

López-Valenciano, A.; Biviá-Roig, G.; Lisón, J.F. y Vera-García, F.J. (2013). Estudio electromiográfico de ejercicios de flexión del tronco sobre banco inclinado / Electromyographic study of trunk flexion exercises on inclined board. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 13 (52) pp. 657-671. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista52/artestudio413.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista52/artestudio413.htm)

ORIGINAL

ESTUDIO ELECTROMIOGRÁFICO DE EJERCICIOS DE FLEXIÓN DEL TRONCO SOBRE BANCO INCLINADO

ELECTROMYOGRAPHIC STUDY OF TRUNK FLEXION EXERCISES ON INCLINED BOARD

López-Valenciano, A.¹; Biviá-Roig, G.²; Lisón, J.F.² y Vera-García, F.J.¹

¹ Centro de Investigación del Deporte. Universidad Miguel Hernández de Elche. E-mail: alejandro.lopez@graduado.umh.es, fvera@umh.es

² Departamento de Fisioterapia. Universidad CEU-Cardenal Herrera. E-mail: gemma.bivia@uch.ceu.es, juanfran@uch.ceu.es

Código UNESCO / UNESCO Code: 2406.04 Biomecánica / Biomechanics

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

Recibido 30 de Julio, 2011 **Received** July 30, 2011

Aceptado 31 de enero, 2013 **Accepted** January 31, 2013

RESUMEN

El objetivo del estudio fue analizar la electromiografía de *rectus*, *obliquus externus* y *obliquus internus abdominis*, *erector spinae* y *biceps femoris* de 10 hombres y 10 mujeres durante encorvamientos isométricos del tronco sobre un banco en diferentes posiciones: horizontal (0°), inclinado 10° con la cabeza en la parte inferior (-10°) y superior del banco (+10°) e inclinado 20° con la cabeza en la parte inferior (-20°) y superior del banco (+20°). Los resultados mostraron un incremento de la activación muscular al aumentar la pendiente en las inclinaciones negativas (cabeza abajo). En las inclinaciones positivas, el incremento de la pendiente desde +10° hasta +20° redujo la activación del *rectus abdominis*, pero incrementó la de los músculos oblicuos, especialmente la del *obliquus internus*. Aunque los hombres y las mujeres respondieron de forma similar ante los cambios en la inclinación, se encontraron mayores niveles de activación en el *obliquus internus* en las mujeres.

PALABRAS CLAVE: Banco inclinado, acondicionamiento físico, musculatura del tronco, electromiografía.

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the electromyography of *rectus*, *obliquus externus* and *obliquus internus abdominis*, *erector spinae* and *biceps femoris* of 10 men and 10 women while performing isometric crunches on a board in different positions: horizontal (0°), inclined 10° with the head at the bottom (-10°) and at the top of the bench ($+10^\circ$), and inclined 20° with the head at the bottom (-20°) and at the top of the bench ($+20^\circ$). The results showed a muscular activation increase when the slope increased in the negative inclinations (upside down). In the positive inclinations, increasing the slope from $+10^\circ$ to $+20^\circ$ reduced the *rectus abdominis* activation, but increased the activation of the oblique muscles, especially of the *obliquus internus*. Although men and women responded similarly to changes in the board inclination, women showed higher levels of *obliquus internus* activation.

KEY WORDS: Inclined board, fitness, trunk muscles, electromyography.

INTRODUCCIÓN

La práctica regular de ejercicios de acondicionamiento de la musculatura del tronco dentro de programas de entrenamiento estructurados permite mejorar los niveles de fuerza y resistencia de la musculatura abdominal (Bell y Laskin, 1985; Vera-Garcia, 2003). El éxito de estos programas depende de múltiples factores, principalmente, del número y tipo de ejercicios utilizados (Axler y McGill, 1997; Juker, McGill, Kropf y Steffen, 1998), del tipo y velocidad de contracción muscular (Vera-Garcia, 2003; Vera-Garcia, Flores-Parodi, Elvira y Sarti, 2008) y de la intensidad, volumen y frecuencia del entrenamiento (Cissik, 2002; Vera-Garcia, Monfort y Sarti, 2005b). Por ello, comprender cómo los diferentes ejercicios activan la musculatura abdominal, mediante electromiografía, es útil para que los profesionales de las ciencias de la actividad física y del deporte puedan desarrollar programas de ejercicios abdominales acordes a la intensidad e idoneidad de los ejercicios.

En biomecánica, la selección y prescripción de ejercicios para el acondicionamiento de la musculatura abdominal se basa en dos criterios principales: la eficacia y la seguridad. Así, un ejercicio es considerado eficaz cuando durante su ejecución la musculatura abdominal se activa con un nivel de intensidad suficiente como para producir adaptaciones (Juker y cols, 1998; Monfort-Pañego, Vera-Garcia, Sánchez-Zuriaga y Sarti-Martínez, 2009; Vera-Garcia y cols, 2008; Vera-Garcia, Grenier, y McGill, 2000). Por otro lado, la seguridad se valora mediante estudios de la carga mecánica en los tejidos, considerando seguros aquellos ejercicios que no someten a las estructuras vertebrales a cargas elevadas (Axler y McGill, 1997; Kavcic, Grenier y McGill, 2004). Entre los ejercicios que han sido identificados como eficaces y seguros destacan los siguientes: el encorvamiento del tronco ("*crunch*" o "*curl up*": ejercicio de flexión de la parte superior del tronco en decúbito supino) (Axler y

McGill, 1997; Kavcic y cols, 2004), el puente lateral (“*side bridge*”: ejercicio de estabilización raquídea que se realiza en posición lateral, y que consiste en mantener la pelvis elevada y el raquis en posición neutral, apoyando sólo un brazo y una o dos piernas) (Axler y McGill, 1997; Kavcic y cols, 2004) y el “perro de muestra” (“*bird dog*”: ejercicio de estabilización raquídea que consiste en elevar un brazo y la pierna contralateral desde la posición de cuadrupedia) (Kavcic y cols, 2004).

