Revista de Educación Física, (Rev Edu Fís / J Physical Edu) 2018, 36(3)

Article

Efecto del Entrenamiento Inestable sobre la Propiocepción de la Articulación de la Rodilla y la Fuerza Central (Core)

The Effect of Instability Training on Knee Joint Proprioception and CORE Strength

Mutlu Cuğ[1], Emre Ak[2], Recep Ali Ozdemir[3], Feza Korkusuz[2] y David G Behm[4]

[1]*Physical Education and Sports Department. Cumhuriyet University, Sivas, Turkey.*
[2]*Middle East Technical University, Physical Education and Sports, Ankara*
[3]*Center for Neuromotor and Biomechanics Research and Department of Health & Human Performance. University of Houston, Houston, USA.*
[4]*School of Human Kinetics and Recreation Memorial University of Newfoundland. St. John's Newfoundland, Canada.*

RESUMEN

Si bien hay muchos estudios que demuestran una mayor activación del tronco en condiciones inestables, no se conoce con certeza si esta mayor activación se traducirá en fuerza del tronco significativa luego de un programa de entrenamiento prolongado. Adicionalmente, si bien se ha demostrado que los programas de entrenamiento del equilibrio mejoran la estabilidad, su efecto en la propiocepción específica de las articulaciones no está claro. Así el objetivo de este estudio fue examinar las adaptaciones al entrenamiento asociadas con un programa de entrenamiento en condiciones inestables de 10 semanas. Los participantes fueron evaluados antes (pre) y después (post) del entrenamiento en fuerza de extensión y flexión del tronco y propiocepción de la rodilla. Cuarenta y tres participantes participaron o en un programa de entrenamiento en superficie inestable de 10-semanas (3 días por semana) utilizando balón suizo y peso corporal como resistencia, o formaron parte de un grupo control (n = 17). El grupo que entrenó aumentó ($p < 0.05$) torque máximo de extensión del tronco/peso corporal (23.6%) y producción de trabajo total (20.1%) pre vs post entrenamiento mientras que el grupo control presentó una disminución de 6.8% y 6.7% respectivamente. El grupo de ejercicios aumentó 18.1% su torque máximo de flexión del tronco /peso corporal mientras que el grupo control disminuyó un 0.4%. La propiocepción de la rodilla (combinando el reposicionamiento de la articulación derecha e izquierda) mejoró 44.7% pre vs post entrenamiento ($p = 0.0006$) y se mantuvo (21.5%) durante 9 meses luego del entrenamiento. Por otra parte se observó una interacción lateral con el sentido de posición de la rodilla derecha a los 9 meses presentando una desviación 32.1% ($p = 0.03$) menor del ángulo de referencia que la rodilla derecha durante pre-test. Un programa de entrenamiento en inestabilidad con balones suizos con el peso corporal como resistencia puede proporcionar mejoras prolongadas en la propiocepción de la articulación y en la fuerza del core en individuos previamente desentrenados que realizan este nuevo entrenamiento, lo que contribuiría con la salud general.

Palabras Clave: Entrenamiento de la fuerza en inestabilidad, estabilidad, espalda, abdominales

ABSTRACT

Although there are many studies demonstrating increased trunk activation under unstable conditions, it is not known whether this increased activation would translate into meaningful trunk strength with a prolonged training program. Additionally, while balance-training programs have been shown to improve stability, their effect on specific joint proprioception is not clear. Thus the objective of this study was to examine training adaptations associated with a 10-week instability-training program. Participants were tested pre- and post-training for trunk extension and flexion strength and knee proprioception. Forty-three participants participated in either a 10-week (3 days per week) instability-training program using Swiss balls and body weight as resistance or a control group (n = 17). The trained group increased ($p < 0.05$) trunk extension peak torque/body weight (23.6%) and total work output (20.1%) from pre- to post-training while the control group decreased by 6.8% and 6.7% respectively. The exercise group increased their trunk flexion peak torque/body weight ratios by 18.1% while the control group decreased by 0.4%. Knee proprioception (combined right and left joint repositioning) improved 44.7% from pre- to post-training ($p = 0.0006$) and persisted (21.5%) for 9 months post-training. In addition there was a side interaction with the position sense of the right knee at 9 months showing 32.1% ($p = 0.03$) less deviation from the reference angle than the right knee during pre-testing. An instability-training program using Swiss balls with body weight as resistance can provide prolonged improvements in joint proprioception and CORE strength in previously untrained individuals performing this novel training stress which would contribute to general health.

Keywords: Strength training in instability, stability, back, abdominals

INTRODUCCIÓN

La declaración de posición de la Sociedad Canadiense de Fisiología de Ejercicio sobre el entrenamiento de la fuerza en inestabilidad (RT) recomendó que para atletas y no atletas de todos los niveles, los levantamientos con pesos libres desde el suelo deben ser la base del entrenamiento de la musculatura del core (Behm et al., 2010a). Estas recomendaciones se basaron en investigaciones sobre el RT en inestabilidad que demostraron disminuciones en la fuerza, potencia y velocidad de movimiento al realizar RT bajo condiciones inestables. (Behm et al., 2010b). Las disminuciones en la fuerza con inestabilidad acompañada por una magnitud similar de activación muscular, sugirieron que las fuerzas de impulso dinámicas de los músculos (la capacidad de aplicar fuerza externa) fueron transferidas a funciones de estabilización mayores (Anderson y Behm, 2004). Las limitaciones en la fuerza, potencia y rendimiento durante la inestabilidad pueden ser atribuidas parcialmente a un aumento en la rigidez de la articulación. Carpenter et al. (2008) y Adkin et al. (2002) indicaron que frente a una condición de inestabilidad se adoptó una estrategia de endurecimiento que podría afectar adversamente la magnitud y tasa de movimientos. Así, las alteraciones inducidas por la inestabilidad en la activación de los músculos, en la cinética y rigidez muscular podrían tener un efecto adverso en la propiocepción y coordinación. Según Behm et al. (2010b) las disminuciones asociadas con los dispositivos de inestabilidad no pueden aportar tantas ventajas de entrenamiento como los levantamientos desde el suelo.

