



Revisión

Core stability: evaluación y criterios para su entrenamiento



F.J. Vera-García*, D. Barbado, V. Moreno-Pérez, S. Hernández-Sánchez, C. Juan-Recio y J.L.L. Elvira

Centro de Investigación del Deporte, Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 30 de enero de 2014

Aceptado el 20 de febrero de 2014

Palabras clave:

Tronco
Estabilidad articular
Test
Ejercicios

Keywords:

Trunk
Joint stability
Test
Exercises

R E S U M E N

El objetivo de este trabajo fue revisar las características de los métodos utilizados para valorar la estabilidad de la zona central del cuerpo (*core stability*), así como las características más importantes de los programas de ejercicios de estabilización del tronco. Los resultados de la revisión indican que métodos biomecánicos, como la aplicación controlada de cargas o descargas súbitas, el paradigma del asiento inestable y la modelación matemática, han permitido analizar el efecto de numerosos factores sobre la estabilidad del raquis. Por otro lado, los test de campo utilizados habitualmente para valorar la *core stability* (test de condición muscular, test de equilibrio corporal en apoyo monopodal, test de control postural del raquis lumbar y la pelvis, etc.) presentan limitaciones importantes, principalmente debido a la falta de estudios sobre la validez de estas medidas. Finalmente, existe una gran cantidad de información en relación con la eficacia y la seguridad de los ejercicios de estabilización, pero carecemos de información suficiente sobre otras características de la carga de entrenamiento.

© 2014 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Core stability: Evaluation and training criteria

A B S T R A C T

The aim of this study was to review both the characteristics of the tests used to assess *core stability* and the most important features of trunk stabilization exercise programs. The results of this review suggest that biomechanical methods such as sudden and controlled trunk loading and unloading, unstable sitting paradigm and mathematical modeling, have allowed us to analyze the effect of several factors on spine stability. In addition, field tests commonly used to assess *core stability* (muscle condition tests, single leg stance balance tests, postural control of lumbar spine and pelvis tests, etc.) have important limitations, mainly due to the absence of studies on the validity of these measurements. Finally, there is a lot of information regarding the effectiveness and safety of the stabilization exercises, but we lack enough information on other training load characteristics.

© 2014 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Core stability: avaliação e critérios para treinamento

R E S U M O

O objetivo desse trabalho foi revisar as características dos métodos utilizados para avaliar a estabilidade da zona central do corpo («core stability»), assim como as características mais importantes dos programas de exercícios de estabilização do tronco. Os resultados da revisão indicam que métodos biomecânicos como a aplicação controlada de cargas ou descargas súbitas, o paradigma do assento estável e a modelação matemática, tem permitido analisar o efeito de numerosos fatores sobre a estabilidade da coluna. Por

* Autor para correspondencia.
Correo electrónico: fvera@umh.es (F.J. Vera-García).

outro lado, os testes de campo utilizados habitualmente para avaliar a estabilidade do core (teste de condição muscular, teste de equilíbrio corporal em apoio monopodal, teste de controle postural da coluna lombar e da pelve, etc.) apresentam limitações importantes, principalmente devido a falta de estudos sobre a validade dessas medidas. Finalmente, existe uma grande quantidade de informação em relação à eficácia e à segurança dos exercícios de estabilização, mas carecemos de informação suficiente sobre outras características da carga de treinamento.

© 2014 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

En un trabajo previo de revisión sobre *core stability*¹ se realizó un análisis de las definiciones de este concepto existentes en diferentes ámbitos científicos y profesionales, así como de su relación con el rendimiento y las lesiones en el deporte, intentando dar respuesta a 2 preguntas principales: ¿qué es *core stability*? y ¿qué aporta la *core stability* al entrenamiento y la prevención de lesiones? A continuación se presentan las conclusiones principales de este trabajo de revisión:

- Existe una gran confusión terminológica sobre el concepto de *core stability*.
- Se propuso la siguiente definición de *core stability*: «capacidad de las estructuras osteoarticulares y musculares, coordinadas por el sistema de control motor, para mantener o retomar una posición o trayectoria del tronco, cuando este es sometido a fuerzas internas o externas».
- Estudios biomecánicos y epidemiológicos han relacionado alteraciones en el control neuromuscular de la *core stability* con la aparición de lesiones en la columna lumbar y en los miembros inferiores.
- A pesar de que diferentes autores sugieren que es posible mejorar el rendimiento deportivo, a través del desarrollo de la *core stability*, carecemos de evidencias científicas suficientes que avalen esta hipótesis.

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- i) Analizar las características más importantes de las técnicas y metodologías utilizadas para la valoración de la *core stability* en diferentes ámbitos (laboratorios, clínicas de rehabilitación e instalaciones deportivas).
- ii) Examinar las características más importantes de los programas de ejercicios para el desarrollo de la *core stability*.

Esta información permitirá que los profesionales del entrenamiento y la rehabilitación deportiva, conozcan tanto las limitaciones de los test de campo utilizados para su valoración, como la eficacia y seguridad del uso de diferentes ejercicios de *core stability*.

Método

La búsqueda de artículos para esta revisión se realizó en las bases de datos PubMed, Scopus y Sport Discus, utilizando los términos *core stability*, *trunk stability*, *spine stability* y *neuromuscular control*, así como su combinación con los términos *measurement*, *test*, *exercise* y/o *training*. Se revisaron fundamentalmente trabajos publicados desde enero de 2000 hasta octubre de 2013, en revistas indexadas en el Journal Citation Reports del ISI Web of Knowledge (Thomson Reuters Corporation®).

Valoración biomecánica de la core stability

Para evaluar la estabilidad mecánica de un cuerpo, estructura o sistema debemos aplicarle cargas o perturbaciones y observar su respuesta². De este modo, muchos de los métodos biomecánicos utilizados para valorar la *core stability*, se basan en aplicar de forma controlada fuerzas de diferentes características (dirección, magnitud, duración, etc.) y analizar las respuestas de sus estructuras mediante técnicas cinemáticas y dinamométricas. Partiendo de la definición de estabilidad presentada anteriormente, cuanto menos se desplace el tronco de su posición o trayectoria y/o más rápidamente retome su posición o trayectoria ante las fuerzas aplicadas, mayor será la capacidad de estabilización.

