

Article

Evidencias sobre los Efectos del Entrenamiento Inestable para la Salud y el Rendimiento

Guillermo Peña¹, Prof. Juan Ramón Heredia Elvar¹, Dra. Susana Moral, PhD¹, Fernando Mata¹ y Dr. Marzo Edir Da Silva Grigoletto¹

RESUMEN

El entrenamiento mediante el uso de dispositivos inestables es una práctica habitual en el ámbito clínico, fundamentalmente para la prevención y tratamiento de lesiones, así como en el deportivo y de la salud. No obstante, es fundamental conocer las evidencias científicas que explican los verdaderos efectos, beneficios y utilidades del uso de estos medios de entrenamiento. A la vista de los resultados científicos actuales, los efectos agudos que suelen darse al realizar ejercicios en entornos inestables son: 1) Una mayor activación/reclutamiento muscular (especialmente del core); 2) una mayor co-activación muscular antagonista (en el tronco/core, miembros superiores e inferiores), para aumentar la estabilidad articular; y 3) una disminución de la producción de fuerza, potencia y velocidad de las extremidades, debido al aumento de la rigidez articular que genera la co-activación muscular. A su vez, los efectos crónicos y beneficios derivados por el entrenamiento inestable dirigen su posible utilidad hacia alguno de los siguientes ámbitos: 1) Fitness (salud), ya que a priori disponer de un core y un sistema estabilizador más sólido y coordinado puede ayudar en la prevención y disminución de la incidencia del dolor lumbar; 2) Terapéutico, para la prevención y rehabilitación de lesiones de los miembros inferiores; y 3) Rendimiento deportivo, pues mejorando la fuerza y estabilidad central suponemos que se puede facilitar la transferencia de la energía producida desde el core hacia las extremidades.

Palabras Clave: superficies inestables; core; fuerza; potencia; dolor lumbar

DEFINICIÓN, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE MEDIOS O SUPERFICIES INESTABLES.

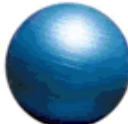
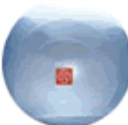




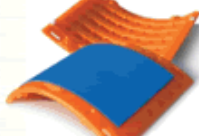





En la actualidad la industria del Fitness es un sector en continua metamorfosis, expansión y desarrollo. La oferta de programas de actividad física es inmensamente variada, y los objetivos pretendidos y públicos que los consumen son aún más heterogéneos. Como en cualquier otro sector cada producto, máquina o medio de entrenamiento tiene una vida útil determinada, hasta que un nuevo producto consigue hacerse un hueco en la apretada oferta de productos circunscritos al ámbito del Fitness y la rehabilitación. En la última década, las superficies inestables se han convertido en una herramienta muy habitual y utilizada en centros deportivos, clínicas de rehabilitación y gimnasios, empleándose para multitud de objetivos, entre los que se encuentran el rendimiento deportivo, la salud o la prevención y recuperación de lesiones (Martínez y Benito, 2009).

Hernando et al. (2009) definen a los materiales inestables como *“cualquier material, diseñado específicamente o adaptado,*

que por sus características físicas no esté firmemente unido al suelo, pudiendo rodar, deslizarse, vibrar o realizar cualquier otro tipo de movimiento que genere situaciones en las que sea necesaria la intervención del equilibrio con el fin de mejorar la condición física.” Por otro lado, Isidro et al. (2006) definen como material desestabilizador, haciendo referencia a los medios o superficies inestables, “aquel que empleamos para aumentar los requerimientos de estabilización activa proporcionando un entorno inestable que potencia la actividad propioceptiva y las demandas de control neuromuscular.” Dada la gran cantidad de materiales disponibles en el mercado que pueden ser considerados como una superficie inestable, Martínez y Benito (2009) proponen una definición alternativa, indicando que “una superficie inestable es una superficie o material de entrenamiento maleable, que se deforma o desplaza por la aplicación de fuerzas que sobre él haga el ejecutante, o que puede tener una distribución no uniforme de su masa (p. ej. cilindros rellenos de agua) o un comportamiento dinámico antes de interactuar con el sujeto (p. ej. plataformas vibratorias o tapiz rodante)”.

Por nuestra parte, consideramos que el *material desestabilizador* (término más preciso que *inestable* a nuestro entender), es aquel que emplearíamos para aumentar los requerimientos de estabilización activa, proporcionando un entorno inestable que potenciará la actividad propioceptiva y las demandas de control neuromuscular (Heredia et al. 2006). La utilización de dicho material, su combinación y el manejo de otras variables como pueden ser la base de sustentación, amplitud y patrón de movimiento, velocidad de ejecución, etc., son algunas de las claves para avanzar en las microprogresiones en integración neuromuscular. La aplicación de cada uno de los diferentes materiales implica un conocimiento del mismo para poder aprovechar todas las posibilidades de perturbación que genera, principalmente la dirección y amplitud de la misma. Algunas de las tendencias actuales en lo referente al entrenamiento funcional están orientadas hacia la utilización de ejercicios y tareas en situaciones inestables muy variadas y, en ocasiones, poco estudiadas y consideradas de manera objetiva.

A continuación presentamos un cuadro (Tabla 1) con los distintos tipos de materiales desestabilizadores o inestables más representativos y una breve descripción de sus características más peculiares.

Material	Características	
Fitball, pelota suiza, physioball	Pelota de plástico de gran diámetro (variable a considerar según sujetos)	
Ballastball Bosu DSL	Fitball con material pesado en su interior	
Physio-roll	Resultado de la suma de dos pelotas gigantes (aparentando un cacahuete)	
Bosu	"Both sides up". Aparato que nace de la división de una pelota gigante. Es decir tiene una parte de aire y otra rígida. Body Dome: Variación del bosu en con tensores anclados para realizar ejercicios resistidos.	
Dyna disc Wobbleboard®	Pequeños discos de goma hinchados	
Tablas de inestabilidad	Tablas con un elemento central más prominente	
T-Bow	Arco de fibra sintética (polietileno) o madera natural, con dimensiones (70x50x17 cm.), equilibrado y con un peso reducido (de 3,2 a 4,7.Kg). Es posible utilizarlo por ambos lados (con un granulado en la parte cóncava y una esterilla en l aparte convexa)	
Core Board	Plataforma (74 x 15 cm. Diámetro: 56) que se inclina, gira y torsiona en todas direcciones, respondiendo dinámicamente a los movimientos del usuario, si éste se mueve de un lado, la pista ejerce una fuerza que empuja hacia atrás en la dirección contraria.	
Espuma de estireno (Foam Roller)	Espuma diseñada de forma tubular.	
Elementos de suspensión TRX, Flying, AirfitPro	Elementos mediante los cuales el sujeto queda suspendido a nivel de algunas de sus extremidades (miembros superiores o inferiores)	
Slide board pro	Superficie rectangular que permite el deslizamiento corporal hacia los lados. Para ello se utilizan una especie de patucos realizados de un tejido que posibilita un mejor deslizamiento de los pies en el slide y que se adquieren normalmente junto con este. A los dos lados del slide se sitúan una especie de topes que limitan el movimiento lateral de los pies y piernas.	
Gliding	Evolución más sencilla del slide. Dos materiales que permiten el deslizamiento sobre la superficie de apoyo, permaneciendo el punto de apoyo (pie, mano, rodilla...) constante y firme. Se pueden encontrar en tela (para deslizamientos sobre parquet o similar) y de goma para otras superficies más duras.	