Sin embargo, en la misma declaración de posición, los autores indicaron que en la rehabilitación y el entrenamiento físico general, se ha demostrado que la utilización de dispositivos inestables es eficaz para disminuir la incidencia de dolor en la zona baja de la espalda (LBP) y para aumentar la eficiencia sensorial de tejidos blandos que estabilizan las articulaciones (Behm et al., 2010b). Así, además de los beneficios informados de una mayor activación muscular inducida por la inestabilidad, el entrenamiento con dispositivos inestables podría aumentar el rendimiento mejorando la propiocepción (Anderson y Behm, 2004). La mayoría parte de la literatura examina el efecto del entrenamiento propioceptivo en la estabilidad de la columna (Carter et al., 2006). Hay poca información sobre los efectos del entrenamiento en inestabilidad (IT) en la propiocepción de las extremidades. La precisión en una inversión de tobillo discreta mejoró luego de 12 semanas de entrenamiento en tabla de equilibrio (Waddington et al., 2000). No está claro si los desafíos del entrenamiento (menor fuerza, potencia y mayor co-contracción) presentados por los ejercicios de inestabilidad ejercerán efectos positivos o efectos negativos de entrenamiento en la propiocepción de las articulaciones. La mejora en la propiocepción permite un patrón de movimiento más exacto y ayuda a prevenir lesiones (Lephart et al., 1997). Dado que las lesiones de rodilla y de tobillo están entre las lesiones musculoesqueléticas más comunes (Behm et al., 2010b), la propiocepción de la articulación eficaz es esencial para el adecuado movimiento y estabilidad de la articulación y podría desempeñar un rol de protección a en la lesión aguda de rodilla. Además, no se sabe cuánto tiempo puede persistir una posible mejora en la propiocepción de la articulación luego del IT.

Los músculos del tronco o del core no sólo tienen la importancia fundamental de estabilizar la columna en las actividades

diarias, si no que también permiten alcanzar un mejor rendimiento en los deportes y colaboran en la prevención y tratamiento del dolor en la zona baja de la espalda (LBP) (Faries y Greenwood, 2007; McGill, 2010). Muchos estudios han informado una mayor actividad de los músculos del tronco al realizar los ejercicios en superficies inestables (Arokoski et al., 2001). Por otra parte, hay pocas investigaciones, sobre el efecto de los ejercicios en superficies inestables sobre la fuerza del core (Cosio-Lima et al., 2003, Sekendiz et al., 2010). Mientras que en la literatura se encuentran muchos estudios realizados en inestabilidad aguda hay menos cantidad de estudios con IT. Varios estudios han utilizado protocolos IT para medir el rendimiento fisiológico, funcional y deportivo (Behm y Kibele, 2009; Behm y Sparkes, 2010; Stanton et al., 2004), pero no midieron los cambios en la fuerza del tronco. Otros estudios son de duración bastante corta (3-6 semanas) y han demostrado adaptaciones positivas para la estabilidad de la curvatura lordotica, el control postural (Yaggie y Campbell, 2006) y la potencia del tronco (Cowley et al., 2007).Stanforth et al. (1998) llevaron adelante un programa de inestabilidad de 10 semanas y también observaron mejoras en la estabilidad de la curvatura lordótica pero no observaron ninguna diferencia con el grupo de entrenamiento tradicional para la resistencia del tronco. Recíprocamente, Carter et al. (2006) observaron mejoras en la potencia y resistencia del tronco con 10 semanas de IT. Sekendiz et al. (2010) describieron una mayor flexión, fuerza de extensión y resistencia del tronco con 12 semanas de entrenamiento con balón suizo. Sin embargo en este estudio no se utilizó ningún grupo control. Por lo tanto en base a la carencia de estudios y de los resultados contradictorios en los pocos estudios de entrenamiento que evaluaron la fuerza del tronco, sería importante investigar si con el IT los aumentos informados inducidos por ejercicios en inestabilidad en la activación de los músculos del tronco se trasladan a una fuerza del tronco significativa.

Por consiguiente, el propósito de este estudio fue investigar los efectos del entrenamiento con balón suizo (inestabilidad) en los parámetros de la fuerza isocinética del core y en el sentido del reposicionamiento de la articulación de la rodilla (propiocepción). Planteamos la hipótesis que 10 semanas de IT producirían una mayor fuerza del tronco y una mejor propiocepción de la rodilla. También planteamos la hipótesis que las mejoras en la propiocepción de la rodilla se mantendrían luego de 9 meses posteriores al entrenamiento.

