

Vera-García, F.J.; Barbado, D.; Flores-Parodi, B.; Alonso-Roque, J.I. y Elvira, J.L.L. (2013) 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 el Deporte vol. 13 (52) pp. 673-685. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista52/artactivacion422.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista52/artactivacion422.htm)

## ORIGINAL

# ACTIVACIÓN DE LOS MÚSCULOS DEL TRONCO EN EJERCICIOS DE ESTABILIZACIÓN RAQUÍDEA

## TRUNK MUSCLE ACTIVATION IN SPINE STABILIZATION EXERCISES

Vera-García, F.J.<sup>1</sup>; Barbado, D.<sup>2</sup>; Flores-Parodi, B.<sup>3</sup>; Alonso-Roque, J.I.<sup>4</sup> y Elvira, J.L.L.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación del Deporte. Universidad Miguel Hernández de Elche. E-mail: fvera@umh.es

<sup>2</sup> Centro de Investigación del Deporte. Universidad Miguel Hernández de Elche. E-mail: dbarbado@umh.es

<sup>3</sup> Instituto de Educación Secundaria Luís Manzanares de Torrepacheco, Murcia. E-mail: valesmas@hotmail.com

<sup>4</sup> Facultad de Educación. Universidad de Murcia. E-mail: jialonso@um.es

<sup>5</sup> Centro de Investigación del Deporte. Universidad Miguel Hernández de Elche. E-mail: jose.lopeze@umh.es

**AGRADECIMIENTOS:** Este estudio ha sido financiado mediante un proyecto Bancaja-Universidad Miguel Hernández de Elche (Convocatoria 2009)

**Código UNESCO / UNESCO code:** 2406.04 Biomecánica / Biomechanics

**Clasificación del Consejo de Europa / Council of Europe classification:** 3. Biomecánica del deporte / Biomechanics of sport

**Recibido** 29 de agosto de 2011 **Received** August 29, 2011

**Aceptado** 25 de septiembre de 2012 **Accepted** September 25, 2012

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue analizar la coactivación de los músculos del tronco durante ejercicios de estabilización del raquis. Para ello, se registró la electromiografía de los músculos rectus, obliquus externus y obliquus internus abdominis y erector spinae durante la realización del *punte dorsal*, el *punte ventral* y el *punte lateral derecho e izquierdo*. Los niveles de activación muscular necesarios para estabilizar el tronco durante la ejecución de los *puentes* fueron bajos o moderados. Los músculos abdominales se activaron principalmente en el *punte ventral* y *lateral*, y el erector spinae en el *punte*

*dorsal*. En los *puentes laterales* se activaron todos los músculos del lado del brazo de apoyo. Por el contrario, los *puentes ventral y dorsal* aislaron la activación de los músculos abdominales y lumbares, respectivamente. Estos resultados podrían facilitar la selección de ejercicios de estabilización para el diseño de programas de acondicionamiento de los músculos del tronco.

**PALABRAS CLAVE:** Estabilidad del raquis, musculatura del tronco, electromiografía, acondicionamiento físico, salud.

## ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the trunk muscle coactivation during spine stabilization exercises. The electromyography of rectus, obliquus externus and obliquus internus abdominis and erector spinae was recorded while performing the *back bridge*, the *front bridge* and the *right and left side bridge* exercises. The muscular activation levels needed to stabilize the trunk in the *bridge* exercises were low or moderate. Abdominal muscles were mainly activated in the *frontal* and *lateral bridge*, and erector spinae in the *back bridge*. All trunk muscles from the side of the arm of support were activated during the *lateral bridges*. On the contrary, *frontal* and *back bridges* isolated the abdominal and lumbar muscle activation, respectively. These results may facilitate the stabilization exercise selection to design trunk muscle conditioning programs.

**KEYWORDS:** Spine stability, trunk muscles, electromyography, fitness, health.

## INTRODUCCIÓN

Las patologías de la columna lumbar tienen una alta prevalencia en nuestra sociedad (Encuesta Nacional de Salud de 2006: 24.01% de la población española mayor de 16 años) y un enorme coste sociosanitario (Gómez-Conesa y Valbuena Moya, 2005). Entre los métodos utilizados para la prevención y el tratamiento de este tipo de lesiones destacan actualmente los programas de ejercicios de estabilización raquídea. El objetivo de estos ejercicios es favorecer el aprendizaje y perfeccionamiento de patrones de coactivación muscular para la mejora del control motor y la estabilidad de las estructuras raquídeas (McGill, 2002; McGill, Grenier, Kavcic y Cholewicki, 2003).

