



TRABAJO FIN DE MÁSTER

Master en Rendimiento Deportivo y
Salud

Cuantificación de la estabilidad del tronco mediante la acelerometría integrada en los smartphones durante la realización de ejercicios isométricos

Alumno: Guillermo Guirao Colin

Tutores académicos: David Barbado Murillo y Francisco José Vera García

RESUMEN

La estabilidad del tronco ha adquirido una notable importancia en los últimos tiempos debido a que diversos estudios han relacionado esta cualidad con la salud de la zona lumbar, la prevención de lesiones en el tren inferior y el rendimiento deportivo. Entre los ejercicios más usados actualmente para su entrenamiento encontramos los puentes o “bridges” y el “bird-dog”. Para variar el nivel de exigencia de estos ejercicios se utilizan diferentes estrategias, como reducir la base de sustentación o el uso de superficies inestables. Sin embargo, se carece de métodos que permitan conocer de forma cuantitativa y objetiva el nivel de dificultad de cada tipo de ejercicio en términos de control de la estabilidad, por lo que es difícil establecer progresiones de entrenamiento adecuadas. El uso de la acelerometría es una alternativa interesante para solucionar estos problemas, ya que es un método que permite evaluar y cuantificar el grado de estabilidad de una forma objetiva. Además en la actualidad es una tecnología accesible y barata, gracias a que muchos teléfonos móviles llevan un acelerómetro integrado. Por todo ello, en este estudio se utilizó el acelerómetro triaxial de un “smartphone” para valorar el nivel de oscilación del centro de masas durante la realización de cinco variaciones de los ejercicios de estabilidad más comunes: puente frontal, puente dorsal, puente lateral y bird-dog. El objetivo fue comparar la oscilación del centro de masas entre los diferentes ejercicios analizados y ordenarlos según su nivel de dificultad. En total participaron 33 jóvenes sanos y físicamente activos, 15 mujeres (edad: 25.42 ± 2.37 años; altura: 166.31 ± 10.99 cm; masa: 65.57 ± 9.68 kg) y 18 varones (edad: 25.2 ± 4.14 años; altura: 171.92 ± 5.44 cm; masa: 71.37 ± 5.95 kg). Para evaluar nivel de dificultad de los ejercicios se empleó la variable “dispersión de la aceleración”, la cual fue obtenida mediante el cálculo del vector magnitud promedio de la aceleración en los tres ejes (vertical, anteroposterior y mediolateral) respecto a su aceleración media.

PALABRAS CLAVE: “core stability”, entrenamiento, evaluación, posturografía.

1. INTRODUCCIÓN

La estabilidad del tronco, denominada usualmente como “core stability”, ha adquirido una importancia considerable en los últimos tiempos (Abt et al., 2007; Van Dieën, Luger & Eb, 2012). Diversos autores han señalado que un bajo nivel de control neuromuscular de la musculatura del tronco puede asociarse a la aparición de lesiones o patologías en la zona lumbar (Lee, Cholewicki, Reeves, Zazulak & Mysliwiec, 2010; McGill, Grenier, Kavcic & Cholewicki, 2003; Zazulak, Cholewicki & Reeves, 2008; Cholewicki et al., 2005). Asimismo, su déficit parece ser un factor de riesgo a tener en cuenta en la prevención de lesiones del tren inferior (Zazulak, Hewett, Reeves, Goldberg & Cholewicki, 2007; Kibler, Press & Sciascia, 2006; Borghuis, Hof & Lemmink, 2008). Por otro lado, varias publicaciones sugieren que una alta capacidad de estabilizar el tronco podría incrementar el rendimiento deportivo, pues facilitaría la producción, el control y transferencia de fuerzas a través de las cadenas cinéticas de los diferentes gestos deportivos (Barbado et al., 2016; Kibler, Press & Sciascia, 2006; Nesser, Huxel, Tincher & Okada, 2008).

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, en los últimos años veinte años se han propuesto una gran variedad de ejercicios destinados a mejorar la estabilidad del tronco, la mayoría de los cuales son de carácter isométrico y consisten en conservar el raquis en posición neutra ante diferentes fuerzas internas y externas (Vera-Garcia, Barbado & Moya, 2014). Entre los ejercicios más utilizados destacan los “puentes” (dorsal, frontal y lateral) y el “perro de muestra” o “bird-dog” (Vera-Garcia, Barbado, Moreno-Pérez, Hernández-Sánchez & Juan-Recio, 2015; Vera-Garcia, Barbado, Flores-Parodi, Alonso-Roque & Elvira, 2013). El objetivo de este tipo de ejercicios es retar la capacidad de estabilización del tronco para desarrollar patrones de activación muscular coordinados que permitan un mejor control motor y una adecuada estabilidad de las estructuras del raquis (McGill et al, 2003; Vera-Garcia et al. 2013). Si bien, numerosas investigaciones han valorado la eficacia y seguridad de estos ejercicios mediante el análisis de la activación muscular (García-Vaquero, Moreside, Brontons-Gil, Peco-González, & Vera-Garcia, 2012; McGill & Karpowicz, 2009) y el nivel de estrés mecánico que soporta la columna lumbar (Vera-Garcia et al., 2015; Moreside, Vera-Garcia & McGill, 2007), existe poca información