En los últimos años existe un gran interés por desarrollar implementos y materiales eficaces y seguros para llevar a cabo los programas de entrenamiento de tronco. La mayoría de estos materiales han sido diseñados con dos objetivos principales: a) crear patrones de coactivación abdominal que incrementen la estabilidad del raquis, como por ejemplo las superficies inestables (bosu, fitball, etc.) (Bressel, Willardson, Thompson y Fontana, 2009; Vera-Garcia y cols, 2000) y las barras oscilantes (Bodyblade®, Flexibar®, etc.) (Moreside, Vera-Garcia y McGill, 2007; Sánchez-Zuriaga, Vera-Garcia, Moreside y McGill, 2009; Vera-Garcia, Moreside, Flores-Parodi y McGill, 2007); y/o b) aumentar la intensidad de la contracción muscular mediante la utilización de balones medicinales (Vera-Garcia y cols, 2007), pesos libres (Cerny, 1991), máquinas de entrenamiento abdominal (Sternlicht y Rugg, 2003; Vera-Garcia y Sarti, 1999), planos inclinados (Escamilla, Babb, DeWitt, Jew, Kelleher, Burnham, Busch, D’Anna, Mowbray e Imamura, 2006; Guimaraes, 1991; Gutin y Lipetz, 1971; Monfort, 1998; Moraes, Bankoff y Pellegrinotti, 1995), etc.

A pesar del gran número de estudios electromiográficos que han valorado la participación de los músculos del tronco en ejercicios abdominales, son escasos los trabajos que han analizado la intensidad de la contracción o la coordinación de los músculos del tronco durante la realización de ejercicios de acondicionamiento abdominal sobre un banco o plano inclinado (Escamilla y cols, 2006; Guimaraes, 1991; Gutin y Lipetz, 1971; Monfort, 1998; Moraes y cols, 1995). En estos estudios se ha registrado, principalmente, la actividad electromiográfica del *rectus abdominis* y del *obliquus externus abdominis* durante la realización de ejercicios como la incorporación del tronco (“*sit up*”: ejercicio de flexión de tronco y cadera desde posición supina hasta alcanzar una posición sedente) (Guimaraes, 1991; Gutin y Lipetz, 1971; Monfort, 1998; Moraes y cols, 1995), el encorvamiento del tronco (Monfort, 1998) y el encorvamiento inferior del tronco (“*reverse crunch*”: ejercicio de flexión de la parte inferior del tronco en decúbito supino) (Escamilla y cols, 2006; Monfort, 1998).

Según los resultados obtenidos en estos estudios la utilización de planos inclinados aumenta la intensidad de la activación de *rectus* y *obliquus externus abdominis* en ejercicios de encorvamiento del tronco (Monfort, 1998) y encorvamiento inferior (Escamilla y cols, 2006; Monfort, 1998), aunque no siempre ocurre así en las incorporaciones del tronco (Guimaraes, 1991; Gutin y Lipetz, 1971; Monfort, 1998; Moraes y cols, 1995). En estos trabajos únicamente se ha comparado la activación muscular entre un plano inclinado y el plano horizontal, por lo que es necesario profundizar en el conocimiento de la

respuesta de los músculos del tronco en múltiples planos inclinados. Otra incógnita es la participación de los músculos profundos del abdomen durante la utilización de este tipo de materiales, ya que sólo tenemos constancia de un estudio donde se analizó la activación del *obliquus internus abdominis* (Escamilla y cols, 2006). En este trabajo se registró una mayor activación del *obliquus internus abdominis* durante la ejecución de un encorvamiento inferior del tronco sobre un plano inclinado en comparación con un plano horizontal.

Durante la utilización de los planos inclinados, los participantes suelen colocar la zona del cuerpo que se moviliza en la parte más baja del banco, con el objeto de incrementar la intensidad del ejercicio. Así, por ejemplo, durante la ejecución de un encorvamiento del tronco los participantes se colocan en decúbito supino sobre el banco, con las piernas sujetas en la parte superior y con el tórax, los brazos y la cabeza en la parte inferior. No tenemos constancia de estudios que hayan valorado otras formas de utilización de los planos inclinados, como por ejemplo, situando a los participantes en la disposición contraria, es decir, con la parte del cuerpo a movilizar en la parte superior del banco.

