



Trabajo Fin de Máster

Máster en alto rendimiento deportivo y salud

Desarrollo de una progresión de ejercicios de core stability mediante un análisis del control postural sobre plataforma de fuerzas.

Centro de Investigación del Deporte

Alumno: Iván de los Reyes López Marcos

Tutor Académico: Francisco José Vera García

Cotutor/a: María Pilar García Vaquero

Curso 2014/15

RESUMEN

Actualmente existe una amplia variedad de ejercicios diseñados para entrenar el *core stability*, sin embargo, no se ha desarrollado ninguna metodología que permita establecer una progresión de ejercicios basada tanto en evidencias científicas como en las características particulares de cada sujeto. Esto supone una limitación importante para diseño de los programas de acondicionamiento del *core stability* debido a la falta de criterios para individualizar la carga de entrenamiento. Por ello, se ha realizado un estudio posturográfico de ejercicios de estabilización, con sujetos entrenados y no entrenados en la ejecución de los mismos. Los objetivos del estudio fueron: a) establecer progresiones de dificultad de diversas variaciones del perro de muestra, el puente dorsal, el puente lateral y el puente frontal; b) analizar el efecto del nivel de entrenamiento o experiencia previa sobre las progresiones de ejercicios en una muestra de sujetos entrenados y no entrenados en la práctica de este tipo de ejercicios. Los participantes realizaron los ejercicios de estabilización sobre plataformas de fuerza para medir la dificultad de las tareas a través de las oscilaciones del centro de presiones. En el estudio participaron 43 voluntarios sanos con una edad de 23.69 ± 3.02 años, de los cuales 35 fueron hombres y 8 mujeres. Los ejercicios se realizaron en dos sesiones con una semana de separación entre ambas. Los ejercicios por sesión se realizaron dos veces y en orden contrabalanceado.

PALABRAS CLAVE

Core stability, musculatura del tronco, posturografía, prescripción de ejercicios.



1 INTRODUCCIÓN

El *core* es un concepto funcional utilizado habitualmente para referirse de forma conjunta a las estructuras musculares y osteoarticulares de la parte central del cuerpo, principalmente, del raquis lumbo-dorsal, la pelvis y las caderas (Kibler, W. Press, J. y Sciascia, A. 2006; Escamilla et al., 2010). El término *core stability*, describe la capacidad del sistema neuromuscular para mantener o recuperar la posición o trayectoria del tronco en presencia de perturbaciones (Zazulak et al., 2008) siendo éste un proceso dinámico y constante en el mantenimiento del equilibrio (Borghuis, J., Hof, A. L. y Lemmink, K, A., 2008). Un correcto funcionamiento de las estructuras osteoligamentosas y musculares del tronco, bajo la coordinación del sistema neuromuscular estabilizan el raquis ante diferentes tipos de estrés mecánico (Panjabi, 1992).

La musculatura del tronco, desempeña un papel determinante en la generación y transferencia de energía a diferentes segmentos corporales durante muchas actividades deportivas (Kibler et al., 2006; Sharrock, C., Cropper, J. Mostad, J. Matt Johnson, M. y Malone, T. 2011) y de la vida diaria (Burg et al., 2006; Preuss y Fung, 2008; Sung et al., 2010). Numerosos estudios relacionan el *core stability* con el rendimiento deportivo (Borghuis et al., 2008; Kibler et al., 2006; Juan-Recio, López-Valenciano, Barbado, López-Plaza, Montero, y Vera-García 2013; Kort y Hendriks, 1992) así como con la prevención de lesiones, especialmente del raquis. Generalmente éstas se producen por alteraciones en los patrones de reclutamiento muscular, dando lugar a déficits en la estabilización de la columna lumbar (Huxel, y Anderson, 2013; Hodges, y Richardson., 1998; Cholewicki et al., 2002; McGill, 2002; Borghuis et al., 2008; Kibler et al., 2006; Zazulak et al., 2007; Reeves, et al., 2005; McGill, Grenier, Kavcic y Cholewicki, 2003; Radebold et al., 2000, 2001;).

Por todo ello, en los últimos años se están desarrollando diferentes metodologías de entrenamiento de la musculatura del tronco que incluyen ejercicios orientados a la mejora del *core stability* (Kibler et al., 2006). Entre ellos se encuentran los ejercicios conocidos como “puentes” o “bridges”, que consisten en mantener diferentes posturas en posición supina, lateral o prona con el raquis y la pelvis alineados en contra de la fuerza de la gravedad (McGill, 2003; McGill y Karpowicz, 2009; Bjerkefors et al, 2010; Ekstrom et al., 2007; Imai et al, 2010).

