

Article

Revisión de los Métodos de Valoración de la Estabilidad Central (Core)

Guillermo Peña, Prof. Juan Ramón Heredia Elvar, Dra. Susana Moral, PhD, Dr. Felipe Isidro Donate y Prof. Fernando Mata Ordoñez

IICEFS - Instituto Internacional Ciencias Ejercicio Físico y Salud

RESUMEN

Hasta la fecha no parece existir un test reconocido por la comunidad científica como el más válido y fiable para la valoración de la estabilidad central. Además, la musculatura del core presenta distintos componentes susceptibles de ser medidos (fuerza, resistencia muscular, potencia, capacidad propioceptiva), para lo cual hacen falta distintos tests para cada uno de ellos. Los métodos más habituales que se disponen para valorar los distintos componentes del core son: 1) La valoración isocinética, para medir la fuerza y el trabajo producido, 2) La valoración isométrica, para medir la fuerza y/o resistencia muscular, y 3) La valoración isoinercial, mediante el uso de ejercicios dinámicos, para medir indirectamente la potencia, la resistencia o la fuerza muscular. Algunas de estas técnicas de medición son más comunes del ámbito clínico o de laboratorio, mientras que otras técnicas lo son del entorno deportivo, como los clubes deportivos o de fitness. Por otro lado, algunas propuestas alternativas de valoración indirecta de la estabilidad central pasan por realizar movimientos más funcionales respecto de las actividades de la vida diaria o deportiva que requieran de estabilidad central para poder ser ejecutados correctamente. Por tanto, es improbable que un único test pueda valorar todos los componentes de la estabilidad central y de todos los grupos musculares que la integran, teniendo que seleccionar el método y el test más apropiado según la propiedad específica que se desee valorar y los recursos que se dispongan para ello.

Palabras Clave: test, fuerza, estabilización

INTRODUCCION

La valoración de la estabilidad central es una tarea compleja, ya que es muy difícil -sino imposible- valorar el core con un único test si consideramos que la musculatura que lo integra está compuesta de distintas partes complejas e integradas que trabajan en sinergia para otorgar estabilidad al raquis (Nesser & Lee, 2009; Nesser et al., 2008). Además, tenemos que considerar que la musculatura del core presenta distintos componentes o propiedades específicas susceptibles de ser medidas (fuerza, resistencia muscular, potencia, capacidad propioceptiva, etc.), para lo cual hacen falta distintas técnicas o tests para cada uno de ellos. No es sorprendente comprobar entonces cómo los investigadores que han estudiado la relación entre la estabilidad central y el rendimiento, o los efectos del entrenamiento de la musculatura del core sobre la supuesta mejora del rendimiento deportivo, han utilizado una gran variedad de tests para medir la estabilidad central y sus distintos componentes (Durall et al. 2009; Nesser & Lee, 2009; Nesser et al., 2008; Sato & Mokha, 2009; Scibek et al., 2001; Stanton et al., 2004; Tse et al., 2005).

Así pues, debemos saber que existen escasos estudios científicos sobre esta temática, lo que impide alcanzar un consenso sobre la forma más válida y fiable de valorar la estabilidad central mediante un patrón de referencia, pese a la evidente necesidad de hacerlo para poder comprobar los efectos y mejoras conseguidas por los programas de entrenamiento. Igualmente, existe la necesidad de validar tests de los distintos componentes de la estabilidad central que correlacionen con determinadas tareas, ejercicios o técnicas deportivas, y de este modo valoren indirectamente la estabilidad central durante actividades funcionales.

Conociendo estas limitaciones de antemano, y con la información científica disponible hasta la fecha, los métodos más habituales que se disponen para valorar los distintos componentes del core son (Figura 1): 1) La valoración isocinética, para medir la fuerza, el torque pico, la producción de potencia y trabajo total realizado 2) La valoración isométrica, para medir la fuerza y/o resistencia muscular, y 3) La valoración isoinericial, mediante el uso de ejercicios dinámicos con una resistencia externa constante, para medir indirectamente la potencia, la resistencia o la fuerza muscular.

Algunas de estas técnicas de medición son más comunes del ámbito clínico o de laboratorio, mientras que otras técnicas son más apropiadas para la aplicación con deportistas de rendimiento o recreativos y practicantes de ejercicio físico y salud (fitness).

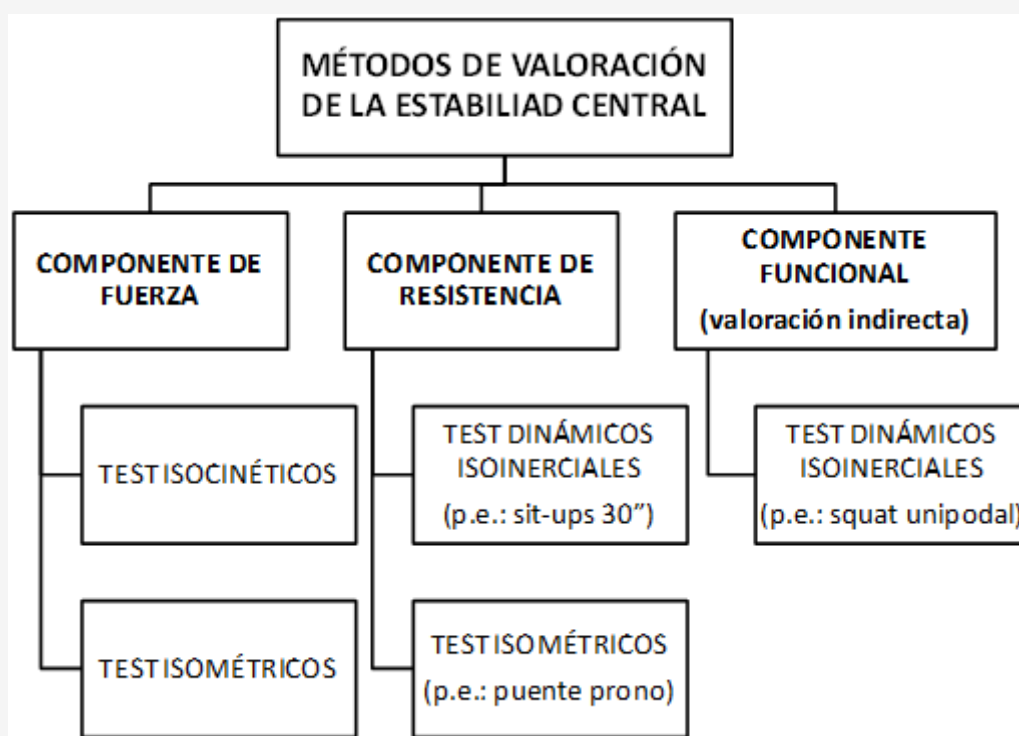


Figura 1. Métodos de valoración de la estabilidad central

LA FUERZA Y LA ESTABILIDAD CENTRAL. ACLARACIÓN TERMINOLÓGICA

El objetivo último del entrenamiento de la estabilidad central en el ámbito de la salud y la rehabilitación es ayudar a prevenir lesiones y conseguir que el sujeto con dolor lumbar pueda realizar todas las actividades de la vida cotidiana sin dolor, mientras que en el ámbito deportivo el objetivo es permitir que el deportista mejore una técnica que pueda influir en el rendimiento (Hibbs et al., 2008). En este sentido Willardson (2007) sugiere que la mejora de la estabilidad central proporcionará una base más segura, la cual permitirá una mayor producción y transferencia de fuerza hacia las extremidades inferiores y superiores.