La mayoría de estudios biomecánicos que valoran la estabilidad del core aplican fuerzas al tronco utilizando 2 paradigmas principales:

- 1) Perturbaciones unidireccionales aplicadas de forma súbita mediante mecanismos mecánicos, electrónicos y/o neumáticos. Las perturbaciones se aplican en diferentes direcciones y sentidos, mediante cargas súbitas (*sudden loading*) o descargas súbitas o rápidas (*sudden unloading* o *quick release*) y con los participantes en sedestación o bipedestación. Las cargas rápidas son fuerzas de magnitud, punto de aplicación, duración, dirección y sentido conocidos y se aplican sobre el participante de forma súbita y controlada (fig. 1)³⁻⁵. Por otro lado, en las descargas rápidas se pide al participante que ejerza un nivel de fuerza determinado contra un cable de acero anclado a un electroimán, liberando el cable súbitamente para provocar el desequilibrio⁶⁻⁹. Otra forma de aplicar las descargas es, primero, someter al participante durante un tiempo determinado a una fuerza o carga horizontal mientras este mantiene el tronco en posición vertical, y posteriormente, quitar de forma súbita la carga para provocar el desequilibrio¹⁰.

Las variables más utilizadas de esta metodología para cuantificar la estabilidad del tronco ante las perturbaciones son el desplazamiento angular del tronco respecto a L4-L5 y la rigidez del tronco^{3,4,11}, es decir, la relación entre el momento de fuerza aplicado y el desplazamiento observado tras la perturbación³. Generalmente, a menor desplazamiento o mayor rigidez ante las fuerzas aplicadas, mayor es la capacidad de estabilización^{4,5,10}. Registros electromiográficos han permitido también analizar la respuesta muscular ante las perturbaciones, especialmente la intensidad y la latencia de la respuesta de los músculos del tronco^{4,5,8,9}.

Son muchos los estudios biomecánicos que han analizado la estabilidad del raquis mediante la utilización de cargas y/o descargas rápidas. Los datos obtenidos han permitido conocer los efectos de diversos factores sobre la respuesta del tronco, como por ejemplo, la intensidad de la activación y la coordinación muscular^{4,5,10}, la dirección e intensidad de las fuerzas aplicadas^{3,4}, la incertidumbre sobre el momento de aplicación de la perturbación^{11,12}, la deformación plástica (*creep*) de los tejidos¹³, la fatiga¹¹⁻¹³, la vibración¹² y la patología o el dolor lumbar⁷⁻⁹.

- 2) Perturbaciones constantes aplicadas mediante el paradigma del asiento inestable. En los estudios que utilizan esta

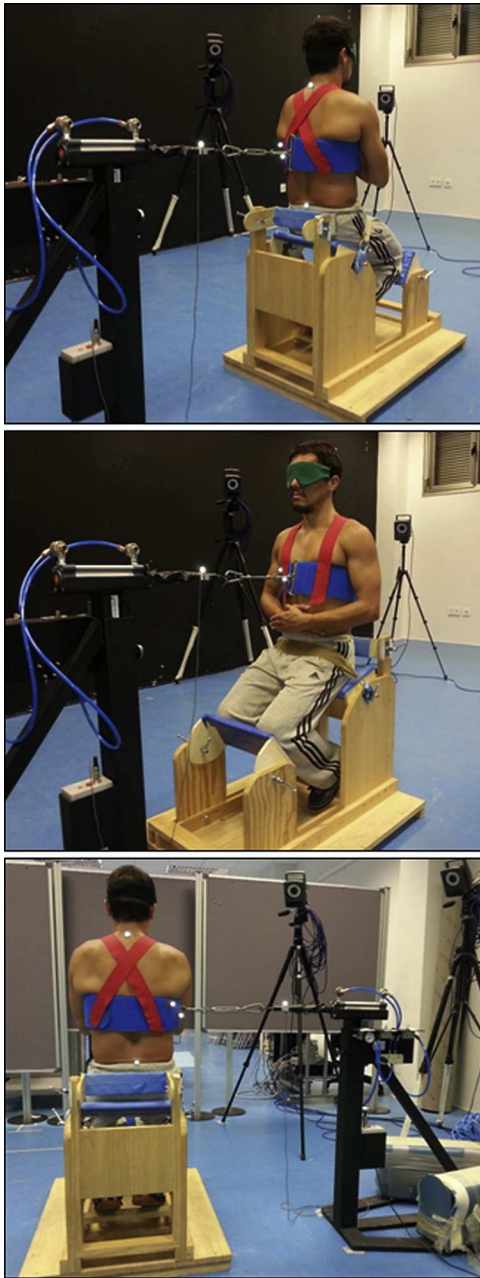


Figura 1. En estas imágenes se presenta un mecanismo de tracción neumática para la aplicación de fuerzas súbitas en diferentes direcciones y sentidos. Para ello, el participante se sitúa en posición semisentada en una silla de madera que permite la colocación del raquis en posición neutra. Una célula de carga colocada entre el pistón neumático y el arnés permite conocer el momento del inicio y la magnitud de la alteración. La respuesta cinemática del tronco ante las fuerzas súbitas se mide gracias a un sistema de análisis de movimiento en 3 D.

metodología^{6,14-17}, los investigadores colocan al participante sobre un asiento inestable, apoyado sobre una plataforma de fuerzas y le solicitan realizar tareas de diversa dificultad (fig. 2). Posteriormente, con el objeto de evaluar el control postural del tronco en sedestación, se analiza el desplazamiento del centro de presiones (calculado a partir de los datos obtenidos en la plataforma). La inestabilidad la confiere la base de la silla, la cual es una hemiesfera o casquete esférico de radio y altura conocida (fig. 2). A menor radio, la silla es más inestable, y por tanto, las tareas a realizar son más complejas^{5,8}. Con el objeto de evitar la participación de los miembros inferiores en la tarea, las piernas del participante se fijan a un reposapiés (solidario con la silla) mediante una serie de cinchas