METODOS

Sujetos

En el estudio participaron voluntariamente estudiantes universitarios que habían tomado los cursos electivos del Departamento de Educación Física y Deportes. En total, en el estudio participaron 60 participantes. Concretamente en el estudio participaron, 43 sujetos (27 varones, 16 mujeres) del Curso General de Acondicionamiento Físico (grupo que trabajó con la balón suizo) y 17 sujetos (9 varones, 8 mujeres) de cursos teóricos (Tabla 1). Para reunir los requisitos del curso y del estudio, los participantes tenían que ser individuos saludables, inactivos y sin antecedentes de ejercicio regular. Se les proporcionó un cuestionario de salud y niveles de ejercicios de diferentes niveles. Se contó con la aprobación ética del Comité de Ética de Investigaciones Humanas de la Universidad siguiendo lo establecido por la Convención de Helsinki. Los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado. Los criterios de inclusión fueron a) no haber realizado actividad física durante un mínimo de seis meses, b) ausencia de enfermedades neurológicas, cardiovasculares, metabólicas, reumáticas o vestibulares, c) no haber tenido ninguna lesión o cirugía previa en las piernas y d) la ausencia de inestabilidad en las rodillas. Tres sujetos (2 varones, 1 mujer) de 47 del grupo que realizó el tratamiento y 2 (2 varones) de 17 del grupo control tenían como dominante a la pierna izquierda.

	Grupo Esperimental (n=43)		Grupo Control n=(17)	
	Varones 8 (n=27)	Mujeres 9 (n=16)	Varones 6 (n=9)	Mujeres 9 (n=8)
Edad	21.67 (1.51)	21.81 (1.16)	23.44 (2.87)	23.25 (1.67)
Talla	1.73 (0.06)	1.64 (0.05)	1.74 (0.04)	1.63 (0.07)
Peso Pre entrenamiento	72.67 (9.41)	57.18 (12.18)	77.00 (9.69)	57.5 (11.74)
Peso Post entrenamiento	71.44 (9.38)	57.25 (11.76)	76.33 (9.71)	57.25 (12.84)
BMI	24.19 (2.91)	21.08 (3.85)	25.20 (2.93)	21.60 (3.50)

Tabla 1. *Características de los participantes (±SD)*

Variables Dependientes

Las variables dependientes incluyeron una Reproducción Pasiva de Protocolo de Posicionamiento Pasivo (PRPP) que se realizó con un dinamómetro isocinético Biodex (Biodex Medical Systems, Inc. Shirley, NY). Se solicitó a los pacientes que se sentaran con la articulación de la rodilla alineada al eje de rotación. El muslo fue fijado con una correa para aislar el movimiento de la articulación de la rodilla. Se solicitó a los participantes que llevaran shorts para minimizar los estímulos sensoriales de la ropa sobre la piel durante la prueba. Los ojos de los participantes fueron vendados.

En cada prueba la pierna del participante se colocó con un ángulo inicial de flexión de la rodilla de 90°. Luego la pierna del participante fue movida por el evaluador de manera pasiva al ángulo de prueba de 45° de flexión de la rodilla con una velocidad angular de 4°/seg. Esta posición (flexión de rodilla a 45°) se mantuvo durante 3 segundos. A continuación, la pierna de los participantes regresó pasivamente a la posición de arranque. Este procedimiento de familiarización fue realizado dos veces. Luego de un período de descanso de cinco segundos el dinamómetro movió pasivamente la pierna del participante a 45° de flexión de la rodilla a una velocidad angular de 2°/s. Los participantes debían presionar un botón de la parada cuando ellos pensaban que el ángulo prescrito había sido alcanzado. Se registró la cantidad de error, en la capacidad del participante de reconocer el ángulo de referencia. Para los análisis estadísticos se utilizó el promedio de dos valores. El PRPP fue evaluado pre y post entrenamiento y se realizó un seguimiento posterior a los 9 meses. La prueba de seguimiento luego de 9 meses solo fue realizada en el grupo que realizó el entrenamiento.

Se evaluó la fuerza del extensor\flexor del tronco en el dinamómetro isocinético *Biodex III System* (*Biodex Medical Systems, Inc. Shirley, NY*) concéntricamente a una velocidad angular de 90° s^{-1} (10 repeticiones)(Karatas et., 2002). Cada participante se colocó en el dinamómetro, sentado con la espalda y el cuello sujetados a las almohadillas ajustables por seguridad. Sus muslos, pelvis y pecho estaban sujetos por almohadillas rígidas para prevenir la rotación pelviana y facilitar el aislamiento del tronco para evaluar solamente la flexión/extensión (Sekendiz et al., 2007). La posición de bloque de la rodilla fue ajustada individualmente. Se solicitó a los participantes que mantuvieran sus cabezas y brazos en una posición fija a lo largo de la prueba. Antes de efectuar las mediciones, se solicitó a los participantes que realizaran una prueba de familiarización de dos repeticiones con 10s de recuperación. Las mediciones incluyeron torque máximo y trabajo total (durante las 10 repeticiones). El torque máximo fue normalizado dividiendo el torque máximo por el peso corporal del participante.