acerca del nivel de dificultad que presentan estos ejercicios (en términos de reto para la estabilidad del tronco), lo que dificulta el desarrollo y prescripción de progresiones de ejercicios de estabilización.

Aunque existen ciertas metodologías biomecánicas que permiten valorar la estabilidad de forma muy precisa, ninguna de ellas ha sido aplicada para cuantificar el nivel de dificultad de los ejercicios de estabilización. Además, estas metodologías son muy costosas y complejas, por lo que no son fácilmente utilizables en estudios de campo. Por tanto, en la actualidad no existen métodos que permitan conocer, de forma cuantitativa y objetiva, qué nivel de dificultad supone para el sujeto la realización de cada ejercicio (en términos de estabilidad) durante su utilización en instalaciones físico-deportivas o sanitarias. En estos contextos, las progresiones de ejercicios se realizan de forma subjetiva en función de diversas estrategias, como por ejemplo: modificar el brazo de resistencia o la base de sustentación, usar superficies inestables e incluir movimientos de las extremidades (Vera-García et al., 2014; Chuter, de Jonge, Thompson & Callister, 2014; Lehman, Hoda, & Oliver, 2005; Butcher et al., 2007; García-Vaquero, 2012). Sin embargo, a diferencia del entrenamiento de otras cualidades, como por ejemplo, la fuerza, la cual se cuantifica en función del porcentaje de carga respecto al test de “una repetición máxima”, en el entrenamiento de la estabilidad no existen parámetros objetivos, accesibles a estudios de campo, que permitan cuantificar esta cualidad en términos de mayor o menor oscilación corporal. Así, en los estudios de intervención basados en la implementación de programas de estabilidad de la zona central, la progresión de los ejercicios no ha sido nunca individualizada de acuerdo al grado de oscilaciones que dichos ejercicios provocan en cada sujeto (Chuter et al., 2014; Butcher et al., 2007).

En la actualidad, de entre los instrumentales de laboratorio usados para valorar el control postural, la acelerometría es uno de los que más se está abaratando y expandiendo. La acelerometría, la cual ha sido tradicionalmente usada para cuantificar la estabilidad en test de balanceo postural (Izquierdo, Martínez-Ramírez, Larión, Irujo-Espinosa & Gómez, 2008; Bouten, Koekkoek, Verduin, & Janssen, 1997), se ha vuelto accesible y barata, gracias a su integración, junto a otros sensores, en los actuales “smartphones”. Dichos teléfonos inteligentes cuentan con un acelerómetro triaxial integrado y existen diversas

aplicaciones diseñadas para su uso. A pesar de su prometedora funcionalidad, en la actualidad no existen estudios que hayan implementado este tipo de tecnología en la valoración de la estabilidad del tronco durante la ejecución de ejercicios isométricos.

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue cuantificar, a través del uso del acelerómetro triaxial de un “smartphone”, el nivel de oscilación de la zona central de los participantes durante la realización de los ejercicios más utilizados en el entrenamiento de estabilidad del tronco (puente dorsal, puente frontal, puente lateral y bird-dog). Los resultados de este trabajo permitirán organizar los ejercicios de estabilización así como sus variantes en una única escala de menor a mayor aceleración de la zona central. La finalidad que se persigue es que este método sirva en un futuro como criterio para cuantificar la carga de entrenamiento y establecer la progresión del mismo de forma individualizada.

2. MÉTODO.

2.1 PARTICIPANTES.

La muestra estuvo formada por un total de 33 participantes, de ellos 15 fueron mujeres (edad: 25.42 ± 2.37 años; altura: 166.31 ± 10.99 cm; masa: 65.57 ± 9.68 kg) y 18 varones (edad: 25.2 ± 4.14 años; altura: 171.92 ± 5.44 cm; masa: 71.37 ± 5.95 kg), todos ellos participaron de forma voluntaria en el estudio. Los criterios de exclusión para formar parte de la muestra fueron: padecer alguna enfermedad que impidiera la práctica de ejercicio físico, tener más de treinta años, padecer incontinencia urinaria, tener una hernia inguinal, estar en periodo de embarazo o medir más de 1.85 m de altura. Antes de comenzar el estudio se pidió a todos los participantes que cumplimentaran un cuestionario relacionado con su estado de salud, además de dar su conformidad para la participación en el estudio a través de la firma de un consentimiento informado.