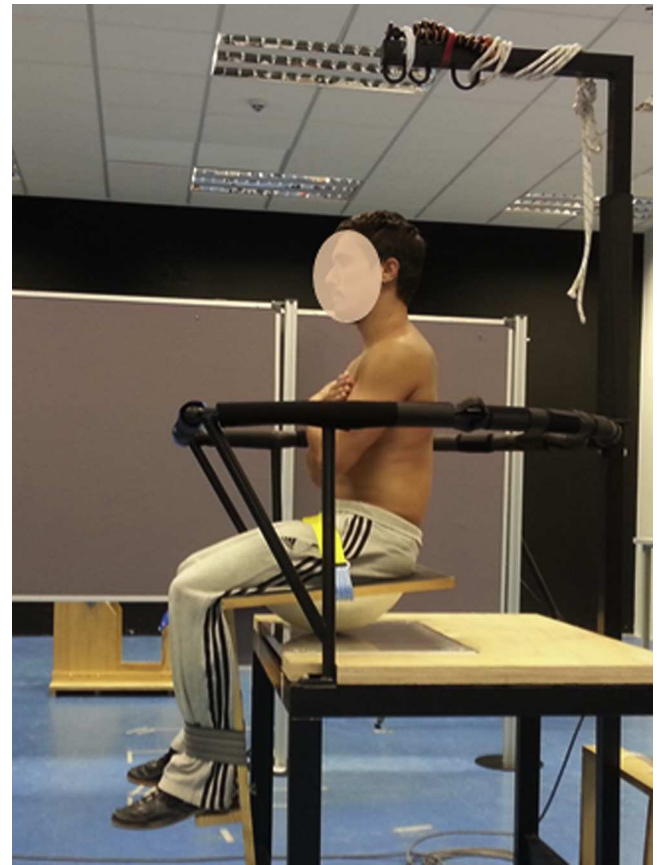


Figura 2. Vista lateral de un participante durante la ejecución de una prueba sobre asiento inestable. El asiento está apoyado sobre una plataforma de fuerzas que permite el análisis del desplazamiento del centro de presiones y de esta forma, la valoración del control postural del tronco en sedestación. Una barandilla de seguridad rodea al participante para evitar caídas y hacer que este se sienta seguro durante la prueba.

(fig. 2). En algunos protocolos se ha utilizado feedback visual para establecer diferentes condicionantes en la tarea. Así, en el estudio de Elvira et al.¹⁴ se proyectó frente al participante un software donde se mostraba la posición del centro de presiones, así como la de un punto de referencia que permitía plantear tareas de diversa dificultad. En general, el grado de control del participante era valorado mediante su capacidad para colocar su centro de presiones sobre el punto criterio durante el mantenimiento de una postura o durante la realización de movimientos en diferentes planos (con el menor error posible).

Las variables más utilizadas para evaluar la estabilidad del tronco mediante esta metodología se han obtenido generalmente a través del análisis de las fluctuaciones del centro de presiones del participante respecto a la posición o trayectoria deseada. Así, el rango, la desviación típica, el área barrida y la distancia recorrida han sido utilizadas para cuantificar el grado de dispersión y velocidad del desplazamiento del centro de presiones^{6,15,17}. Adicionalmente, se ha utilizado el exponente de Lyapunov^{15,17}, el análisis de fluctuaciones sin tendencia^{15,17} y/o la entropía aproximada y muestral¹⁷, para evaluar la estructura y complejidad de las fluctuaciones del centro de presiones (autocorrelación, predictibilidad, etc.).

La utilización del paradigma del asiento inestable ha permitido establecer relaciones entre déficits en la estabilidad del tronco en sedestación y enfermedades como el Parkinson¹⁸, el síndrome del dolor lumbar^{8,16,19}, la escoliosis idiopática²⁰ y los accidentes cerebrovasculares²¹. Asimismo, esta metodología ha sido capaz de discriminar, entre deportistas de varias disciplinas deportivas, en

función de su capacidad para controlar la estabilidad del tronco en sedestación¹⁴ y ha permitido analizar el efecto negativo de la fatiga sobre el control de la estabilidad del tronco en gimnastas de élite²².

Estas metodologías se basan en la medición y análisis de datos empíricos. Otro de los métodos utilizados en biomecánica para la valoración de la *core stability* es la modelación matemática. Así, partiendo de las teorías y formulaciones realizadas por Bergmark²³, el *Spine Biomechanics Laboratory* (Universidad de Waterloo, Canadá), del profesor Stuart M. McGill desarrolló un método complejo, basado en la utilización de 3 modelos matemáticos interdependientes (*Link-Segment Model*, *Lumbar Spinal Model* y *Distribution-Moment Model*)^{24,25}. A partir de los resultados obtenidos en los 3 modelos se establecen 2 medidas de estabilidad basadas en las variaciones de la energía potencial y la rigidez del sistema²⁶; es decir, un índice de estabilidad general, que proporciona una visión global de la estabilidad de todas las articulaciones lumbares, y un valor de estabilidad mínimo (valor más bajo obtenido en cualquiera de las articulaciones del raquis lumbar), que indica el punto más débil o inestable del sistema. Según esta metodología, para que el raquis se encuentre estable, las 2 medidas de estabilidad deben ser positivas. El uso de estos modelos biomecánicos, que cuantifican la *core stability* en términos de rigidez, ha mejorado el conocimiento sobre los factores que modulan la capacidad de estabilizar el raquis en condiciones estáticas o cuasi-estáticas, sin embargo, no permite una valoración adecuada de la estabilidad en condiciones dinámicas.

Test de campo para la valoración de la *core stability*

Los métodos utilizados en biomecánica para la valoración de la *core stability* requieren de materiales costosos, son complejos de llevar a cabo y precisan de un entorno controlado (el laboratorio). Por estas razones no son los más ideales para su utilización en centros deportivos, clases de educación física o clínicas de rehabilitación. En estos entornos se utilizan test de campo, de fácil aplicación y que no precisan ni de materiales costosos, ni de tratamientos de datos sofisticados. Sin embargo, muchas de estas pruebas presentan limitaciones importantes, relacionadas principalmente con la validez de la medida. Los test se pueden agrupar principalmente en 3 tipos de pruebas diferentes:

1) Test de condición muscular. Partiendo del concepto de *core strength*, utilizado por algunos autores como sinónimo de *core stability*²⁷⁻²⁹, se ha propuesto la utilización de test de resistencia muscular (*Biering-Sorensen test*, *side bridge test*, *plank to fatigue test*, etc.) o test de fuerza-potencia muscular (*front abdominal power test*, *side abdominal power test*, etc.) como medidas de *core stability*²⁸⁻³⁰. En la figura 3A se muestra el *Biering-Sorensen test*, una de las pruebas de campo más utilizadas en el entrenamiento y la medicina del deporte^{28,29}. Aunque los test de condición muscular miden variables relacionadas con la función de los músculos del tronco, mediante protocolos sencillos y económicos, no existen datos en la literatura que demuestren su validez como medidas de estabilidad. En este sentido, si bien la resistencia y la fuerza muscular, al igual que otras variables como la edad o la patología lumbar, son variables que pueden influir en la capacidad de estabilización de las estructuras de la zona central del cuerpo, los resultados de los test de resistencia o fuerza muscular no son medidas de estabilidad en sí mismas, por lo que es necesario realizar estudios que evalúen la validez de estas pruebas como test indirectos de estabilidad.