EFFECTOS AGUDOS DEL ENTRENAMIENTO SOBRE SUPERFICIES INESTABLES

Efectos Agudos sobre la Activación Muscular del Core

Numerosos estudios han demostrado que realizar ejercicios que impliquen la musculatura del tronco y/o las extremidades sobre superficies moderadamente inestables aumenta la activación muscular del core más que al realizar los mismos ejercicios en condiciones estables (Grenier et al., 2000; Arokoski et al., 2001; Anderson y Behm, 2004; Holtzmann et al., 2004; Arjmand y Shirazi-Adl, 2005; Vera-García et al. 2000, 2007; Behm et al., 2003; 2005; Marshall y Murphy, 2006a; Cosio-Lima et al., 2003; Lehman et al., 2005; Norwood et al., 2007; Sternelicht et al., 2007; Duncan, 2009; Imai et al., 2010). Se cree que esta mayor activación muscular a nivel lumbo-abdominal se produce por la necesidad de estabilizar el raquis y mantener el control postural (Grenier et al., 2000), ya que a mayores niveles de inestabilidad raquídea se requiere mayor activación de la musculatura estabilizadora central. También se piensa que al aumentar la inestabilidad del entorno y del sujeto se estresará al sistema neuromuscular en un mayor grado que mediante el mismo entrenamiento de fuerza realizado en tierra firme (Behn et al., 2002), y que por tanto ese incremento proporcionará un estímulo por encima del umbral actual que conllevará una adaptación positiva.

Sin embargo, la mayor activación muscular del core inducida por la inestabilidad de los estudios mencionados no ha sido comparada en muchas ocasiones con las cargas más altas que pueden ser típicamente manejadas durante la realización de ejercicios convencionales con pesos libres en el suelo. Hamlyn et al. (2007) demostraron que squats y pesos muertos (al 80% de 1RM) produjeron mayores activaciones de los músculos erectores espinales y cuadrado lumbar (34%-70%) que los ejercicios inestables calisténicos (superman y puente lateral), sin diferencias significativas en la implicación del oblicuo externo y el recto abdominal. En otro estudio similar, Nuzzo et al. (2008) hallaron mayores activaciones del erector espinal (longísimo y multifidos) con el peso muerto y squat con peso libre en el suelo (y con distintas cargas: 50%, 70% y 90% 1RM) que con ejercicios calisténicos sobre una pelota suiza para retar la misma musculatura (extensión de tronco, cuadrupedia contralateral, y elevación pélvica en decúbito supino). Sin embargo, no hallaron diferencias significativas en la activación del recto abdominal y oblicuo externo, que fueron similares entre ambos tipos de ejercicios. Estos autores concluyeron que los ejercicios multiarticulares con pesos libres utilizados en su estudio son más eficaces para la mejora de la fuerza e hipertrofia de la musculatura extensora espinal que los ejercicios inestables sin sobrecarga diseñados para este objetivo, los cuales pueden ser más apropiados para el desarrollo de la resistencia muscular. También Willardson et al. (2009) registraron mayor activación muscular, en sujetos entrenados, en el recto abdominal, transverso abdominal y oblicuo interno durante el press por encima de la cabeza y en el curl de bíceps cuando se levantaba el 75% de 1RM sobre entorno estable que cuando se levantaba el 50% de 1RM sobre un Bosu. Los autores de este último estudio concluyen que, con cargas correspondientes al 75% y al 50% de 1RM, no existe ninguna ventaja en la utilización del Bosu, con lo que estos ejercicios pueden realizarse en superficies estables sin perjuicio de los beneficios potenciales de entrenamiento para la musculatura del core. Todas estas evidencias sugieren que los ejercicios tradicionales de fuerza realizados con intensidades medias-altas sobre una base estable pueden resultar más efectivos para el entrenamiento de la fuerza e hipertrofia de la musculatura paravertebral que otra clase de ejercicios en entornos inestables sin sobrecargas externas.

Por otro lado, es interesante aclarar que la activación muscular puede verse influida por el uso de una superficie inestable, sin embargo, no siempre se da un aumento de la activación muscular de todos los músculos implicados, ni en todas las condiciones (sujetos, tipo de superficie inestable, etc.) ni en todos los ejercicios, como ha quedado manifiesto en distintos estudios (Lehman et al., 2005a, 2006; Drake et al., 2006; Wahl y Behm, 2008). Un buen ejemplo de ello, es el estudio de [Lehman et al.](#) (2005b) donde no se registraron mayores activaciones musculares del recto abdominal por realizar un puente supino en comparación con hacerlo sobre el suelo. Esto es debido a que los músculos responsables de estabilizar la postura son específicos según la tarea realizada, y no todos los músculos del core serán más solicitados por hacer un ejercicio bajo condiciones inestables que en el suelo. [Lehman et al.](#) (2005a) concluyen que la activación muscular del core depende más de las características y demandas biomecánicas del propio ejercicio que exclusivamente de la incorporación de materiales inestables. Igualmente, Wahl y Behm (2008) observaron que los individuos con años de experiencia en el entrenamiento de fuerza con ejercicios tradicionales de peso libre realizados en el suelo pueden no responder con una mayor activación muscular del core cuando realizan los ejercicios en bases moderadamente inestables.

Pero también sabemos que los cambios en la activación muscular sobre una superficie inestable no provienen únicamente de la situación de inestabilidad, sino también por las modificaciones biomecánicas del propio ejercicio (aumentos del brazo

de palanca, del ROM, etc.). Las superficies inestables sirven de cuñas o alzas que permiten modificar el centro de gravedad y las longitudes de los brazos de resistencia. Tener en cuenta esto puede ayudar sustancialmente a la hora de establecer progresiones del nivel de dificultad del mismo ejercicio. Incluso podemos facilitar el ejercicio tanto como para que la demanda neuromuscular sea menor que el mismo ejercicio realizado sobre el suelo.

Efectos Agudos sobre la Activación Muscular de las Extremidades

Los ejercicios realizados sobre medios inestables pueden no sólo incrementar la activación muscular del core por la necesidad de estabilizar el raquis, sino que también pueden aumentar la activación y co-activación muscular en las extremidades. Por ejemplo, la activación muscular del tríceps y deltoides fueron mayores con el push-up y press de pecho (60% de 1RM) cuando se hicieron sobre condiciones inestables que cuando se realizaron en condiciones de estabilidad (Marshall y Murphy 2006a, 2006b). El sóleo (30%-40%) y cuádriceps (5%-15%) obtuvieron mayor activación durante squats inestables (Anderson y Behm, 2005). Está descrito que tanto la cabeza corta como la larga del bíceps braquial pueden contribuir como estabilizadores anteriores de la articulación glenohumeral, y su papel en la estabilización aumenta a medida que la estabilidad articular disminuye (Itoi et al., 1993). Sin embargo, no todos los estudios han podido constatar mayores registros electromiográficos de la musculatura de las extremidades al realizar ejercicios sobre bases inestables. Uribe et al. (2010) no hallaron diferencias significativas en la activación muscular concéntrica y excéntrica del deltoides anterior, pectoral mayor y recto anterior del abdomen al realizar press de pecho y press de hombro con mancuernas sobre una pelota suiza al compararlo con la realización de los mismos ejercicios sobre un banco con una carga del 80% 1RM (de la situación estable), por lo que los autores no encuentran ninguna ventaja o desventaja al realizar estos ejercicios sobre superficie estable o inestable de ese modo.

La activación de la musculatura del tronco/core también puede verse incrementada en este tipo de ejercicios como el press de banca y fondos cuando la superficie de apoyo es una pelota suiza (Behm et al., 2002; Lehman et al., 2006; Marshall y Murphy, 2006b; Norwood et al., 2007) al compararla con una situación más estable (banco), aunque sin embargo no hay ninguna diferencia significativa cuando el ejercicio realizado es un press de hombros (Behm et al., 2005). En cualquier caso, para conseguir mantener un nivel suficiente de activación muscular en las extremidades, el grado de inestabilidad debería ser moderado en vez de alto (Behm y Colado, 2012), ya que a mayor nivel de inestabilidad externa menor activación muscular y menor producción de fuerza como será expuesto en el apartado correspondiente de este mismo artículo (efectos agudos sobre la producción de fuerza y potencia).

