultados sugieren que estas intervenciones pueden tener mayor impacto en el balance dinámico en comparación con las condiciones de balance estático.

Una prueba eficaz para medir el balance dinámico es el test de balance de excursión de la estrella (Star Excursion Balance Test, SEBT), el cual se utiliza como predictor de lesiones de miembros inferiores y como parte de los tratamientos (11). Varios estudios han reportado la eficacia del SEBT en la detección de los déficits funcionales relacionados con lesiones de tobillo (12,13). Se ha observado que el control neuromuscular del tobillo lesionado se refleja en la distancia alcanzada en cada dirección del test, siendo una mayor distancia un indicador de mejor control postural dinámico (14). En otros estudios, se encontraron que el desplazamiento del centro de presión (COP) en posición unipodal y el error absoluto en el reposicionamiento articular de tobillo disminuyeron significativamente luego de 12 semanas de ENM de tobillo (15). Gribble et al., investigaron como el entrenamiento neuromuscular influía en el rendimiento del SEBT. Sus resultados mostraron que luego de 8 semanas de entrenamiento, hubo un aumento de la distancia alcanzada por el sujeto con esguince de tobillo e inestabilidad funcional (14).

Los estudios mencionados han demostrado que el control postural de tobillo, ya sea estático o dinámico mejora luego de protocolos de ENM (11). Si bien el comportamiento del balance estático a través del análisis del centro de presión (COP) está bien documentado, existe poca información sobre el comportamiento del COP en pruebas de balance dinámico como el SEBT, las cuales han sido mayormente analizadas a través de la distancia lograda.

En relación al análisis de la actividad muscular, diversos estudios han medido los tiempos de reacción muscular frente a desestabilizaciones del tobillo a través de electromiografía (EMG). Se ha reportado que si los músculos no son capaces de reaccionar de manera eficiente después de una desestabilización, los individuos con IFT presentan una pre-programación alterada de la actividad muscular inmediatamente antes y después del impacto (16). Aunque la actividad muscular en el tobillo ha sido ampliamente estudiado en individuos con IFT de tobillo, la mayoría de los estudios se han realizado en condiciones muy controladas y pocos se han centrado en modelos más funcionales como el aterrizaje en el salto (4,7,9).

El propósito del estudio es analizar el efecto a corto plazo del entrenamiento neuromuscular sobre el balance dinámico y la activación muscular de tobillo sobre sujetos con inestabilidad funcional de tobillo.

Métodos

Se reclutaron sujetos jóvenes sanos pertenecientes a la universidad, que participaran en deportes que incluyeran saltos dentro de sus gestos técnicos. Para seleccionar la muestra los sujetos debían cumplir con tener una edad entre 18-24 años, practicar el deporte al menos 3 veces por semana, antecedentes de esguince recurrente en los últimos 6 meses y obtener un puntaje menor o igual 26 en el Cuestionario de Evaluación Funcional de Tobillo (Ankle joint functional assessment tool, AJFAT) para determinar la IFT (17). Los criterios de exclusión incluían antecedentes de fractura, cirugía o lesión mayor en miembros inferiores, no estar en tratamiento por lesión de miembro inferior, antecedentes de inestabilidad crónica de tobillo. Del total de sujetos evaluados solo 5 cumplieron con los criterios de selección. A los sujetos seleccionados se les pidió su consentimiento informado de acuerdo con la Declaración de Helsinki (18).

A todos los participantes se les midió altura, peso y longitud de miembros inferiores desde la espina iliaca antero superior hasta el maléolo lateral. Luego, fueron evaluados con el test de balance de excursión de la estrella (SEBT) y salto vertical (SV) para obtener

los datos basales previos al entrenamiento. Luego fueron sometidos a 10 sesiones de entrenamiento neuromuscular (ENM) durante 3 semanas en el cual se diseñaron cargas de trabajo para la resistencia y fuerza muscular de la musculatura de tobillo, y entrenamiento funcional. Al final del entrenamiento se les aplicó a cada sujeto nuevamente el Cuestionario de Evaluación Funcional de Tobillo y las pruebas de SEBT y SV.