El objetivo de este estudio fue analizar, mediante electromiografía de superficie, el reclutamiento de los músculos *rectus abdominis*, *obliquus externus abdominis*, *obliquus internus abdominis*, *erector spinae* y *biceps femoris* durante la realización de un encorvamiento isométrico de tronco en las siguientes posiciones (Figura 1): posición inclinada a 10° y 20° respecto a la posición horizontal con la cabeza en la parte inferior del banco (inclinación -10° y -20° , respectivamente); posición horizontal o convencional (0°); posición inclinada a 10° y 20° respecto a la posición horizontal con la cabeza en la parte superior del banco (inclinación $+10^\circ$ y $+20^\circ$, respectivamente).



Figura 1. Imagen de la realización del ejercicio de encorvamiento del tronco en diferentes posiciones: A) Inclinación negativa (cabeza abajo); B) Posición horizontal (ejercicio convencional); C) Inclinación positiva (cabeza arriba).

Desde un punto de vista mecánico, el aumento de la pendiente en las inclinaciones negativas (cabeza abajo) incrementará el brazo de resistencia (distancia entre el centro de masas de los segmentos corporales a movilizar y el fulcro), y por tanto, la dificultad del ejercicio, por lo que hipotetizamos un aumento de la intensidad de activación muscular. Asimismo, el aumento de la

pendiente en las inclinaciones positivas (cabeza arriba) facilitará la elevación del tórax durante la realización de los encorvamientos del tronco, lo que debe reducir la activación del *rectus abdominis*, flexor principal del tronco. Por otro lado, teniendo en cuenta el rol del *obliquus internus abdominis* en la contención de las vísceras abdominales en posición erecta (Floyd y Silver, 1950; Keiichi, 1958; Vera-Garcia, Moreside y McGill, 2011), hipotetizamos que la activación de los músculos oblicuos no se reducirá con el aumento de la pendiente en las inclinaciones positivas. Así, los músculos referidos no sólo se activarán para flexionar el tronco, sino también para contener las vísceras abdominales en su cavidad cuando sean empujadas hacia abajo por la flexión del tronco y la fuerza de la gravedad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Participantes

Veinte sujetos sanos participaron voluntariamente en este estudio: 10 hombres (edad = 23.44 ± 2.50 años; masa = 75.67 ± 4.96 kg; altura = 1.76 ± 0.08 m) y 10 mujeres (edad = 22.66 ± 2.12 años; masa = 55.49 ± 8.14 kg; altura = 1.62 ± 0.06 m). Todos los sujetos realizaban actividad física de forma regular (1-3 días/semana), pero no participaban en programas estructurados para el acondicionamiento de la musculatura del tronco. Respetando los principios de la Declaración de Helsinki, antes del inicio de la investigación los participantes fueron informados de las características del estudio y firmaron un documento de consentimiento informado. Fueron excluidos de la investigación los sujetos con problemas médicos, historial de cirugía abdominal o de columna o episodios de dolor lumbar que hubieran requerido tratamiento un año antes del inicio de este estudio.

Instrumentos y registros

El registro de la actividad electromiográfica se realizó con el electromiógrafo de superficie *Muscle Tester ME6000*[®] (Mega Electronics Ltd., Kuopio, Finland). Este electromiógrafo es un microordenador portátil de 8 canales con una conversión A/D de 14 bit, un CMRR 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*[®] y almacenada para su posterior análisis.

La señal EMG fue registrada en los siguientes músculos y localizaciones del lado derecho del cuerpo (Figura 2): *rectus abdominis* (RA), 3 cm a la derecha del proceso umbilical (Garcia-Vaquero, Moreside, Brotons-Gil, Peco-Gonzalez y Vera-Garcia, 2012); *obliquus externus abdominis* (OE), 15 cm a la derecha del ombligo (Bouillon, Wilhelm, Eisel, Wiesner, Rachow, y Hatteberg, 2012; Garcia-Vaquero y cols, 2012); *obliquus internus abdominis* (OI), sobre el centro geométrico del triángulo formado por el ligamento inguinal, el borde

externo de la vaina del recto del abdomen y la línea imaginaria que une la espina ilíaca anterosuperior y el ombligo (Ng, Kippers y Richardson, 1998; Urquhart, Barker, Hodges, Story y Briggs, 2005); *erector spinae* (ES), 3 cm a la derecha de la apófisis espinosa de L3 (García-Vaquero y cols, 2012; Perroto, 2005); y *biceps femoris* (BF), sobre el punto medio de la línea que une la tuberosidad isquiática y el epicóndilo lateral de la tibia derecha (SENIAM guidelines; Hermens, Freriks, Disselhorst-Klug, y Rau, 2000). Estos lugares de colocación de los electrodos fueron ajustados a cada participante en función de sus características anatómicas individuales.



Figura 2. Localización de los electrodos sobre los músculos de la parte derecha del cuerpo analizados en este estudio: RA, *rectus abdominis*; OE, *obliquus externus abdominis*; OI, *obliquus internus abdominis*; ES, *erector spinae*; BF, *biceps femoris*.

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. 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. 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 obtener un valor de referencia con el cual normalizar la EMG, se realizaron dos series de contracciones voluntarias isométricas máximas (MVCs) contra resistencia manual. Para los músculos abdominales, el participante realizó contracciones máximas de flexión del tronco, flexión lateral a derecha e izquierda y rotación a derecha e izquierda. Para el ES y el BF, se realizaron esfuerzos máximos de extensión del tronco y cadera en la posición de Biering-Sorensen (Biering-Sorensen, 1984) y de flexión de rodilla en

sedestación. Cada contracción máxima fue mantenida durante 4-5 s. Se descansó 5 min entre las series para evitar la fatiga muscular. El protocolo para la realización de las MVCs ha sido descrito en estudios anteriores (Vera-García, Moreside y McGill, 2010).