En los últimos quince años se han diseñado numerosos ejercicios de estabilización. En general, estos ejercicios consisten en mantener el raquis en posición neutra, es decir, conservando las curvaturas fisiológicas, cuando es sometido a fuerzas internas o externas que ponen a prueba su estabilidad. Así, en los *puentes* o "*bridges*" (Bjerkefors, Ekblom, Josefsson y Thorstensson, 2010; Ekstrom, Donatelli y Carp, 2007; Kavcic, Grenier y McGill, 2004; Konrad, Schmitz y Denner, 2001; McGill y Karpowicz, 2009; Stevens, Bouche, Mahieu, Coorevits, Vanderstraeten y Danneels, 2006) los participantes deben mantener

diversas posturas sin apoyar la pelvis en el suelo, en contra de la fuerza de la gravedad. En el *perro de muestra* o "*bird dog*" y el *bicho muerto* o "*dead bug*" los participantes deben mantener la columna en posición neutra ante las fuerzas provocadas por el movimiento de las extremidades (Bjerkefors y cols, 2010; Ekstrom y cols, 2007; Kavcic y cols, 2004; McGill y Karpowicz, 2009; Stevens, Vleeming, Bouche, Mahieu, Vanderstraeten y Danneels, 2007). Otra forma de retar la capacidad del sistema motor para estabilizar el raquis es mediante la ejecución de movimientos o posturas sobre superficies inestables (Imai, Kaneoka, Okubo, Shiina, Tatsumura, Izumi y Shiraki, 2010; Lehman, Hoda y Oliver, 2005; Stevens y cols, 2006; Vera-García, Grenier, y McGill, 2000), como el *bosu* o el *fitball*, o mediante la utilización de barras oscilantes (Moreside, Vera-García y McGill, 2007; Sánchez-Zuriaga, Vera-García, Moreside y McGill, 2009; Vera-García, Moreside, Flores-Parodi y McGill, 2007b). Estas barras (Bodyblade®, Flexibar®, etc.) son materiales flexibles y elásticos que al ser agitados oscilan a diferentes frecuencias y amplitudes. La oscilación de estas barras y los movimientos realizados al hacerlas oscilar suponen un reto importante para la capacidad del individuo de estabilizar el raquis y la pelvis.

En Biomecánica, la selección de los ejercicios de estabilización más adecuados para cada programa de entrenamiento se basa fundamentalmente en criterios de eficacia y seguridad. La electromiografía de superficie nos permite valorar la eficacia de los ejercicios de estabilización a través del análisis de la intensidad de la activación muscular y la coordinación de los músculos del tronco (ver por ejemplo: Ekstrom y cols, 2007; Konrad y cols, 2001; McGill y Karpowicz, 2009; Stevens y cols, 2006 y 2007). Diversos estudios han demostrado que la coactivación coordinada de los músculos del tronco aumenta la rigidez de la columna y confiere estabilidad a sus estructuras (Vera-García, Brown, Gray y McGill, 2006; Vera-García, Elvira, Brown y McGill, 2007a; Vera-García y cols, 2007b). Por el contrario, la estabilidad se reduce si los músculos del tronco no se activan con un patrón de coactivación adecuado (Brown, Vera-García y McGill, 2006). Asimismo, modelos matemáticos computerizados nos permiten evaluar la seguridad de los ejercicios mediante el cálculo del estrés mecánico producido en la columna lumbar durante los ejercicios (Axler y McGill, 1997; Kavcic y cols, 2004; Moreside y cols, 2007). Según el NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, 1981), fuerzas de compresión lumbar superiores a 3400 N suponen un riesgo importante para las estructuras vertebrales.

Partiendo de los criterios de eficacia y seguridad, los *puentes* son algunos de los ejercicios de estabilización más utilizados. Los más conocidos son el *punte dorsal*, en decúbito supino (Bjerkefors y cols, 2010; Ekstrom y cols, 2007; Imai y cols, 2010; Kavcic y cols, 2004; Konrad y cols, 2001; Lehman y cols, 2005; Stevens y cols, 2006), el *punte lateral*, en decúbito lateral (Ekstrom y cols, 2007; Imai y cols, 2010; Kavcic y cols, 2004; Lehman y cols, 2005; McGill y Karpowicz, 2009), y el *punte ventral* o *frontal*, en decúbito prono (Ekstrom y cols, 2007; Imai y cols, 2010; Lehman y cols, 2005; McGill y Karpowicz, 2009). Estudios biomecánicos han demostrado que el *punte dorsal*

y el *punte lateral* activan los músculos del tronco sin ocasionar fuerzas de compresión que comprometan las estructuras del raquis lumbar (Kavcic y cols, 2004). Sin embargo, aunque estudios electromiográficos han analizado la participación de los músculos del tronco en el *punte ventral, dorsal y/o lateral*, es necesario profundizar en el conocimiento de los patrones de coactivación muscular generados durante la ejecución de este tipo de ejercicios.

El objetivo del estudio fue analizar la actividad eléctrica de la musculatura abdominal y lumbar durante la realización del *punte dorsal*, el *punte ventral* y el *punte lateral derecho e izquierdo* (Figura 1). De este modo, se intenta explorar la relación entre diferentes patrones de coactivación muscular y la estabilidad de la región lumbo-pélvica, proporcionando información útil para la prescripción de ejercicios de estabilización raquídea.