Test de Balance de Excursión de la Estrella

Se realizó un SEBT de 4 direcciones, anterior-posterior y medial-lateral. Cada sujeto debía pararse al centro de una plataforma de balance de 50 cm x 50 cm modelo Bertec (Bertec Corporation, USA), con el pie con IFT en el centro. Se montaron 4 plataformas de madera en cada una de las direcciones y con la altura de la plataforma de balance. A cada participante se le instruyó verbalmente y se le demostró visualmente sobre la ejecución de la prueba en donde debían lograr el mayor alcance posible, permanecer con las manos en la cintura y el tronco erguido, no levantar el talón, ni cargar su peso sobre el pie de alcance (Figura 1). Cada dirección se ejecutó 3 veces guiados por un metrónomo con una señal audible cada 4 segundos para estandarizar la velocidad.



Figura 1. Ejecución del SEBT de 4 direcciones sobre la plataforma de balance.

Se capturo el desplazamiento del centro de presión (COP) sobre la plataforma a una frecuencia de muestreo de 200 Hz con el software Bertec Acquire 4 (Bertec Corporation, USA). En cada ejecución se midió la distancia desde el centro de la plataforma hasta el punto de contacto logrado por cada sujeto con una cinta métrica. Los participantes recibieron un intervalo de un minuto entre cada dirección. Todas las distancias fueron normalizadas con la longitud de miembros inferiores.

Actividad Electromiografía en el aterrizaje del Salto Vertical

Para el registro de la actividad Electromiografica (EMG) se utilizó un electromiógrafo de superficie modelo Bagnoli TM (Delsys USA), se instalaron 4 electrodos bipolares de plata pura al 99,9% en los músculos Tibial Anterior (TA), Fibular Largo (FL), Gastrocnemio Medial (GM) y Gastrocnemio Lateral (GL) según las recomendaciones de SENIAM (19). Para la instalación de los electrodos se rasuró la piel en la zona de ubicación del electrodo y se limpió con alcohol. Todas las capturas EMG se hicieron con una frecuencia de sampleo de 1000 Hz. Las señales EMG fueron pre-amplificadas con un pasa-banda de 20 a 450 Hz y un Modo Común de Rechazo (CMRR) > 80 dB a una ganancia de 1000 Hz.

Para normalizar las señales EMG, se obtuvieron las contracciones voluntarias máximas (CVM) de cada musculo, solicitando una contracción isométrica en las condiciones descritas por Daniels & Worthingham, (1982). Tanto para FL como para TA, se hicieron las pruebas en posición sedente con las manos cruzadas en los hombros. Para tomar registro de la CVM de GM y GL, se posicionó a los sujetos decúbito prono sobre una camilla con el pie en posición neutra. A cada sujeto se le evaluó la CVM por 3 segundos. Se tomaron 3 registros para cada músculo con un descanso de 30 segundos entre cada contracción para evitar la fatiga.

Luego de medir la CVM se le pidió a cada sujeto realizar un salto vertical (SV) tipo Abalakov (Salto vertical contramovimiento y con los brazos libres) sobre una plataforma. Se le instruyo al sujeto ubicarse con sus pies separados al ancho de los hombros y lograr la mayor altura posible aterrizando dentro de la misma base de apoyo. Previamente realizo un set de salto submáximos para ambientarse a la prueba. Se realizaron 3 saltos obteniendo el promedio de los registros EMG durante cada repetición.

Procesamiento de las señales del COP y EMG

Para analizar el desplazamiento del COP en los sentidos anteroposterior y mediolateral los registros se transformaron en archivos de texto y se analizaron con el software MATLAB. Se obtuvieron el desplazamiento y la velocidad del COP en el eje anteroposterior y mediolateral, para realizar los análisis.

Los datos de EMG se transformaron en archivos *.txt y se analizaron con el software IgorPro V 6.1 (Wavemetrics, USA). Todas las señales EMG fueron rectificadas, se corrigió su offset y se les aplicó un filtro con una pasa banda de 20 Hz, para suavizar la señal. La actividad electromiográfica fue analizada en la fase de aterrizaje del SV (Figura 2). Se obtuvieron los tiempos de activación en una ventana de tiempo determinada por la caída.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS versión 22.0 (SPSS Inc., EE.UU.) con un nivel de significancia para cada prueba de $p < 0,05$. Se realizó el análisis de distribución normal de los datos.