Procedimiento

Antes del inicio de las tareas, los sujetos fueron instruidos verbal y visualmente sobre la correcta realización de los ejercicios. A continuación, los participantes ejecutaron los encorvamientos isométricos del tronco en las diferentes angulaciones (Figura 1): -20° , -10° , 0° , $+10^{\circ}$ y $+20^{\circ}$. Como se muestra en la Figura 1, cada ejercicio de encorvamiento del tronco consistió en la flexión de la parte superior del tronco en sentido cráneo-caudal hasta que el ángulo inferior de la escápula despegaba de la superficie (Vera-García, Arroyo Fenoll, López Elvira, Alonso Roque, Flores-Parodi, Sarti, 2005a; Vera-García y cols, 2008). Los ejercicios fueron supervisados por dos investigadores experimentados, que controlaron la correcta colocación de los sujetos en la posición de encorvamiento del tronco.

El orden de la ejecución de los ejercicios en los diferentes planos se distribuyó de forma aleatoria entre los sujetos para evitar que este factor condicionara los resultados. Durante el registro de la EMG, los sujetos realizaron una contracción isométrica de 10 s en cada una de las tareas. La recuperación entre ejercicios fue de 2 min.

Tratamiento de los datos

En primer lugar se realizó una revisión de los datos EMG para eliminar posibles artefactos en la señal. 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[®]) y normalizada respecto a valores EMG máximos obtenidos durante la realización de las MVCs. Se promedió la señal EMG normalizada de los 6 s centrales de cada uno de los músculos y tareas analizadas.

Análisis estadístico

Con el objeto de comparar las medias de la EMG normalizada entre los diferentes ejercicios, se realizó un análisis de la varianza de medidas repetidas de diseño mixto (ANOVA), con la *inclinación* como factor *intra-sujeto* y el *sexo* como factor *inter-sujeto*. 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 Figura 3 se presenta la actividad eléctrica media obtenida por los músculos RA, OE, OI, ES y BF en las diferentes tareas. Como se puede observar en la gráfica, los niveles de activación de la musculatura abdominal fueron bajos o moderados. Los mayores niveles de activación se obtuvieron en el RA (21.1-33.4% MVC), seguido del OI (15.4-23.6% MVC) y del OE (6.7-10.1% MVC). Los músculos BF y ES apenas se activaron durante la realización de los ejercicios de encorvamiento de tronco.

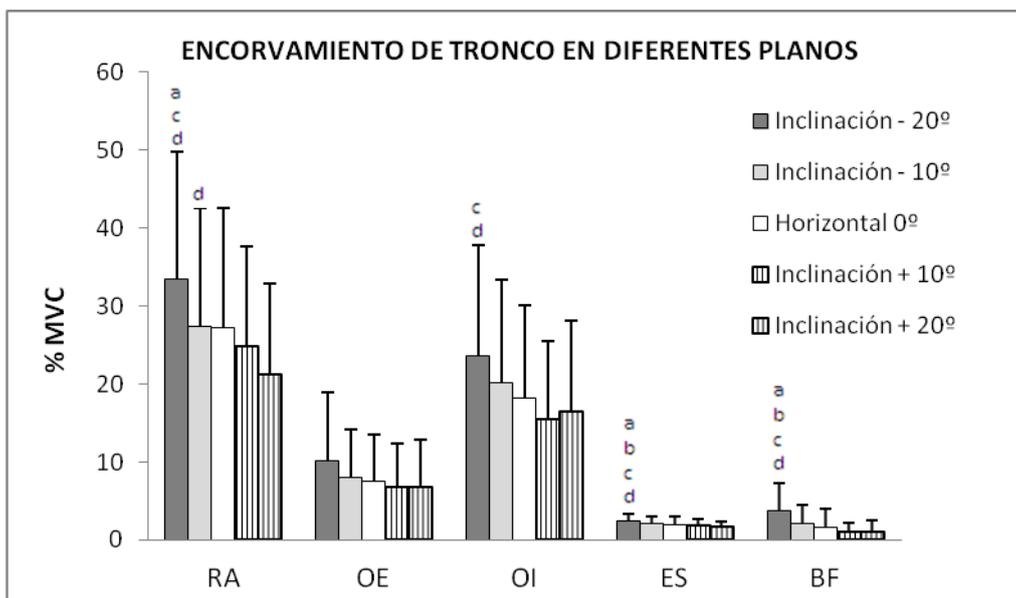


Figura 3. Media y desviación típica de la EMG normalizada de los músculos *rectus abdominis* (RA), *obliquus externus abdominis* (OE), *obliquus internus abdominis* (OI), *erector spinae* (ES) y *biceps femoris* (BF) durante el encorvamiento isométrico del tronco realizado en planos de diferente angulación: a) posición inclinada -20° respecto a la posición horizontal con la cabeza abajo; b) posición inclinada -10° respecto a la posición horizontal con la cabeza abajo; c) posición horizontal (0°); d) posición inclinada +10° respecto a la posición horizontal con la cabeza arriba; e) posición inclinada +20° respecto a la posición horizontal con la cabeza arriba.