Sin embargo, según Hibbs et al. (2008), los investigadores de las áreas de la rehabilitación y del rendimiento deportivo no han ofrecido distinciones claras entre los términos de “estabilidad central” (core stability) y “fuerza central” (core strength), las cuales deben ser conceptualmente interpretadas de forma diferente como a continuación expondremos.

Hodges (2004) puede que haya sido de los primeros investigadores en estudiar el concepto de estabilidad central con su modelo teórico de estabilidad lumbo-pélvica. Este autor define el término de estabilidad lumbo-pélvica como el proceso dinámico de controlar la posición estática en el contexto funcional, pero permitiendo que el tronco se mueva bajo control en otras situaciones.

Por su parte Bliss y Teeple (2005) definen la estabilización dinámica del raquis como la capacidad de utilizar la fuerza y resistencia muscular de una forma funcional (es decir, aplicadas a situaciones, actividades o tareas específicas de tipo deportivo o de la vida diaria) a través de todos los planos de movimiento y responder a pesar de los cambios en el centro de gravedad. La estabilización requiere mantener una postura raquídea neutra, así como la capacidad de moverse a lo largo de esa posición con control.

Willson et al. (2005) definen la estabilidad central como la capacidad del complejo lumbo-pélvico-cadera de reponer el equilibrio tras una perturbación sin encorvamiento de la columna vertebral. Asimismo, Kibler et al. (2006), en referencia al aspecto funcional del término, definen la estabilidad central como la capacidad de control de la posición y movimiento del tronco sobre la pelvis para permitir una óptima producción, transferencia, y control de la fuerza a los segmentos distales.

Desde un punto de vista anatómico y mecánico, Akuthota y Nadler (2004) consideran la estabilidad espinal o central como el producto de la rigidez pasiva, la cual es proporcionada por las estructuras óseas y ligamentosas, y la rigidez activa, la cual es producida por la contracción muscular. Estos mismos autores, sin embargo, no reflejan en su argumentación al subsistema neural como parte integrante e inseparable de la estabilidad espinal (Panjabi, 2002). Panjabi (1992) definió la estabilidad central como la capacidad del sistema estabilizador de mantener las zonas intervertebrales neutrales dentro de los límites fisiológicos.

En referencia al término de fuerza central (core strength), Faries y Greenwood (2007) se refieren a la misma como la capacidad de la musculatura del core para contraerse y proporcionar estabilidad al raquis. Igualmente, para diferenciar la fuerza de la estabilidad central, Cholewicki et al. (2000) sostienen que la primera es más un control activo de la estabilidad espinal conseguido por la regulación de la fuerza de los músculos circundantes.

Cuando se utiliza el término estabilidad central se está haciendo referencia a la estabilidad del raquis en su conjunto, ya que no se puede hablar sobre la mejora de la "estabilidad" de un músculo, sino sobre su capacidad de activación o contracción para otorgar estabilidad al sistema. Sin embargo, cuando se utiliza el término fuerza central o del core, se está haciendo referencia a la capacidad de un músculo o grupo de músculos para estabilizar el raquis a través de la fuerza contráctil y la presión intra-abdominal (Faries y Greenwood, 2007).

Por tanto, podemos sugerir que la fuerza central, comandada por el subsistema activo y modulada por el subsistema neural, es un requisito y una necesidad para la estabilidad central, y que la estabilidad central es la capacidad de respuesta que presenta el sistema raquídeo de resistir en su zona de seguridad o neutra ante las demandas de movimiento segmentario y ante cualquier perturbación externa (prevista o inesperada) del centro de gravedad de nuestro cuerpo.

LA VALORACIÓN DE LA FUERZA CENTRAL

En el ámbito clínico, el método estándar para la medición de la fuerza central es mediante la dinamometría isocinética o de resistencia acomodada (Delitto et al., 1991; Hislop & Perrine, 1967; Karatas et al., 2002; Keller et al., 2001; Rothstein et al., 1987). La valoración isocinética mide el torque muscular a una velocidad angular constante a través de un rango de movimiento preestablecido. Los investigadores de esta área utilizan máquinas isocinéticas porque pueden de este modo medir tres variables diferentes en la misma sesión de valoración: torque pico concéntrico y excéntrico, trabajo total y potencia media. La máquinas isocinéticas habitualmente utilizadas para este propósito permiten que el sujeto realice el movimiento de flexión y extensión del tronco en sedestación (Figura 2), con las rodillas ligeramente flexionadas y el eje del dinamómetro alineado con la cresta ilíaca del sujeto (Delitto et al., 1991; Karatas et al., 2002). En estas situaciones el sujeto debe realizar una contracción concéntrica máxima contra el dispositivo isocinético a una o varias velocidades angulares seleccionadas.

Para estudiar la fiabilidad de la valoración de las mediciones isocinéticas del tronco, Delitto et al. (1991) midieron el torque de la flexión y extensión del tronco a diferentes velocidades (60º, 120º y 180º por segundo). Los coeficientes de fiabilidad fueron desde .74 a .88 en las mediciones obtenidas del torque pico, y entre .88 y .93 para las mediciones obtenidas del trabajo mecánico. Concluyeron que las mediciones isocinéticas utilizadas en su estudio ofrecían una valoración sensible y fiable del rendimiento muscular del tronco y que con mayor práctica y mayores tiempos de descanso se podría disminuir aún más el error asociado a estas mediciones (8 a 32 ft-lb), cuya tendencia era aumentar a mayores velocidades.

Pese a que este instrumental haya demostrado unos coeficientes de fiabilidad altos (0.74 - 0.98) para medir la fuerza central y una alta reproducibilidad (Delitto et. al, 1991; Karatas et al., 2002), sigue siendo extremadamente costoso y por ello está casi circunscrito al trabajo en laboratorio o clínico para valorar el progreso de los pacientes, y no parece ser utilizado con sujetos deportistas para investigar el efecto de un programa de entrenamiento del core sobre la fuerza, la resistencia muscular o la potencia.