2) Test de equilibrio corporal. Algunos de los test que han sido utilizados para medir la *core stability* son test de equilibrio corporal en apoyo monopodal, como por ejemplo, el *three plane core strength test* (fig. 3B), el *one-leg standing balance test* y el *one leg squat test*^{31,32}. Al igual que en el caso de los test de condición muscular, no existen datos publicados que demuestren la validez de estas pruebas para medir la *core stability*. En nuestra opinión,

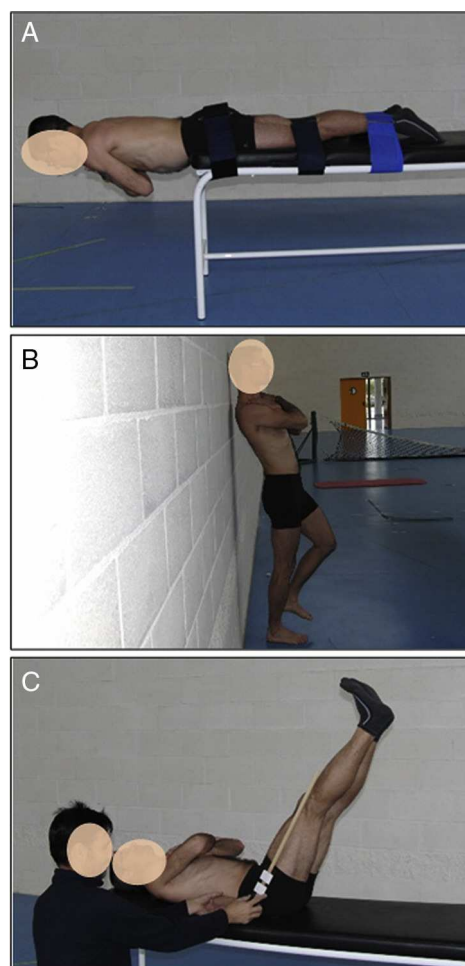


Figura 3. Diferentes test de campo utilizados para la valoración de la *core stability*. A) *Biering-Sorensen test*: consiste en mantener el tronco en posición horizontal, contra gravedad, el mayor tiempo posible. B) *Three-plane core strength test*: consiste en realizar movimientos del tronco en diferentes planos (la imagen de la figura corresponde a la valoración realizada en el plano sagital), desplazando el tronco desde la vertical hasta tocar la pared, mientras se mantiene el equilibrio corporal en apoyo monopodal; el participante debe mantener la pelvis, la columna y la cabeza lo más alineadas posible y evitar oscilaciones del miembro inferior durante el test (un evaluador valora visualmente la ejecución en una escala de 1-4). C) *Double-leg lowering test*: consiste en mantener la región lumbar apoyada sobre la camilla, con la pelvis en retroversión y la lordosis lumbar aplanada, mientras descienden las piernas con las rodillas extendidas; un evaluador coloca una mano bajo la región lumbar del participante y utiliza un goniómetro para medir el ángulo (entre el muslo y la horizontal) alcanzado por este mientras todavía es capaz de mantener la columna y la pelvis en la posición referida.

estas pruebas no miden de forma aislada la *core stability*, sino más bien el control postural y la estabilidad de todo el cuerpo. Además, el *three-plane core strength test*, utilizado habitualmente en el ámbito clínico, presenta valores bajos de fiabilidad intra- e interobservador³².

En la literatura existen también otras pruebas de equilibrio que se realizan sobre plataformas de estabilidad, como por ejemplo el *quadruped arm raise test* ejecutado sobre la plataforma de *Lafayette Instrument Co.*³³. A pesar de que el control del equilibrio corporal en cuadrupedia puede tener una buena relación con el control de la estabilidad de las estructuras del *core*, el coste de la plataforma y la necesidad de realizar varias medidas de familiarización para controlar el efecto de aprendizaje³³, limita las posibilidades de utilización del *quadruped arm raise test* como prueba de campo.

3) Test de control de la postura del raquis lumbar y la pelvis, como por ejemplo, el *double-leg lowering test* (fig. 3C)^{28,34,35}, el *bent knee lowering test*³⁶ y el *Sahrmann core stability test*³⁷. Estas

pruebas se realizan en decúbito supino y consisten, básicamente, en controlar la postura del raquis lumbar y la pelvis ante las fuerzas aplicadas por el movimiento de los miembros inferiores o por su colocación en posiciones elevadas respecto al suelo. Desde un punto de vista teórico y, teniendo en cuenta la definición de estabilidad presentada en la introducción de este trabajo, los test referidos pueden ser medidas válidas de *core stability*. No obstante, es necesario realizar estudios que analicen la relación entre los resultados obtenidos en estos test y gold standards establecidos mediante test de laboratorio. Además, estudios sobre la validez de las medidas podrían aclarar la controversia existente sobre si el *double-leg lowering test* es válido para medir la estabilidad lumbo-pélvica o la fuerza de la musculatura abdominal^{34,38}.