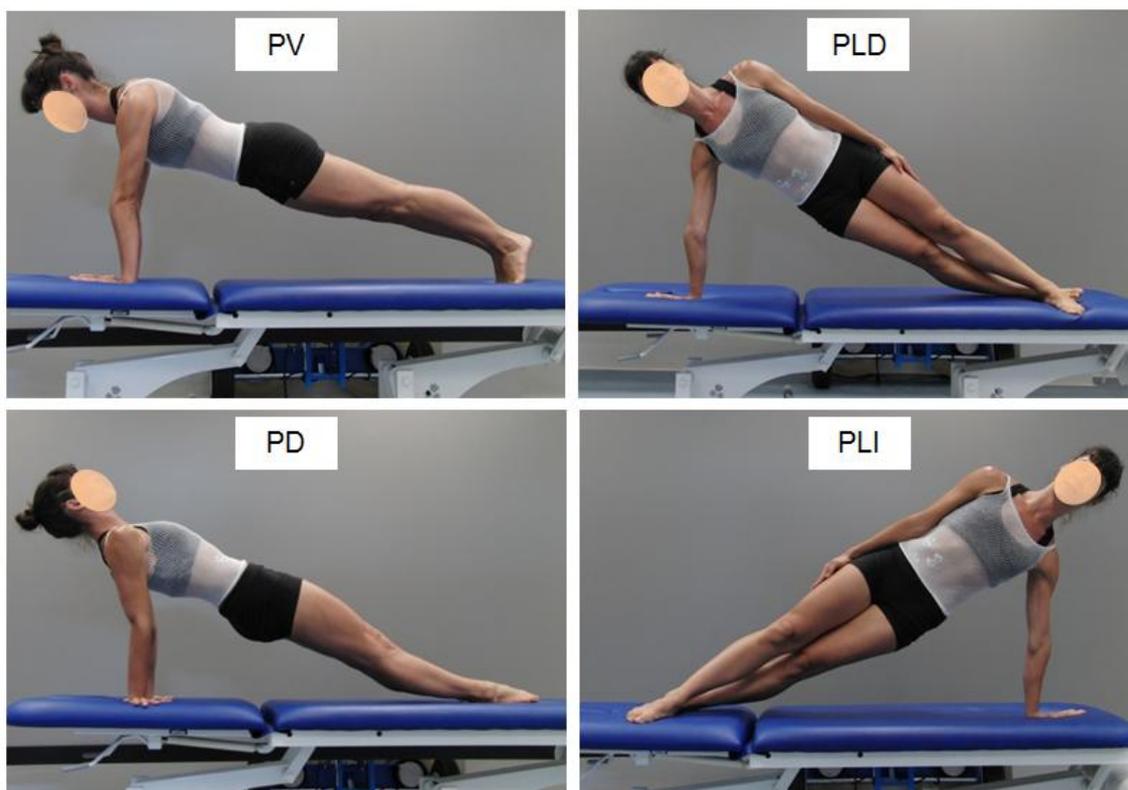


Figura 1. PV) Puente ventral o frontal; PD) Puente dorsal; PLD) Puente lateral derecho; PLI) Puente lateral izquierdo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Participantes

Dieciséis mujeres asintomáticas participaron voluntariamente en este estudio (edad:  $24.38 \pm 4.54$  años; masa:  $57.74 \pm 4.95$  kg; altura:  $1.64 \pm 0.04$  m). Antes del inicio de la investigación las participantes fueron informadas de las características del estudio y firmaron un documento de consentimiento

informado aprobado por el Comité Ético de la Institución. Todas ellas eran mujeres jóvenes habituadas a practicar ejercicios de acondicionamiento de la musculatura del tronco. Fueron excluidas de la investigación las participantes con historial de cirugía abdominal, antecedentes de dolor lumbar o lesiones musculoesqueléticas, cardiovasculares o metabólicas que contraindicaran la práctica de los ejercicios de estabilización raquídea.

### **Instrumentos y registros**

El registro de la actividad electromiográfica se realizó con el electromiógrafo de superficie *Muscle Tester ME6000*<sup>®</sup> (Mega Electronics Ltd., Kuopio, Finland). Este electromiógrafo es un microordenador portátil de 8 canales con una conversión A/D de 14 bit, un *common-mode rejection ratio* de 110 dB y un filtro de banda de 8-500 Hz. La frecuencia de muestreo se programó a 1000 Hz. Durante el registro, la señal electromiográfica (EMG) fue transferida a través de un cable óptico a un ordenador compatible donde fue monitorizada mediante el programa MegaWin 2.5<sup>®</sup> y almacenada para su posterior análisis.

La señal EMG fue registrada en los siguientes músculos y localizaciones: rectus abdominis (RA), 3 cm a la derecha del ombligo; obliquus externus abdominis (OE), 15 cm a la derecha del ombligo; obliquus internus abdominis (OI), sobre el centro geométrico del triángulo formado por el ligamento inguinal del lado derecho, el borde externo de la vaina del rectus abdominis y la línea imaginaria que une la espina iliaca anterosuperior y el ombligo (Ng, Kippers y Richardson, 1998; Urquhart, Barker, Hodges, Story y Briggs, 2005); y erector spinae (ES), 3 cm a la derecha de la apófisis espinosa de L3. Estos lugares de colocación de los electrodos fueron adaptados a cada participante en función de sus características anatómicas individuales.