2.2 EJERCICIOS DE ESTABILIZACIÓN DE TRONCO Y VARIACIONES

Como hemos comentado anteriormente, los ejercicios de estabilidad del tronco seleccionados para su análisis fueron: puente frontal, puente dorsal, puente lateral y bird-dog. Se realizaron cinco variantes de cada ejercicio, de modo que un mismo ejercicio tuviera cinco niveles diferentes de dificultad (Figura 1). Para llevar a cabo estas variaciones se utilizaron las siguientes estrategias: modificación del brazo de resistencia, modificación

de la base de sustentación, uso de superficies inestables y combinación de algunas de las estrategias anteriores.

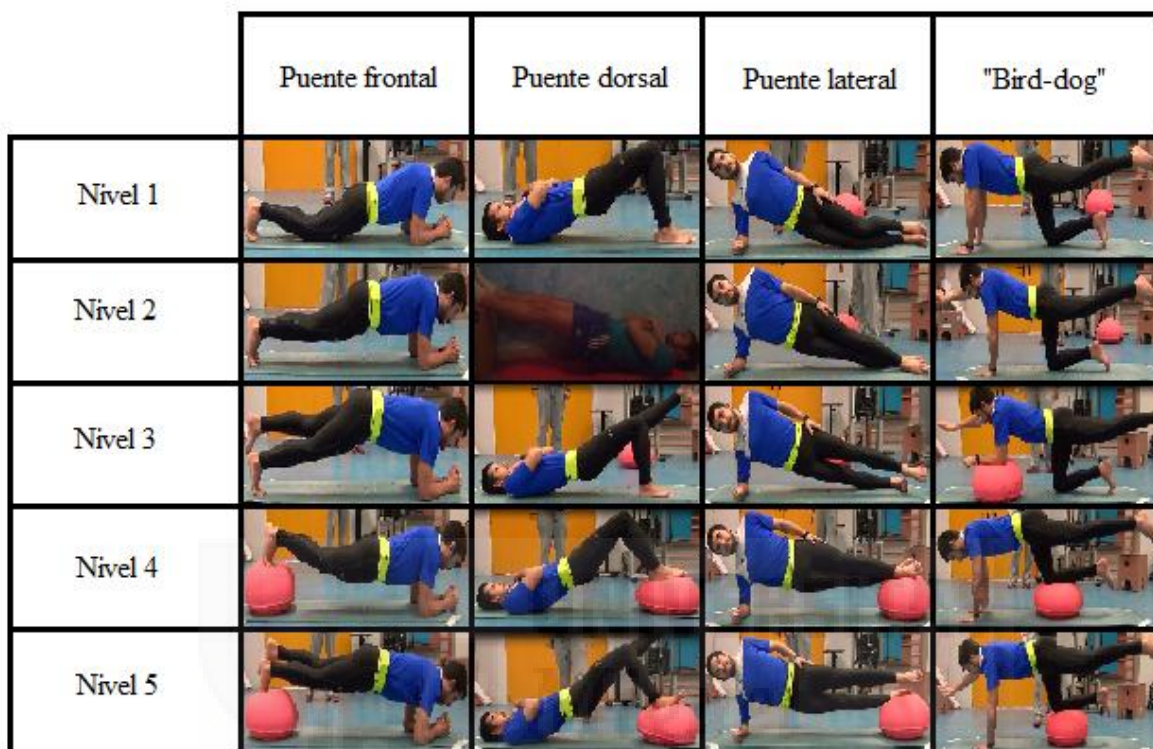


Figura 1. Niveles de dificultad de los ejercicios analizados.

Los niveles del puente frontal, dorsal y lateral fueron los mismos que en el trabajo publicado por Vera-García y Mompeán (2016), los cuales se detallan a continuación:

- Nivel 1. Puente corto (con piernas flexionadas).
- Nivel 2. Modificación de la base de sustentación e incremento de brazo de resistencia (con piernas extendidas).
- Nivel 3. Modificación de la base de sustentación (apoyo unipodal).
- Nivel 4. Uso de superficie inestable (apoyo bipodal en Bosu).
- Nivel 5. Uso de superficie inestable y modificación de la base de sustentación (apoyo unipodal en Bosu).