Para el desplazamiento, área y velocidad del COP, se utilizaron pruebas paramétricas para las diferencias pre-post. Para determinar el patrón de activación muscular se utilizó el test estadístico de ANOVA no paramétrica y se realizaron comparaciones posteriores con la prueba de Tukey para muestras balanceadas. Para determinar los tiempos de activación muscular y tiempos de activación se utilizaron pruebas paramétricas.

Resultados

Todos los sujetos completaron 10 sesiones de entrenamiento neuromuscular, luego de finalizado este plan de intervención se realizó la evaluación del SEBT, SV y AJFAT.

Los resultados del SEBT mostraron un desplazamiento del COP sin cambios significativos post entrenamiento ($p > 0,05$) para las distancias anteroposteriores y lateral. Sin embargo, el desplazamiento medial mostró un aumento significativo del COP ($p = 0,043$) después de la intervención (Figura 3a, 3b).

El área y velocidad del COP en todas las direcciones mostraron un aumento posterior al ENM, pero sin cambios significativos ($p > 0,05$).

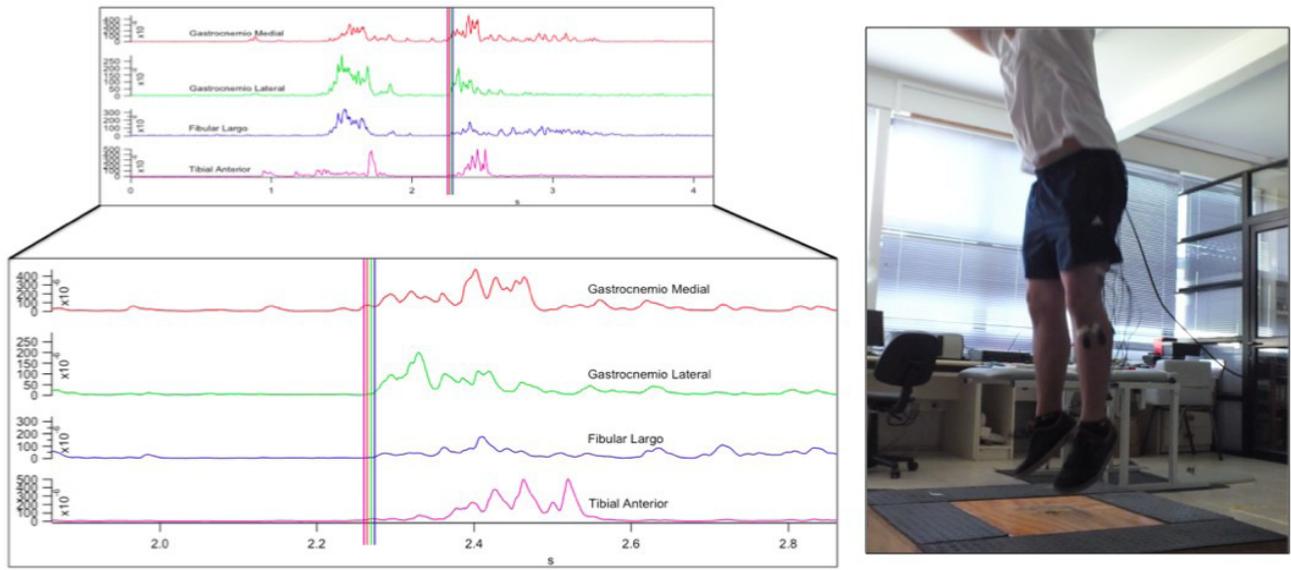


Figura 2. Análisis de los tiempos de activación de la musculatura de tobillo en el aterrizaje del SV.