Con el objeto de facilitar el proceso de colocación de los electrodos se realizó el marcaje topográfico por palpación de diferentes puntos anatómicos con un lápiz dérmico (Delagi, Perotto, Lazzeti y Morrison, 1981). Las zonas de la piel elegidas para la colocación de los electrodos se rasuraron y limpiaron con alcohol para reducir la impedancia. Se colocó un par de electrodos de superficie Ag-AgCl (Arbo Infant Electrodes, Tyco Healthcare, Germany) en configuración bipolar, sobre el vientre muscular y en sentido longitudinal de las fibras de los músculos referidos. La separación entre electrodos (centro-centro) fue de 3 cm. Tras la colocación de los electrodos se solicitó al sujeto la ejecución de diversos movimientos para comprobar la correcta ubicación de los mismos y examinar la calidad de la señal EMG. Con el objeto de aislar y proteger los electrodos en aquellos sujetos con mayor transpiración, fue necesaria la colocación de cinta adhesiva sobre la parte no metálica del electrodo. Así mismo se colocó una malla elástica (Elastofix<sup>®</sup> S N<sup>o</sup>7) sobre el tronco para reducir el movimiento de los cables del electromiógrafo.

Con el objeto de obtener un valor de referencia con el cual normalizar la EMG de los músculos referidos, se realizaron dos series de contracciones voluntarias isométricas máximas (MVICs) contra resistencia manual. Para los músculos abdominales, el sujeto realizó contracciones máximas de flexión del tronco, flexión lateral y rotación. Para los músculos extensores, se realizaron extensiones máximas del tronco. Cada contracción máxima fue mantenida durante 4-5 s y se dejaron 5 min de descanso entre las series. Las MVICs fueron realizadas antes del registro de los ejercicios de estabilización. El protocolo para la ejecución de las MVICs ha sido descrito en estudios anteriores (Vera-García, Moreside y McGill, 2010).

## Procedimiento

Las participantes realizaron los siguientes ejercicios de estabilización:

*Puente ventral* (PV en la Figura 1): El sujeto se situó en decúbito prono, apoyando las manos y los pies sobre una camilla de registro, con el tronco totalmente alineado con sus extremidades inferiores y la columna en posición neutra. Las manos y los pies se colocaron con una separación aproximada a la anchura de los hombros y las caderas, respectivamente.

*Puente dorsal* (PD en la Figura 1): El sujeto se situó en decúbito supino, apoyando las manos y los pies sobre la camilla, con el tronco totalmente alineado con sus extremidades inferiores y la columna en posición neutra. Las manos se colocaron con una separación aproximada a la anchura de los hombros y los pies juntos.

*Puente lateral derecho* (PLD en la Figura 1): El sujeto se colocó en decúbito lateral sobre el lado derecho, apoyando la mano de ese lado directamente debajo del hombro. El pie derecho se apoyó en el suelo por su parte externa y el pie izquierdo se situó justo delante, apoyado por su parte interna. El sujeto mantuvo la pelvis elevada, con el tronco totalmente alineado con sus extremidades inferiores, y con la columna en posición neutra.

*Puente lateral izquierdo* (PLI en la Figura 1): Ejercicio similar al anterior, pero ejecutado sobre el lado izquierdo.

Antes del registro de la EMG, las participantes fueron instruidas verbal y visualmente sobre la correcta realización de los *puentes*. El orden de la ejecución de los ejercicios se distribuyó de forma aleatoria entre los sujetos para evitar que este factor condicionara los resultados. Durante el registro de la EMG, se realizó una repetición isométrica de 5 s de duración en cada una de las tareas. La recuperación entre ejercicios fue de 2 min. Los ejercicios fueron supervisados por dos investigadores experimentados, que controlaron la correcta colocación de las participantes.

## Tratamiento de los datos

En primer lugar se realizó una revisión de los datos EMG para eliminar posibles artefactos. A continuación, la señal EMG fue rectificadas ("full wave rectified"), suavizada mediante el promedio de los datos cada 0.01 s (Software MegaWin 2.5<sup>®</sup>) y normalizada respecto a los valores EMG máximos obtenidos durante la realización de las MVICs. Se promedió la señal EMG normalizada de los 3 s centrales de cada uno de los músculos y tareas analizadas.

## Análisis estadístico

Con el objeto de comparar las medias de la EMG normalizada, se realizó un análisis de la varianza de medidas repetidas (ANOVA) de dos factores (músculo, tarea). Cuando el ANOVA determinó la existencia de diferencias significativas, se calculó el post hoc de Bonferroni para localizar el origen de las mismas. La hipótesis nula fue rechazada al nivel de significación del 95 % ( $p \leq 0.05$ ). El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa SPSS 18.0.

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan las medias de la señal EMG normalizada obtenidas en los músculos del tronco para cada uno de los ejercicios. Los estadísticos descriptivos mostraron que los niveles de activación muscular necesarios para estabilizar el tronco durante la ejecución de los *puentes* fueron bajos o moderados. Así, el OE fue el único músculo que superó el 30% MVIC durante la ejecución de las tareas (*punte lateral derecho*: 66.4% MVIC).

**Tabla 1.** Media y desviación típica (entre paréntesis) de la EMG normalizada de los músculos rectus abdominis derecho (RA), obliquus externus abdominis derecho (OE), obliquus internus abdominis derecho (OI) y erector spinae derecho (ES) durante la realización de los ejercicios de estabilización.