Figura 2. Máquina isocinética para la valoración de la fuerza central

Otra técnica de valoración menos costosa y compleja de la fuerza central es el registro isométrico. Las mediciones son registradas mediante un dinamómetro de mano o sensor de fuerza que debe ser fijado para presentar buena fiabilidad de los resultados. Mediante esta técnica se puede gravar la fuerza isométrica del core de todos los movimientos articulares del raquis y de la cadera, en diferentes angulaciones, y realizando habitualmente contracciones máximas estáticas mantenidas por unos pocos segundos. Por tanto, una limitación de la valoración isométrica es que la medición se toma sólo en un determinado ángulo del rango de movimiento (ROM). Los valores habitualmente registrados son la contracción isométrica máxima y media, los cuales deben ser normalizados con el peso corporal del sujeto valorado.

En tercer lugar, la valoración isoinercial, mediante el uso de ejercicios dinámicos que utilizan una resistencia externa constante (generalmente el propio peso corporal), es otra técnica que permite medir indirectamente la fuerza y la resistencia muscular del core. Algunos tests de fuerza isoinerciales requieren instrumentales especializados que puedan registrar desplazamiento, torque, y velocidad del tronco en ciertos movimientos con un porcentaje de la fuerza isométrica máxima (Szpański et al, 1996), mientras que otros no necesitan ningún equipamiento especial y pueden realizarse de forma rápida (p.e.: tests de máximos sit-up en un tiempo dado). Estos últimos serán discutidos en profundidad en los próximos apartados del presente artículo.

En el ámbito clínico o de laboratorio un test algo particular, que podríamos considerar de tipo isoinercial, es el test de estabilidad central de Sahrman (Sahrman, 2002; Faries y Greenwood, 2007). Según este test la estabilidad raquídea puede ser medida indirectamente según los cambios de presión aplicados a un transductor biofeedback (Urquhart et al., 2005). El test en cuestión consiste en cinco niveles de dificultad creciente que progresan desde una posición supina estática hasta posiciones que implican movimientos activos del complejo lumbopélvico-cadera (Tabla 1). Al comienzo del test el transductor es colocado bajo el raquis lumbar e inflado a 40 mm Hg. El sujeto debe mantener esa presión estable con una variación máxima de 10 mm Hg a medida que se progresa en los siguientes niveles de estabilidad dificultada (Faries y Greenwood, 2007), aspecto el cual se verá afectado si se dan variaciones en el aumento de la lordosis lumbar. Aunque el test de Sahrman ha sido utilizado clínicamente en repetidas ocasiones (Sahrman, 2002) y tiene una fiabilidad reconocida según algunos autores (Stanton et al., 2004), su verdadera validez es desconocida y está escasamente contrastada en la literatura científica. Igualmente, por el tipo de acción y esfuerzo neuromuscular solicitado (isométrico submáximo) podemos sugerir que no se trata de un test que valore la fuerza máxima (dinámica o isométrica) de ningún movimiento articular raquídeo, sino un porcentaje muy inferior de la misma para estabilizar el raquis lumbar frente a los distintos brazos de palanca generados por las extremidades inferiores. Por ello consideramos que podría encuadrarse como un test isoinercial de tipo funcional para la determinación indirecta de la estabilidad central.

NIVEL 1	Desde decúbito supino, en posición recogida con hundimiento abdominal (abdominal hollowing) Levantarse lentamente 1 pierna hasta los 100° de flexión de cadera con una cómoda flexión de rodilla Llevar la pierna contraria hasta la misma posición
NIVEL 2	Desde la posición de flexión de cadera, descender lentamente 1 pierna <i>hasta que el talón toque el suelo</i> Estirar la pierna hasta extender completamente la rodilla Volver a la posición de partida de flexión de cadera
NIVEL 3	Desde la posición de flexión de cadera, descender lentamente 1 pierna <i>hasta que el talón quede a 12 cm del suelo</i> Estirar la pierna hasta extender completamente la rodilla Volver a la posición de partida de flexión de cadera
NIVEL 4	Desde la posición de flexión de cadera, descender lentamente ambas piernas <i>hasta que los talones toquen el suelo</i> Estirar las piernas hasta extender completamente las rodillas Volver a la posición de partida de flexión de cadera
NIVEL 5	Desde la posición de flexión de cadera, descender lentamente ambas piernas <i>hasta que los talones queden a 12 cm del suelo</i> Estirar las piernas hasta extender completamente las rodillas Volver a la posición de partida de flexión de cadera

Tabla 1. Niveles de dificultad creciente del test de Sahrman (a partir de Faries y Greenwood, 2007)

Similar al test de Sahrman, el test de descenso de piernas extendidas (Kendall y McReary, 1983) trata de valorar la capacidad estabilizadora central del sujeto. Así, la estabilidad central es medida por la capacidad muscular del core de mantener la columna lumbar en contacto con el suelo. La posición de partida del test es con 70° de flexión de cadera, y se van descendiendo progresivamente las piernas totalmente extendidas hacia la horizontal. Los antebrazos deben permanecer flexionados sobre el pecho con los dedos contactando los hombros opuestos durante todo el test. El ángulo más bajo al que las piernas extendidas pueden descender manteniendo la columna lumbar en contacto con el suelo determina la capacidad del sujeto (Figura 3): 60° regular, 80° buena, 100° excelente. Tampoco este test goza de ninguna validez científica contrastada. Además, con este tipo de acciones lo que estaremos probablemente valorando es la fuerza de la musculatura del recto abdominal y oblicuos para estabilizar el raquis lumbar en la acción excéntrica de los flexores coxofemorales, y no de otros muchos músculos con importante función estabilizadora del core. Por tanto consideramos que, al igual que ocurre con el test clínico de Sahrman, no sirve para valorar la fuerza máxima central sino la estabilidad central de forma indirecta.

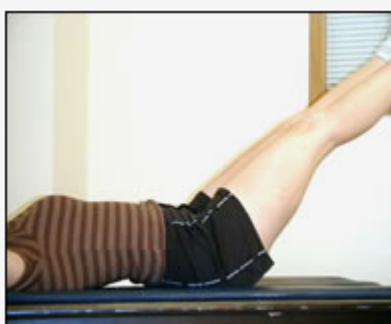


Figura 3. Conclusión del test de descenso de piernas extendidas

Respecto de la valoración del componente de fuerza central podemos concluir que, si bien los instrumentos y test más fiables son los realizados mediante dinamómetros isocinéticos e isométricos, siguen siendo poco accesibles y familiares para los técnicos y entrenadores de campo. Además, para una valoración global de la fuerza central con dichos instrumentales es necesario realizar varias mediciones a distintas velocidades angulares, rangos de movimiento (registro isocinética) y angulaciones (registro isométrico) para, como mínimo, los movimientos articulares de flexión y extensión del raquis lumbar.