Resultado de las comparaciones múltiples de Bonferroni:

- ^a indica diferencias significativas ($p \leq 0.05$) respecto a la inclinación -10°.
- ^b indica diferencias significativas ($p \leq 0.05$) respecto a la posición horizontal (0°).
- ^c indica diferencias significativas ($p \leq 0.05$) respecto a la inclinación +10°.
- ^d indica diferencias significativas ($p \leq 0.05$) respecto a la inclinación +20°.

El ANOVA no mostró una interacción *inclinación***sexo* significativa para ninguno de los músculos analizados ($p > 0.05$; $\eta^2 \leq 0.122$). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas en el factor *inclinación* para RA ($p \leq 0.01$; $\eta^2 = 0.408$), OE ($p \leq 0.05$; $\eta^2 = 0.157$), OI ($p \leq 0.01$; $\eta^2 = 0.229$), ES ($p \leq 0.01$; $\eta^2 = 0.369$) y BF ($p \leq 0.01$; $\eta^2 = 0.403$). Al pasar de una inclinación negativa (cabeza abajo) hacia una inclinación positiva (cabeza arriba) se produjo un descenso en el nivel de activación muscular, siendo éste más significativo en el RA. Según los resultados de la comparación por pares de Bonferroni (Figura 3), se encontraron diferencias significativas en el RA entre la inclinación -20° y el resto de niveles de inclinación ($p \leq 0.05$), excepto en su comparación con el

plano horizontal (0°), y entre las inclinaciones -10° y $+20^{\circ}$ ($p \leq 0.05$). Asimismo, también se encontraron diferencias significativas entre la inclinación -20° y el resto de angulaciones en el BF y en el ES ($p \leq 0.05$) y entre la inclinación -20° y las inclinaciones positivas en el OI ($p \leq 0.05$). No se obtuvieron diferencias significativas entre las distintas inclinaciones para el OE. Como se observa en la Figura 3, a diferencia de los resultados observados en el RA, se registró un ligero aumento en la amplitud de la EMG normalizada de los músculos oblicuos al pasar de la inclinación $+10^{\circ}$ a la inclinación $+20^{\circ}$, especialmente en el OI. No obstante, aunque estas diferencias mostraron una tendencia contraria a la observada en el RA, no fueron estadísticamente significativas.

Respecto al factor sexo, el ANOVA sólo encontró diferencias significativas para el OI ($p \leq 0.01$; $\eta^2 = 0.415$). Los niveles de activación de las mujeres (inclinación -20° : 31.65% MVC; inclinación -10° : 26.62% MVC; posición horizontal: 24.83% MVC; inclinación $+10^{\circ}$: 20.29% MVC; inclinación $+20^{\circ}$: 21.85% MVC) fueron significativamente superiores a los de los hombres (inclinación -20° : 15.57% MVC; inclinación -10° : 13.59% MVC; posición horizontal: 11.59% MVC; inclinación $+10^{\circ}$: 10.54% MVC; inclinación $+20^{\circ}$: 10.88% MVC) en todas las posiciones.

DISCUSIÓN

Estudios biomecánicos han analizado la eficacia y seguridad de diversos aparatos o implementos utilizados para el acondicionamiento de la musculatura abdominal. Entre los materiales analizados se encuentran los planos o bancos inclinados, diseñados para incrementar la intensidad de los ejercicios de flexión del tronco. No obstante, sólo Monfort (1998) ha analizado la EMG de músculos del tronco durante la realización de ejercicios de encorvamiento del tronco en planos inclinados. Otros autores también han analizado la eficacia de estos materiales en ejercicios como el encorvamiento inferior del tronco (Escamilla y cols, 2006; Monfort, 1998) y la incorporación del tronco (Guimaraes, 1991; Gutin y Lipetz, 1971; Monfort, 1998; Moraes y cols, 1995), pero sólo Escamilla y cols (2006) han registrado la EMG del OI. En nuestro estudio analizamos la EMG de RA, OE, OI, ES y BF durante la realización de encorvamientos isométricos del tronco en diferentes planos inclinados (cabeza arriba y cabeza abajo) y en posición horizontal. Los resultados de este estudio confirman nuestras hipótesis, ya que aunque se produjo un incremento en la activación de todos los músculos al pasar de posición horizontal a inclinaciones negativas (cabeza abajo), los resultados fueron diferentes entre músculos al valorar el efecto de las inclinaciones positivas (cabeza arriba). Mientras se redujo la activación del RA al pasar de inclinación $+10^{\circ}$ a inclinación $+20^{\circ}$, la activación de los músculos oblicuos aumentó ligeramente.