Para incrementar la dificultad de la ejecución de los ejercicios de estabilización se han desarrollado diferentes estrategias, entre las que podemos destacar las siguientes: a) disminución del número de apoyos (ej. levantar un pie durante la realización de los puentes o del perro de muestra) (Bjerkefors et al, 2010; Ekstrom et al, 2007., 2008; Kavcic et al., 2004; Hall et al, 2009; McGill y Karpowicz, 2009; Stevens et al, 2007); b) aumento del brazo de la resistencia peso (ej. puente largo apoyando los pies en lugar de apoyar rodillas) (Schoenfeld, Contreras, Tiryaki-Sonmez, Willardson, y Fontana, 2014; Vera-García, Barbado, y Moya, 2013); c) uso de superficies inestables como fitball o BOSUTM (Imai et al, 2010; Lehman et al., 2005; Stevens et al., 2006; Vera-García et al., 2000); d) combinación de las estrategias anteriores (como la disminuir el número de apoyos sobre superficie inestable) (Peña et al, 2012)

No obstante, a pesar de existir una amplia variedad de ejercicios de estabilización, actualmente no se ha desarrollado ninguna metodología que permita establecer una progresión de ejercicios en función de criterios científicos. A través de estudios electromiográficos (McGill y Karpowicz, 2009; García-Vaquero et al., 2012; Vera- García et al., 2013), se puede conocer el grado de activación de la musculatura implicada, pero la electromiografía no aporta información sobre la dificultad que le supone al individuo la

ejecución de cada ejercicio de estabilización. Otra de las limitaciones importantes en el diseño de los programas de estabilización es la falta de criterios para individualizar la carga de entrenamiento. En este sentido, según Vera-García et al. (en prensa) los test de campo que existen actualmente para medir de forma indirecta el *core stability* tienen limitaciones importantes que dificultan la adecuada cuantificación y programación individualizada de los programas de ejercicios de estabilización.

Por todo ello, se realizó un estudio posturográfico de diversos ejercicios de estabilización con dos tipos de poblaciones: individuos entrenados en el uso de ejercicios de estabilización e individuos no entrenados en la ejecución de estos ejercicios. Los objetivos del estudio fueron los siguientes: a) establecer progresiones de dificultad de diversas variaciones del perro de muestra, el puente dorsal, el puente lateral y el puente frontal; b) analizar el efecto del nivel de entrenamiento o experiencia previa sobre las progresiones de ejercicios.

2 MÉTODO

2.1 PARTICIPANTES

En el estudio participaron de forma voluntaria 43 sujetos asintomáticos, de los cuales 35 fueron hombres y 8 mujeres (edad: 23.69 ± 3.02 años, altura: 170.58 ± 17.41 cm, masa: 73.02 ± 18.91 kg). Los criterios de exclusión aplicados para la selección de la muestra fueron: 1) tener una altura mayor de 1,80 m, es decir, mayor longitud que la distancia obtenida entre las 2 plataformas de fuerza; 2) tener dolor lumbar u otras alteraciones del aparato locomotor durante el registro o bien, durante los tres meses previos al estudio. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: 1) en el grupo de individuos no entrenados, no haber realizado los ejercicios de estabilización del tronco referidos durante los cuatro meses anteriores al registro de los datos; 2) en el grupo de individuos entrenados, haber practicado los ejercicios referidos durante al menos los últimos 6 meses con una frecuencia ≥ 1 día/semana.

Todos los participantes firmaron previamente un consentimiento informado aprobado por el Comité de Ética de la Universidad y cumplimentaron un cuestionario sobre sus antecedentes médicos, su nivel de entrenamiento específico y la cantidad de actividad física, valorando así el estado de salud global del participante.