Efectos Agudos sobre la Co-Activación Muscular

Generalmente la co-contracción muscular antagonista aumenta cuando se entrena sobre una superficie de soporte inestable (Behm y Colado, 2012). Este hecho ha sido documentado en la musculatura del tronco (Vera-García et al., 2000), de los miembros inferiores (Behm y Anderson, 2002; Fransson et al., 2007; Youdas et al., 2007) y de los miembros superiores (Behm y Anderson, 2006) al realizar ejercicios sobre medios inestables.

El papel de la musculatura antagonista ante condiciones inestables o inesperadas será principalmente controlar la posición de los segmentos al producir fuerza (Behm y Colado, 2012). El incremento de la actividad antagonista puede darse también para aumentar la rigidez articular (Karst y Hasan, 1987) y, por tanto, para aumentar la estabilidad articular (Hogan, 1984) producida por la inestabilidad, y de este modo proteger al complejo articular frente a fuerzas externas desestabilizadoras. Concretamente, la co-activación muscular del tronco es una estrategia usada por el sistema motor para estabilizar la columna (Gardner-Morse y Stokes, 1998; Granata y Marras, 2000; McGill, 1991; Vera-García et al., 2006, 2007), y ha sido relacionada con la prevención de lesiones (Hrysomallis, 2007). Paralelamente, el aumento de la rigidez articular generado por el incremento de la co-activación muscular antagonista al realizar tareas en entornos inestables puede estar limitando la producción de fuerza en las extremidades, como se comentará en el próximo apartado.

Efectos Agudos sobre la Producción de Fuerza y Potencia

Simultáneamente al efecto agudo del aumento de la co-activación muscular, también se da un descenso de la producción de fuerza en conjunción con la elevada activación muscular de los miembros, enfatizando la función estabilizadora de la musculatura implicada (Anderson y Behm 2004). La producción de fuerza, fuerza explosiva y potencia en las extremidades superiores e inferiores se ve seriamente afectada cuando se realizan ejercicios utilizando una superficie inestable como soporte, asiento o punto de apoyo (Martínez y Benito, 2009). Este efecto perjudica tanto como para ocasionar un descenso de entre el 12 y el 80% o más de la máxima potencia producida con el mismo ejercicio realizado en un entorno estable (p.e.: squat, press banca), como han podido constatar diversos estudios (Behm et al., 2002; Anderson y Behm, 2004; Kornecki y Zschorlich, 1994, 2001; Drinkwater y col, 2007; McBride et al., 2006; Willardson, 2007; Koshida et al., 2008; Sparkes y Behm, 2010; Chulvi-Medrano et al., 2010). En el estudio de Drinkwater et al. (2007) los sujetos realizaron squats con distintas cargas sobre suelo estable, almohadillas de espuma y un Bosu. Hubo un descenso significativo, inducido por la situación de inestabilidad, de potencia pico concéntrica y excéntrica, fuerza, velocidad y profundidad del squat.

Todos estos estudios llegan a la conclusión de que a mayores niveles de inestabilidad externa menor producción y aplicación de fuerza y potencia de la musculatura agonista, debido al aumento de la rigidez articular necesaria para estabilizar las articulaciones implicadas. Por tanto, para mejorar las prestaciones de fuerza/potencia (incluso hipertrofia) necesitamos contar con elevados niveles de estabilidad externa (Nuzzo et al., 2008), que sólo es posible entrenando en un entorno estable como el suelo, o sobre un banco. Tal vez, la excepción que justifique utilizar una superficie inestable, con el propósito de mejorar la hipertrofia, sea para el entrenamiento del core. Esto lo podríamos suponer al constatar cómo algunos estudios han reflejando una mayor activación muscular del recto abdominal y oblicuos externos realizando encogimientos de tronco sobre una superficie inestable (Vera-García et al., 2000; Sterlich et al., 2007).

EFFECTOS CRÓNICOS Y BENEFICIOS PRETENDIDOS POR EL ENTRENAMIENTO INESTABLE

Existe una gran cantidad de estudios científicos que tratan de vislumbrar los posibles beneficios y utilidades del uso regular de medios inestables. Asimismo, son muchos los profesionales desde distintas disciplinas los que coinciden al opinar que un core fuerte, resistente y estable es un aspecto importante para la salud, el rendimiento y la prevención de determinadas lesiones y su tratamiento. Por todo ello, y con el propósito de extraer y resumir la inmensa mayoría de tales estudios de algún modo útil y práctico, podemos concluir que todos ellos se dirigen a tratar de demostrar su posible utilidad en alguno de los siguientes ámbitos:

- Salud o Fitness. La mejora de la resistencia muscular y estabilidad central, mediante el fortalecimiento muscular y la mejora del control neural o motor del raquis, puede ayudar en la prevención y disminución de la incidencia del dolor lumbar y la mejora funcional de sujetos con dolor lumbar crónico al disponer de un core y un sistema estabilizador más sólido.
- Rehabilitación. El uso de medios inestables puede ser efectivo para la prevención y recuperación de lesiones de las estructuras de los miembros inferiores (rodilla y tobillo).
- Rendimiento deportivo. Esclarecer la posible mejora de determinados marcadores del rendimiento deportivo relacionados con la producción de fuerza/potencia de las extremidades inferiores por entrenar con o sobre superficies inestables es un reto para la ciencia. No obstante, suponemos que mejorando la fuerza y estabilidad central se puede facilitar la transferencia de la energía producida desde el core hacia las extremidades.

Efectos sobre la Prevención y Tratamiento del Dolor Lumbar

No existen demasiadas evidencias que hayan estudiado el efecto del uso de las superficies inestables en sujetos con dolor lumbar. Tampoco las investigaciones actuales se han decantado a favor de ningún tipo o modalidad particular de ejercicio para la rehabilitación del dolor lumbar. En opinión de Behn et al. (2010), potencialmente el uso de medios inestables puede aportar sus mayores beneficios en programas de rehabilitación para restablecer la función normal de la musculatura central en deportistas lesionados, o en programas de acondicionamiento físico clásicos, para mantener o mejorar la función de la musculatura del core en sujetos desentrenados o activos de nivel recreacional.

Así, el planteamiento general al respecto de la prevención del dolor lumbar viene siendo desarrollar la resistencia de la musculatura central (McGuill, 2001), dado el alto porcentaje de fibras tipo I de la musculatura erectora espinal y multifidos (Thorstensson y Carlson, 1987), y mejorar la activación neural coordinada o control motor del core (Borghuis et al., 2008; Behm y Colado, 2012). Esta estabilización muscular coordinada es vital ya que los ligamentos tienen un potencial limitado en la estabilización de la columna vertebral (Behm y Colado, 2012). La apropiada coordinación o control motor de la musculatura del core puede ser tan o más importante que el nivel de activación o fortalecimiento muscular en sujetos con dolor lumbar (Behm y Colado, 2012), ya que como se ha podido comprobar estos sujetos presentan retrasos o trastornos del control motor en esta musculatura (p.e.: transverso abdominal y multifidos) (Hodges y Richardson, 1996, 1998). Por tanto, la capacidad de la musculatura del core de anticiparse (mecanismo de feed-forward) y responder (mecanismo de feed-back) para estabilizar el sistema ráquideo, ante los movimientos segmentarios y perturbaciones externas previstas o inesperadas, puede ser la clave en la prevención y el tratamiento del dolor lumbar, y esto puede bien entrenarse con y sin materiales inestables.