Los niveles del bird-dog o perro de muestra fueron los siguientes (Vera-Garcia & Mompean, 2016):

- Nivel 1. Bird-dog modificado (con apoyo de ambos brazos).
- Nivel 2. Bird-dog clásico.
- Nivel 3. Bir-dog clásico con apoyo de brazo sobre superficie inestable (Bosu).
- Nivel 4. Bir-dog modificado (con apoyo de ambos brazos) con apoyo de pierna en superficie inestable (Bosu).
- Nivel 5. Bir-dog clásico con apoyo de pierna en superficie inestable (Bosu).

2.3 INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTO.

Se utilizó un “smartphone” (Motorola Moto G, 2013, USA) para medir las oscilaciones del centro de masas de los participantes durante la realización de los diferentes ejercicios. Para ello se empleó la aplicación “Accelerometer Analyzer” (Mobile Tools, Polonia). El smartphone fue colocado, mediante el uso de un cinturón elástico, debajo de la cresta iliaca antero-superior, en el lado dominante del participante.

Como superficie inestable se utilizó un “Bosu” (TOGU, Alemania) de 54x24 cm de diámetro. Para la realización del nivel 2 del puente dorsal se usó un cajón de madera, con unas dimensiones de 40x50x30 cm.

Los registros se llevaron a cabo en el laboratorio de biomecánica del Centro de Investigación del Deporte de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Todos los participantes realizaron una sesión, con una duración aproximada de 1 h. La sesión comenzó con un pequeño calentamiento basado en diferentes ejercicios de activación y movilidad articular. Los participantes efectuaron dos series de todos los niveles de los ejercicios descritos anteriormente, con un tiempo de recuperación de entre 20 s y 1 min entre dichas series. Previamente los participantes fueron informados de cuál era la forma correcta de realizar cada ejercicio, se les indicó que debían mantener la columna en posición neutra y mantener la cabeza, el tronco y las extremidades inferiores alineadas. También se les indicó que una vez estuvieran situados en la postura correcta debían mantenerse en esa posición durante 6 s. Los participantes realizaron las sesiones vestidos

con ropa deportiva y descalzos. Se efectuó un contrabalanceo en el orden de ejecución de los ejercicios según el nivel de dificultad estimada para cada uno de ellos.

2.4 TRATAMIENTO DE DATOS

La serie temporal de datos de aceleración obtenida fue filtrada a través de un filtro de paso bajo “Butterworth” de segundo orden, con una frecuencia de corte de 10 Hz. Se desecharon el primer y último segundo del registro de cada ensayo, ya que en el inicio y el final de este tipo de pruebas las señales no son constantes en sus parámetros estadísticos sobre el tiempo, seleccionándose una ventana de 4 s de la señal para el cálculo de las variables.

Para evaluar nivel de dificultad de los ejercicios se empleó la variable “dispersión de la aceleración”, la cual fue obtenida mediante el cálculo del vector magnitud promedio de la aceleración en los tres ejes (vertical, anteroposterior y mediolateral) respecto a su aceleración media. Para calcular esta variable se utilizó un software diseñado por el grupo de investigación en entorno LabView 9.0 (National Instruments, Austin, TX).

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se calculó la media y la desviación típica de la variable “dispersión de la aceleración” (DA) y se verificó que existiera una distribución normal de todas las series de datos a través de la prueba Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors ($p > .05$).

Con objeto de cuantificar las diferencias entre las distintas variantes de ejercicios, se realizó un ANOVA de medidas repetidas de dos vías, siendo *ejercicio* (4 niveles: bird dog, puente lateral, puente frontal y puente dorsal) y *variantes* (5 niveles: 1, 2, 3, 4 y 5) los factores intrasujetos. Asimismo, se exploró las relaciones entre puentes, mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Los valores de correlación fueron categorizados como se detalla a continuación: muy alto (0.90 – 1.00), alto (0.70 – 0.89), moderado (0.50 – 0.69) bajo (0.30 – 0.49) y sin correlación (< 0.30) (Hinkle, Wiersma, & Jurs, 2003). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS package (versión 21, SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abt, J. P., Smoliga, J. M., Brick, M. J., Jolly, J. T., Lephart, S. M., & Fu, F. H. (2007). Relationship between cycling mechanics and core stability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1300-1304.
- Barbado, D., Lopez-Valenciano, A., Juan-Recio, C., Montero-Carretero, C., van Dieen, J. H., & Vera-Garcia, F. J. (2016). Trunk stability, trunk strength and sport performance level in judo. *PloS one*, 11(5), e0156267.
- Borghuis, J., Hof, A. L., & Lemmink, K. A. (2008). The importance of sensory-motor control in providing core stability. *Sports medicine*, 38(11), 893-916.
- Bouten, C. V., Koekkoek, K. T., Verduin, M., Kodde, R., & Janssen, J. D. (1997). A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 44(3), 136-147.
- Butcher, S. J., Craven, B. R., Chilibeck, P. D., Spink, K. S., Grona, S. L., & Sprigings, E. J. (2007). The effect of trunk stability training on vertical takeoff velocity. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 37(5), 223-231.
- Cholewicki, J., Silfies, S. P., Shah, R. A., Greene, H. S., Reeves, N. P., Alvi, K., & Goldberg, B. (2005). Delayed trunk muscle reflex responses increase the risk of low back injuries. *Spine*, 30(23), 2614-2620.
- Chuter, V. H., de Jonge, X. J., Thompson, B. M., & Callister, R. (2014). The efficacy of a supervised and a home-based core strengthening programme in adults with poor core stability: a three-arm randomised controlled trial. *Br J Sports Med*, 49(6), 395-399.
- García-Vaquero, M. P., Moreside, J. M., Brontons-Gil, E., Peco-González, N., & Vera-Garcia, F. J. (2012). Trunk muscle activation during stabilization exercises with single and double leg support. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 398-406.