LA VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA MUSCULAR CENTRAL

Podría decirse que uno de los test de campo de tipo dinámico isoinercial más comunes que valora mayormente la musculatura flexora del core y la cadera es el sit-up o flexión completa de tronco desde decúbito supino (Baechle & Earle, 2000; Augustsson et al., 2009). Los sit-ups activan fundamentalmente el sistema muscular “global” (p.e.: recto abdominal, oblicuos internos y externos) y también solicitan una activación mínima del transverso abdominal para asegurar una rigidez espinal suficiente (Juker et al., 1998). Para ello el sujeto debe colocarse desde decúbito supino con las rodillas flexionadas a 90º, las caderas flexionadas aproximadamente a 45º, los pies sujetos en el suelo por el evaluador a la anchura de la cadera, y los dedos de las manos entrelazados por detrás del cuello (Figura 4). Según la National Strength and Conditioning Association (Baechle & Earle, 2000) el sujeto realiza el máximo número de repeticiones del ejercicio a un ritmo constante y en un tiempo dado, sin que las manos o la cabeza pueda tocar el suelo en ningún momento -sólo las escápulas-. Una repetición será considerada como válida cuando el sujeto flexione el tronco tanto como para que sus codos contacten con sus muslos.

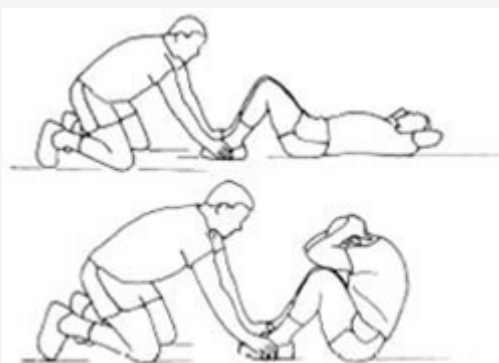


Figura 4. Test sit-up o flexión completa de tronco

Tradicionalmente, los sit-ups han sido utilizados para valorar la resistencia abdominal, bien durante un test de 1 minuto de duración (AAHPERD, 1980; Baechle & Earle, 2000), de 2 minutos (U.S Army Physical Fitness Training, 1992), o más recientemente de 30 segundos (Augustsson et al., 2009), que según sus propios investigadores es supuestamente una medición indirecta de la potencia del core. Augustsson et al. (2009), en referencia al test de máximos sit-ups en 30 segundos, hallaron que era altamente fiable (ICC=.93) en los hombres y mujeres de su estudio. Asimismo, investigadores como Dendas (2010) concluye en su tesis de investigación que los tests de campo que mejor correlacionan con mediciones del rendimiento deportivo (squat, cargada de fuerza, press banca, salto vertical, 40 m. sprint) de futbolistas son los de máximos sit-ups en 30 y 60 segundos, convirtiéndolos por tanto en las mejores mediciones de campo de la estabilidad central para este grupo de deportistas.

No obstante, está suficientemente bien documentado que este tipo de ejercicios utilizados para valorar la musculatura flexora del tronco puede generar demasiadas fuerzas de cizalla y compresivas para los discos intervertebrales y la región lumbar (Axler & McGill, 1997; Hodges et al., 1996; Hodges & Richardson, 1996, 1997; Norris, 1993; McGill, 1995; Nachemson & Elfstrom, 1970), y por lo tanto aumentar el riesgo de lesión. Por esta razón, algunas instituciones relacionadas con la prescripción de ejercicio para poblaciones no deportistas, como el American College of Sports Medicine, recomiendan versiones modificadas del test de sit-up (flexión completa de tronco), incluso la misma National Strength and Conditioning Association ha modificado más recientemente sus recomendaciones para valorar la resistencia muscular abdominal mediante un test de curl-up parcial o encogimiento de tronco (Baechle & Earle, 2008). En esta adaptación “saludable” del test de resistencia muscular flexora del tronco el sujeto es requerido a realizar flexiones parciales de tronco con las rodillas a 90º, los pies en el suelo sin ser fijados, y los brazos paralelos en contacto con el suelo (Figura 5).



Figura 5. Test de encogimiento de tronco o curl-up

En cualquier caso, nosotros consideramos que cualquier test que valore la resistencia muscular mediante una única acción articular del tronco (la flexión en el caso de los test de sit-up o curl-up), no representa verdaderamente una valoración global de la estabilidad central o del core, sino la capacidad de unos pocos músculos de resistir la fatiga muscular local en una determinada acción (p.e.: flexora) y en una sollicitación muscular concreta (dinámica o isométrica). Además, puesto que la región abdominal está mejor diseñada para la estabilización que para generar movimiento (Hodges & Richardson, 1996), parece lógico tratar de proponer desde la perspectiva de la salud otro tipo de test para la valoración de la estabilidad central que ayude a las personas a concienciarse de la importancia de desarrollar un core fuerte y estable a la vez que mejore su estatus funcional y minimice o prevenga el dolor lumbar.

En esta otra línea, la valoración de la resistencia muscular del core también puede realizarse mediante tests isométricos, donde el sujeto evaluado debe mantener una posición del tronco sin apoyo y estáticamente por un periodo de tiempo habitualmente máximo. Sin duda, es el protocolo de McGill (2007) el test más utilizado por diversas investigaciones para medir la estabilidad central en sujetos activos y deportistas, en el componente de resistencia muscular. Este protocolo fue originalmente desarrollado para valorar la estabilidad central en pacientes con dolor lumbar (McGuill, 2007), y consiste en una batería de cuatro tests de resistencia muscular isométrica. El mismo no requiere de ningún equipamiento especial, y ha demostrado ser fiable (McGuill et al., 1999) y poseer suficiente validez para ser utilizado ampliamente por diversas investigaciones (Durall et al., 2009; Nesser & Lee, 2009; Nesser et al., 2008; Tse et al., 2005). McGill et al. (1999) demostró que cada uno de los cuatro tests de resistencia muscular del protocolo tenía coeficientes de fiabilidad muy altos al repetirse durante 5 días consecutivos en sujetos jóvenes sanos de ambos sexos: .98 para el test de extensores de tronco, .97 para el test de flexores de tronco, y .99 para el puente lateral a ambos lados. Además, la fiabilidad se mantuvo excelente después de un periodo de 8 semanas. Las mujeres obtuvieron tiempos de resistencia mayores que los hombres en la extensión del tronco, pero no así para la flexión del tronco o el puente lateral. Los hombres pudieron mantener el puente lateral por un periodo de tiempo que representaba el 65% del tiempo del test de extensores de tronco, y el 99% del tiempo del test de flexión de tronco. Por su parte, las mujeres pudieron mantener el puente lateral durante solo el 39% del tiempo que eran capaces de mantener en el test de extensores de tronco y el 79% del tiempo en el test de flexión de tronco.

A continuación describimos los distintos test que constituyen el protocolo de valoración propuesto por McGill (1999).