2.2 EJERCICIOS DE ESTABILIZACION, VARIACIONES Y CRITERIOS BIOMECÁNICOS.

Las sesiones de registro se basaron en la ejecución de diversas variaciones de 4 ejercicios comúnmente empleados para el entrenamiento de *core stability* (McGill, 2002): perro de muestra, puente frontal, puente dorsal y puente lateral. Para establecer las diferentes variaciones de los ejercicios de estabilización se utilizaron los datos de diversos estudios electromiográficos (Axler y McGill, 1997; Kavcic et al., 2004; Lehman et al., 2005; Stevens et al., 2006; Bjerkefors et al., 2010; Ekstrom et al., 2007; HyungKyu et al., 2012; McGill y Karpowicz, 2009; García-Vaquero et al., 2012; Vera-García et al., 2013). Estas variaciones se graduaron en función de los siguientes parámetros mecánicos (Figuras 1 y 2): 1) el brazo de resistencia; 2) la masa del sujeto en suspensión; 3) la base de sustentación; 4) el número de apoyos; 5) el uso de superficies inestables.

A partir de los criterios referidos, se establecieron diversas progresiones de los ejercicios de estabilización. En este sentido, la progresión para los 3 tipos de puente fue la siguiente:

- a) Dificultad 1: Puente corto
- b) Dificultad 2: Incremento del brazo de resistencia y de la masa del sujeto en suspensión. Asimismo, se modifica la base de sustentación.
- c) Dificultad 3: Reducción de 1 apoyo, produciendo posiciones más asimétricas.
- d) Dificultad 4: Ejercicios realizados sobre superficie inestable.
- e) Dificultad 5: Reducción de un apoyo sobre superficie inestable.

NIVEL DE DIFICULTAD	PUENTE FRONTAL	PUENTE LATERAL	PUENTE DORSAL	PARÁMETROS MECÁNICOS
1				BR corto, Poca MS
2				↑BR, ↑MS y ↓BS
3				↓NA
4				SI
5				Nivel 3 sobre SI

Figura 1. Progresiones de los puentes frontal, lateral y dorsal en función de parámetros mecánicos: brazo de resistencia (BR), masa del sujeto en suspensión (MS), base de sustentación (BS), número de apoyos (NA), superficie inestable (SI). Se empleó un BOSU™ como superficie inestable, además de un cajón de 40 x 50 x 30 cm para el segundo nivel del puente dorsal

Para el perro de muestra la progresión fue la siguiente (Figura 2):

- a) Dificultad 1: Perro de muestra con doble apoyo de manos.
- b) Dificultad 2: Perro de muestra convencional (brazo y pierna contraria en suspensión).

c) Dificultad 3: Perro de muestra convencional con el brazo de apoyo sobre superficie inestable.

d) Dificultad 4: Perro de muestra con la pierna de apoyo sobre superficie inestable y ambos brazos apoyados.

e) Dificultad 5: Perro de muestra convencional con la pierna de apoyo sobre superficie inestable

NIVEL DE DIFICULTAD	PERRO DE MUESTRA	PARÁMETROS MECÁNICOS
1		Amplia BS, Poca MS
2		↓BS, ↑MS, ↑BR y ↓NA
3		Nivel 2 + MM.SS sobre SI
4		Nivel 1 + MM.II sobre SI
5		Nivel 2 + MM.SS sobre SI

Figura 2. Progresión para el ejercicio perro de muestra en función de parámetros mecánicos: brazo de resistencia (BR), masa del sujeto en suspensión (MS), base de sustentación (BS), número de apoyos (NA), superficie inestable (SI), miembro inferior (MMII), miembro superior (MMSS).

2.3 INSTRUMENTOS Y REGISTROS

Cada sujeto completó dos sesiones de registro, con una semana de separación entre ambas. Las sesiones comenzaron con un calentamiento específico de tronco: 1º) ejercicios de movilidad articular: anteversión-retroversión de pelvis, circunducción de pelvis en ambos sentidos, y ejercicio “cat-camel” (McGill, 2002); 2º) ejercicios de fuerza-resistencia de baja intensidad para todos los grupos funcionales del tronco, es decir, flexores, extensores, rotadores e inclinadores. Posteriormente, las diferentes variaciones de los ejercicios de estabilización se realizarán sobre 2 plataformas de fuerza Kistler modelo 9253B11 (Kistler Instrument AG, Winterthur, Switzerland), lo que permitió registrar las fuerzas de reacción contra el suelo y la oscilación del centro de presiones (COP) en un sistema global de coordenadas de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

En las sesiones de evaluación los participantes se situaban sobre las plataformas de fuerzas, reproduciendo las posturas requeridas según las instrucciones del investigador (mantener el raquis en posición neutra y evitar en lo posible la oscilación del cuerpo sobre las plataformas). Una vez alcanzada la postura indicada, se registró el COP durante 6 s. Cada sujeto realizó dos series de cada ejercicio, contrabalanceando el orden de ejecución. Los descansos entre repeticiones fueron de 30 s y la recuperación entre series de 3 min.