No obstante, sólo algunos pocos estudios han valorado hasta la fecha la posibilidad de mejorar el estado en sujetos con dolor lumbar mediante el entrenamiento con dispositivos inestables. Marshall y Murphy (2008) aportan evidencias que apoyan la eficacia de un programa de ejercicio supervisado de rehabilitación (12 semanas de ejercicios con pelota suiza) para conseguir una mejora más rápida de la discapacidad funcional y de la respuesta a la flexión-relajación lumbar en sujetos con dolor lumbar crónico inespecífico. El mismo estudio también señala cambios crónicos en la latencia de la

musculatura profunda abdominal, lo que puede indicar que esta medida es un marcador apropiado de la disfunción general del sistema nervioso de la región lumbar.

Por su parte, Shen et al. (2009), estudiaron y compararon el efecto que tuvo el entrenamiento con pelota suiza y ejercicios de tracción lumbar durante 4 semanas con un grupo control que sólo realizaba los ejercicios de tracción lumbar en pacientes con hernia y protusión discal. Hallaron que el grupo de entrenamiento con pelota suiza había aumentado significativamente su fuerza abdominal y lumbar, y reducido el nivel de dolor lumbar, concluyendo por tanto que la estabilidad de la región lumbar había aumentado significativamente con el uso de la pelota suiza y los ejercicios de tracción lumbar.

También, al respecto del uso de superficies inestables con el propósito de mejorar o prevenir el dolor lumbar, hay algún estudio que apunta la posibilidad de disminuir la incidencia de dolor lumbar en sujetos sedentarios (Carter et al., 2006) y deportistas (Kolber y Beekhuizen, 2007). No obstante, debemos ser cautos con los resultados no concluyentes de las pocas investigaciones dirigidas en este área, ya que aunque alguno de esos estudios apunten resultados positivos a favor de la utilización de los medios inestables para la mejora funcional de los sujetos con dolor lumbar, es decir, su tratamiento, los mismos estudios son cuestionables en su diseño general (tamaño de la muestra, grupo control, método de evaluación y programa de ejercicios). Hace falta más investigación sobre esta temática antes de llegar a conclusiones definitivas, y hasta la fecha no queda demostrado que el uso de medios inestables pueda ser superior para el tratamiento o prevención de las disfunciones lumbares que el entrenamiento sin estos medios.

Efectos sobre la Prevención y Rehabilitación de Lesiones de los Miembros Inferiores

Sabemos que el core proporciona una base sobre la cual los músculos de las extremidades inferiores producen o resisten fuerzas. Por tanto, la falta de acondicionamiento de la musculatura central podría generar una mecánica de los apoyos defectuosa con el incremento de las fuerzas de tipo *valgus* que actúan sobre la articulación de la rodilla, lo que puede conllevar a lesiones del ligamento cruzado anterior (Willardson, 2007), entre otras.

Los dispositivos o recursos inestables de distinto tipo han sido frecuentemente utilizados como un medio terapéutico más dentro del proceso de rehabilitación de diferente tipo de lesiones, especialmente aquellas relacionadas con el miembro inferior. Tanto es así que la investigación científica ha podido constatar la efectividad de los ejercicios realizados sobre equipamiento inestable (p.e.: tablas de inestabilidad o discos hinchables) para reducir la prevalencia de lesiones del ligamento cruzado anterior de poblaciones deportistas que incluían ejercicios inestables en su programa de entrenamiento habitual (Caraffa et al., 1996; Myer et al., 2004; Myklebust et al., 2003; Paterno et al., 2004). Por ejemplo, el estudio de Paterno et al. (2004) demostró mejoras del control postural del miembro inferior unilateral en mujeres atletas tras 6 semanas de entrenamiento incluyendo ejercicios de equilibrio sobre un Bosu, pliometría, y otro tipo de ejercicios de fuerza. Se piensa que la exposición de las articulaciones a fuerzas potencialmente desestabilizadoras durante el entrenamiento puede ser un estímulo necesario para fomentar el desarrollo de patrones compensatorios neuromusculares efectivos (Myer et al., 2004), que puede ayudar a prevenir lesiones de los miembros inferiores.

Tomando como referencia alguna de las revisiones sistemáticas citadas por Martínez y Benito (2009), que valoran globalmente el efecto del entrenamiento de equilibrio sobre superficies inestables en el deportista lesionado de forma aguda o crónica, podemos destacar las siguientes conclusiones:

- 36% menos de incidencia de lesiones de tobillo.
- Más efectivo en deportistas con antecedentes lesivos.
- Mayor efecto preventivo cuanto mayor duración del programa de entrenamiento (efecto acumulativo).
- ENTRENAMIENTO NEUROMUSCULAR GLOBAL (intervención múltiple: propiocepción + pliometría + estiramientos):
 - 39% menos de riesgo total de sufrir una lesión en extremidad inferior,
 - 51% menos de riesgo de lesiones agudas de rodilla,
 - 50% menos de riesgo de esguince de tobillo.

La mejora propioceptiva de los tejidos blandos estabilizadores de la rodilla y tobillo ha sido amplia y tradicionalmente documentada por el uso de medios inestables (Hoffman et al., 1995; Caraffa et al., 1996; Verhagen et al., 2004, Verhagen et al., 2005; Kidgell et al., 2007). Además, existen evidencias de que el entrenamiento de equilibrio sobre superficies inestables puede mejorar la capacidad de equilibrio estático (DiStefano et al., 2009; Yaggie y Campbell, 2006). A su vez, la mejora del equilibrio y propiocepción puede proporcionar no sólo beneficios positivos en la reducción de la incidencia de accidentes tales como caídas, sino que puede también mejorar marcadores del rendimiento funcional como la fuerza, potencia, la carrera y otras actividades (Behm y Colado, 2012).

Sabemos por tanto que el uso de superficies inestables puede proporcionar múltiples beneficios en el ámbito de la rehabilitación por restablecer el funcionamiento normal de la musculatura estabilizadora y facilitar la reeducación

propioceptiva de los miembros inferiores lesionados (rodilla y tobillo). El mecanismo explicativo de la disminución del riesgo de lesión o recaída es la mayor y más rápida co-activación agonista-antagonista de la musculatura estabilizadora (Behm et al., 2010), lo que sin duda permitirá otorgar rápidamente rigidez articular y mejorar la estabilidad articular ante cualquier situación prevista o inesperada. Este mecanismo resulta en un efecto preventivo-protector de lesiones, con interesante aplicación a lo largo de toda la temporada deportiva, así como en una estrategia para colaborar en la recuperación de lesiones del core o las extremidades inferiores. No obstante, el aumento de la actividad antagonista podría también influir negativamente en la producción de fuerza y potencia al oponerse a la dirección del movimiento (Drinkwater et al., 2007), como ya ha sido comentado.

Efectos sobre la Mejora del Rendimiento Deportivo

Sobre este tópico es preciso diferenciar entre las distintas líneas de investigación existentes. Una de ellas es aquella que trata de comprobar qué efecto para el rendimiento (producción y mejora de potencia y fuerza) tiene la realización de ejercicios tradicionales de entrenamiento de la fuerza (p.e.: squat, peso muerto) sobre una superficie inestable en comparación con hacerlos sobre un entorno estable (suelo). Esta cuestión es tratada en la segunda parte de este mismo apartado.