El *double-leg lowering test*, el *bent knee lowering test* y el *Sahrmann core stability test* se han utilizado principalmente en el ámbito clínico, donde por lo general se realizan con la ayuda de un *biofeedback* de presión que permite controlar la posición de la región lumbo-pélvica^{36,39}. Este sistema de *biofeedback* fue diseñado originalmente para educar o reeducar la función del músculo transverso del abdomen en pacientes con dolor lumbar⁴⁰. Sin embargo, existen dudas sobre su reproducibilidad y validez para evaluar la actividad del transverso del abdomen^{41,42}. En la educación física, el *fitness* y el entrenamiento deportivo, el uso de los test de control postural de la región lumbo-pélvica no está tan extendido, ya que estas pruebas requieren de uno o 2 evaluadores expertos por participante y, en algunos protocolos, de la utilización del *biofeedback* de presión, lo que dificulta la evaluación simultánea de varios deportistas. Además, se ha cuestionado la sensibilidad o capacidad de estas pruebas para discriminar entre deportistas de características similares^{28,43}, por lo que su uso no parece recomendable en poblaciones homogéneas de deportistas.

Como se desprende de lo expuesto en los párrafos anteriores, actualmente se utilizan formas muy diferentes para valorar la *core stability*. En nuestra opinión, esta variedad de pruebas es un reflejo tanto de la dificultad para evaluar adecuadamente la *core stability* como de la ambigüedad existente en relación con el concepto de *core stability*². Los primeros datos de un estudio correlacional que estamos desarrollando en nuestro laboratorio indican que son pocas y bajas las correlaciones existentes entre los resultados de test biomecánicos de *core stability* (respuesta del tronco ante cargas súbitas, control de la estabilidad estática y dinámica del tronco en sedestación, etc.) y los resultados de algunos de los test de campo comentados anteriormente, como por ejemplo el *Biering-Sorensen test* y el *three-plane core strength test*. En este contexto, es necesario prestar mucha atención a la selección de los test utilizados, ya que se podría emplear erróneamente cualquier medida relacionada con el tronco o con el equilibrio corporal como una forma válida de evaluar la estabilidad de las estructuras de la zona central del cuerpo.

Ejercicios y programas de *core stability*

Entre los métodos recomendados para la prevención y el tratamiento del síndrome de dolor lumbar destaca la realización de ejercicios de *core stability*⁴⁴, es decir, aquellos cuyo objetivo es favorecer el aprendizaje y perfeccionamiento de patrones de coactivación muscular para la mejora del control motor y la estabilidad de las estructuras raquídeas^{44,45}. En los últimos 20 años se han diseñado numerosos ejercicios de *core stability*. En general, estos ejercicios consisten en mantener el raquis en posición neutra, es decir, conservando las curvaturas fisiológicas cuando este es sometido a fuerzas internas o externas que ponen a prueba su estabilidad. Así, en los ejercicios conocidos como puentes o *bridges*⁴⁶⁻⁴⁹ los participantes deben mantener diversas posturas sin apoyar la pelvis en el suelo, en contra de la fuerza de la gravedad (fig. 4). En los ejercicios denominados perro de muestra o *bird dog* y bicho

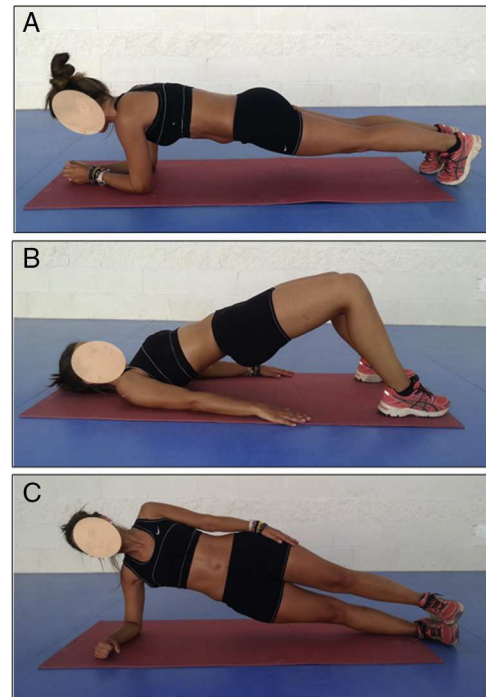


Figura 4. Ejercicios de estabilización en decúbito prono, decúbito supino y decúbito lateral manteniendo la pelvis elevada contra gravedad. A) Puente o plancha frontal. B) Puente o plancha dorsal. C) Puente o plancha lateral.

muerto o *dead bug*, los participantes deben mantener la columna en posición neutra ante las fuerzas provocadas por el movimiento de las extremidades (fig. 5)^{46,47,49,50}.

La selección de los ejercicios de *core stability* para el diseño y prescripción de programas de entrenamiento se basa fundamentalmente en criterios de eficacia y seguridad. La electromiografía de superficie permite valorar la eficacia de los ejercicios de estabilización a través del análisis de la intensidad de la activación muscular y la coordinación de los músculos del tronco (ver por ejemplo^{47,49,50}). Asimismo, diversos modelos matemáticos han permitido evaluar la seguridad de los ejercicios de *core stability* mediante el cálculo del estrés mecánico producido en la columna lumbar durante la realización de los mismos^{25,51}. Los valores obtenidos a partir de estos modelos se suelen comparar con el nivel de seguridad establecido por el *National Institute for Occupational Safety and Health* (EE. UU.), según el cual, fuerzas de compresión lumbar superiores a 3.400 N suponen un riesgo importante para las estructuras vertebrales⁵².

Los resultados de los estudios electromiográficos y mecánicos indican que no existe un único ejercicio adecuado para acondicionar todos los músculos que participan en la estabilización del tronco (ver por ejemplo^{47,51}). Por el contrario, generalmente se recomienda realizar una batería de ejercicios que activen los diferentes grupos musculares del tronco, es decir, flexores, extensores,



Figura 5. Participante realizando el ejercicio de estabilización conocido como perro de muestra. El ejercicio comienza en posición cuadrúpeda y consiste en elevar un brazo y la pierna contraria hasta la horizontal intentando mantener la columna en posición neutra (evitando la rotación de la pelvis o el tórax).