- Hinkle, D., Wiersma, W., & Jurs, S. (2003). Determining power and sample size. *Applied statistics for the behavioral science. 5th edition. Houghton Mifflin Company, Boston, MA, 297-330.*
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine, 30(1), 1-15.*
- Izquierdo, M., Martínez-Ramírez, A., Larión, J. L., Irujo-Espinosa, M., & Gómez, M. (2008). Valoración de la capacidad funcional en el ámbito domiciliario y en la clínica: Nuevas posibilidades de aplicación de la acelerometría para la valoración de la marcha, equilibrio y potencia muscular en personas mayores. *Anales del sistema sanitario de Navarra, 31(2), 159-170.*
- Kibler, W. B., Press, J., & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports medicine, 36(3), 189-198.*
- Lee, A. S., Cholewicki, J., Reeves, N. P., Zazulak, B. T., & Mysliwiec, L. W. (2010). Comparison of trunk proprioception between patients with low back pain and healthy controls. *Archives of physical medicine and rehabilitation, 91(9), 1327-1331.*
- Lehman, G. J., Hoda, W., & Oliver, S. (2005). Trunk muscle activity during bridging exercises on and off a swissball. *Chiropractic & osteopathy, 13(1), 14.*
- McGill, S. M., Grenier, S., Kavcic, N., & Cholewicki, J. (2003). Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. *Journal of electromyography and kinesiology, 13(4), 353-359.*
- McGill, S. M., & Karpowicz, A. (2009). Exercises for spine stabilization: motion/motor patterns, stability progressions, and clinical technique. *Archives of physical medicine and rehabilitation, 90(1), 118-126.*
- Moreside, J. M., Vera-Garcia, F. J., & McGill, S. M. (2007). Trunk muscle activation patterns, lumbar compressive forces, and spine stability when using the bodyblade. *Physical Therapy, 87(2), 153.*

- Nesser, T. W., Huxel, K. C., Tincher, J. L., & Okada, T. (2008). The relationship between core stability and performance in division I football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 1750-1754.
- Van Dieën, J. H., Luger, T., & Van der Eb, J. (2012). Effects of fatigue on trunk stability in elite gymnasts. *European journal of applied physiology*, 112(4), 1307-1313.
- Vera-Garcia, F. J., Barbado, D., Flores-Parodi, B., Alonso-Roque, J. I., & Elvira, J. L. L. (2016). Activación de los músculos del tronco en ejercicios de estabilización raquídea/Trunk muscle activation in spine stabilization exercises. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, (52).
- Vera-Garcia, F. J., Barbado, D., Moreno-Pérez, V., Hernández-Sánchez, S., Juan-Recio, C., & Elvira, J. L. L. (2015). Core stability: evaluación y criterios para su entrenamiento. *Revista andaluza de medicina del deporte*, 8(3), 130-137.
- Vera-Garcia, F. J., Barbado, D., & Moya, M. (2014). Trunk stabilization exercises for healthy individuals. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 16(2), 200-211.
- Vera-Garcia, F. J., & Mompean, A. (2016). *Utilización de smartphones para la evaluación del nivel de control en ejercicios de estabilización*. Universidad Miguel Hernández, Elche de Alicante, España.
- Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B., & Cholewicki, J. (2007). Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk a prospective biomechanical-epidemiologic study. *The American journal of sports medicine*, 35(7), 1123-1130.