2.4 TRATAMIENTO DE DATOS

En primer lugar se unificaron ambas plataformas en una sola de acuerdo con el proveedor del producto. A continuación, la señal obtenida de las plataformas de fuerza fue filtrada mediante un filtro de paso bajo *Butterworth* de segundo orden con una frecuencia de corte de 5 Hz (Lin, Seol, Nussbaum, & Madigan, 2008). La señal del COP, resultante de las oscilaciones generadas en cada ejercicio, se analizó mediante el software BioWare 5.2.1.3. El primer y el último segundo de registro de cada ensayo fueron desechados, ya que durante el comienzo y el final de este tipo de pruebas la señal no suele ser estacionaria.

Para evaluar el control del sujeto durante cada tarea se analizó el camino recorrido (CR) obtenido mediante un software creado “ad hoc” en *LabView* 9.0. (*National Instruments, Austin, TX*) (Figura 3).

En concreto el CR fue calculado de acuerdo a la siguiente ecuación donde X_i e Y_i representan la posición del COP en cada instante del eje antero posterior y medio lateral respectivamente:

$$CR_{(mm/s)} = \frac{1}{\Delta t} \sum_{i=1}^N \sqrt{((\Delta(X_i - \bar{X}))^2 + (\Delta(Y_i - \bar{Y}))^2)}$$

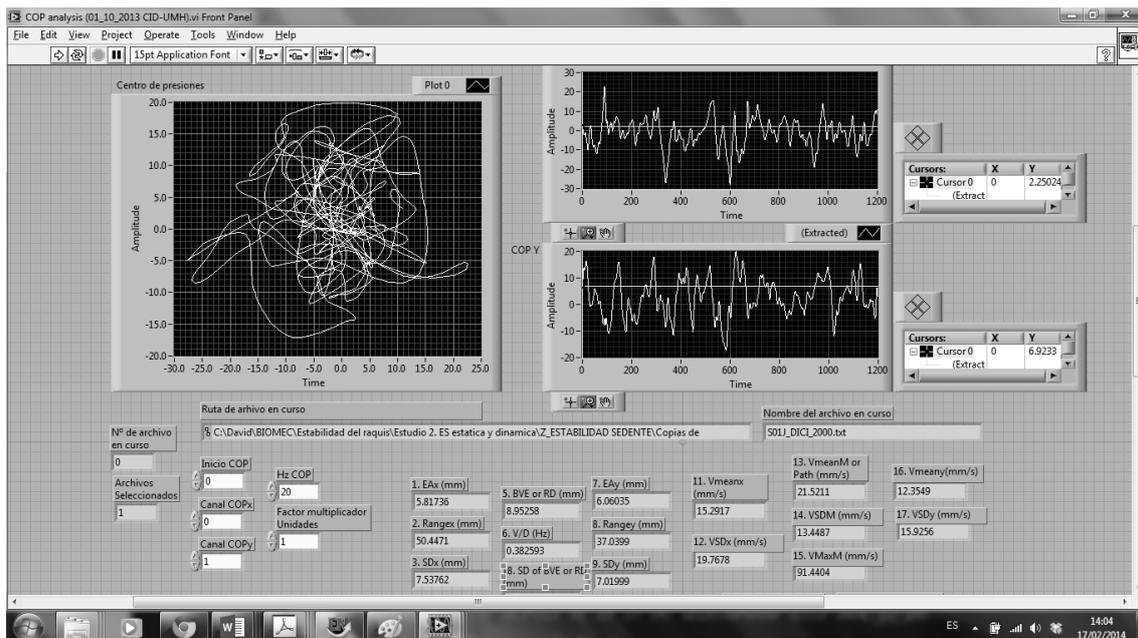


Figura 3. Software en entorno *LabView* creado para el cálculo de variables de estabilidad a partir de la señal del COP obtenida durante la ejecución de los ejercicios de estabilización.