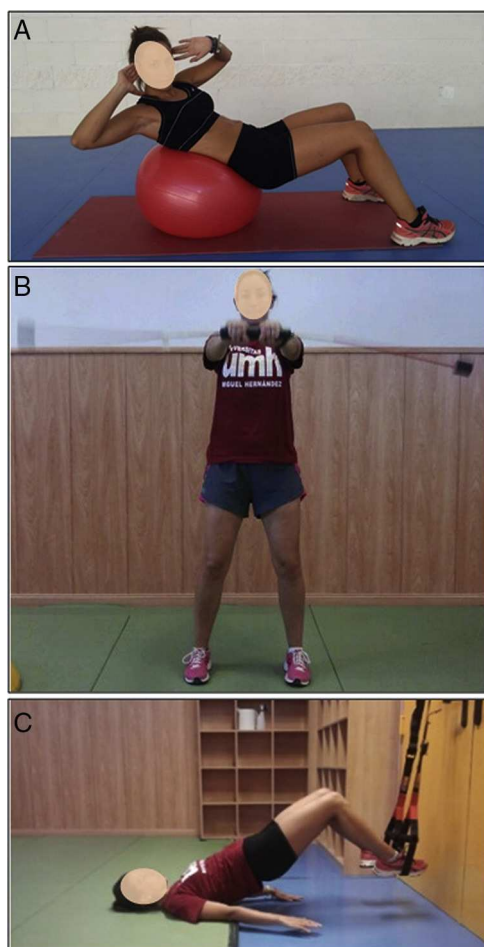


Figura 6. Ejercicios de estabilización realizados con material específico. A) Encorvamiento del tronco con giro (*cross-crunch*) sobre *fitball*: la utilización de superficies inestables permite retar la capacidad de estabilización del tronco durante la realización de diversos movimientos o posturas. B) Ejercicio con barra oscilante (*Flexibar*[®]): la participante hace oscilar el aparato mientras intenta mantener el raquis en posición neutra; en función de la colocación del aparato se puede incrementar la activación de unos grupos musculares u otros²⁵. C) Puente o plancha dorsal en suspensión: la utilización de correas de suspensión (*TRX*[®]) supone el apoyo de parte del peso corporal sobre estructuras inestables, incrementando las demandas de control postural sobre el sistema motor.

inclinadores y rotadores⁴⁴. Partiendo de los criterios de eficacia y seguridad, los puentes, el perro de muestra y el bicho muerto son algunos de los ejercicios de estabilización más utilizados en la actualidad. Entre los puentes o planchas, los más conocidos son el puente ventral o frontal (fig. 4 A), el puente dorsal (fig. 4 B) y el puente lateral (fig. 4 C), los cuales activan principalmente los flexores, extensores e inclinadores del tronco, respectivamente^{44-49,53}. Cuando los puentes se realizan con apoyo monopodal o se realizan ejercicios de estabilización con movimientos unilaterales de segmentos (como el perro de muestra), aumenta la activación de los músculos rotadores del tronco⁴⁷.

Los ejercicios referidos se utilizan principalmente en el *fitness*, la educación física y el deporte de iniciación y recreación. Durante las fases iniciales de este tipo de entrenamiento, los ejercicios se suelen realizar sin la utilización de materiales y sobre superficies estables, para posteriormente, conforme aumenta el nivel de ejecución de los participantes, utilizar superficies inestables (*Bosu*[®], *Fitball*[®], etc.) (fig. 6 A)^{48,53,54}, barras oscilantes (*Flexibar*[®], *Bodyblade*[®], etc.) (fig. 6 B)²⁵, correas de suspensión (*TRX*[®], *Sling*[®], etc.) (fig. 6 C)⁵⁵, sistemas de cables y poleas⁵⁶, etc. Además, en el deporte de competición, se recomienda realizar actividades de carácter específico

y funcional, reproduciendo los movimientos o posturas habituales de los deportistas, ya que en este contexto los ejercicios de estabilización convencionales no se han mostrado eficaces⁴³.

En ciertos ámbitos profesionales, relacionados con el *fitness* y la rehabilitación, existe la creencia de que la forma más adecuada de incrementar la *core stability* es realizar principalmente ejercicios que aislen la activación de los músculos profundos del tronco, especialmente la maniobra de hundimiento abdominal o *abdominal hollowing*⁵⁷. Los datos obtenidos por O'Sullivan et al.⁵⁸ y Hides et al.⁵⁹ indican que este tipo de ejercicios podría ser adecuado para el acondicionamiento de la musculatura referida y la mejora de la estabilidad del raquis, en pacientes con síndrome de dolor lumbar, especialmente aquellos con atrofia o disfunción de la musculatura profunda del abdomen. Sin embargo, no existen evidencias suficientes que indiquen que la realización de la maniobra de hundimiento abdominal, u otra de características similares, sea la forma más adecuada de mejorar la estabilidad del raquis y la pelvis. De hecho, estudios experimentales, que han comparado el efecto de programas de ejercicios de tronco convencionales (puentes, perro de muestra, encorvamientos del tronco o *crunches*, etc.) con programas de ejercicios basados en la coactivación de la musculatura profunda del tronco, han encontrado resultados similares en ambos tipos de entrenamiento tanto en pacientes con dolor lumbar⁶⁰, como en deportistas universitarios⁶¹. Además, varios estudios biomecánicos han demostrado que la coactivación global de todos los músculos del tronco, mediante la maniobra conocida como *abdominal bracing*, similar a una maniobra de Valsalva, podría ser más eficaz que la maniobra de hundimiento abdominal para estabilizar el raquis cuando este es sometido a cargas de diferentes características⁵.

A pesar de la gran cantidad de estudios biomecánicos sobre la eficacia y seguridad de los ejercicios de *core stability*, son pocos los estudios experimentales que han analizado el efecto real de estos programas^{27,60,61}. Por este motivo, carecemos de evidencias suficientes para determinar, bajo criterios científicos, muchas de las características de los programas de ejercicios de *core stability*, como por ejemplo, la intensidad, el volumen o la frecuencia de entrenamiento. Uno de los retos principales a los que nos enfrentamos es realizar estudios controlados y aleatorizados que proporcionen criterios para establecer las diferentes características de la carga del entrenamiento de estabilización. Para ello, teniendo en cuenta lo expuesto en el apartado anterior, primero será necesario desarrollar test de campo que midan de forma válida y fiable la estabilidad de las estructuras del *core*.

Recomendaciones finales

La aplicación controlada de cargas o descargas súbitas, el paradigma del asiento inestable y el cálculo de la rigidez del raquis mediante modelación matemática han permitido analizar el efecto de numerosos factores sobre la *core stability*, como por ejemplo, la intensidad y coordinación de la activación muscular, la características de las fuerzas aplicadas sobre la columna, el envejecimiento, la fatiga muscular, la patología lumbar, etc.