Programa de Entrenamiento

El entrenamiento con balón suizo fue realizado 3 días (Lunes-Miércoles-Viernes) por semana durante 10 semanas. Cada participante recibió un balón cuyo tamaño dependía de su talla. El tamaño del balón debía permitir alcanzar un ángulo >90° tanto en la cadera como en la rodilla. Los balones de estabilidad tenían una altura de 55 o 65 centímetros. El volumen de ejercicio se mantuvo constante en cada individuo. El programa de ejercicios progresó en dificultad aumentando las series y repeticiones (desde la semana 1con 2 series de 6 repeticiones hasta 3 series de 14 repeticiones en la semana 10) o la duración (semana 1: 2 series de 30seg a la semana 10: 2 series de 60 seg). El programa de ejercicios progresó en dificultad aumentando las repeticiones. Antes de cada entrenamiento, los participantes realizaron una entrada en calor con una carrera de 6-8 minutos a aproximadamente 8 km/hr. Luego de la carrera realizaron estiramiento activo dinámico del cuello, hombros, tronco, caderas, cuadriceps, isquiotibiales, músculos abductores y aductores. Se ha establecido que el estirando dinámico o facilita, o no tiene efectos adversos sobre el rendimiento posterior (Behm y Chaouachi, 2011). Los ejercicios de estiramiento también se realizaron durante la sesión y al finalizar cada sesión. Los intervalos de descanso fueron de aproximadamente 30 segundos. Todas las sesiones fueron manejadas y dirigidas por el mismo entrenador. Todos los ejercicios fueron realizados con balones suizos e incluyeron abdominales, extensiones de espalda, curl de isquiotibiales en posición supina, sentadillas (el balón suizo soportando la espalda) hasta una posición dónde los muslos quedaran paralelos al suelo, y de pie y arrodillados en el balón suizo. Estos ejercicios fueron descriptos por Sekendiz et al. (2010). Se solicitó a los integrantes del grupo control que no participaran en ningún ejercicio organizado o estructurado y que continuaran con sus actividades diarias.

Análisis Estadísticos

Para evaluar las diferencias en los valores pre-test al inicio del estudio entre el grupo que realizó entrenamiento y el grupo control se utilizó el Anova Multivariado (MANOVA). Los efectos de 10 semanas de ejercicios con balón suizo en la fuerza de extensión de tronco fueron evaluados mediante un diseño mixto con un MANOVA de mediciones repetidas 2 x 2 (Grupo: ejercicio/control x: tiempo pre/post-test). Un ANOVA univariado se aplicó para interpretar el efecto(s) principal y/o efectos de interacción. El nivel de alfa se estableció en 0.05. Para analizar los cambios independientes en las mediciones pre vs post para los grupos entrenamiento y control se realizaron Test t de muestras apareadas.
Los datos de propiocepción fueron analizados utilizando la diferencia en el grado de ángulo con respecto al ángulo de referencia. Se utilizó un ANOVA univariado con mediciones repetidas de tres vías (2x2x2) en el componente de tiempo. Los 3 factores considerados fueron grupo (entrenamiento y control), tiempo (pre y post entrenamiento) y lado (rodilla derecha

versus rodilla izquierda). Las interacciones significativas fueron identificadas mediante un test post hoc de Tukey. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software SPSS Versión 19.

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los valores de la fuerza de extensión del tronco. El MANOVA reveló que no existían efectos multivariados significativos entre los grupos al inicio del programa de entrenamiento (Lambda de Wilks = 0.96, F (3, 56) =0.77, p> 0.05. η 2= 0.04). Estos resultados indicaron que no había ninguna diferencia significativa inicial entre el grupo que realizó el entrenamiento y el grupo control para los valores de torque máximo /peso corporal, trabajo total y del índice agonista-antagonista.

Los resultados de extensión de tronco indicaron un efecto significativo en el análisis multivariado para el tiempo (Lambda de Wilks =0.76, F (3, 56) =5.77, p <0.02. η2= 0.24) y una interacción grupo x tiempo (Lambda de Wilks =0.54, F (3, 56) =15.97, p <0.01. η2= 0.46). Sin embargo, no se observó ningún efecto significativo para el grupo (Lambda de Wilks = 0.92, F (3, 56) = 1.69, p> 0.05. η2= 0.08).

Luego, para identificar los efectos significativos del tiempo y de la interacción grupo x tiempo de los análisis multivariados se realizaron ANOVA univariados para las medidas de extensión de tronco. Los resultados de los ANOVA de seguimiento revelaron efectos significativos del tiempo para los valores de torque máximo/peso corporal (F (1, 58) = 13.64, p, <0.05, η2 = 0.19) y de trabajo total (F (1, 58) = 6.80, p <0.05, η2 = 0.11), pero no se observó ningún efecto significativo del tiempo, en los valores del indice agonista-antagonista (F (1, 58) = 0.65, p> 0.05, η2 = 0.01). Globalmente (ambos grupos combinados), el torque máximo/peso corporal y el trabajo total aumentaron 8.2% y 6.4% pre vs post entrenamiento respectivamente. De manera similar, la interacción tiempo x grupo arrojó resultados significativos para los valores de torque máximo /peso corporal (F (1, 58) = 46.91, p, <0.05, η2 = 0.45) y de trabajo total (F (1, 58) = 29.44, p <0.05, η2 = 0.34) pero no para los valores de la relación torque máximo agonista antagonista (F (1, 58) = 3.01, p> 0.05, η2 = 0.05). El grupo que realizó el entrenamiento aumentó el torque máximo de extensión de tronco /peso corporal en 23.6% mientras que el grupo control disminuyó 6.8%. El grupo que realizó entrenamiento también aumentó 20.1% su rendimiento de trabajo total, pre vs post entrenamiento, mientras que el grupo control disminuyó 6.7%.