1. Test modificado de Biering-Sorensen (Biering-Sorensen, 1984) (Figura 6). Este test activa los músculos principales extensores del tronco, el longísimo y el multifido, los cuales forman parte del sistema estabilizador “local” (McGuill, 2007), pero no de los músculos de la cadera. El sujeto debe tumbarse en decúbito prono con el tren inferior sujeto a la camilla por los tobillos, rodillas y caderas y el tren superior extendido y suspendido sobre el borde de la camilla. La superficie del banco o camilla debe estar aproximadamente a 25 cm. de la superficie del suelo (McGuill et al., 1999). Al comienzo del test los brazos deben estar cruzados por delante del pecho y en contacto con los hombros opuestos, y el tronco perfectamente horizontal/paralelo al suelo. El test se da por finalizado cuando el sujeto contacta con cualquier parte del tren superior en el suelo. McGill et al. (1999) informaron de una media de tiempo de 146 y 189 segundos para hombres y mujeres respectivamente.
2. Test de puente lateral derecho e izquierdo (Figura 7). Este test requiere la activación de la musculatura lateral del core, básicamente el cuadrado lumbar y la musculatura oblicua interna y externa, con una baja compresión discal (Lehman et al., 2005; McGill, 1998; Axler & McGill, 1997). En este test el sujeto se coloca en decúbito lateral apoyando el peso corporal sobre uno de los codos y sobre la extremidad inferior del mismo lado. La extremidad inferior que no está en contacto con el suelo queda apoyada sobre la otra extremidad inferior, y ambas totalmente extendidas. El brazo contrario al que se apoya en el suelo queda flexionado por delante del tronco y contactando con la mano el hombro opuesto. El sujeto debe mantener la posición suspendida con cero grados de flexión de cadera (Leetun et al., 2004) y el raquis en perfecta alineación lumbo-pélvica. El test concluye cuando el sujeto no sea capaz de mantener la postura derecha y la cadera caiga hacia el suelo o sea flexionada. McGill et al. (1999) informaron de una media de tiempo de 94 y 97 segundos para el lado derecho e izquierdo respectivamente en hombres, mientras que para mujeres una media de 72 y 77 segundos respectivamente.
3. Test de resistencia de flexores del tronco (Figura 8). Este test implica los músculos principales flexores del tronco,

es decir el recto abdominal, el cual es una musculatura “global” (McGuill, 2007). El sujeto se posiciona sentado con 60° de flexión del tronco respecto al suelo, las caderas y las rodillas flexionadas a 90°, y los pies fijados al suelo por correas o por el propio evaluador. Para la determinación de la angulación de la flexión del tronco el autor utilizó una escuadra de madera de 60° que era retirada de la espalda del sujeto al comenzar el test. Los brazos deben estar cruzados por delante del pecho y en contacto con los hombros opuestos. Cualquier cambio en la angulación del tronco, las caderas o rodillas obliga a dar por finalizado el test. McGuill et al. (1999) informaron de una media de tiempo de 149 y 144 segundos para mujeres y hombres respectivamente.



Figura 6. Test modificado de Biering-Sorensen



Figura 7. Test de puente lateral



Figura 8. Test de resistencia de flexores del tronco a 60°

Cada uno de los cuatro tests es puntuado individualmente por el tiempo máximo en segundos mantenido isométricamente, pudiéndose hacer un sumatorio final total (Figura 9). Según McGuill (2007), los flexores, extensores y músculos laterales del tronco proporcionan estabilidad espinal durante casi todos los movimientos dinámicos, y existe una necesidad obvia de equilibrar las capacidades musculares entre ellos. Por ello, con este protocolo de valoración de 4 tests podemos valorar la resistencia de la musculatura posterior, anterior y lateral de core en su función estabilizadora.

VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA MUSCULAR CENTRAL		
NOMBRE:		APELLIDOS:
FECHA NACIMIENTO:		EDAD:
DECÚBITO PRONO (ESTABILIZACIÓN ISOMÉTRICA)		TIEMPO (s)
		56
DECÚBITO LATERAL (ESTABILIZACIÓN ISOMÉTRICA)		TIEMPO (s)
		DRCHA. 44
		IZQUIERDA 46
EXTENSIÓN DE TRONCO (ESTABILIZACIÓN ISOMÉTRICA)		TIEMPO (s)
		32
FLEXIÓN DE CADERA (ESTABILIZACIÓN ISOMÉTRICA)		TIEMPO (s)
		56
TOTAL:		234

Figura 9. Protocolo de valoración global de la estabilidad central con ejemplo de sumatorio de tiempos de cada test.

En la misma línea, otro test isométrico para valorar fundamentalmente la resistencia muscular anterior y posterior del core es el test de puente prono (Bliss & Teeple, 2005). Este test consiste en mantener el peso corporal del sujeto exclusivamente sobre los antebrazos/codos y los dedos de los pies en una posición de decúbito prono, manteniendo en todo momento una alineación lumbo-pélvica neutra. Los brazos deben estar perpendiculares al suelo y formando un ángulo de 90° con los antebrazos. Los codos y antebrazos separados a la anchura de los hombros (Figura 10). La conclusión del test sucede cuando el sujeto pierde el posicionamiento neutro de la pelvis y ésta cae hacia el suelo, adquiriéndose una hiperlordosis lumbar por rotación anterior de la pelvis. Bliss y Teeple (2005) sugieren que el tiempo que deberían soportar los sujetos evaluados debería ser de al menos 60 segundos.



Figura 10. Puente o plancha prono.

Por su parte, Schellenberg et al. (2007) compararon los tiempos normativos de un grupo de sujetos de ambos sexos con (n= 32) y sin dolor lumbar crónico (n= 43) en el ejercicio de puente prono y supino. Las duraciones medias para los sujetos

sin dolor lumbar fueron de 72.5 segundos y 170.4 segundos para el ejercicio de puente prono y supino respectivamente, aunque la variabilidad y desviación estándar inter-sujeto fue alta (± 32.6 segundos para el puente prono y ± 42.5 segundos para el puente supino). Igualmente observaron que con estos tests hubo una fiabilidad test-retest en sujetos asintomáticos con una correlación de 0.78 y 0.84 para el puente prono y supino respectivamente. Los mismos autores sugieren que esta fiabilidad test-retest algo baja puede haberse debido a un tiempo de recuperación inadecuado entre series. La conclusión final de este estudio fue que ambos ejercicios de puente parecían ser un método práctico, económico, fácil de administrar, fiable y válido que reflejan la capacidad de resistencia estabilizadora del raquis lumbar, siendo el puente prono de la musculatura anterior del core y el puente supino de la musculatura posterior. Además, los mismo autores, sostienen que esta maniobra de puente prono es bien tolerada por sujetos tanto asintomáticos como sintomáticos de dolor lumbar.

Ekstrom et al. (2007), al respecto del puente prono, comentan que no aplica ninguna carga externa (más que el peso corporal), y supone la adquisición de una posición estática (isométrica) que aplica una mínima compresión sobre el raquis cuando se realiza con el alineamiento raquídeo neutro. Todos estos beneficios hacen que el puente prono sea una maniobra atractiva como ejercicio del core y como test de campo sin riesgo de dolor lumbar o lesión (McGuill, 1998).