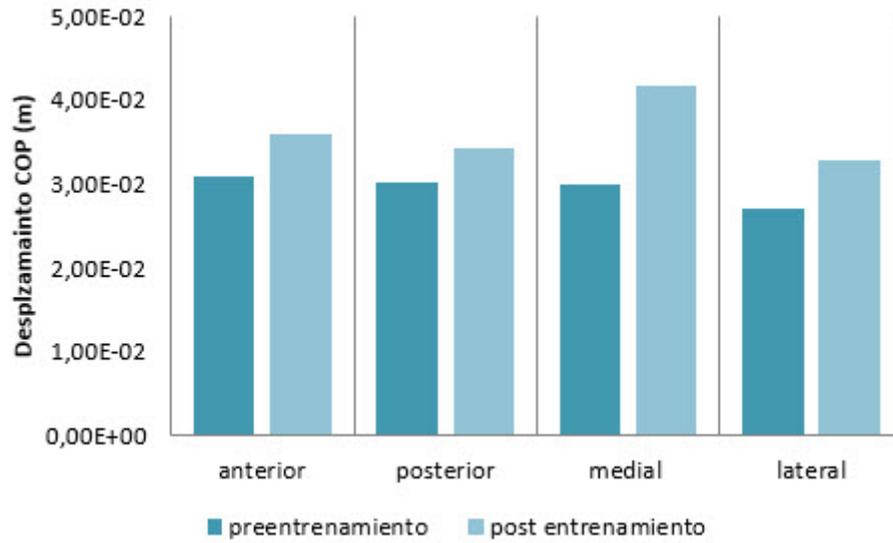


Figura 3a. Desplazamiento Mediolateral de cada fase

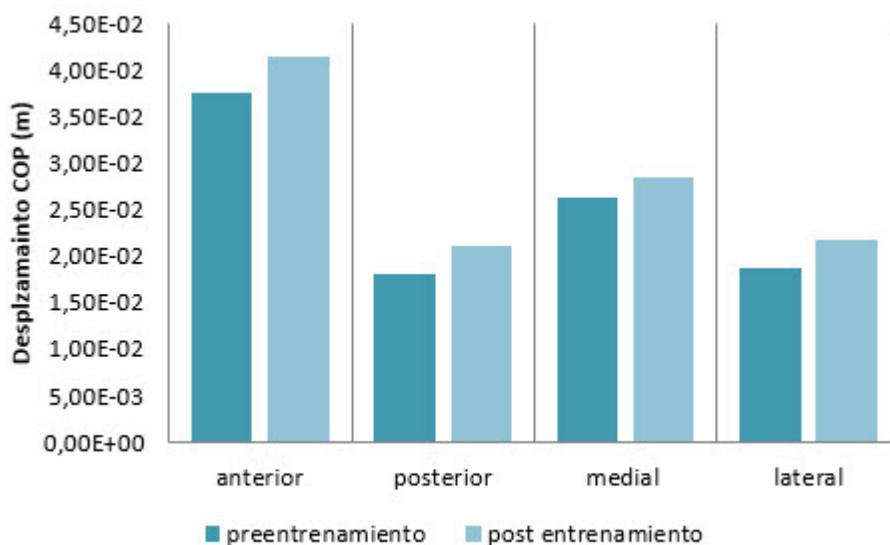


Figura 3b. Desplazamiento Anteroposterior de cada fase

El rendimiento en las longitudes en el SEBT, como porcentajes del alcance normalizado a la longitud del miembro inferior (Figura 4), mostraron un aumento

significativo para los alcances laterales ($p=0,043$) y mediales ($p=0,045$), no así en la dirección anteroposterior ($p>0,05$).

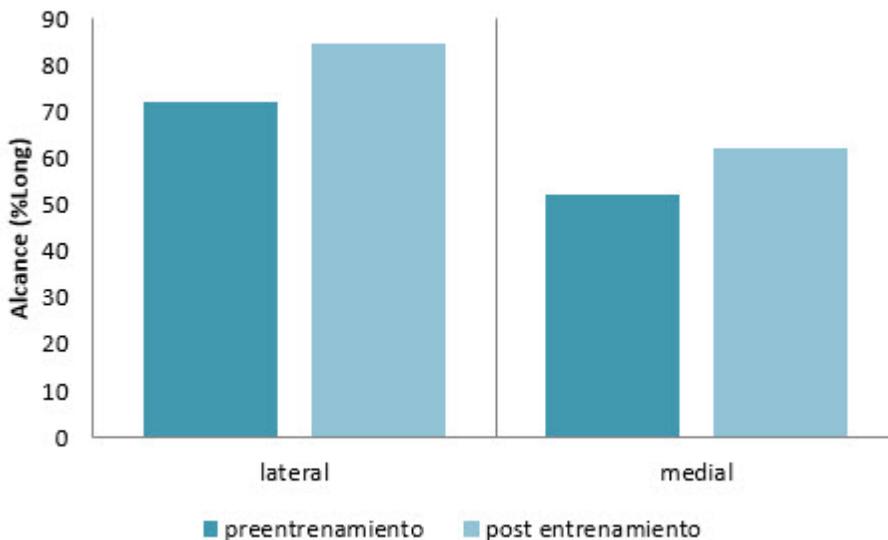


Figura 4. Diferencias en alcances lateral y medial del SEBT. Los datos del alcance están normalizados a la longitud del miembro inferior (%Long)