La otra línea de investigación es aquella que trata de comprobar si mediante un programa específico de entrenamiento para el fortalecimiento del core sobre superficies inestables se puede o no mejorar algún marcador del rendimiento. Sobre este segundo enfoque, decir que son muchos los especialistas y científicos del acondicionamiento físico los que consideran que la estabilidad central es un componente clave del entrenamiento para mejorar el rendimiento deportivo (Jeffreys, 2002; Leetun et al, 2004; McGill, 2001). De hecho, gran parte de la literatura científica relacionada con la importancia del core para el máximo rendimiento se centra en la noción de que el core es el nexo entre el tronco y las extremidades, y que un atleta es solo tan fuerte como lo sea su eslabón más débil. Autores como Behm et al. (2005) y Willardson (2007) sostienen que el core proporciona un enlace entre las extremidades inferiores y superiores para transferir las fuerzas. Más concretamente, Sharrock et al. (2011) afirman que es la fascia toraco-lumbar la que conecta las extremidades superiores e inferiores para integrar ambas partes de la cadena cinética. Igualmente Hedrik (2000) explica que las fuerzas de reacción, así como las fuerzas generadas por la musculatura del tren inferior, se transmiten hacia arriba hasta alcanzar las extremidades superiores en cualquier actividad. Desde este punto de vista, la debilidad del core podría interrumpir la transferencia de los torques y momentos angulares, resultando en una reducción del rendimiento (Behm et al., 2012). Por tanto, y teóricamente, un core fuerte podría facilitar la transmisión de potencia requerida en multitud de especialidades deportivas que requieren acciones de lanzamiento, salto, carrera, levantamiento y lucha-contacto. Incluso, como parece lógico pensar, se ha sugerido que un déficit de fuerza y estabilidad central podría generar una técnica deportiva ineficiente y predisponer a la lesión al deportista (Jeffreys, 2002). Por lo que no debemos menospreciar la posibilidad de que un core mejor preparado pueda influir indirectamente en el rendimiento deportivo al prevenir lesiones que retrasen el proceso de entrenamiento.

Sin embargo, hasta la fecha, son muy pocos los estudios que hayan demostrado mejoras significativas del rendimiento en sujetos entrenados mediante intervenciones que hayan enfatizado la realización de ejercicios de fuerza sobre medios inestables (Cressey et al. 2007; Scibek et al. 2001; Stanton et al. 2004). Por el contrario, la mayoría de los estudios han utilizado sujetos desentrenados o activos a nivel recreacional (Butcher et al. 2007; Cosio-Lima et al. 2003; Cowley et al. 2007; Kean et al. 2006; Thompson et al. 2007; Yaggie y Campbell, 2006). Por lo que es una temática poco estudiada, especialmente cuando la intervención utiliza superficies inestables, y complicada de demostrar desde la perspectiva científica. No obstante, a continuación se comentan algunos de los estudios más significativos sobre esta cuestión.

Stanton et al. (2004) estudiaron el efecto de 6 semanas de entrenamiento con pelota suiza en sujetos entrenados sobre la estabilidad central, VO_{2max} y economía de carrera. Los sujetos fueron divididos en dos grupos, el grupo experimental que entrenaba con los ejercicios de pelota suiza, y el grupo control. Ambos grupos continuaron haciendo su entrenamiento habitual de carrera durante la duración del estudio. Al finalizar las 6 semanas sólo hubo mejora significativa de la estabilidad central (medida mediante el test de Sahrman) y del tiempo hasta la fatiga (medida mediante el test de estabilización prona sobre pelota suiza) en el grupo experimental. No obstante, no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos en la economía de carrera a velocidades submáximas (medida en VO_{2max}), ni en la posición corporal en carrera. Los autores concluyeron que la ausencia de mejora del rendimiento podía estar asociada al nivel de entrenamiento actual de los sujetos, a la inadecuada selección de los ejercicios y/o a la carga insignificante del protocolo de ejercicios.

Por el contrario, Sato y Mokha (2009) evaluaron la efectividad de un programa de entrenamiento del core con pelota suiza de 6 semanas (4 veces por semana, con 5 tipos de ejercicios de 2 a 3 series de 10 a 15 rep.) sobre parámetros cinemáticos (fuerzas de reacción), de equilibrio del tren inferior (Star Excursion Balance Test) y de rendimiento de carrera en 5000 m en corredores entrenados. Apuntaron mejoras significativas mayores en el rendimiento de la carrera (47 s de media) y test de equilibrio (11,67 cm de media) en el grupo de entrenamiento del core. Aunque esta mejora en el rendimiento viene matizada por el hecho de que existían diferencias significativas en el rendimiento de carrera previo entre el grupo control

y el de intervención/experimental (con peores registros iniciales), que por lo tanto tenía mayor margen de mejora en el test de carrera (Martínez y Benito, 2009). La conclusión final fue que un programa de acondicionamiento del core centrado en un alto volumen de entrenamiento podía mejorar los tiempos de carrera.

Scibek et al. (2001), llevaron a cabo un entrenamiento de 6 semanas basado en ejercicios con pelota suiza en un grupo de nadadores para valorar el rendimiento en seco (mediante el lanzamiento de balón medicinal, salto vertical, control postural) y en agua (mediante tiempos de nado). Tras finalizar las 6 semanas de entrenamiento con pelota suiza, aparte de su entrenamiento habitual en piscina, pudieron comprobar que el rendimiento específico en natación (tiempos de nado) no había mejorado respecto al grupo control, a pesar de haber mejorado algunas otras valoraciones (lanzamiento de balón medicinal hacia delante y control postural). La conclusión final fue que el entrenamiento con pelota suiza podía no ser lo suficientemente específico a los requerimientos de estabilidad central de la natación y además podía haber inducido fatiga a los sujetos del grupo experimental.

Tse et al. (2005) examinaron la efectividad de un programa de resistencia muscular del core sobre varias medidas de rendimiento de remeros universitarios (sprints 10 y 40 m, salto vertical, test de remo de 2000 m, lanzamiento de balón medicinal). Tras 8 semanas de entrenamiento del core (2 veces a la semana) y un circuito de ejercicios de fuerza, el grupo experimental que realizaba ejercicios de estabilización, sólo mostró mejoría significativa en el test de resistencia muscular en decúbito lateral del protocolo de McGill (1999). No se hallaron diferencias significativas en el grupo de entrenamiento del core, en comparación con el grupo control que sólo hizo el circuito de ejercicios de fuerza sin core, en el resto de marcadores o tests de rendimiento. Los autores de este estudio explicaron que la ausencia de mejora del rendimiento podía estar relacionada con el alto nivel de acondicionamiento físico inicial de los sujetos, la corta duración del programa de entrenamiento, y el uso de mediciones del core poco sensibles a pequeñas mejorías. Del mismo modo, otra de las causas de la ausencia de mejora del rendimiento podría ser el tipo de ejercicios realizados para el core, ciertamente inespecíficos para el tipo de mediciones del rendimiento.

El estudio de Butcher et al., 2007 es de los pocos que ha podido demostrar claramente la mejora del rendimiento (velocidad de despegue en el salto vertical), en sujetos desentrenados, por el entrenamiento de la estabilidad central mediante superficies inestables.