EJERCICIOS	RA	OE	OI	ES
<i>Puente ventral</i>	26.5 (14.4) <sup>d</sup>	36.1 (14.7) <sup>d</sup>	26.4 (14.8) <sup>d</sup>	8.0 (7.3)
<i>Puente lateral derecho</i>	18.9 (9.5)	66.4 (29.9) <sup>a,c,d</sup>	28.3 (16.7)	20.8 (7.4)
<i>Puente lateral izquierdo</i>	5.7 (3.3) <sup>b</sup>	2.6 (1.4)	10.3 (7.2) <sup>b</sup>	7.3 (4.4) <sup>b</sup>
<i>Puente dorsal</i>	2.8 (1.7)	2.1 (1.4)	6.4 (4.2) <sup>b</sup>	37.4 (10.8) <sup>a,b,c</sup>

Resultado de las comparaciones entre músculos (post hoc de Bonferroni):

<sup>a</sup> indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) respecto a RA.

<sup>b</sup> indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) respecto a OE.

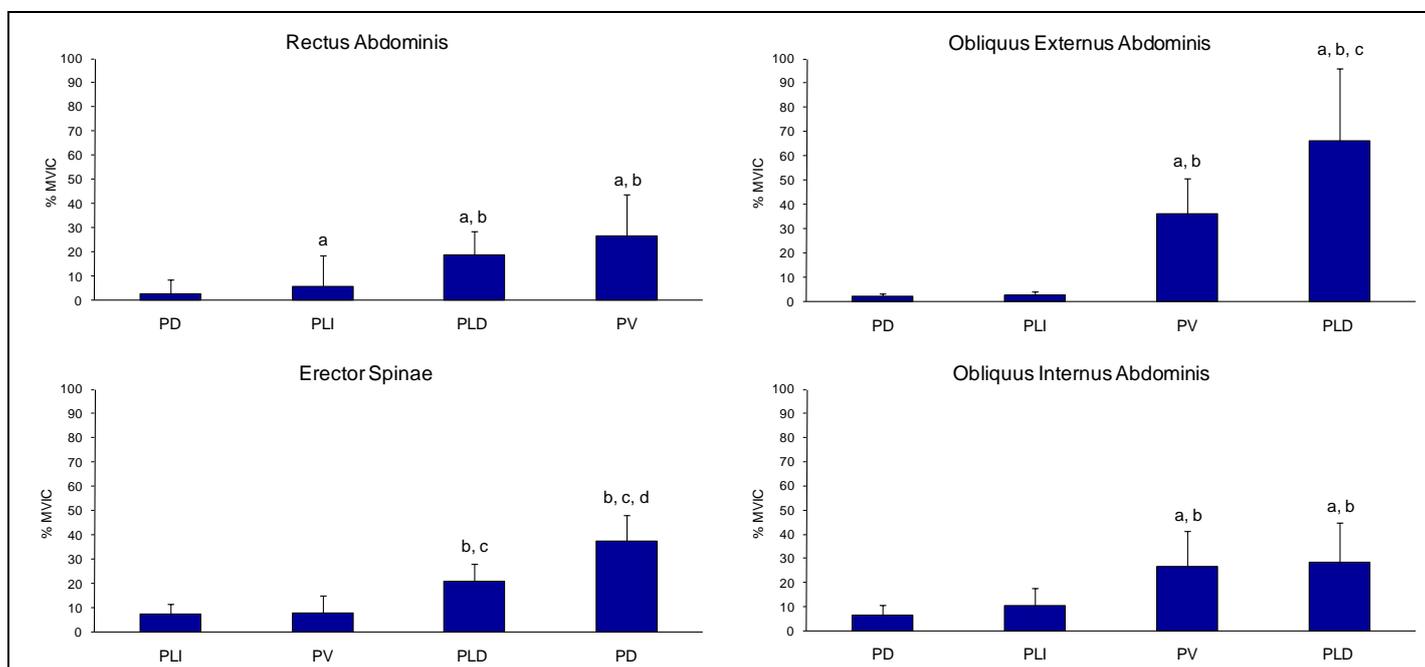
<sup>c</sup> indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) respecto a OI.

<sup>d</sup> indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) respecto a ES.

El análisis de la varianza mostró una interacción significativa músculo\*tarea ( $F = 43.304$ ;  $p \leq 0.001$ ). Cuando se comparó entre músculos, se encontraron diferencias en todos los ejercicios analizados (Tabla 1). En el *punte ventral*, la intensidad de la activación de los músculos del abdomen fue

significativamente mayor que la del ES ( $p \leq 0.006$ ), destacando sobre todo la obtenida en el OE (36.1 % MVIC). En el *punte lateral derecho*, aunque se coactivaron todos los músculos del lado derecho, el nivel de activación también fue superior en el OE ( $p \leq 0.001$ ). Por el contrario, en el *punte lateral izquierdo*, la activación de los músculos del lado derecho del tronco fue muy baja. El OI fue el único músculo cuya media de activación superó el 10% MVIC. Por último, en el *punte dorsal*, el mayor nivel de activación se produjo en el ES (37.4 % MVIC), alcanzando diferencias significativas con los niveles registrados en los músculos del abdomen ( $p \leq 0.001$ ).

Como se observa en la Figura 2, los mayores niveles de activación abdominal se produjeron en el *punte ventral* y en el *punte lateral derecho*, aunque para los músculos oblicuos (sobre todo el EO), el *punte lateral* produjo mayores niveles de activación que el *punte ventral*. Por otro lado, el ES consiguió la mayor activación en el *punte dorsal*, seguido por el *punte lateral derecho*.