Pensamos además que otras virtudes importantes, tanto del test de puente prono como del test de decúbito lateral derecho e izquierdo del protocolo de McGill (1999), es que ambos solicitan una co-activación global de gran parte de la musculatura del core (Okubo et al., 2010), cuestión fundamental para valorar la estabilidad central en su conjunto. Sin embargo, para cualquiera de los tests isométricos descritos se requiere por parte del evaluador una gran focalización de la atención en la disposición del raquis y la pelvis. Cuando dar por concluido cualquiera de estos tests es una cuestión a menudo difícil de determinar visualmente, por cuanto no sabemos en qué exacto momento debemos de considerar incapaz al sujeto de seguir manteniendo la correcta disposición corporal. Para tratar de facilitar esta difícil decisión, nosotros proponemos una sencilla alternativa: la utilización de una plomada que cuelgue suspendida de la columna lumbar a poca distancia del suelo (1 cm.) una vez haya dado comienzo el test (Figura 11). De esta sencilla forma cuando la plomada contacte el suelo podemos dar por concluido el test de un modo algo más objetivo.



Figura 11. Utilización de la plomada para determinar visualmente la conclusión del test en decúbito prono y decúbito lateral.

Hasta aquí podemos concluir que, para la valoración de la estabilidad central, los test de campo de tipo dinámico e isométrico, son los más accesibles, prácticos y sencillos de administrar para la mayoría de técnicos y entrenadores, a la vez que gozan de suficiente fiabilidad y validez científica. No obstante, tenemos que admitir que estas pruebas proporcionarán esencialmente información respecto de uno de los componentes o capacidades de la musculatura del core (resistencia muscular), y no del resto de componentes también relevantes para contribuir a la estabilidad central (fuerza, potencia, etc.).

LA VALORACIÓN FUNCIONAL CENTRAL

Algunos investigadores, conscientes de las limitaciones de los recursos y tests disponibles para valorar la estabilidad central, han optado por utilizar otras herramientas de valoración indirecta. Algunas de estas propuestas alternativas pasan por realizar movimientos más funcionales y parecidos a las actividades de la vida diaria o deportiva que requieran de estabilidad central para poder ser ejecutados correctamente (e.g., lanzamiento de balón medicinal, squat unipodal, Functional Movement Screen).

Algunos autores consideran que este tipo de valoraciones indirectas debería realizarse al inicio (Waldhelm, 2011), antes de

cualquier valoración de los distintos componentes individuales de la estabilidad central (fuerza, resistencia muscular, potencia), para así revelar si existen deficiencias generales y sólo entonces realizar por separado los distintos test de cada componente para identificar la deficiencia de forma aislada.

Existen varios tests de tipo funcional que pueden ayudar a valorar indirectamente la estabilidad central. A continuación pasamos a exponer algunos de los mismos.

Star-excursion balance test (Figura 12). Es un test clínico común para valorar el equilibrio dinámico, el control neuromuscular del tronco, la pelvis y las extremidades inferiores con el propósito de prevenir y rehabilitar lesiones (Gribble & Hertel, 2003).

Existen diferentes métodos de desarrollar el test, pero consideraremos el descrito por Kinzey y Armstrong (1998) por ser uno de los más sencillos de administrar, aunque hallaran una fiabilidad intra-evaluador moderada (<0.70) sino se realizaban al menos 6 circuitos de cinco intentos. El despliegue del test incluye dos grupos de líneas perpendiculares: un grupo es el de las líneas verticales y horizontales, y el otro son líneas que cortan a 45° las mismas, todas partiendo de una misma intersección. En la intersección de las 4 líneas se dibuja una caja, donde el sujeto se ubica al comienzo del test con ambos pies en su interior. Es entonces cuando el sujeto debe avanzar tan lejos como le sea posible con uno de los pies hacia una de las cuatro direcciones diagonales. El punto más lejano al que se llega es señalado y medida la distancia desde el centro de la caja. El test se realiza cinco veces para cada dirección y con cada pierna, descansando lo suficiente entre cada intento. Al finalizar se hace la media de los cinco intentos para cada dirección. Para ajustar el resultado a la longitud de la pierna, éste se divide por ocho veces la longitud de la pierna del sujeto y se multiplica por 100 (Gribble & Hertel, 2003). Aunque la valoración funcional mediante este test sea común encontrarla en numerosos estudios, no es un instrumento que evalúe específicamente ningún componente de la estabilidad central. Sin embargo, este test puede valorar indirectamente el control lumbopélvico, la estabilidad de la cadera y el equilibrio necesarios para la realización de muchas tareas terrestres, como ha sido señalado por algunos autores (Gribble & Hertel, 2003; Hewett et al., 2005).



Figura 12. Star Excursion Balance Test

Test de squat unipodal. Consiste en la realización de un squat unipodal parcial de 45° (Claiborne et al., 2006) o 60° (Willson et. al, 2006) de flexión de rodilla. En este caso no se valora la distancia o las repeticiones posibles de realizar, sino la calidad del movimiento, como por ejemplo la posición de la rodilla y la pelvis durante el squat. Este análisis de la calidad de la ejecución técnica puede, o bien hacerse de forma visual desde el plano frontal y lateral, o bien mediante algún instrumental que permita un análisis del movimiento digitalizado.

Lanzamiento de balón medicinal. En la literatura científica podemos encontrar diferentes test de lanzamiento de balón medicinal desde distintas posiciones (sentado o de pie) y hacia distintas direcciones (hacia delante, hacia atrás o lateral). En todos los casos estos patrones de movimiento requieren de la fuerza y estabilidad generada a nivel del complejo lumbopélvico-cadera (Cowley et al., 2009; Cowley & Swensen, 2008), además de la generada por las extremidades inferiores y superiores.

Cowley y Swensen (2008) desarrollaron y evaluaron la fiabilidad de dos test de campo indirectos de estabilidad central que utilizaban el lanzamiento de balón medicinal en mujeres desentrenadas jóvenes ($n= 24$). El test de potencia abdominal frontal consistía en lanzar frontalmente un balón medicinal desde decúbito supino con las rodillas flexionadas a 90° en una única acción concéntrica explosiva. La diferencia fundamental entre el test de potencia abdominal frontal y un test clásico de sit-up es que los pies no están sujetos en el primero y que los brazos se utilizan como palanca para proyectar el balón medicinal. Ambos tests de lanzamiento de balón medicinal demostraron unos coeficientes de fiabilidad excelentes ($ICC= .95$; $ICC= .93$), así como un error estándar de medición aceptable según los autores (24 cm.). La conclusión final, según los hallazgos del estudio, fue que ambos test de lanzamiento de balón medicinal (frontal y lateral) eran fiables y pueden ser utilizados para valorar el componente de potencia de la estabilidad central en mujeres jóvenes desentrenadas.