Tabla 1. Resultados tiempos de activación durante el aterrizaje del SV pre y post entrenamiento neuromuscular.

| Músculo | Tiempo Activación | | Valor p |
|----------------------|-------------------|-------|---------|
| | Pre | Pos | |
| Tibial Anterior | 2,247 | 2,342 | 0,185 |
| Gastrocnemio Medial | 2,266 | 2,358 | 0,135 |
| Gastrocnemio Lateral | 2,275 | 2,411 | 0,002 |
| Fibular Largo | 2,276 | 2,465 | 0,078 |

En relación al análisis EMG de los musculatura de tobillo durante el aterrizaje en el SV, se observó que el orden de activación de los músculos fue: Tibial anterior, Gastrocnemio medial, Gastrocnemio lateral y Fibular largo. Esta secuencia fue observada antes y después del ENM.

Los tiempos de activación pre y post tratamiento para cada musculo, no mostraron cambios significativos para el TA, GM y GL (Tabla 1). Sin embargo, se evidencio un aumento significativo en el tiempo de activación del FL (valor $p=0,002$), posterior al ENM. La activación muscular, normalizado a la CVM, no presentaron cambios significativos ($p>0,05$) en la musculatura de tobillo después de la intervención.

Finalmente al analizar las encuestas sobre la capacidad funcional del tobillo antes y después del ENM, los puntajes de AJFAT mostraron un aumento significativo ($p=0,003$), indicando una mejor funcionalidad de su tobillo luego del entrenamiento.

Discusión

Este estudio muestra de manera preliminar el comportamiento de una muestra pequeña de sujetos con IFT intervenidos con un ENM, el cual fue diseñado según las recomendaciones de varios autores en base a incluir ejercicios de flexibilidad, fortalecimiento, balance, propiocepción y ejercicios funcionales, que en este caso fue desarrollado con ejercicios pliométricos (9). Si bien los resultados son discutidos las conclusiones obtenidas aún son parciales.

Algunos estudios han demostrado la eficacia del entrenamiento neuromuscular sobre el balance estático y dinámico en sujetos con IFT (14,15). Sus resultados han demostrado mejoría en los alcances logrados en el SEBT como parte del análisis del balance estático, pero existe poca información del comportamiento del COP en este tipo de pruebas. Por otro lado, los tiempos

de reacción muscular en sujetos con IFT sometidos a entrenamiento han mostrado una mejoría en el tiempo de respuesta frente a perturbaciones, pero no existe mucha claridad sobre sus efectos en pruebas más asociadas a las demandas deportivas como el aterrizaje en el salto. El propósito del estudio fue analizar el efecto a corto plazo del entrenamiento neuromuscular sobre el balance dinámico y la activación muscular de tobillo sobre sujetos con inestabilidad funcional de tobillo.

Los resultados del estudio mostraron un aumento del área y de la velocidad del COP después del ENM. La literatura plantea que el mejor control postural permite una menor excursión del COP por lo tanto una menor área de desplazamiento (20). Si bien, esta relación indicaría que el ENM en 3 semanas provocaría una disminución en el control postural, lo cual podría ser explicado por la corta duración de la intervención, ya que los resultados efectivos de este tipo de entrenamiento han sido expuestos sobre 4 semanas de intervención, no permite dar respuesta solo a la duración. Los análisis del COP han sido estandarizados para pruebas estáticas ya sea con un pie o ambos. El hecho que el SEBT desplace en diferentes direcciones al centro de masa del cuerpo, requiere un desplazamiento mayor del COP para lograr el alcance en cada dirección. Sobre este tipo de análisis, algunos autores han propuesto el análisis del COP a través de análisis factorial de la excursión del COP (21). Además, la relación de ojos abiertos/ ojos cerrados, que utilizan las evaluaciones de balance estático, no permite discriminar el mayor control del input somatosensorial frente a la prueba, lo que podrá explicar el comportamiento del área y la velocidad del COP frente a las demandas de alcance y balance dinámico (20).