**Figura 2.** Comparación de la EMG media normalizada obtenida en cada músculo entre las diferentes tareas: punte ventral (PV), punte lateral derecho (PLD), punte lateral izquierdo (PLI) y punte dorsal (PD). Las tareas han sido ordenadas de menor a mayor nivel de activación. Asimismo, se presentan los resultados de las comparaciones por pares de Bonferroni: <sup>a</sup> indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) respecto a PD; <sup>b</sup> indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) respecto a PLI; <sup>c</sup> indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) respecto a PV; <sup>d</sup> indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) respecto a PLD.

## DISCUSIÓN

Los *puentes* son ejercicios utilizados para el desarrollo de patrones de coactivación muscular que facilitan el control postural del tronco y la estabilidad

raquídea (McGill, 2002). La selección de estas tareas no siempre se realiza aplicando criterios científicos, sino en función de la experiencia de los monitores, entrenadores o fisioterapeutas. El objetivo de nuestro trabajo fue describir la participación de músculos abdominales y lumbares durante la ejecución de los *puentes* más utilizados actualmente (*ventral, dorsal y lateral*) y, de este modo, aportar información útil para el diseño de programas de ejercicios de estabilización.

Como muestran tanto nuestros resultados (tabla 1), como los de estudios previos (Kavcic y cols, 2004; Lehman y cols, 2005; Stevens y cols, 2006), se necesitan niveles de activación de intensidad baja o moderada para mantener el tronco elevado y el raquis en posición neutra durante el desarrollo de los *puentes*. Así, resultados de estudios que han medido la estabilidad mecánica del raquis indican que no es necesario generar niveles de activación elevados para estabilizar el raquis ante las fuerzas a las que es sometido en gran parte de las acciones que se realizan diariamente (Cholewicki y McGill, 1996; Vera-García y cols, 2006, 2007a y 2007b). Por el contrario, es importante que los músculos se activen de forma coordinada (Brown y cols, 2006; McGill y cols, 2003), generando patrones de coactivación muscular que garanticen la estabilidad de las estructuras vertebrales.

En este estudio, los patrones de coactivación muscular registrados durante la realización de los *puentes* isométricos se caracterizaron por la activación preferencial de aquellos músculos que contrarrestaron el peso de la parte inferior del tronco, manteniendo la columna en posición neutral ante la fuerza de la gravedad. Dependiendo de la colocación del cuerpo durante los *puentes* (supino, prono o lateral), el patrón de reclutamiento muscular cambió, alterando la contribución relativa de cada músculo.

En el *punte dorsal*, el ES alcanzó los mayores niveles de activación (37.4% MVIC), ya que es el único músculo de los analizados que genera momentos de extensión del tronco. Resultados similares han sido obtenidos en estudios previos (Ekstrom y cols, 2007; Kavcic y cols, 2004; Konrad y cols, 2001; Lehman y cols, 2005; Stevens y cols, 2006). En estos trabajos los niveles de activación del ES oscilaron entre el 13% MVIC (Kavcic y cols, 2004) y el 36.96% MVIC (Konrad y cols, 2001), en función de las diferentes técnicas de ejecución del ejercicio y de los métodos de registro y tratamiento de la señal EMG. A diferencia del resto de trabajos, los *puentes* analizados en nuestro estudio se ejecutaron con los codos extendidos (*puentes altos*), mientras que en otros trabajos el *punte dorsal* se realizó apoyando la cintura escapular y la planta de los pies, con las rodillas flexionadas (Ekstrom y cols, 2007; Kavcic y cols, 2004; Konrad y cols, 2001; Lehman y cols, 2005; Stevens y cols, 2006). En relación a la EMG de superficie, las diferentes técnicas de normalización utilizadas, así como otras diferencias en el registro y tratamiento de la señal, dificultan la comparación directa entre los niveles de activación muscular obtenidos en los diferentes estudios (Monfort-Pañego, Vera-García, Sánchez-Zuriaga y Sarti-Martínez, 2009).

En el *punteo ventral* o *frontal*, los músculos abdominales se activaron (26.4-36.1% MVIC) para generar un momento flexor que permitió mantener la pelvis elevada en contra de la gravedad. El RA es considerado el flexor principal del tronco, ya que genera momentos de fuerza cuya dirección es perpendicular al plano sagital (momento flexor) y su brazo de potencia es mayor que el del resto de músculos abdominales (Kapandji, 1988). Sin embargo, en nuestro estudio, al igual que en el estudio de Lehman y cols (2005) e Imai y cols (2010), el OE fue el músculo que alcanzó los mayores niveles de activación. No obstante, en los trabajos de Ekstrom y cols (2007) y McGill y Karpowicz (2009) no se encontraron diferencias importantes entre los músculos del abdomen. Nuevamente, el origen en las discrepancias entre estudios puede estar en las diferentes formas de ejecución de los ejercicios y en aspectos relacionados con el registro y tratamiento de la señal EMG.