Por tanto, con los escasos estudios realizados hasta la fecha no queda demostrado que exista una asociación definitiva entre la mejora de la estabilización central mediante el entrenamiento con medios inestables y la mejora del rendimiento deportivo. Sin duda, algunos de los problemas pueden estar en la especificidad biomecánica y validez científica de los tests utilizados para medir la estabilidad central, ya que no existe un test universal de referencia para la valoración de la misma, y por otro en la escasa especificidad de los protocolos de entrenamiento utilizados para transferir la supuesta mejora al gesto deportivo (en especial en lo referente al tipo de ejercicios realizados). Hibbs et al. (2008), al respecto, comentan que el entrenamiento con pelota suiza a solas, puede no provocar el mismo beneficio para el rendimiento que el entrenamiento de fuerza explosivo o de alta intensidad. Así, estos mismos autores en su artículo de revisión respecto de la mejora del rendimiento por medio del entrenamiento del core, sostienen que la falta de efecto sobre el rendimiento observado en muchos estudios puede deberse a los propios programas de entrenamiento del core que resultarían ser poco funcionales para poder transferir mejoras al rendimiento deportivo. Los mismos autores también sugieren que la falta de efecto de los estudios que pretenden demostrar la mejora del rendimiento mediante el entrenamiento de la fuerza y estabilidad central puede explicarse parcialmente por la baja carga impuesta por los ejercicios utilizados, requiriéndose seguramente ejercicios del core de mayor intensidad para poder esperar mejoras sustanciales en el rendimiento. En el mismo sentido, Willardson (2007) comenta que los ejercicios con pelota suiza se caracterizan por activaciones musculares isométricas de baja carga y tiempos prolongados de tensión, enfocados al desarrollo de la resistencia del core; sin embargo, el desarrollo de la fuerza y potencia del core podrían ser más importantes para que se den mejoras en marcadores relacionados con el rendimiento deportivo.

Desde el otro enfoque de investigación, que trata de comprobar qué efecto para el rendimiento (producción y mejora de potencia y fuerza) tiene la realización de ejercicios tradicionales de entrenamiento de la fuerza sobre una superficie inestable en comparación con hacerlos sobre un entorno estable, Cressey et al. (2007) demostraron que la inclusión de un entrenamiento con superficies inestables para el miembro inferior puede disminuir los efectos sobre la ganancia de potencia. En este estudio se desarrollaron 10 semanas de entrenamiento mediante ejercicios tradicionales (squats, squats a una pierna, langes, peso muerto) para la mejora de la potencia sobre discos hinchables en futbolistas. La conclusión final fue que el entrenamiento en inestabilidad atenuaba las ganancias de potencia en comparación con el grupo que entrenaba sólo en entorno estable al medirlo mediante distintos tipos de saltos (CMJ, BDJ) y sprints de distancias cortas. Se pensó que los peores resultados del grupo que entrenó sobre superficies inestables podría deberse a una reprogramación de patrones neuromusculares que afectó crónicamente al funcionamiento del ciclo estiramiento-acortamiento, fundamental para el rendimiento de actividades deportivas. En la misma línea, Chulvi-Medrano et al. (2010) compararon la producción de fuerza y la actividad muscular de la musculatura paraespinal al realizar pesos muertos sobre superficies inestables (Bosu y T-Bow) y sobre el suelo de forma convencional. La producción de fuerza y el registro electromiográfico muscular

fue mayor al realizar el ejercicio en el suelo que sobre los dispositivos inestables, tanto durante el test isométrico ($p < 0.05$) como el test dinámico ($p < 0.05$). La conclusión final fue que el uso de estos medios inestables para la realización del peso muerto no aumentaba el rendimiento (producción de fuerza) ni proporciona una activación mayor en la musculatura paraespinal.

CONCLUSIONES SOBRE EL USO DEL ENTRENAMIENTO INESTABLE PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO

A la vista de las evidencias científicas comentadas en el apartado anterior podemos realizar algunas recomendaciones y conclusiones interesantes sobre la aplicación del entrenamiento inestable en el ámbito del rendimiento deportivo:

- El entrenamiento exclusivo inestable disminuye los efectos sobre la mejora de fuerza y potencia en sujetos entrenados. Por eso se recomienda la utilización de medios inestables en combinación, y nunca de forma exclusiva, con el entrenamiento de fuerza con pesos libres cuando se trabaje con poblaciones deportistas.
- Ya que la mayoría de los deportes se desarrollan en entornos estables, los ejercicios de fuerza diseñados para retar a la estabilidad espinal deberían prescribirse de este modo (Cressey et al. 2007; Willardson, 2007).
- El entrenamiento inestable del tren inferior es inespecífico de la mayoría de actividades deportivas y por eso no produce mejoras sustanciales de fuerza o rendimiento en tareas funcionales (Cressey et al., 2007; Bruhn et al., 2004).
- Esta justificación también es válida para la gran mayoría de actividades de la vida diaria, que se desarrollan en entornos estables. Bajo este punto de vista, y basándose en la investigación disponible, parece que las mejoras funcionales se conseguirán mejor cuando la mayor parte del entrenamiento se desarrolle sobre superficies estables (principio de especificidad).
- Los ejercicios con pesos libres de cadena cinética cerrada, caracterizados por niveles moderados de inestabilidad que aumentan la activación muscular central y una alta producción de fuerza/potencia, presentan mayor especificidad y posibilidades de transferencia con la mayoría de gestos deportivos para el acondicionamiento del core. Los ejercicios con pesos libres realizados en el suelo y de pie deben ser la base para mejorar la estabilidad central específica en los deportistas sanos que entrenan para mejorar su fuerza, potencia y velocidad (Behn et al., 2005, 2010, 2012; Willardson, 2007).
- Los deportistas entrenados pueden necesitar un estímulo adaptativo mayor en términos de producción de fuerza, velocidad de movimiento, y fuerza explosiva que aquél que puede ser proporcionado mediante ejercicios de fuerza realizados sobre medios inestables, debido a la necesidad de un volumen e intensidad mayor para estimular adaptaciones (Baechle et al. 2008; Behn et al., 2012).
- Los ejercicios locales sobre superficies inestables para el core deberían periodizarse en fases alejadas del periodo competitivo -fuera de temporada- con el objetivo de desarrollar la resistencia muscular y prevenir lesiones (Willardson, 2007; Behn et al., 2010). Los ejercicios de cadena cinética abierta para el core sobre superficies inestables (p.e.: crunch) podrían ser más útiles para el desarrollo de la resistencia muscular o con fines estéticos (hipertrofia) (Behn et al., 2012).
- Durante los mesociclos de la pre-temporada y temporada competitiva el aumento de la fuerza y potencia del core deberían ser primordiales (Willardson, 2007).
- El aumento de la activación antagonista de las extremidades inferiores puede ser contraproducente para tareas explosivas/potentes (Drinkwater et al., 2007). Además, la técnica y seguridad del ejercicio puede verse comprometida a las intensidades necesarias para mejorar la fuerza.
- Las mejoras de fuerza y estabilidad central tras un programa de entrenamiento del core (mediante ejercicios en entornos estables o inestables) no siempre se correlacionan con mejoras de rendimiento en actividades deportivas. Algunas de las causas pueden estar en la carencia de especificidad de los protocolos de entrenamiento realizados por los estudios (en especial a lo que el tipo de ejercicios se refiere).
- Este panorama puede ayudar a explicar parcialmente por qué el entrenamiento aislado de la musculatura del core puede ser más útil en los programas de rehabilitación pero menos efectivo en los programas de acondicionamiento deportivo (Behm et al., 2010).
- No obstante, no debemos menospreciar la posibilidad de que un core más fuerte y estable pueda influir indirectamente en el rendimiento deportivo al prevenir lesiones que retrasen el proceso de entrenamiento.