Los ejercicios de encorvamiento o flexión del tronco son actividades utilizadas habitualmente por su eficacia y seguridad en el acondicionamiento de los músculos del tronco (Axler y McGill, 1997; Kavcic y cols, 2004). El RA es el flexor principal en estas acciones, ya que se activa con mayor intensidad (Figura 3), sus fibras se acortan en la dirección de la flexión del raquis y genera

momentos flexores a través de un gran brazo de potencia (Kapandji, 1988). Por otro lado, la activación bilateral de los músculos oblicuos también participa decisivamente en la flexión del tronco (McGill, 1996). En este estudio, la activación del OI fue superior a la del OE, corroborando los resultados obtenidos por Andersson, Nilsson y Thorstensson (1997) y Vera-García y cols (2000, 2005a y 2008). No obstante, se han encontrado resultados contrarios en otros trabajos (Juker y cols, 1998), debido posiblemente a diferencias metodológicas relacionadas con la normalización de la señal EMG, la técnica de ejecución de los ejercicios y la colocación de los electrodos, entre otras.

Cuando el encorvamiento del tronco se realizó en plano inclinado cabeza abajo, el rol de los músculos no varió, pero se produjo un incremento significativo de la activación muscular. Esos datos corroboran los resultados del trabajo previo de Monfort (1998). Mecánicamente, el incremento de la activación de los flexores del tronco al pasar de la posición horizontal a la inclinación -20° puede explicarse por el aumento del brazo de resistencia, es decir, por el incremento en la distancia entre el centro de masas de los segmentos corporales a movilizar y el fulcro. Este aumento en el brazo de resistencia incrementó el momento extensor, que obligó a realizar un mayor esfuerzo para mantener la posición de flexión del tronco, y con ello una mayor activación de la musculatura agonista (RA, OI y OE).

Por su parte, los bajos niveles de activación de BF y ES muestran la poca implicación de esta musculatura en ejercicios de flexión de tronco y, por tanto, corroboran que no son músculos agonistas de dicha acción, asociando más su participación a ejercicios de flexión de rodilla o extensión de cadera y tronco (Escamilla y cols, 2006; Guimaraes, 1991; Konrad, Schmitz y Denner, 2001). El hecho de que ambos músculos incrementen el nivel de activación muscular en inclinaciones negativas podría deberse al esfuerzo de la musculatura femoral por mantener la flexión de rodilla durante el ejercicio y al aumento de la compresión de los electrodos contra el banco en el ES (Vera-García y cols, 2008).

Cuando los ejercicios de encorvamiento del tronco se realizaron en plano inclinado cabeza arriba, la distancia entre el centro de masas de los segmentos corporales a movilizar y el fulcro se redujo, reduciendo el momento extensor, y por tanto la participación de los músculos flexores. La activación del RA disminuyó tanto al pasar de la posición horizontal a la inclinación $+10^{\circ}$, como al pasar de la inclinación $+10^{\circ}$ a la inclinación $+20^{\circ}$. Por el contrario, aunque la activación de los músculos oblicuos disminuyó al pasar de la posición horizontal a la inclinación $+10^{\circ}$, se produjo un incremento al pasar de la inclinación $+10^{\circ}$ a la inclinación $+20^{\circ}$, especialmente en el músculo OI (Figura 3), corroborando la hipótesis inicial en la que se postulaba un aumento de la activación de los músculos oblicuos con el aumento de la pendiente en las inclinaciones positivas. No tenemos constancia de la existencia de estudios similares con los que contrastar nuestros resultados; no obstante éstos podrían explicarse por el papel que desempeñan los músculos oblicuos en el sostén de las vísceras abdominales (Floyd y Silver, 1950; Keiichi, 1958; Vera-García y

cols, 2011). Posiblemente, en las inclinaciones positivas, la flexión de la parte superior del tronco y la fuerza de la gravedad empujó hacia abajo a las vísceras abdominales, estirando las fibras de la pared abdominal, sobre todo aquellas con una disposición más transversal, como por ejemplo, las fibras del OI en el lugar donde se colocaron los electrodos (Figura 2) (Ng y cols, 1998; Urquhart y cols, 2005). Así, el estiramiento de las fibras musculares pudo desencadenar reflejos de estiramiento que ayudaron a contener a las vísceras abdominales en su posición y que justificaría el incremento de la EMG normalizada del OI en la inclinación +20°. Teniendo en cuenta que diferentes regiones de los músculos oblicuos pueden ser activadas selectivamente dependiendo de las tareas realizadas (Mirka, Kelaher, Baker, Harrison y Davis, 1997; Moreside, Vera-Garcia y McGill, 2008), los resultados obtenidos podrían haber sido diferentes si hubiéramos analizado el OI en una región donde sus fibras tuvieran una dirección más longitudinal al tronco.