En el *punteo lateral derecho*, la postura fue mantenida gracias a la coactivación de los músculos del lado derecho del tronco. Por su ubicación más lateral, los músculos oblicuos, sobre todo el OE, tienen una mayor capacidad de estabilizar el tronco en este tipo de *puentes*, alcanzando mayores niveles de activación muscular (Ekstrom y cols, 2007; Imai y cols, 2010; Kavcic y cols, 2004; Lehman y cols, 2005; McGill y Karpowicz, 2009). El RA y el ES también alcanzaron niveles de activación relativamente importantes (alrededor del 20% MVIC). En el *punteo lateral izquierdo* los músculos del lado derecho del tronco apenas se activaron, ya que de haberlo hecho habrían facilitado el descenso de la pelvis. En los esfuerzos realizados en el plano frontal (flexión o inclinación lateral), los músculos de los lados derecho e izquierdo del tronco participan como antagonistas entre sí, es decir, la musculatura del lado derecho es agonista de los momentos de flexión hacia la derecha y la musculatura del lado izquierdo es agonista de los momentos de flexión hacia la izquierda (McGill y Karpowicz, 2009). En este estudio sólo hemos registrado músculos del lado derecho del tronco, si hubiéramos registrado los músculos del lado izquierdo, cabe esperar que éstos se hubieran activado con mayor intensidad durante el *punteo lateral izquierdo*.

Desde un punto de vista práctico, la Figura 2 permite a los profesionales de las ciencias de la actividad física, el deporte y la salud elegir los ejercicios que activan con mayor intensidad a cada uno de los músculos analizados. Así, el *punteo ventral* y el *punteo lateral derecho* activaron los músculos del abdomen con un nivel de intensidad apropiado para el desarrollo de la resistencia muscular. Con relación a la musculatura erectora, el ES se activó con mayor intensidad durante el *punteo dorsal*, aunque también alcanzó niveles relativamente elevados en el *punteo lateral derecho*. Pese a que es más conocida la función extensora del ES, sus fascículos más laterales o alejados de la columna vertebral, también generan momentos de flexión lateral (Hubleby-Kozey, Butler y Kozey, en prensa). Tradicionalmente, los ejercicios de flexión lateral se han utilizado para acondicionar los músculos oblicuos, pero se ha obviado su efecto sobre el resto de músculos del tronco, es decir, todos aquellos situados en el lado donde se produce el movimiento.

Los ejercicios analizados en este estudio se realizaron en el plano sagital (*puentes dorsal y ventral*) o frontal (*puente lateral*). Para realizar esfuerzos en el plano horizontal (de rotación) durante la ejecución de los *puentes*, es necesario elevar o mover alguno de los miembros inferiores o superiores. Así, por ejemplo, al eliminar uno de los 4 puntos de apoyo durante un *puente ventral* (elevando un brazo), el cuerpo tenderá a girar y será necesario activar la musculatura rotadora para mantener la posición. Estudios futuros deberían analizar el reclutamiento de los músculos del tronco durante la ejecución de *puentes* con movimientos de segmentos, ya que sólo tenemos constancia de estudios que han analizado el efecto del movimiento del miembro inferior durante la ejecución del *puente dorsal* (Bjerkefors y cols, 2010; Ekstrom y cols, 2007; Kavcic y cols, 2004; Stevens y cols, 2006).

Las participantes en este estudio eran mujeres sanas y con experiencia en la realización de ejercicios de estabilización raquídea. Posiblemente, si la muestra hubiera estado compuesta por personas con un bajo nivel de condición física o sin experiencia en la realización de este tipo de ejercicios, los niveles de activación muscular hubieran sido diferentes. Estudios futuros deberían comparar la electromiografía de músculos del tronco durante la ejecución de *puentes* en diferentes poblaciones (personas sedentarias o con dolor lumbar, varones, etc.).

## CONCLUSIONES

Los *puentes* generaron patrones de coactivación muscular de intensidad baja o moderada que pueden ser utilizados para mejorar la capacidad de estabilización del raquis y la resistencia muscular. Estos patrones se caracterizaron por la activación preferencial de aquellos músculos cuya activación se opone a la fuerza de la gravedad, es decir, los músculos del abdomen en el *puente ventral*, los músculos del lado del brazo de apoyo en el *puente lateral* y los músculos erectores en el *puente dorsal*. Esta información permitirá a los profesionales de la actividad física, el deporte y la salud elegir los ejercicios que se adapten mejor a las necesidades de sus deportistas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Axler, C.T. y McGill, S.M. (1997). Low back loads over a variety of abdominal exercises: searching for the safest abdominal challenge. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29, 804-811.
- Bjerkefors, A., Ekblom, M.M., Josefsson, K. y Thorstensson, A. (2010). Deep and superficial abdominal muscle activation during trunk stabilization exercises with and without instruction to hollow. *Manual Therapy*, 15(5), 502-507.
- Brown, S.H.M., Vera-García, F.J. y McGill, S.M. (2006). Effects of abdominal muscle coactivation on the externally pre-loaded trunk: variations in motor control and its effect on spine stability. *Spine*, 3(13), E387-93.