REFERENCIAS

1. Arjmand, N., and Shirazi-Adl, A (2005). Biomechanics of changes in lumbar posture in static lifting. *Spine (Phila Pa 1976)*, 30(23): 2637-2648
2. Anderson, K.G., and Behm, D.G (2004). Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability. *J. Strength Cond. Res.* 18(3): 637-640
3. Anderson, K., and Behm, D.G (2005). Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Can. J. Appl. Physiol.* 30(1): 33-45
4. Arokoski, P. J., Valta, T., Airaksinen, O., & Kankaanpaa, M (2001). Back and abdominal muscle function during stabilization exercises. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82, 1089-1098
5. Baechle, T.R., Earle, R.W., and Wathen, D (2008). Resistance training. In *Essentials of strength training and conditioning*. Edited by T.R. Baechle and R.W. Earle. *Human Kinetics, Champaign, Ill.* pp. 381-411
6. Behm, D.G., Anderson, K.G., and Curnew, R.S (2002). Muscle force and activation under stable and unstable conditions. *J. Strength Cond. Res.* 16(3): 416-422
7. Behm, D.G.; Drinkwater, E.J.; Willardson, J.M.; Cowley, P (2010). The use of instability to train the core musculature review. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* Vol. 35
8. Behm, D.G., Power, K.E., and Drinkwater, E.J (2003). Muscle activation is enhanced with multi- and uni-articular bilateral versus unilateral contractions. *Can. J. Appl. Physiol.* 28(1): 38-52
9. Behm, D.G., Leonard, A., Young, W., Bonsey, W., & MacKinnon, S (2005). Trunk muscle electromyographic activity with unstable and unilateral exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 193-201
10. Behm, D.G. and Anderson, K.G (2006). The role of instability with resistance training. *J Strength Cond Res*, 20(3): p. 716-22
11. Behm, D.G., Drinkwater, E.J., Willardson, J., Cowley, P.M (2012). Declaración de posición de la Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio. La utilización de la inestabilidad para el entrenamiento del Núcleo (CORE) en el acondicionamiento de poblaciones deportivas y no deportivas. *G-SE. 2/02/2012. g-se.com/a/1385*
12. Behm, D.G. y Colado, J.C (2012). The effectiveness of resistance training Using unstable surfaces and devices for Rehabilitation. *International Journal of Sports Physical Therapy.* 7(2): 226-241
13. Bruhn, S.; Kulman, N.; Gollhofer, A (2004). The effects of a sensory training and a strength training on postural stabilization, maximum isometric contraction and jump performance. In *J. Sports Med.* 25:56-60
14. Borghuis J, Hof AL, Lemmink KA (2008). The importance of sensory-motor control in providing core stability: implications for measurement and training. *Sports Med.* 38(11):893-916
15. Butcher, S.J., Craven, B.R., Chilibeck, P.D., Spink, K.S., Grona, S.L., and Sprigings, E.J (2007). The effect of trunk stability training on vertical takeoff velocity. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 37(5): 223-231
16. Caraffa, A., Cerulli, G., Progetti, M., Aisa, G., Rizzo, A (1996). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 4(1): 19-21
17. 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. *J. Strength Cond. Res.* 20(2): 429-435
18. Chulvi-Medrano I, Garcia-Masso X, Colado JC, Pablos C, de Moraes JA, Fuster MA (2010). Deadlift muscle force and activation under stable and unstable conditions. *J. Strength Cond. Res.* 24(10):2723-2730
19. 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. *J. Strength Cond. Res.* 17(4): 721-725
20. Cowley, P.M., Swensen, T., and Sforzo, G.A (2007). Efficacy of instability resistance training. *Int. J. Sports Med.* 28(10): 829-835
21. DiStefano, L.J., Clark, M.A., and Padua, D.A (2009). Evidence supporting balance training in healthy individuals: a systemic review. *J Strength Cond Res*, 23(9): p. 2718-31
22. Drake JDM, Fischer SL, Brown SHM, Callaghan JP (2006). Do exercise balls provide a training advantage for trunk extensor exercises? A biomechanical evaluation. *J. Manipulative Physiol. Ther.* 29:354-62
23. Drinkwater, E.J., Pritchett, E.J., and Behm, D.G (2007). Effect of instability and resistance on unintentional squat-lifting kinetics. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2(4): 400-413
24. Duncan M (2009). Muscle activity of the upper and lower rectus abdominis during exercises performed on and off a Swiss ball. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* 13(4): 364-367
25. Fransson, P.A., Gomez, S., et al (2007). Changes in multi-segmented body movements and EMG activity while standing on firm and foam support surfaces. *Eur J Appl Physiol*, 101(1): p. 81-9
26. Gardner-Morse, M.G., Stokes, I.A.F (1998). The effects of abdominal muscle coactivation on lumbar spine stability. *Spine* 23, 86-92
27. Gonzalo, I. y Benito, P.J (2011). Entrenamiento sobre superficies inestables, en Naclerio, F. "Entrenamiento deportivo. Fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes". *Madrid, Médica Panamericana*, pp. 141-154
28. Granata, K.P and Marras, W.S (2000). Cost-Benefit of Muscle Cocontraction in Protecting Against Spinal Instability. *Spine.* 25(11), 1398-1404
29. Grenier SG, Vera-Garcia FJ, McGill SM (2000). Abdominal response during curl-ups on both stable and labile surfaces. *Phys. Ther.*86:564-569
30. Hamlyn, N., Behm, D.G., and Young, W.B (2007). Trunk muscle activation during dynamic weight-training exercises and isometric instability activities. *J. Strength Cond. Res.* 21(4): 1108-1112
31. Hernando Castañeda, G., Cañadas, M., and Barrejón, A (2009). Materiales inestables en entrenamiento personal, in *Nuevas tendencias en entrenamiento personal*. *Hernando Castañeda, G., Editor. Paidotribo: Badalona.* p. 224-257