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En primer lugar se calcularán los estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) para cada una de las variables analizadas. A continuación, se hará un análisis exploratorio para verificar la distribución normal de todas las series de datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un intervalo de confianza al 95% excluyendo los valores extremos (datos 3 veces superior a la media)

Para analizar la fiabilidad relativa de las diferentes medidas (camino recorrido BVE y velocidad media de desplazamiento VMM), se utilizará el coeficiente de correlación intraclass (CCI_{2,1}), calculando sus límites de confianza al 90% de acuerdo con Hopkins (2009). Los valores de CCI serán categorizados como se detalla a continuación: excelente (0.90 – 1.00), alto (0.70 – 0.89), moderado (0.50 – 0.69) y bajo (< 0.50) (Fleiss, 1986).

Con el fin de establecer una progresión objetiva de las diferentes variaciones de los ejercicios y analizar las diferencias entre los distintos ejercicios y/o nivel de entrenamiento, se realizará un ANOVA de medidas repetidas (5 niveles x 4 ejercicios x 2 niveles de entrenamiento) siendo 5 niveles (nº niveles de dificultad establecidos para cada uno de los ejercicios) el factor intrasujeto y “ejercicios” y “nivel de entrenamiento” los factores intersujetos, utilizando los valores mínimos obtenidos por el participante en cualquiera de las cuatro series. Para las comparaciones múltiple “post-hoc” se utilizará el ajuste de Bonferroni con la corrección de Lilliefors.

Todos los análisis estadísticos de la FASE 1 y de la FASE 2 se realizarán con el programa SPSS package (versión 22, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) y la hipótesis nula será rechazada al nivel de significación del 95% ($p \leq 0.05$).

REFERENCIAS

- Axler, CT., & McGill, SM., (1997). Low back loads over a variety of abdominal exercises: searching for the safest abdominal challenge. *Med Sci Sports Exerc*;29:804–11.
- Bjerkefors, A., Ekblom, MM., Josefsson, K., Thorstensson, A., (2010). Deep and superficial abdominal muscle activation during trunk stabilization exercises with and without instruction to hollow. *Man Ther*;15:502–7.
- Borghuis, J., Hof, A.L., Lemmink, K.A., (2008). The importance of sensory– motor control in providing core stability: implications for measurement and training. *Sports Med*. 38(11): 893–916.
- Burg, J.C.E., Wegen, E.E.H., Rietberg, M.B., Kwakkel, G., & van Dieën, J.H. (2006). Postural control of the trunk during unstable sitting in Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 12, 492-498.
- Ekstrom, RA., Donatelli, RA., & Carp, KC. (2007). Electromyo-graphic analysis of core trunk, hip and thigh muscles during 9 rehabilitation exercises. *J Orthop Sports Phys Ther* ;37:754–62
- Escamilla, RF., Lewis, C., Bell, D., Bramblet, G., Daffron, J., Lambert, S., Pecson, A et al. (2010). Core muscle activation during Swiss ball and traditional abdominal exercises. *J Orthop Sports Phys Ther*.;40(5):265-76.
- García-Vaquero, MP., Moreside, JM., Brontons-Gil, E., Peco-González, N., & Vera-Garcia, FJ., (2012). Trunk muscle activation during stabilization exercises with single and double leg support. *J Electromyogr Kinesiol*;22(3):398-406
- Hopkins, W.G. (2009). Calculating the reliability intraclass correlation coefficient and its confidence limits (Excel spreadsheet). newstats.org/xlICC.xls
- Huxel, KC., & Anderson, BE. (2013). Core stability training for injury prevention. *Sports Health*.;5(6): 514–22.
- HyungKyu, K., JinHwa, J., & JaeHo, Y., (2012). Comparison of trunk muscle activity during bridging exercises using a sling inpatients with low back pain. *J. Sports Sci Med*; 11, 510-515
- Imai, A., Kaneoka, K., Okubo, Y., Shiina, I., Tatsumura, M., Izumi, S., et al. (2010). Trunk muscle activity during lumbar stabilization exercises on both a stable and unstable surface. *J Orthop Sports Phys Ther*; 40:369–75.
- Juan-Recio, C., Lopez-Valenciano, A., Barbado, D., Lopez-Plaza, D., Montero, C., & Vera-Garcia, F.J. (2013). Efecto de la condición muscular en la estabilidad del tronco en judocas de élite. Trabajo presentado en el I Congreso Internacional de Judo De Frutos-UMH, Alicante.
- Kavcic, N., Grenier, S., McGill, SM., (2004). Quantifying tissue loads and spine stability while performing commonly prescribed low back stabilization exercises. *Spine*; 29:2319–29.