- Cholewicki, J. y McGill, S.M. (1996). Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clinical Biomechanics*, 11, 1-15.
- Delagi, E.F., Perotto, A., Lazzeti, J. y Morrison, D. (1981). *Anatomic Guide for the Electromyographer*. Springfield, USA: Charles C. Thomas Publisher.
- Ekstrom, R.A., Donatelli, R.A. y Carp, K.C. (2007). Electromyographic analysis of core trunk, hip, and thigh muscles during 9 rehabilitation exercises. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 37, 754-762.
- Gómez-Conesa, A. y Valbuena Moya, S. (2005). Lumbalgia crónica y discapacidad laboral. *Fisioterapia*, 27(5), 255-265.
- Hubleby-Kozey, C.L., Butler, H.L. y Kozey, J.W. (En prensa). Activation amplitude and temporal synchrony among back extensor and abdominal muscles during a controlled transfer task: comparison of men and women. *Human Movement Science*.
- Imai, A., Kaneoka, K., Okubo, Y., Shiina, I., Tatsumura, M., Izumi, S. y Shiraki, H. (2010). Trunk muscle activity during lumbar stabilization exercises on both a stable and unstable surface. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(6), 369-375.
- Kapandji, I.A. (1988). *Cuadernos de fisiología articular. Cuaderno III. Tronco y raquis*. Barcelona, Spain: Masson.
- Kavicic, N., Grenier, S. y McGill, S.M. (2004). Quantifying tissue loads and spine stability while performing commonly prescribed low back stabilization exercises. *Spine*, 29, 2319-2329.
- Konrad, P., Schmitz, K. y Denner, A. (2001). Neuromuscular evaluation of trunk-training exercises. *Journal of Athletic Training*, 36, 109-118.
- Lehman, G.J., Hoda, W. y Oliver, S. (2005). Trunk muscle activity during bridging exercises on and off a Swiss ball. *Chiropractic & Osteopathy*, 13, 14.
- McGill, S.M. (2002). *Low back disorders. Evidence-based prevention and rehabilitation*. Champaign, Illinois, USA: Human Kinetics.
- McGill, S.M., Grenier, S., Kavcic, N. y Cholewicki, J. (2003). Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13, 353-359.
- McGill, S.M. y 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.
- Monfort-Pañego, M., Vera-García, F.J., Sánchez-Zuriaga, D. y Sarti-Martínez, M.A. (2009). Electromyographic studies in abdominal exercises: a literature synthesis. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 32(3), 232-244.
- Moreside, J.M., Vera-García, F.J. y McGill, S.M. (2007). Trunk muscle activation patterns, lumbar compressive forces, and spine stability when using the bodyblade. *Physical Therapy*, 87, 153-163.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (1981). *A work practices guide for manual lifting. Technical Report No. 81-122*. Cincinnati, Ohio, USA: US Dept of Health and Human Service (NIOSH).

- Ng, J.K., Kippers, V. y Richardson, C.A. (1998). Muscle fibre orientation of abdominal muscles and suggested surface EMG electrode positions. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 38(1), 51-58.
- Sánchez-Zuriaga, D., Vera-García, F.J., Moreside, J.M. y McGill, S.M. (2009). Trunk muscle activation patterns and spine kinematics when using an oscillating blade: influence of different postures and blade orientations. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(6), 1055-1060.
- Stevens, V.K., Bouche, K.G., Mahieu, N.N., Coorevits, P.L., Vanderstraeten, G.G. y Danneels, L.A. (2006). Trunk muscle activity in healthy subjects during bridging stabilization exercises. *BMC Musculoskeletal Disorder*, 7, 75.
- Stevens, V.K., Vleeming, A., Bouche, K.G., Mahieu, N.N., Vanderstraeten, G.G. y Danneels, L.A. (2007). Electromyographic activity of trunk and hip muscles during stabilization exercises in four-point kneeling in healthy volunteers. *European Spine Journal*, 16, 711-718.
- Urquhart, D.M., Barker, P.J., Hodges, P.W., Story, I.H. y Briggs, C.A. (2005). Regional morphology of the transversus abdominis and obliques internus and external abdominis muscles. *Clinical Biomechanics*, 20, 233-241.
- Vera-García, F.J., Brown, S.H.M., Gray, J.R. y McGill, S.M. (2006). Effects of different levels of torso coactivation on trunk muscular and kinematic responses to posteriorly applied sudden loads. *Clinical Biomechanics*, 21(5), 443- 455.
- Vera-García, F.J., Elvira, J.L.L., Brown, S.H.M. y McGill, S.M. (2007a). Effects of abdominal stabilization maneuvers on the control of spine motion and stability against sudden trunk perturbations. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(5), 556-567.
- Vera-García, F.J., Grenier, S.G. y McGill, S.M. (2000). Abdominal response during curl-ups on both stable and labile surfaces. *Physical Therapy*, 80, 564-569.
- Vera-García, F.J., Moreside, J.M., Flores-Parodi, B. y McGill, S.M. (2007b). Activación de los músculos del tronco durante situaciones que requieren de la estabilización del raquis. Estudio de caso único. *Apunts: Educación física y deportes*, 87, 14-26.
- Vera-García, F.J., Moreside, J.M. y McGill, S.M. (2010). MVC techniques to normalize trunk muscle EMG in healthy women. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(1), 10-16.

**Referencias totales / Total references:** 29 (100%)

**Referencias propias de la revista / Journal's own references:** 0 (0%)