Partiendo de diferentes conceptos de *core stability*, se han desarrollado 3 tipos básicos de test de campo: test de condición muscular, test de equilibrio corporal en apoyo monopodal y test de control postural del raquis lumbar y la pelvis en decúbito supino. Los test referidos presentan limitaciones importantes, especialmente la falta de estudios sobre la validez de estas medidas.

En relación con los métodos de entrenamiento de *core stability*, existe una gran cantidad de información en la literatura científica sobre el reclutamiento de los músculos del tronco y el estrés en la columna lumbar durante la realización de ejercicios de estabilización, sin embargo, carecemos de información suficiente sobre

otras características de la carga de entrenamiento, como el número de repeticiones y series, la duración de los ejercicios isométricos y la frecuencia de entrenamiento, entre otros.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Este trabajo es resultado de un Proyecto de Investigación (Ref.: DEP2010-16493) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (Plan Nacional de I+D+i). Casto Juan Recio ha participado en este estudio gracias a una beca predoctoral concedida por la Generalitat Valenciana (Val i+d).

Bibliografía

- Vera-García FJ, Barbado D, Moreno-Pérez V, Hernández-Sánchez S, Juan-Recio C, Elvira JL. Core stability. Parte I: concepto y aportaciones al entrenamiento y la prevención de lesiones. *Rev Andal Med Deporte*. 2015, in press.
- Reeves NP, Narendra KS, Cholewicki J. Spine stability: The six blind men and the elephant. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2007;22(3):266-74.
- Gardner-Morse MG, Stokes IA. Trunk stiffness increases with steady-state effort. *J Biomech*. 2001;34(4):457-63.
- Vera-García FJ, Brown SH, Gray JR, McGill SM. Effects of different levels of torso coactivation on trunk muscular and kinematic responses to posteriorly applied sudden loads. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2006;21(5):443-55.
- Vera-García FJ, Elvira JL, Brown SH, McGill SM. Effects of abdominal stabilization maneuvers on the control of spine motion and stability against sudden trunk perturbations. *J Electromyogr Kines*. 2007;17(5):556-67.
- Cholewicki J, Simons AP, Radebold A. Effects of external trunk loads on lumbar spine stability. *J Biomech*. 2000;33:1377-85.
- Cholewicki J, Greene HS, Polzhofer GK, Galloway MT, Shah RA, Radebold A. Neuromuscular function in athletes following recovery from a recent acute low back injury. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2002;32(11):568-75.
- Radebold A, Cholewicki J, Polzhofer GK, Greene HS. Impaired postural control of the lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(7):724-30.
- Reeves NP, Cholewicki J, Milner TE. Muscle reflex classification of low-back pain. *J Electromyogr Kinesiol*. 2005;15(1):53-60.
- Brown SH, Vera-García FJ, McGill SM. Effects of abdominal muscle coactivation on the externally preloaded trunk: Variations in motor control and its effect on spine stability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(13):E387-93.
- Granata KP, Orishimo KF, Sanford AH. Trunk muscle coactivation in preparation for sudden load. *J Electromyogr Kinesiol*. 2001;11(4):247-54.
- Wildner DG, Aleksiev AR, Magnusson ML, Pope MH, Spratt KF, Goel VK. Muscular response to sudden load. A tool to evaluate fatigue and rehabilitation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996;21(22):2628-39.
- Sánchez-Zuriaga D, Adams MA, Dolan P. Is activation of the back muscles impaired by creep or muscle fatigue? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(5):517-25.
- López Elvira J, Barbado Muriillo D, Juan-Recio C, García-Vaquero MP, López-Valenciano A, López-Plaza D, et al. Diferencias en la estabilización del tronco sobre un asiento inestable entre piragüistas, judocas y sujetos físicamente activos. *Kronos*. 2013;12(2):63-72.
- Lee H, Granata KP. Process stationarity and reliability of trunk postural stability. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2008;23(6):735-42.
- Van Dieen JH, Koppes LL, Twisk JW. Low back pain history and postural sway in unstable sitting. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(7):812-7.
- Van Dieen JH, Koppes LL, Twisk JW. Postural sway parameters in seated balancing; their reliability and relationship with balancing performance. *Gait Posture*. 2010;31(1):42-6.
- Van der Burg JC, van Wegen EE, Rietberg MB, Kwakkel G, van Dieen JH. Postural control of the trunk during unstable sitting in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2006;12(8):492-8.
- Van Daele U, Hagman F, Truijien S, Vorlat P, van Gheluwe B, Vaes P. Decrease in postural sway and trunk stiffness during cognitive dual-task in nonspecific chronic low back pain patients, performance compared to healthy control subjects. *Spine*. 2010;35(5):583-9.
- Bennett BC, Abel MF, Granata KP. Seated postural control in adolescents with idiopathic scoliosis. *Spine*. 2004;29(20):E449-54.
- Pérennou DA, Leblond C, Amblard B, Micallef JP, Hérisson C, Pélissier JY. Transcutaneous electric nerve stimulation reduces neglect-related postural instability after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82(4):440-8.
- Van Dieen JH, Luger T, van der Eb J. Effects of fatigue on trunk stability in elite gymnasts. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(4):1307-13.
- Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand Suppl*. 1989;230:1-54.
- Cholewicki J, McGill SM. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: Implications for injury and chronic low back pain. *Clin Biomech*. 1996;11(1):1-15.
- Moreside JM, Vera-García FJ, McGill SM. Trunk muscle activation patterns, lumbar compressive forces, and spine stability when using the bodyblade. *Phys Ther*. 2007;87(2):153-63.
- Howarth SJ, Allison AE, Grenier SG, Cholewicki J, McGill SM. On the implications of interpreting the stability index: A spine example. *J Biomech*. 2004;37(8):1147-54.
- Akuthota V, Nadler SF. Core strengthening. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85 3 Suppl 1:S86-92.
- Leetun DT, Ireland ML, Willson JD, Ballantyne BT, Davis IM. Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(6):926-34.
- Nesser TW, Huxel KC, Tincher JL, Okada T. The relationship between core stability and performance in division I football players. *J Strength Cond Res*. 2008;22(6):1750-4.
- Cowley PM, Swensen TC. Development and reliability of two core stability field tests. *J Strength Cond Res*. 2008;22(2):619-24.
- Kibler WB, Press J, Sciascia A. The role of core stability in athletic function. *Sports Med*. 2006;36(3):189-98.
- Weir A, Darby J, Inklaar H, Koes B, Bakker E, Tol JL. Core stability: Inter- and intraobserver reliability of 6 clinical tests. *Clin J Sport Med*. 2010;20(1):34-8.
- Liemohn WP, Baumgartner TA, Gagnon LH. Measuring core stability. *J Strength Cond Res*. 2005;19(3):583-6.
- Krause DA, Youdas JW, Hollman JH, Smith J. Abdominal muscle performance as measured by the double leg-lowering test. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86(7):1345-8.
- Sharrock C, Cropper J, Mostad J, Johnson M, Malone T. A pilot study of core stability and athletic performance: Is there a relationship? *Int J Sports Phys Ther*. 2011;6(2):63-74.
- Gordon AT, Ambegaonkar JP, Caswell SV. Relationships between core strength, hip external rotator muscle strength, and star excursion balance test performance in female lacrosse players. *Int J Sports Phys Ther*. 2013;8(2):97-104.
- Stanton R, Reaburn PR, Humphries B. The effect of short-term Swiss ball training on core stability and running economy. *J Strength Cond Res*. 2004;18(3):522-8.
- Ladeira CE, Hess LW, Galin BM, Fradera S, Harkness MA. Validation of an abdominal muscle strength test with dynamometry. *J Strength Cond Res*. 2005;19(4):925-30.
- Jull GA, Richardson CA. Rehabilitation of active stabilisation of the lumbar spine. En: Twomey LT, Taylor JR, editores. *Physical Therapy of the Lumbar Spine*. 2nd Ed New York: Churchill Livingstone; 1994. p. 251-83.
- Pennella D, Maselli F, Giovannico G, Cannone M, Rhainò A, Ciuro A. Effectiveness of pressure biofeedback/pbu (pressure biofeedback unit) in the process of learning of self-correction in patients with scoliosis: A pilot study. *Scoliosis*. 2013;8 Suppl 1:P10.
- De Paula Lima PO, de Oliveira RR, Costa LO, Laurentino GE. Measurement properties of the pressure biofeedback unit in the evaluation of transversus abdominis muscle activity: A systematic review. *Physiotherapy*. 2011;97(2):100-6.
- Storheim K, Bo K, Pederstad O, Jahnsen R. Intra-tester reproducibility of pressure biofeedback in measurement of transversus abdominis function. *Physiother Res Int*. 2002;7(4):239-49.
- Jamison ST, McNeilan RJ, Young GS, Givens DL, Best TM, Chaudhari AM. Randomized controlled trial of the effects of a trunk stabilization program on trunk control and knee loading. *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44(10):1924-34.
- McGill SM. Low back disorders. En: Evidence-based prevention and rehabilitation. Champaign, Illinois: Human Kinetic; 2002.
- McGill SM, Grenier S, Kavcic N, Cholewicki J. Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003;13(4):353-9.
- Bjerkefors A, Ekblom MM, Josefsson K, Thorstenson A. Deep and superficial abdominal muscle activation during trunk stabilization exercises with and without instruction to hollow. *Man Ther*. 2010;15(5):502-7.
- García-Vaquero MP, Moreside JM, Brontons-Gil E, Peco-González N, Vera-García FJ. Trunk muscle activation during stabilization exercises with single and double leg support. *J Electromyogr Kinesiol*. 2012;22(3):398-406.
- Imai A, Kaneoka K, Okubo Y, Shiina I, Tatsumura M, Izumi S, et al. Trunk muscle activity during lumbar stabilization exercises on both a stable and unstable surface. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010;40(6):369-75.
- McGill SM, Karpowicz A. Exercises for spine stabilization: Motion/motor patterns, stability progressions, and clinical technique. *Arch Phys Med Rehabil*. 2009;90(1):118-26.
- Stevens VK, Vleeming A, Bouche KG, Mahieu NN, Vanderstraeten GG, Danneels LA. Electromyographic activity of trunk and hip muscles during stabilization exercises in four-point kneeling in healthy volunteers. *Eur Spine J*. 2007;16(5):711-8.
- Axler CT, McGill SM. Low back loads over a variety of abdominal exercises: Searching for the safest abdominal challenge. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29(6):804-11.
- Safety NfO, Biomedical HDo, Science B, Association AIH, Safety NfO. *Health Work Practices Guide for Manual Lifting: American Industrial Hygiene Association*. 1983.
- Lehman GJ, Hoda W, Oliver S. Trunk muscle activity during bridging exercises on and off a Swiss ball. *Chiropr Osteopat*. 2005;13:14.
- Vera-García FJ, Grenier SG, McGill SM. Abdominal muscle response during curls-ups on both stable and labile surfaces. *Phys Ther*. 2000;80(6):564-9.