En un estudio posterior de Cowley et al. (2009) evaluaron la fiabilidad del test de campo de estabilidad central de

plancha/puente hasta la fatiga y del test de potencia abdominal frontal con balón medicinal, así como mediciones isocinéticas de fuerza flexora y extensora del tronco y trabajo mecánico durante 3 días en sujetos jóvenes. Vieron que el test de potencia abdominal frontal fue el único predictor significativo de la fuerza extensora y trabajo extensor del tronco en mujeres jóvenes, explicando el 16% y el 15% de la varianza del rendimiento del tronco, respectivamente. El peso corporal fue el único predictor significativo de la fuerza flexora y trabajo flexor del tronco en mujeres jóvenes, explicando el 28 y el 14% de la varianza del rendimiento del tronco, respectivamente. En los hombres jóvenes, el peso corporal fue el único predictor significativo de la fuerza extensora, flexora, y trabajo extensor y flexor, explicando el 27, 42, 35 y 33% respectivamente. En conclusión, comprobaron que el potencial del peso corporal y el test de potencia abdominal frontal para predecir la fuerza isocinética extensora, flexora y trabajo mecánico del tronco fueron mayores en sujetos jóvenes hombres que mujeres. Esto nos hace sugerir que aquellos sujetos con peores resultados en el test de potencia abdominal frontal pueden estar reflejando un déficit de fuerza central. Además, se consideró que el test de potencia abdominal frontal puede ser utilizado para proporcionar una estimación de campo de la fuerza isocinética y trabajo mecánico extensor del tronco en mujeres jóvenes sin historial de lesión lumbar o en extremidades inferiores. A la vista de los resultados de este estudio, la conclusión final es que el test indirecto de potencia abdominal frontal con balón medicinal resultó ser un procedimiento predictor fiable y relacionado con la fuerza isocinética flexora y extensora del tronco.

De todo el apartado referido a la valoración indirecta y funcional de la estabilidad central podemos concluir que, mediante algunos sencillos test como los presentados aquí, el técnico o entrenador dispone de recursos con suficiente respaldo científico para identificar una posible deficiencia de estabilidad en el complejo lumbopélvico-cadera. Si bien, no es posible mediante este tipo de pruebas aislar específicamente la musculatura y componente deficitario (fuerza, potencia, resistencia, propiocepción), puede ser un procedimiento previo antes de aplicar otros métodos de valoración más complejos.

CONCLUSIONES

1. La musculatura del Core presenta distintos componentes o propiedades específicas susceptibles de ser medidas (fuerza, potencia, resistencia muscular, capacidad propioceptiva, etc.).
2. Por ello, es improbable que un único test pueda valorar todos los componentes de la estabilidad central y de todos los grupos musculares que la integran.
3. La “estabilidad central” como concepto puede ser definida como la capacidad de respuesta que presenta nuestro sistema raquídeo de resistir en su zona de seguridad o neutra ante las demandas de movimiento segmentario y ante cualquier perturbación externa prevista o inesperada del centro de gravedad de nuestro cuerpo. El término “fuerza central” hace referencia a la capacidad de un grupo de músculos para estabilizar el raquis a través de la fuerza contráctil y la presión intra-abdominal generada, por tanto es más un control activo de la estabilidad espinal conseguido por la regulación de la fuerza de los músculos circundantes.
4. Los métodos más habituales para valorar los distintos componentes del core son: 1) La valoración isocinética, 2) La valoración isométrica, y 3) La valoración isoinercial, mediante el uso de ejercicios dinámicos.
5. Algunas de estas técnicas de medición son más comunes del ámbito clínico o de laboratorio, mientras que otras técnicas lo son del entorno deportivo.
6. La fuerza central puede ser valorada de forma directa mediante test isocinéticos e isométricos que necesitan de instrumental especializado. La valoración isocinética mide el torque muscular a una velocidad angular constante a través de un rango de movimiento preestablecido. Las mediciones isométricas son registradas mediante un dinamómetro o sensor de fuerza. Una limitación de la valoración isométrica es que la medición se toma sólo en un determinado ángulo del ROM.
7. No se debe confundir los tests de campo de tipo dinámico que valoren la resistencia muscular mediante una única acción articular del tronco (la flexión en el caso de los test de sit-up o curl-up) con una verdaderamente valoración global de la capacidad estabilizadora central o del core.
8. La resistencia de la musculatura anterior, posterior y lateral del core puede ser valorada mediante el protocolo de McGill. También se puede utilizar el test de puente prono descrito por distintos autores. Cuando se realizan este tipo de test de resistencia muscular el evaluador debe observar cualquier cambio en la disposición de la pelvis, las rodillas y el raquis para dar por concluido el test en cuestión.
9. Algunas propuestas alternativas de valoración indirecta de la estabilidad del core pasan por realizar movimientos más funcionales respecto de las actividades de la vida diaria o deportiva que requieran de estabilidad central para poder ser ejecutados correctamente (e.g., squat unipodal, lanzamiento de balón medicinal).