- Kibler, W.B., Press, J. & Sciascia A., (2006). The Role of Core Stability in Athletic Function. *Sports Med.* 2006; (3): 189-198
- Kort, H.D., & Hendriks, E.R. (1992). A comparison of selected isokinetic trunk strength parameters of elite male judo competitors and cyclists. *J. Orthop Sports Phys Ther*, 16(2), 92-96.
- Lin, D., Seol, H., Nussbaum, M.A., & Madigan, M.L. (2008). Reliability of COP-based postural sway measures and age-related differences. *Gait Posture*.;28:337–342.
- Lehman, G.J., Hoda, W., Oliver, S. (2005). Trunk muscle activity during bridging exercises on and off a Swiss ball. *Chiropract Osteopath*; 13:14.
- McGill, S.M., (2002). Low back disorders: evidence based prevention and rehabilitation. Champaign, Illinois: *Human Kinetics Publishers*.
- McGill S.M., Grenier S, Kavcic N, Cholewicki J. (2003). Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. *J Electromyogr Kinesiol*;13(4):353–9.
- McGill, S.M., Karpowicz, A., (2009). Exercises for spine stabilization: motion/motor patterns, stability progressions, and clinical technique. *Arch Phys Med Rehab* (90): 118–26.
- Panjabi, M.M., (1992). The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J. Spinal Disord.* (5): 383–389.
- Peña, G., Heredia, J.R., Moral, S., Isidro, F., Mata, F., & Da Silva-Grigoletto, M. (2012). Evidencias sobre los Efectos del Entrenamiento Inestable para la Salud y el Rendimiento. G-SE Standard, 30/05/12. g-se.com/a/1405
- Preuss, R. & Fung, J. (2008). Musculature and biomechanics of the trunk in the maintenance of upright posture. *J Electromyogr Kinesiol*, 18(5), 815-828.
- Radebold, A., Cholewicki, J., Panjabi, M.M., Patel, T.C., (2000). Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine* 25, 947–954.
- Radebold, A., Cholewicki, J., Polzhofer, G.K., Greene, H.S., (2001). Impaired postural control of the lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain. *Spine* 26, 724–730.
- Reeves, N.P., Cholewicki, J., Milner, T.E., (2005). Muscle reflex classification of low-back pain. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 15, 53–60.
- Schoenfeld, B.J., Contreras, B., Tiryaki-Sonmez, G., Willardson, J.M., & Fontana, F. (2014). An electromyographic comparison of a modified version of the plank with a long lever and posterior tilt versus the traditional plank exercise. *Sports Biomech.* 13(3):296-306
- Sharrock, C., Cropper, J., Mostad, J., Johnson, M., Malone, T. (2011). A pilot study of core stability and athletic performance: is there a relationship? *Int J Sports Phys Ther.*; 6(2):63- 74.

- Stevens, VK., Bouche, KG., Mahieu, NN., Coorevits, PL., Vanderstraeten, GG., Danneels, LA. (2006). Trunk muscle activity in healthy subjects during bridging stabilization exercises. *BMC Musculoskelet Disord*;7:75.
- Stevens, VK., Coorevits, PL., Bouche, KG., Mahieu, NN., Vanderstraeten, GG., Danneels, LA. (2007). The influence of specific training on trunk muscle recruitment patterns in healthy subjects during stabilization exercises. *Man Ther*;12:271–9.
- Stevens, VK., Coorevits, PL., Bouche, KG., Mahieu, NN., Vanderstraeten, GG., Danneels, LA. (2007) Electromyographic activity of trunk and hip muscles during stabilization exercises in four-point kneeling in healthy volunteers. *Eur Spine J*;16:711–8.
- Sung, P.S., Yoon, B., & Lee, D.C. (2010). Lumbar spine stability for subjects with and without low back pain during one-leg standing test. *Spine*, 35(16), E753-760.
- Vera-Garcia, F.J., Grenier, S.G., McGill, S. (2000). Abdominal response during curl-ups on both stable and labile surfaces. *Phys Ther*;80:564–9.
- Vera-Garcia, F., Barbado, D., & Moya, M. (2013). Trunk stabilization exercises for healthy individuals. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*, 16(2):200-211
- Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J (2007) Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med* (35): 1123–1130
- Zazulak, B., Cholewicki, J. & Reeves, N.P. (2008). Neuromuscular control of trunk stability: clinical implications for sports injury prevention. *J Amer. Acad. Ortho Surg*, 16(9), 497-505.



centro de
investigación del
deporte

Universidad Miguel Hernández de Elche