55. McGill S, Cannon J, Andersen J. Analysis of pushing exercises: Muscle activity and spine load while contrasting techniques on stable surfaces with a labile suspension strap training system. *J Strength Cond Res.* 2014;28(1):105–16.
56. McGill SM, Karpowicz A, Fenwick CM, Brown SH. Exercises for the torso performed in a standing posture: Spine and hip motion and motor patterns and spine load. *J Strength Cond Res.* 2009;23(2):455–64.
57. Jull GA, Richardson CA. Motor control problems in patients with spinal pain: A new direction for therapeutic exercise. *J Manipulative Physiol Ther.* 2000;23(2):115–7.
58. O'Sullivan PB, Twomey L, Allison GT. Altered abdominal muscle recruitment in patients with chronic back pain following a specific exercise intervention. *J Orthop Sport Phys Ther.* 1998;27(2):114–24.
59. Hides JA, Jull GA, Richardson CA. Long-term effects of specific stabilizing exercises for first-episode low back pain. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001;26(11):E243–8.
60. Koumantakis GA, Watson PJ, Oldham JA. Supplementation of general endurance exercise with stabilisation training versus general exercise only. Physiological and functional outcomes of a randomised controlled trial of patients with recurrent low back pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2005;20(5):474–82.
61. Mills JD, Taunton JE, Mills WA. The effect of a 10-week training regimen on lumbo-pelvic stability and athletic performance in female athletes: A randomized-controlled trial. *Phys Ther Sport.* 2005;6(2):60–6.