REFERENCIAS

1. AAHPERD (1980). Health related physical fitness manual. Reston. VA: AAHPERD Publications
2. Akuthota, V., & Nadler, S (2004). Core strengthening. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(S1), S86-S92
3. Augustsson, S., Bersas, E., Magnusson-Thomas, E., Sahlberg, M., Augustsson, J., & Svantesson, U (2009). Gender differences and reliability of selected physical performance tests in young women and men. *Advances in Physiotherapy*, 11, 64-70
4. Axler, C., & McGill, S (1997). Low back loads over a variety of abdominal exercises: searching for the safest abdominal challenge. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(6), 804-811
5. Baechle, T., & Earle, R (2002). Essentials of strength and conditioning (2nd ed.). Champaign, IL; Human Kinetics
6. Baechle, T., & Earle, R (2008). Essentials of strength and conditioning (3rd ed.). Champaign, IL; Human Kinetics
7. Biering-Sorensen, F (1984). Physical measurements as risk indicators for low-back trouble over a one-year period. *Spine*, 9(2), 105-118
8. Bliss, L. S., & Teeple, P (2005). Core stability: The centerpiece of any training program. *Current Sports Medicine Reports*, 4, 179-183
9. Cholewicki, J., Simons, A., & Radebold, A (2000). Effects of external trunk loads on lumbar spine stability. *Journal of Biomechanics*. 33, 1377-1385
10. Claiborne, T. L., Armstrong, C. W., Gandhi, V., & Pincivero, D. M. (2006). Relationship between hip and knee strength and knee valgus during single leg stance. *Journal of Applied Biomechanics*, 22, 41-50
11. Cowley, P., Fitzgerald, S., Sottung, K., & Swensen, T. (2009). Age, weight, and the front abdominal power test as predictors of isokinetic trunk strength and work in young men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(3), 915-925
12. Cowley, P., & Swensen, T (2008). Development and reliability of two core stability field tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 619-624
13. Delitto, A., Rose, S. J., Crandell, C. E., & Strube, M. J (1991). Reliability of isokinetic trunk muscle performance. *Spine*, 16, 800-803
14. DeMichele, P. L., Pollock, M. L., Graves, J. E., Foster, D. N., Carpenter, D., Grazarella, L. et al (1997). Isometric torso rotation strength: effect of training frequency on its development. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 78, 64-69
15. Dendas, A.M (2010). The relationship between core stability and athletic performance. Masters Thesis of Science in Kinesiology. Humboldt State University
16. Durall, C., Udermann, B., Johansen, D., Gibson, B., Reineke, D., & Reuteman, P (2009). The effects of preseason trunk muscle training on low-back pain occurrence in women collegiate gymnasts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 86-92
17. Ekstrom RA, Donatelli RA, Carp KC (2007). Electromyographic analysis of core trunk, hip, and thigh muscles during 9 rehabilitation exercises. *Orthop Sports Phys Ther*, 37(12):754-62
18. Faries, M., & Greenwood, M (2007). Core training: stabilizing the confusion. *Strength and Conditioning Journal*, 29(2), 10-25
19. Gribble, P. A., & Hertel, J (2003). Considerations for normalizing measures of the Star Excursion Balance Test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 7,89-100
20. Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt Jr., R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G. et al (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 33, 492-501
21. Hibbs, A. E., Thompson, K. G., French, D., Wrigley, A., & Spears, I. (2008). Optimizing performance by improving core stability and strength. *Sports Medicine*, 38, 995-1008
22. Hislop, H., & Perrine, J (1967). The isokinetic concept of exercise. *Physical Therapy*, 47, 114-117
23. Hodges, P. W (2004). Lumbopelvic stability: a functional model of biomechanics and motor control. In C. Richardson, Hodges, P.W., & Hides, J. (Ed.). *Therapeutic Exercise for Lumbopelvic Stabilization: A Motor Control Approach for the Treatment and Prevention of Low Back Pain (2nd ed., pp. 13-28)*. Edinburgh, UK: Churchill Livingstone
24. Hodges, P. W., Richardson, C., & Jull, G (1996). Evaluation of the relationship between laboratory and clinical tests of transverse abdominus function. *Physiotherapy Research International*, 1(1), 30-40
25. Hodges, P. W., & Richardson, C. A (1996). Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. *Spine*, 21(22), 2640-2650
26. Hodges, P. W., & Richardson, C. A (1997). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical Therapy*, 77(2), 132
27. Jucker, D., McGill, S., & Kropf, P (1998). Quantitative intramuscular myoelectric activity of lumbar portions of psoas and the abdominal wall during cycling. *Journal of Applied Biomechanics*, 14(4), 428-438
28. Karatas, G., Gogus, F., & Meray, J (2002). Reliability of isokinetic trunk muscle strength measurement. *Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(2), 79-85
29. Keller, A., Hellesnes, J., & Brox, J (2001). Reliability of the isokinetic trunk extensor test, Biering-Sorensen test, and Astrand bicycle test. *Spine*, 26(7), 771-777
30. Kendall, F.P.; and McReary, E.K (1983). Muscle testing and function 3rd ed. Baltimore USA. *Williams and Wilkins*, 187-234
31. Kibler, W. B., Press, J., & Sciascia, A (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine*, 36, 189-198
32. Kinzey, S. J., & Armstrong, C. W (1998). The reliability of the Star-Excursion Test in assessing dynamic balance. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 27, 356-360
33. Leetun, D. T., Ireland, M. L., Willson, J. D., Ballantyne, B. T., & Davis, I. M (2004). Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36, 926-934

34. Lehman GJ, Hoda W, Oliver S (2005). Trunk muscle activity during bridging exercises on and off a swissball. *Chiropractic & Osteopathy*, 13(14)
35. McGill, S. (1995). The Mechanics of torso flexion: sit-ups and standing dynamic flexion maneuvers. *Clinical Biomechanics*, 10(4), 184-192
36. McGill, S (1998). Low back exercises: evidence for improving exercise regimens. *Phys Ther*, 78(7):754-65
37. 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
38. McGill, S (2007). Low back disorders: evidence-based prevention and rehabilitation (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics
39. Nachemson, A., & Elfstrom, G (1970). Intravital dynamic pressure measurements in lumbar discs. *Scandinavian Journal of Rehabilitation and Medicine Supplement*. 1, 1-40
40. Nesser, T. W., Huxel, K. C., Tincher, J. L., and Okada T (2008). The relationship between core stability and performance in Division I football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 1750-1754
41. Nesser, T., & Lee, W (2009). The relationship between core strength and performance in division I female soccer players. *Journal of Exercise Physiology online*, 12(2), 21-28
42. Norris, C. M (1993). Abdominal muscle training in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 27(1), 19-27
43. Okubo, Y., Kaneoka, K., Imai, A., Shiina, I., Tatsumura, M., Izumi, S., Miyakawa, S (2010). Electromyographic Analysis of Transversus Abdominis and Lumbar Multifidus Using Wire Electrodes During Lumbar Stabilization Exercises. *J Orthop Sports Phys Ther*, 40(11):743-750
44. Panjabi, MM (1992). The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disorders*, 5:390-397
45. Rothstein, J., Lamb, R., & Mayhew, T (1987). Clinical uses of isokinetic measurements: critical issues. *Physical Therapy*, 67, 1840-1844
46. Sahrman, S (2002). Diagnosis and treatment of movement impairment syndrome. St.Louis: Mosby
47. 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
48. Schellenberg, K. L, Lang, J. M., & Burnham, R. S (2007). A clinical tool for office assessment of lumbar spine stabilization endurance: prone and supine bridge maneuvers. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 86, 380-386
49. 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*
50. Stanton, R., Reaburn, P., & Humphries, B (2004). The effect of short-term swiss ball training on core stability and running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 522-528
51. Szpalski, M., Michel, F., & Hayez, P (1996). Determination of trunk motion patterns associated with permanent or transient stenosis of the lumbar spine. *Spine*, 5, 332-337
52. Tse, M., McManus, A., & Masters, R (2005). Development and validation of a core endurance intervention program: implications for performance in college-age rowers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 547-552
53. Urquhart, D., Hodges, P., Allen, T., & Story, I (2005). Abdominal muscle recruitment during a range of voluntary exercises. *Manual Therapy*, 10(2), 144-153
54. U.S. Army Physical Fitness Training (1992). . U.S. Army field manual (FM) 21-10. Washington D.C. Headquarters, Department of the Army
55. Waldhelm, A (2011). Assessment of core stability: developing practical models. *Dissertation. B.S. E.d., Baylor University, 1999. M.P.T., Nova Southeastern University, 2002*
56. Willson, J. D., Dougherty, C. P., Ireland, M. L., & Davis, I. M (2005). Core stability and its relationship to lower extremity function and injury. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 13, 316-325
57. Willson, J. D., Ireland, M. L., & Davis, I (2006). Core strength and lower extremity alignment during single leg squats. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38, 945-952
58. Willardson, J. M (2007). Core stability training: applications to sports conditioning programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 979-985