	Grupo Experimental (n=43)		Grupo Control (n=17)	
	Pre test	Post test	Pre test	Post test
Fuerza isocinética de extensión del tronco				
Torque máximo /Peso corporal	321.8 (79.7)	397.9 (78.4) *	333.6 (121.7)	310.8 (114.9)
Trabajo Total	1491 (561)	1791 (503) *	1561 (698)	1455 (654)
Relación/Indice	72.3 (17.7)	70.0 (11.4)	78.7 (26.7)	85.0 (28.4)
Fuerza isocinética de flexión del tronco				
Torque máximo / Peso corporal	234.1 (53.0)	276.5 (61.5) *	238.1 (52.4)	237.1 (42.1)
Trabajo Total	974 (337)	1062 (338) *	893 (393)	947 (335)

Tabla 2. *Parámetros de la fuerza isocinética de extensión y flexión del tronco. Los datos se presentan en forma de Media (±SD). Relación/Índice= Valores de la relación torque de flexión o extensión del tronco/peso corporal. *= Se observan diferencias significativas (p<0.05) entre los grupos en las mediciones pre-entrenamiento vs post-entrenamiento.*

Por otra parte los ANOVA univariados para el "efecto de grupo" del análisis multivariado, arrojaron diferencias no significativas entre el grupo entrenamiento y el grupo control para el torque máximo /peso corporal (F(1,58) = 2.23, p> 0.05, η2 = 0.04) y trabajo total (F(1,58) = 0.68, p> 0.05, η2 = 0.01).
En la Tabla 2 se proporcionan las características descriptivas de los valores de fuerza de flexión de tronco. Los resultados del MANOVA para los valores obtenidos antes del test (pre- test) arrojaron diferencias no significativas (Lambda de Wilks = 0.97, F(2,57) = 0.93, p> 0.05. η2 = 0.03) entre el grupo que realizó el entrenamiento y el grupo control en lo que se refiere a los valores de torque máximo/peso corporal y trabajo total, lo que indica que ambos grupos tenían valores pre-test similares.

Los resultados del MANOVA de la flexión del tronco demostraron un efecto multivariado significativo del tiempo (Lambda

de Wilks = 0.81, F (2, 57) = 6.36, p <0.05. η2 = 0.18) y la interacción tiempo x grupo (Lambda de Wilks = 0.84, F (2, 57) = 5.43, p <0.05. η2 = 0.16). Sin embargo, no se observó ningún efecto significativo multivariado para el grupo (Lambda de Wilks = 0.97, F (2, 57) = 0.80, p> 0.05. η2= 0.03).

Los resultados del ANOVA de seguimiento revelaron efectos significativos del tiempo en el torque máximo/peso corporal (F (1, 58) = 9.30, p <0.05, η2= 0.14) y en los valores de trabajo total (F (1, 58) = 9.80, p <0.05, η2 = 0.14). La relación torque máximo/peso corporal y el trabajo total global aumentaron 8.7% y 7.6% respectivamente. De manera similar, la interacción grupo x tiempo sólo arrojó resultados significativos para torque máximo/peso corporal (F (1, 58) = 10.26, p <0.05, η2= 0.15) pero no para los valores de trabajo total (F (1, 58) = 0.54, p> 0.05, η2= 0.09). El grupo que realizó ejercicios aumentó sus índices torque máximo/peso corporal con el entrenamiento en 18.1% mientras que el grupo control disminuyó 0.4% después de 10 semanas.

En la propiocepción (el sentido de posición de la rodilla) se observó un efecto significativo en el grupo (F (1, 58) = 5.22, p = 0.02), tiempo (F (1, 58) = 13.03, p = 0.0006) y en la interacción grupo x tiempo (F (1, 58) = 9.30, p = 0.0006). El efecto principal para los grupos mostró que el grupo que realizó el entrenamiento (4.6° ± 2.9) logró una desviación 26.3% más pequeña del ángulo de referencia que el grupo control (5.8° ± 4.7). Un efecto principal del tiempo demostró una mejora de 22.5% pre (5.8° ± 4.3) vs post entrenamiento (4.50±3.3). La interacción grupo x tiempo reveló una mejora de 44.7% en el reposicionamiento de la rodilla donde el grupo que entrenó presentó una mejora (5.9° ± 3.4) luego del entrenamiento (3.3° ± 2.5) qué se mantuvo (21.5%) en las determinaciones de seguimiento (4.6° ± 3.3). Además se observó una interacción del lado ya que en el test de seguimiento, el sentido de posición de la rodilla derecha presentó una desviación de 32.1% significativamente menor (p = 0.03) del ángulo de referencia que la rodilla derecha en las determinaciones pre test (Figura 1). La razón por la cual no se realizó la valoración de seguimiento en el grupo control, fue que era difícil volver a reunir a los mismos sujetos 9 meses mas tarde. Dado que los valores pre vs post-test en los sujetos del grupo control no presentaron diferencias significativas Era improbable que los controles experimentaran mejoras en un período de 9 meses sin realizar entrenamiento.