En cuanto al efecto del sexo sobre la respuesta de los músculos del tronco, tanto hombres como mujeres respondieron de forma similar ante los cambios en la inclinación. No obstante, se encontraron mayores niveles de activación en el OI de las mujeres en todas las posiciones analizadas. Aunque hay estudios que han encontrado diferencias entre sexos en la activación de RA, OE y OI durante la generación de momentos de fuerza flexores en diferentes posiciones (Anders, Brose, Hofmann y Scholle, 2007), la mayor parte de estudios electromiográficos no han encontrado diferencias en la activación muscular de hombres y mujeres en ejercicios de tronco (García-Vaquero y cols, 2012; Nelson, Bent-Forsythe y Roopchand-Marin, 2012; Sternlicht y Rugg, 2003). La mayor activación del OI en la mujer podría explicarse por las diferencias morfológicas existentes entre sexos, como por ejemplo, diferencias en el porcentaje de masa muscular (Janssen, Heymsfield, Wang y Ross, 2000), en la forma de la pelvis y en la sección transversal de los músculos del tronco (Marras, Jorgensen, Granata y Wiand, 2001). No obstante, el origen de estas diferencias entre sexos en la activación del OI podría encontrarse también en la normalización de la señal EMG respecto a los valores máximos obtenidos durante las MVCs. En este sentido, en un estudio previo realizado por Vera-Garcia y cols (2010) en bailarinas se encontró una gran dificultad para realizar MVCs que alcanzaran valores máximos reales en la musculatura oblicua. De este modo, es posible que los valores de referencia obtenidos en las mujeres durante las MVCs realizadas en nuestro estudio no fueran realmente máximos, sino submáximos, lo que provocaría que los porcentajes de activación obtenidos durante los ejercicios de encorvamiento del tronco, y calculados respecto a los valores de las MVCs, fueran más elevados de lo que realmente son (Vera-Garcia y cols, 2010). Estudios futuros deben explorar las posibles diferencias en la activación de los músculos del abdomen entre hombres y mujeres, así como su posible relación con diferencias anatómicas, fisiológicas o mecánicas.

La interpretación de los resultados de este estudio está limitada por la gran variabilidad de los datos EMG entre participantes (Figura 3). Este hecho es habitual en los estudios electromiográficos del tronco y suele limitar la

obtención de diferencias significativas entre las diferentes condiciones analizadas (Vera-Garcia y cols, 2010 y 2011). Futuros estudios deberían corroborar nuestros resultados mediante la utilización de un mayor número de ángulos o posiciones e incrementando el tamaño y la homogeneidad de la muestra.

CONCLUSIONES

Los datos de este estudio pueden ser útiles a la hora de establecer progresiones de ejercicios de diferente intensidad. El aumento de la pendiente durante la utilización tradicional de los bancos inclinados (cabeza abajo) incrementó la EMG normalizada de los músculos analizados, por lo que parece una estrategia adecuada para incrementar la intensidad de los ejercicios de encorvamiento del tronco. Por otro lado, teniendo en cuenta que las inclinaciones positivas redujeron el momento extensor, y como consecuencia el momento flexor y la activación del RA, la utilización de los bancos inclinados con el tronco, la cabeza y los brazos en la parte superior, podría ser una estrategia adecuada para facilitar la ejecución de los ejercicios de flexión del tronco en hombres y mujeres con una condición física limitada por la inactividad, las enfermedades o la edad.

Los resultados de este estudio han permitido también profundizar en el estudio de las funciones de los músculos del tronco y sus diferencias en función del sexo. En comparación con los músculos de las extremidades, la activación de estos músculos genera fuerzas que no sólo ayudan a producir diversos movimientos o posturas, sino que también tienen un efecto importante sobre los órganos del abdomen, la pelvis y el tórax (pulmones, intestinos, vejiga, etc.). Así, el aumento en la activación del OI, músculo flexor del tronco, al pasar de inclinación +10° a inclinación +20°, es decir, al reducirse el momento extensor, parece reflejar el rol del OI en la contención de las vísceras del abdomen durante el ejercicio.

BIBLIOGRAFIA

- Anders, C., Brose, G., Hofmann, G.O. y Scholle, H.C. (2007). Gender specific activation patterns of trunk muscles during whole body tilt. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 101, 195-205.
- Andersson, E.A., Nilsson, J., Ma, Z. y Thorstensson, A. (1997). Abdominal and hip flexor muscle activation during various training exercises. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75, 115-123.
- 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.
- Bell, R.D. y Laskin, J. (1985). The use of curl-up variations in the development of abdominal musculature strength and endurance by post 50-year-old volunteers. *Journal of Movement Studies*, 11, 319-324.

- Bressel, E., Willardson, J.M., Thompson, B. y Fontana, F.E. (2009). Effect of instruction, surface stability, and load intensity on trunk muscle activity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19, 500–504.
- Biering-Sorensen, F. (1984). Physical measurements as risk indicators for low-back trouble over a one-year period. *Spine*, 9, 106–19.
- Bouillon, L., Wilhelm, J., Eisel, P., Wiesner, J., Rachow, M. y Hatteberg, L. (2012). Electromyographic assessment of muscle activity between genders during unilateral weight-bearing tasks using adjusted distances. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7, 595-605.
- Cerny, K. (1991). Do curl-up exercises improve abdominal muscle strength?. *Journal of Human Muscle Performance*, 1, 37-47.
- Cissik, J.M. (2002). Programming abdominal training, part I. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24, 9-15.
- Delagi, E.F., Perotto, A., Lazzeti, J. y Morrison, D. (1981). *Anatomic Guide for the Electromyographer*. Springfield, USA: Charles C Thomas Publisher.
- Escamilla, R.F., Babb, E., DeWitt, R., Jew, P., Kelleher, P., Burnham, T., Busch, J., D'Anna, K., Mowbray, R. e Imamura, R.T. (2006). Electromyographic analysis of traditional and nontraditional abdominal exercises: implications for rehabilitation and training. *Physical Therapy*, 86, 656-671.
- Floyd, W.F. y Silver, P.II.S. (1950). Electromyographic study of patterns of activity of the anterior abdominal wall muscles in man. *Journal of Anatomy*, 84, 132-145.
- García-Vaquero, M.P., Moreside, J., Brotons-Gil, E., Peco-Gonzalez, N. y Vera-Garcia, F.J. (2012). Trunk muscle activation during stabilization exercises with single and double leg support. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22, 398-406.
- Guimaraes, A.C., Vaz, M.A., De Campos, M.I. y Marantes, R. (1991). The contribution of the rectus abdominis and rectus femoris in twelve selected abdominal exercises: an electromyographic study. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31, 222–230.
- Gutin, B. y Lipetz, S. (1971). An electromyographic investigation of the rectus abdominis in abdominal exercises. *Research Quarterly*, 42, 256-263.
- Hermens, H.J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C. y Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10, 361-374.
- Janssen, I., Heymsfield, S.B., Wang, Z.M. y Ross, R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 89, 81-88.
- Juker, D., McGill, S.M., Kropf, P. y Steffen, T. (1998). Quantitative intramuscular myoelectric activity of lumbar portions of psoas and the abdominal wall during a wide variety of tasks. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30, 301-310.
- Kapandji, I.A. (1988). *Cuadernos de fisiología articular. Cuaderno III. Tronco y raquis*. Barcelona, Spain: Masson, 1988.