32. Hibbs, A. E., Thompson, K. G., French, D., Wrigley, A., & Spears, I (2008). Optimizing performance by improving core stability and core strength. *Sports Medicine*, 38, 995-1008
33. Hodges PW, Richardson CA (1996). Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. *Spine*. 21(22):2640-2650
34. Hodges PW, Richardson CA (1998). Delayed postural contraction of transversus abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb. *J.Spinal Disord*.11(1):46-56
35. Hoffman, M. and Payne, V.G (1995). The effects of proprioceptive ankle disk training on healthy subjects. *JOSPT*. 21(2): 90-93
36. Hogan N (1984). Adaptive control of mechanical impedance by coactivation of antagonist muscles. *International Electrical Engineering Journal*. 29:681-690
37. Holtzmann M, Gaetz M, Anderson G (2004). EMG activity of trunk stabilizers during stable and unstable pushups. *Can. J. Appl. Physiol*.29:S55
38. Hrysonmallis, C (2007). Relationship between balance ability, training and sports injury risk. *Sports Med*. 37(6): p. 547-56
39. Imai, A.; Kaneoka, K.; Okubo, Y.; Shiina, I.; Tatsumura, M.; Izumi, S.; Shiraki, H (2010). Trunk muscle activity during lumbar stabilization exercises on both a stable and unstable surface. *J. Orthop. Sports Phys. Ther*. 40(6): 369-375
40. Isidro, F. and Heredia, J (2007). Entrenamiento funcional: revisión y replanteamientos, in Manual del entrenador personal: del fitness al wellness. *Isidro, F., Editor Paidotribo: Badalona*. p. 353-375
41. Itoi, E., Kuechle, D., Newman, S., Morrey, B., and An, K (1993). Stabilizing function of the biceps in stable and unstable shoulders. *J. Bone Joint Surg. Br*. 75(4): 546-550
42. Jeffreys, I (2002). Developing a progressive core stability program. *Strength and Conditioning Journal*, 24(5), 65-66
43. Karst GM, Hasan Z (1987). Antagonist muscle activity during human forearm movements under varying kinematic and loading conditions. *Experimental Brain Research*. 67:391-401
44. Kean, C.O., Behm, D.G., and Young, W.B (2006). Fixed foot balance training increases rectus femoris activation during landing and jump height in recreationally active women. *J. Sports Sci.Med*. 5: 138-148
45. Kidgell, D.J., Horvath, D.M., et al (2007). Effect of six weeks of dura disc and mini-trampoline balance training on postural sway in athletes with functional ankle instability. *J Strength Cond Res*. 21(2): p. 466-9
46. Kolber, M.J., and Beekhuizen, K (2007).). Lumbar stabilization: An evidenced-based approach for the athlete with low back pain. *Strength Condit. J*. 29(2): 26-37
47. Kornecki, S., and Zschorlich, V (1994). The nature of the stabilizing functions of skeletal muscles. *J. Biomech*. 27(2): 215-225
48. Koshida, S., Urabe, Y., Miyashita, K., Iwai, K., and Kagimori, A (2008). Muscular outputs during dynamic bench press under stable versus unstable conditions. *J. Strength Cond. Res*. 22(5): 1584-1588
49. Leetun, D., Ireland, M., Willson, J., Ballantyne, B., & Davis, M (2004). Core stability measures as a risk factors for lower extremity injury in athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 36(6), 926-934
50. Lehman, G.J., Hoda, W., and Oliver, S (2005). Trunk muscle activity during bridging exercises on and off a Swiss ball. *Chiropr Osteopat*. 13:14
51. Lehman, G.J., Gordon, T., et al (2005). Replacing a Swiss ball for an exercise bench causes variable changes in trunk muscle activity during upper limb strength exercises. *Dyn Med*. 4: p. 6
52. Lehman, G.J., MacMillan, B., et al (2006). Shoulder muscle EMG activity during push up variations on and off a Swiss ball. *Dyn Med*
53. Marshall, P., and Murphy, B.A (2006). Changes in muscle activity and perceived exertion during exercises performed on a swiss ball. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*. 31(4): 376-383
54. Marshall, P.W., and Murphy, B.A (2006). Increased deltoid and abdominal muscle activity during Swiss ball bench press. *J. Strength Cond. Res*. 20(4): 745-750
55. Marshall, P.W. and Murphy, B.A (2008). Muscle activation changes after exercise rehabilitation for chronic low back pain. *Arch Phys Med Rehabil*. 89(7): p. 1305-13
56. Martínez, I.G. y Benito, P.J (2009). Curso on-line estabilidad central y equilibrio. *Facultad de Ciencias de la actividad física y deporte de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid*
57. McBride, J.M., Cormie, P., and Deane, R (2006). Isometric squat force output and muscle activity in stable and unstable conditions. *J. Strength Cond. Res*. 20(4): 915-918
58. McGill, S., Childs, A., & Liebenson, C (1999). Endurance times for low back stabilization exercises: clinical targets for testing and training from a normal database. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80, 941-944
59. McGill, S (2001). Low back stability: from formal description to issues for performance and rehabilitation. *Exercise and Sports Science Reviews*, 29(1), 26-31
60. Myklebust, G., L. Engebresten, I.H. Braekken, A. Skjolberg, O.E. Olsen, and R. Bahr (2003).). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: A prospective treatment study over three seasons. *Clin. J. Sport Med*. 13:71-78
61. Myer, G.D., K.R. Ford, and T.E. Hewett (2004). Methodological approaches and rationale for training to prevent anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *Seand. J. Med. Sci. Sports* 14:275-285
62. Norwood JT, Anderson GS, Gaetz MB, Twist PW (2007). Electromyographic activity of the trunk stabilizers during stable and unstable bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 21(2): 343-7
63. Nuzzo, J.L., McCaulley, G.O., Cormie, P., Cavill, M.J., and McBride, J.M (2008). Trunk muscle activity during stability ball and free weight exercises. *J. Strength Cond. Res*. 22: 1108-1112
64. Paterno, M.V., G.D. Myer, K.R. Ford, and T.E. Hewett (2004). Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. *J. Orthop. Sports Phys. Then* 34:305-316
65. Scibek, J., Guskiewicz, W., Prentice, W., Mays, S., & Davis, J (2001). The effect of core stabilization training on functional performance in swimming. *Masters Thesis, University of North Carolina, Chapel Hill*
66. Sato, K., & Mokha, M (2009). Does core strength training influence running kinetics, lower-extremity stability, and 5000-m

- performance in runners? . *Journal of Strength and Conditioning Research*. 23(1), 133-140
67. Sharrock, C., Crooper, J., Mostad, J., Johnson, M., Malone, T (2011). A pilot study of core stability and athletic performance: is there a relationship?. *Int J Sports Phys Ther*. 6(2): 63-74
 68. Shen Z., Tu, Q., Liu, C (2009). The influence of swiss ball exercises on pain symptom and muscle strength in patients with protrusion of lumbar vertebral disc. *Chinese journal of rehabilitation medicine*. Vol 24 (12) pp 1103-1105
 69. Sparkes R, Behm DG (2010). Training adaptations associated with an 8 week instability resistance training program with recreationally active individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 24(7):1917-1924
 70. Stanton, R., Reaburn, P., & Humphries, B (2004). The effect of short-term swiss ball training on core stability and running economy. *J Strength Cond Res* 18(3), 522-528
 71. Sternlicht, E., Rugg, S., Fujii, L.L., Tomomitsu, K.F., and Seki, M.M (2007). Electromyographic comparison of a stability ball crunch with a traditional crunch. *J Strength Cond. Res* 21(2): 506-509
 72. Tse, M., McManus, A., & Masters, R (2005). Development and validation of a core endurance intervention program: implications for performance in college-age rowers. *J Strength Cond Res* 19(3), 547-552
 73. Thompson, C.J., Cobb, K.M., and Blackwell, J (2007). Functional training improves club head speed and functional fitness in older golfers. *J. Strength Cond. Res*. 21(1): 131-137
 74. Thorstensson A, Carlson H (1987). Fibre types in human lumbar back muscles. *Acta Physiol Scand*. 131(2):195-202
 75. Uribe, BP; Coburn, JW; Bown, LE; Judelson, DA; Khamoui, AV; Nguyen, D (2010). Muscle activation when performing the press chest and shoulder press on a stable bench vs a swiss ball. *J. Strength Cond. Res*. 24(4): 1028-1033
 76. Vera-Garcia, F.J., Elvira, J.L., Brown, S.H., and McGill, S.M (2007). Effects of abdominal stabilization maneuvers on the control of spine motion and stability against sudden trunk perturbations. *J. Electromyogr. Kinesiol*. 17(5): 556-567
 77. Vera-Garcia, F.J., Elvira, J.L., Brown, S.H., and McGill, S.M (2007). Effects of abdominal stabilization maneuvers on the control of spine motion and stability against sudden trunk perturbations. *J. Electromyogr. Kinesiol*. 17(5): 556-567
 78. Verhagen, E., van der Beek, A., Twisk, J., Bouter, L., Bahr, R., and van Mechelen, W (2004). The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains: a prospective controlled trial. *Am. J. Sports Med*. 32(6): 1385-1393
 79. Verhagen EA, van TM, van der Beek AJ, Bouter LM, van MW (2005). An economic evaluation of a proprioceptive balance board training programme for the prevention of ankle sprains in volleyball 31. *Br.J.Sports Med*. 39(2):111-115
 80. Wahl MJ, Behm DG (2008). Not all instability training devices enhance muscle activation in highly resistance-trained individuals. *J Strength Cond Res*; 22(4):1360-70
 81. Willardson, J.M (2007). Core stability training: applications to sports conditioning programs. *J. Strength Cond. Res*. 21(3): 979-985
 82. Willardson, J.M., Fontana, F.E., and Bressel, E (2009). Effect of surface stability on core muscle activity for dynamic resistance exercises. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(1): 97-109
 83. Yaggie, J.A., and Campbell, B.M (2006). Effects of balance training on selected skills. *J. Strength Cond. Res*. 20(2): 422-428
 84. Youdas, J.W., Hollman, J.H., et al (2007). Comparison of hamstring and quadriceps femoris electromyographic activity between men and women during a single-limb squat on both a stable and labile surface. *J Strength Cond Res*. 21(1): p. 105-11