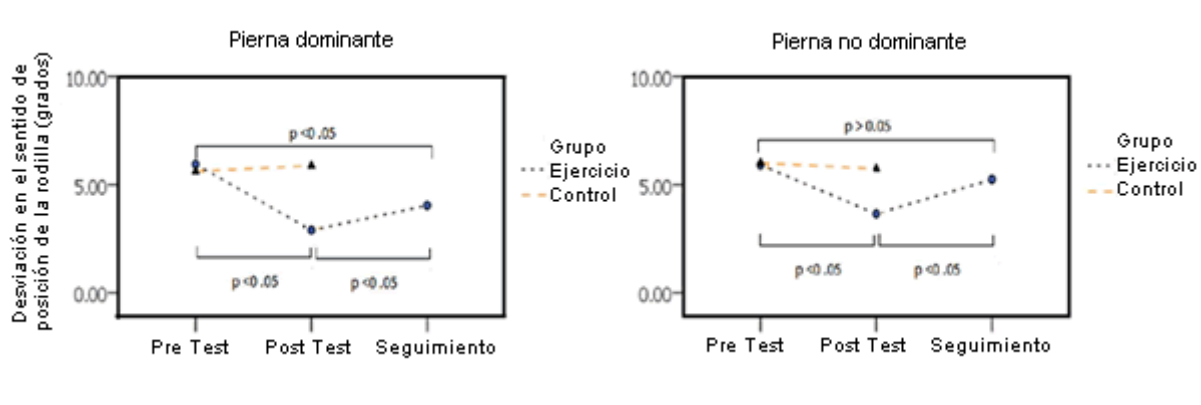

Figura 1. *Cambios en la propiocepción de la rodilla (reposicionamiento) inducidos por el entrenamiento. El eje Y indica la desviación o cambio con respecto al ángulo de referencia (45°).*

DISCUSION

Los resultados más importantes de este estudio fueron que un programa de entrenamiento en inestabilidad IT de 10 semanas usando el peso corporal como resistencia mejoró significativamente la propiocepción de la rodilla y la fuerza de extensión y flexión del tronco en una población previamente sedentaria. Además, la mejora en la propiocepción de la articulación de la rodilla persistió durante 9 meses luego del entrenamiento.

El concepto de especificidad del entrenamiento sugeriría que las mejoras en la propiocepción de la rodilla serían más eficaces con un programa de entrenamiento que involucrara la misma postura, velocidad y movimiento (Behm y Sale, 1993). Aunque dos de los seis ejercicios en el programa de entrenamiento incluían movimientos de flexión y extensión de la rodilla (sentadillas y curl de isquiotibiales en posición supina), los mismos no se realizaron en la posición estable con los sujetos sentados que se utilizó en las evaluaciones. De esta manera, un programa de entrenamiento IT general utilizando

sólo balones suizos fue eficaz para mejorar el sentido de propriocepción de la rodilla. Dado que un sentido de posición de las articulaciones alterado (propiocepción) puede ser un factor de riesgo para las lesiones recurrentes (Baltaci y Kohl, 2003) los resultados presentes tienen implicaciones importantes en el entrenamiento y en las prehabilitaciones.

Los balones suizos proporcionan condiciones inestables que pueden estimular a los propioceptores a emitir una retroalimentación (feedback) para mantener el equilibrio y para la detección de la posición del cuerpo (Cooke, 1980,; Soderman et al., 2000; Verhagen et al., 2005). La inestabilidad induce cambios agudos en la longitud y en la tensión de la unidad músculo-tendón, y en la actividad neuromuscular que desafían la capacidad de descubrir (propiocepción) y responder (actividad eferente) a los cambios en el equilibrio (Anderson y Behm, 2005; Heitkamp et al., 2001;Magnusson et al., 1996). El uso de ejercicios de la cadena cinética cerrada tales como sentadillas, ponerse de pie y arrodillarse en balones suizos y abdominales involucra movimientos de múltiples articulaciones y en múltiples planos, que facilitan la integración de los porpioceptores que son los responsables de la dirección y ubicación de la articulación (Rogol et al., 1998). Los entrenamientos de equilibrio pueden aumentar la sensibilidad de la vía de retroalimentación, acortar los tiempos de inicio y mejorar sensibilidad del sentido de la posición.

Entrenamiento y Propiocepción con Balón Suizo

La actividad co-contráctil puede aumentar al entrenar en superficies de apoyo inestables (Behm et al., 2010a; Anderson y Behm, 2004). Behm et al. (2002) informaron que las acciones con resistencia de los músculos de flexión plantar y extensión de piernas realizadas en condiciones inestables experimentaron un aumento de 30.7% y 40.2% en la actividad del antagonista que cuando las condiciones son estables, respectivamente. Según se ha informado la mayor actividad co-contráctil puede mejorar el control motor y el equilibrio (Engelhorn, 1983) ayudando a controlar la posición de las extremidades cuando producen fuerza (Behm et al., 2010a). Así, este programa IT de 10 semanas fue capaz de imponer los desafíos generales suficientes al sistema de propiocepción y control motor para inducir adaptaciones específicas en el sentido de la posición de la rodilla, en una población previamente sedentaria.

Las adaptaciones positivas en el sentido de posición de la rodilla producidas por el entrenamiento todavía podían ser observadas 9 meses post-entrenamiento. Aunque estadísticamente se observó una mejora global en la propiocepción de la rodilla, fue la rodilla derecha la que demostró una desviación significativamente menor del ángulo de referencia, mientras que la rodilla izquierda, aunque mejoró numéricamente con respecto a la medición pre-test, no evidenció una mejora significativa. Dado que la pierna derecha era el miembro dominante en la mayoría de los participantes, puede haber un efecto de entrenamiento más persistente en el lado dominante. Durante el entrenamiento y post entrenamiento, podría haber habido una mayor confianza en el miembro dominante lo que habría permitido una mayor perseverancia de entrenamiento.