El ENM al cual se sometieron los sujetos mostro que la sensación subjetiva de sus tobillos mejoro, al mismo tiempo que los alcances logrados fueron mayores después de la intervención. Lee et al, demostraron que

un ENM de corta duración puede provocar adaptaciones de los sistemas de control en sujetos con inestabilidad de tobillo (15). Por otro lado, el incremento en el desplazamiento mediolateral del COP durante el SEBT, podría estar influenciado por un mejor control de la musculatura estabilizadora de tobillo frente a movimientos de inversión y evasión.

La actividad muscular y el tiempo de reacción, son variables frecuentes de los estudios en sujetos con alteraciones de tobillo. El orden de activación muscular en los sujetos intervenidos mostro tibial anterior, gastrocnemio medial, gastrocnemio lateral y finalmente el fibular largo. Este patrón se mantuvo posterior al ENM y mostrando una respuesta casi simultánea frente al aterrizaje. Suda et al, demostraron que los sujetos que presentan IFT presentaron una activación simultánea (4). Al comparar con un grupo control, observaron un patrón de activación en que el Fibular largo y el Gastrocnemio lateral se activaban prácticamente de forma simultánea y de manera previa al Tibial anterior. Santello, atribuye esta activación simultánea a un déficit del control motor relacionado con el instante del impacto esperado (22). Además, este comportamiento ocurre como una preactivación del aterrizaje durante el salto.

El tiempo de activación muscular de tobillo mostro un aumento postentrenamiento. Solo el Fibular largo demostró cambios significativos ($p=0,002$). Linford et al, sometieron a sujetos sanos a 6 semanas de ENM, observando una disminución significativa en el tiempo de activación del Fibular largo (23). La IFT presenta respuestas de protección de la musculatura de tobillo, sin embargo, los resultados del estudio vislumbran que un ENM de corta duración no lograría modificar el control neural de estos músculos frente a demandas de impacto.

Por último, el comportamiento de la actividad muscular la cual se obtuvo de la amplitud normalizada a la CVM, no mostro cambios por el ENM. Si bien, el entrenamiento incluyó ejercicios de fortalecimiento como lo recomienda la literatura (4), al parecer estos no tienen incidencia en el control que realizan estos frente al aterrizaje. Hall et al, observaron un aumento en la fuerza isométrica de tobillo después de aplicar un entrenamiento de fuerza y otro de propiocepción en 2 grupos de sujetos (24). Pareciera ser que para observar cambios en la activación muscular frente a una tarea funcional, un ENM de corta duración es tiempo insuficiente.

En resumen, la intervención en sujetos con presencia de IFT con un ENM durante 3 semanas, presenta una mejora en la percepción de inestabilidad de los sujetos, con un balance dinámico de mayor excursión mediolateral lo que podría verse facilitado por los ejercicios propioceptivos que incluía el entrenamiento, pero que aparentemente requiere un análisis del COP más adecuado al tipo de prueba. Frente al aterrizaje durante un SV, la musculatura estabilizadora de tobillo presenta un comportamiento simultáneo en los tiempos de activación, dejando al fibular largo con un retardo mayor frente a los otros músculos.

Como conclusión podemos señalar que el entrenamiento neuromuscular en sujetos con inestabilidad funcional de tobillo mejora la percepción de inestabilidad de los sujetos, permitiendo un mejor balance dinámico en el alcance y en la excursión mediolateral del SEBT. Además, el ENM de 3 semanas, no provoca cambios en el patrón de activación de la musculatura de tobillo frente al impacto, pero aparentemente muestra un comportamiento específico del fibular largo que podría ser producto de la intervención.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Puffer JC. The sprained ankle. Clin Cornerstone, 2011; 3(5): 38-49.
2. Guillodo Y, Le Goff A, Sarau A. Adherence and effectiveness of rehabilitation in acute ankle sprain. Ann Phys Rehabil Med. 2011; 54(4): 225-235.
3. Eisenhart AW, Gaeta TJ, Yens DP. Osteopathic manipulative treatment in the emergency department for patients with acute ankle injuries. J Am Osteopath Assoc. 2003 Sep;103(9):417-21.
4. Suda EY, Amorim CF, Sacco Ide C. Influence of ankle functional instability on the ankle electromyography during landing after volleyball blocking. J Electromyogr Kinesiol. 2009 Apr;19(2):e84-93. Epub 2007 Dec 11.
5. Freeman MA, Dean MR, Hanham IW. The etiology and prevention of functional instability of the foot. J Bone Joint Surg Br. 1965 Nov;47(4):678-85.