- Kavcic, 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.
- Keiichi, O. (1958). Electromyographic studies of the abdominal wall muscles in visceroptosis. *The Toboka Journal of Experimental Medicine*, 68, 347-354.
- Konrad, P., Schmitz, K. y Denner, A. (2001). Neuromuscular evaluation of trunk-training exercises. *Journal of Athletic Training*, 36, 109-118.
- Marras, W.S., Jorgensen, M.J., Granata, K.P. y Wiand, B. (2001). Female and male trunk geometry: size and prediction of the spine loading trunk muscles derived from MRI. *Clinical Biomechanics*, 16, 38-46.
- McGill, S.M. (1996). A revised anatomical model of the abdominal musculature for torso flexion efforts. *Journal of Biomechanics*, 29, 973-977.
- Mirka, G., Kelaher, D., Baker, A., Harrison, A. y Davis, J. (1997). Selective activation of the external oblique musculature during axial torque production. *Clinical Biomechanics*, 12, 172-180.
- Monfort, M. (1998). *Musculatura del tronco en ejercicios de fortalecimiento abdominal*. Valencia, España: Servei de Publicacions de la Universitat de València.
- Monfort-Pañego, M., Vera-Garcia, 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, 232-244.
- Moraes, A.C., Bankoff, A.D., Pellegrinotti, L.L., Moreira, Z.W. y Galdi, E.H. (1995). Electromyography analysis of the rectus abdominis and external oblique muscles of children 8 to 10 years old. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 35, 425-430.
- Moreside, J.M., Vera-Garcia, 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.
- Moreside, J.M., Vera-Garcia, F.J. y McGill, S.M. (2008). Neuromuscular independence of abdominal wall muscles as demonstrated by middle-eastern style dancers. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18, 527-37.
- Nelson, G.A., Bent-Forsythe, D.A. y Roopchand-Marin, S.C. (2012). Electromyographic activity of the rectus abdominis during a traditional crunch and the basic jackknife exercise with the Ab Lounge™. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26, 1584-8.
- 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, 51-58.
- Perroto, A. (2005). *Anatomical guide for the electromyographer: the limbs and trunk*. Springfield, IL: Charles C Thomas; 2005.
- Sánchez-Zuriaga, D., Vera-Garcia, 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, 1055-60.

- Sternlicht, E. y Rugg, S. (2003). Electromyographic analysis of abdominal muscle activity using portable abdominal exercise devices and a traditional crunch. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 463–468.
- 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-Garcia, F.J. (2003). Adaptaciones neuromusculares tras un programa de entrenamiento abdominal dinámico y otro estático. Valencia, Spain: Servei de Publicacions de la Universitat de Valencia; 2003.
- Vera-Garcia, F.J., Arroyo Fenoll, N., López Elvira, J.L., Alonso Roque, J.I., Flores-Parodi, B. y Sarti, M.A. (2005a). Eficacia de cuatro juegos motores para el acondicionamiento de los músculos del abdomen. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 14, 79-91.
- Vera-Garcia, 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-Garcia, F.J., Flores-Parodi, B., Elvira, J.L. y Sarti, M.A. (2008). Influence of trunk curl-up speed on muscular recruitment. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 684-690.
- Vera-Garcia, F.J., Monfort, M. y Sarti, M.A. (2005b). Prescripción de programas de entrenamiento abdominal. Revisión y puesta al día. *Apunts Educación Física Deportes*, 81, 38-46.
- Vera-Garcia, F.J., Moreside, J.M., Flores-Parodi, B. y McGill, S.M. (2007). 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-Garcia, 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, 10-6.
- Vera-Garcia, F.J., Moreside, J.M. y McGill, S.M. (2011). Abdominal muscle activation changes if the purpose is to control pelvis motion or thorax motion. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21, 893-903.
- Vera-Garcia, F.J. y Sarti, M.A. (1999). Manipulación social en la actividad físico-deportiva. *Áskesis*, 5 (en línea). De <http://www.askesis.arrakis.es> (consulta: 31 marzo 1999).

Referencias totales / Total references: 45 (100%)

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