El estudio de entrenamiento presente también fue eficaz para proporcionar una adaptación de entrenamiento positiva para la fuerza del tronco. Tanto la medición de la fuerza de flexión del tronco como la de la fuerza de extensión del tronco aumentaron significativamente con el entrenamiento. La mayor activación del tronco con ejercicios en superficies inestables en comparación con ejercicios similares en superficies estables está ampliamente documentada (Behm et al., 2010a). Sin embargo hay pocos estudios que hayan analizado las adaptaciones al entrenamiento de la fuerza del tronco (Carter et al., 2006; Sekendiz et al., 2010; Cowley et al., 2007). Otros estudios sobre entrenamiento IT observaron aumentos significativos en la fuerza de las extremidades y del rendimiento deportivo, pero no supervisaron los cambios en la fuerza del tronco (Behm y Kibele, 2009; Behm y Sparkes 2010). Es importante destacar que las mejoras en la fuerza del tronco en el estudio presente se alcanzaron sin el uso de resistencia externa. El uso de la masa corporal como resistencia bajo las condiciones inestables, fue eficaz para mejorar las mediciones de fuerza de flexión (18%) y extensión (24%) del tronco.

Cuando se realizan ejercicios en una superficie inestable, el sistema de control motor inicia la coactivación de músculos globales y locales para estabilizar la columna con el fin de mantener el equilibrio (Carter et al., 2006). Los ejercicios estables tradicionales como los abdominales realizados sobre una estera, se han enfocado en la mejora del rendimiento de la musculatura global, y no del sistema local (Faries, 2007). Se ha reportado que mantener la estabilidad mientras se realiza un movimiento con balón suizo activa los músculos de estabilización locales (Cooke, 1980). La mayor integración y el mayor reclutamiento de músculos globales y locales con RT inestable pueden producir una fuerza de tronco significativa, mejorando el control motor y logrando un espectro mayor de activación muscular.

El fortalecimiento de los músculos estabilizadores del tronco es una consideración importante para las actividades de la vida diaria como doblarse, darse vuelta o levantarse (Behm et al., 2010a). Se ha demostrado que una musculatura del tronco débil es un factor de riesgo importante para los problemas de LBP (Carpenter y Nelson, 1999). Los participantes con antecedentes de LBP tenían menor fuerza de los músculos del tronco en comparación con los participantes que no habían experimentado LBP (Lee et al., 1995). Faries (2007) explicó que el entrenamiento de la musculatura del core mejora la robustez del sistema de estabilización, proporcionando protección contra las lesiones espinales. Este estudio

demuestra que el uso de IT con la masa corporal como resistencia, puede ser un régimen de entrenamiento eficaz para aumentar la fuerza del core en una población previamente inactiva.

CONCLUSION

Un programa de IT general de 10 semanas utilizando balones suizos y la masa corporal como resistencia, fue efectivo para mejorar la propiocepción de la rodilla y la fuerza de flexión y extensión del tronco en individuos previamente inactivos. El estudio presente demuestra que el uso de peso corporal como resistencia en condiciones inestables puede producir mejoras significativas en la propiocepción de la rodilla (hasta por 9 meses después de haber realizado el entrenamiento) y en la fuerza del tronco de una población de sujetos desentrenados, que contribuirían con la salud y funcionalidad general.

Puntos Clave

- Aunque los ejercicios de la fuerza con pesos libres tradicionales han sido recomendados como los más beneficiosos para mejorar la fuerza y la potencia en atletas (Behm et al., 2010b), un programa de IT con balones suizos y peso corporal como resistencia puede significar un punto de partida alternativo para la población sedentaria desentrenada.
- Dado que está ampliamente documentado que la fuerza o resistencia disminuye cuando se realizan entrenamientos en superficies desequilibradas (Behm et al., 2010b) y que el entrenamiento en condiciones balanceadas mejoran el equilibrio (Behm y Kean 2006), este tipo de programa de RT en inestabilidad puede proporcionar adaptaciones significativas para mejorar la fuerza del tronco especialmente en sujetos desentrenados.

- *Este tipo de entrenamiento también debe ser incorporado a un nuevo programa porque las mejoras en la propiocepción de las articulaciones puede ayudar a evitar las lesiones de las articulaciones durante un período prolongado.
- El hallazgo que la mejora en la propiocepción de las articulaciones persiste durante meses después del entrenamiento debe ser destacado para aquellos individuos cuyo entrenamiento se interrumpe regularmente o inconsistentemente.

REFERENCIAS

1. Adkin, A.L., Frank, .J.S., Carpenter, M.G. and Peysar, G.W (2002). Fear of failing modifies anticipatory postural control. *Experimental Brain Research 143(2), 160-170*
2. Anderson, K.G. and Behm, D.G (2004). Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability. *Journal of Strength and Conditioning Research 18(3), 637-640*
3. Anderson, K.G. and Behm, D.G (2005). The impact of instability resistance training on balance and stability. *Sports Medicine 35(1), 43-53*
4. Arokoski, J.P., Valta,T., Airaksinen, O. and Kankaanpaa, M (2001). Back and abdominal muscle function during stabilization exercises. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 82(8), 1089-1098*
5. Baltaci, G. and Kohl, H.W (2003). Does proprioceptive training during knee and ankle rehabilitation improve outcome? . *Physical Therapy Reviews 8(1), 5-16*
6. Behm, D.G., Drinkwater, E.J., Willardson, J.M. and Cowley, P.M (2010). The use of instability to train the core musculature. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism 35(1), 91-108*
7. Behm, D.G., Drinkwater, E.J., Willardson, J.M.and Cowley, P.M (2010). Canadian Society for Exercise Physiology position stand, The use of instability to train the core in athletic and nonathletic conditioning. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism 35(1), 109-112*
8. Behm, D.G., Anderson, K.G. and Curnew, R.S (2002). Muscle force and activation under stable and unstable conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research 16(3), 416-422*
9. Behm, D.G., Kean, C.O. and Young, W.B (2006). Fixed foot balance training increases rectus femoris activation during landing and jump height in recreationally active women. *Journal of Sport Science and Medicine 5(1), 138-148*
10. Behm, D.G. and Kibele, A (2009). Seven weeks of instability and traditional resistance training effects on strength, balance and functional performance. *Journal of Strength and Conditioning Research 23(9), 2443-2450*
11. Behm, D.G. and Sparkes, R (2010). Training adaptations associated with an 8-week instability resistance training program with recrea-tionally active individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research 24(7), 1931-1941*
12. Behm, D.G. and 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*