6. Tropp H, Odenrick P, Gillquist J. Stabilometry recordings in functional and mechanical instability of the ankle joint. *Int J Sports Med*. 1985 Jun;6(3):180-2.
7. Richie DH Jr. Functional Instability of the Ankle and the Role of Neuromuscular Control: A Comprehensive Review. *J Foot Ankle Surg*. 2001 Jul-Aug;40(4):240-51.
8. Hertel, J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *J Athl Train*. 2002 Dec;37(4):364-375.
9. Zech A, Hübscher M, Vogt L, Banzer W, Hänsel F, Pfeifer K. Neuromuscular Training for Rehabilitation of Sports Injuries: A Systematic Review. *Med Sci Sports Exerc*. 2009 Oct;41(10):1831-41
10. Hale SA, Hertel J, Olmsted-Kramer LC. The Effect of a 4-Week Comprehensive Rehabilitation Program on Postural Control and Lower Extremity Function in Individuals With Chronic Ankle Instability. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007 Jun;37(6):303-11.
11. Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the Star Excursion Balance Test to Assess Dynamic Postural Control Deficits and Outcomes in Lower Extremity Injury: A Literature and Systematic Review. *J Athl Train*. 2012 May-Jun;47(3):339-57
12. Earl JE, Hertel J. Lower-extremity muscle activation during the Star Excursion Balance Tests. *J Sport Rehabil*, 2001;10(2):93-104.
13. Olmsted LC, Carcia CR, Hertel J, Shultz SJ. Efficacy of the Star Excursion Balance Tests in detecting reach deficits in subjects with chronic ankle instability. *J Athl Train*. 2002;37(4):501-506
14. Gribble PA, Robinson RH, Hertel J, Denegar CR. The effects of gender and fatigue on dynamic postural control. *J Sport Rehabil*. 2009 May;18(2):240-57.
15. Lee KY, Lee HJ, Kim SE, Choi PB, Song SH, Jee YS. Short term rehabilitation and ankle instability. *Int J Sports Med*. 2012 Jun;33(6):485-96.
16. Caulfield B, Garrett M. Changes in ground reaction force during jump landing in subjects with functional instability of the ankle joint. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2004 Jul;19(6):617-21.
17. Scott E Ross, Kevin M Guskiewicz, Michael T Gross, Bing Yu. Assessment Tools for Identifying Functional Limitations Associated With Functional Ankle Instability. *J Athl Train*. 2008 Jan-Feb; 43(1): 44–50.
18. Asociación Médica Mundial. Declaración de Helsinki: Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos [en línea] [consultado 01/03/2012]. Disponible en: <http://www.wma.net/s/policy/b3.htm>.
19. Hermens H, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol*. 2000; 10: 361-374
20. Duarte M, Freitas S. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Rev Bras Fisioter, São Carlos*. 2010; 14(3): 183-92
21. Doherty C, Bleakley C, Hertel J, Caulfield B, Ryan J, Delahunt J. Balance failure in single limb stance due to ankle sprain injury: An analysis of center of pressure using the fractal dimension method. *Gait & Posture*. 2014; 40: 172–176
22. Santello M. Review of motor control mechanisms underlying impact absorption from falls. *Gait & posture*. 2005; 21, 85-94.
23. Linford CW, Hopkins JT, Schulthies SS, Frelund B, Draper DO, Hunter I. Effects of neuromuscular training on the reaction time and electromechanical delay of the peroneus longus muscle. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006 Mar;87(3):395-401.
24. Hall EA, Docherty CL, Simon J, Kingma JJ, Klossner JC. Strength-Training protocols to improve deficits in participants with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *J Athl Train*. 2015 Jan;50(1):36-44.

Correspondencia:

Cristian Caparrós Manosalva
Universidad de Talca. Talca, Chile.
E-mail: ccaparros@utalca.cl

Recibido para publicación: Junio 15 de 2015
Aprobado para publicación: Agosto 20 15 de 2015