13. Behm, D.G. and Sale, D.G (1993). Velocity Specificity of Resistance Training. *Sports Medicine 15(6), 374-388*
14. Carpenter, M.G., Adkin, A.L., Campbell, A.D. and Chua, R (2008). The influence of postural threat on the cortical response to unpredictable and predictable postural perturbations. *Neuroscience Letters 435(2), 120-125*
15. Carpenter, D.M. and Nelson, B.W (1999). Low back strengthening for the prevention and treatment of low back pain. *Medicine and Science in Sport and Exercise 31(1), 18-24*
16. Carter, J.M., Beam,W.C., McMahan, S.G., Barr, M.L. and Brown, L.E (2006). The effects of stability ball training on spinal stability in sedentary individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research 20(2), 429-435*
17. Cooke, J.D (1980). Role of Stretch Reflexes during Active Movements. *Brain Research 181(2), 493-497*
18. Cosio-Lima, L.M., Reynolds, K.L., Winter, C., Paolone, V. and Jones, M.T (2003). Effects of physioball and conventional floor exercises on early phase adaptations in back and abdominal core stability and balance in women. *Journal of Strength and Conditioning Research 17(4), 721-725*
19. Cowley, P.M., Swensen, T. and Sforzo, G.A (2007). Efficacy of instability resistance training. *International Journal of Sports Medicine 28(10), 829-835*
20. Engelhorn, R (1983). Agonist and antagonist muscle emg activity pattern changes with skill acquisition. *Research Quarterly for Exercise and Sport 54(4), 315-323*
21. Faries, M.D. and Greenwood, M (2007). Core training, stabilizing the confusion. *Strength and Conditioning Journal 29(2), 10-25*
22. Heitkamp, H.C., Horstmann, T., Mayer, F., Weller, J. and Dickhuth, H.H (2001). Gain in strength and muscular balance after balance training. *International Journal of Sports Medicine (22), 285-290*
23. Karatas, G.K., Gogus, F. and Meray, J (2002). Reliability of isokinetic trunk muscle strength measurement. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation 81(2), 79-85*
24. Lee, J.H., Ooi, Y. and Nakamura, K (1995). Measurement of muscle strength of the trunk and the lower-extremities in subjects with history of low-back-pain. *Spine 20(18), 1994-1996*
25. Lephart, S.M., Pincivero, D.M., Giraldo, J.L. and Fu, F.H (1997). The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *American Journal of Sport Medicine 25(1), 130-137*
26. Magnusson, S.P.,Simonsen, E.B. and Kjaer, M (1996). Biomechanical responses to repeated stretches in human human hamstring muscle in vivo. *American Journal of Sports Medicine (24), 622-628*
27. McGill, S (2010). Core Training: Evidence Translating to Better Performance and Injury Prevention. *Strength and Conditioning Journal 32(3), 33-46*
28. Rogol, I.M., Ernst, G. and Perrin, D.H (1998). Open and closed kinetic chain exercises improve shoulder joint reposition sense equally in healthy subjects. *Journal of Athletic Training 33(4), 315-318*
29. Sekendiz, B., Cug, M. and Korkusuz, F (2010). Effects of swiss-ball core strength training on strength, endurance, flexibility, and balance in sedentary women. *Journal of Strength and Conditioning Research 24(11), 3032-3040*
30. Sekendiz, B., Altun, O., Korkusuz, F. and Akın, S (2007). Effects of Pilates exercise on trunk strength, endurance and flexibility in sedentary adult females. *Journal of Bodywork and Movement Therapies 11(3), 318-326*
31. Soderman, K., Werner, S., Pietila, T., Engstrom, B. and Alfredson, H (2000). Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee Surgery Sports Trau-matology Arthroscopy (8), 356-363*
32. Stanforth, D. and Stanforth, P.R (1998). A 10-week training study comparing Resistaball® and traditional trunk training. *Journal of Dance Medicine Science 30(2), 134-140*
33. Stanton, R., Reaburn, P.R. and Humphries, B (2004). The effect of short-term Swiss ball training on core stability and running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research 18(3), 522-528*
34. Verhagen, E., Van der beek, A., Van tulder, M. and Van mechelen, W (2005). An economic evaluation of a proprioceptive balance board training programme for the prevention of ankle sprains in volleyball. *British Journal of Sports Medicine (39), 111-115*
35. Waddington, G., Sewar, H., Wrigley, T., Lacey, N. and Adams, R (2000). Comparing wobble board and jump-landing training effects on knee and ankle movement discrimination. *Journal of Science and Medicine in Sport 3(4), 449-459*
36. Yaggie, J.A. and Campbell, B.M (2006). Effects of balance training on selected skills. *Journal of Strength and Conditioning Research 20(2), 422-428*

Cita Original

Mutlu Cuğ, Emre Ak, Recep Ali Özdemir, Feza Korkusuz and David G. Behm S. The effect of instability training on knee joint proprioception and core strength. Journal of Sports Science and Medicine (2012) 11, 468-474