

TRABAJO FINAL DE GRADO



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Activación muscular en ejercicios de estabilidad del tronco realizados con cuerda de batalla

Alumno: Arturo Cano Hernández

Tutor académico: Francisco José Vera García

Curso: 2024/2025

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Contenido

Resumen.....	3
Introducción.....	3
Método.....	5
Participante.....	5
Instrumental y registro de datos.....	5
Tareas y procedimientos.....	6
Tratamiento de datos.....	11
Resultados.....	11
Discusión.....	12
Conclusiones.....	13
Financiación.....	14
Referencias.....	15



Resumen

A pesar de que la realización de ejercicios con cuerdas de batalla se ha popularizado en el fitness y el entrenamiento deportivo, son pocos los estudios que han analizado la actividad muscular durante este tipo de ejercicios. Es por ello, que el objetivo de este Trabajo Fin de Grado fue analizar la activación del glúteo mayor (GM_y), glúteo medio (GM_d), recto femoral (RF), recto (RA), oblicuo interno (OI) y oblicuo externo (OE) del abdomen y erector espinal [porción torácica (ET) y lumbar (EL)] durante la ejecución de una serie de ejercicios de estabilidad del tronco realizados con una cuerda de batalla. Los ejercicios propuestos en este estudio fueron: ondas verticales bilaterales (OV_B), ondas verticales unilaterales derecha e izquierda (OV_{U-D}, OV_{U-I}), ondas horizontales bilaterales (OH_B), ondas horizontales unilaterales derecha e izquierda (OH_{U-D}, OH_{U-I}), ondas circulares bilaterales (OC_B), ondas circulares unilaterales derecha e izquierda (OC_{U-D}, OC_{U-I}), azotes verticales (AZ_V) y azotes lado a lado (AZ_L). Una vez realizada la sesión de familiarización, se registró la actividad muscular en los 11 ejercicios con electromiografía de superficie. La señal electromiográfica fue posteriormente rectificadas, suavizada y normalizada respecto a valores máximos obtenidos en contracciones voluntarias isométricas máximas (MVC). Según los datos obtenidos, los valores de activación de la musculatura fueron de bajos a moderados, alcanzando los mayores valores de activación los músculos OI y ET, seguidos por EL, RF y OE. Los ejercicios de azotes obtuvieron mayores niveles de activación que los ejercicios de ondas, posiblemente por implicar mayores amplitudes y velocidades de ejecución en las extremidades y mayores demandas de control postural en el tronco. Por otro lado, las ondas unilaterales produjeron mayores niveles de activación muscular en los músculos rotadores del tronco que las ondas bilaterales. Destacar que el ET y el OE se activaron con mayor intensidad al realizar las ondas por el lado izquierdo y el OI y el EL se activaron con mayor intensidad al realizar las ondas por el lado derecho. Finalmente, las ondas verticales produjeron mayores niveles de activación que las ondas horizontales y circulares, sobre todo cuando las ondas se realizaron bilateralmente.

Palabras clave: core, miembro inferior, electromiografía, battling rope, condición física.

Introducción

El concepto de estabilidad del tronco/core se puede definir como la capacidad de las estructuras osteoarticulares y musculares, coordinadas por el sistema de control motor, para mantener o retomar una posición o trayectoria del tronco ante perturbaciones (Vera-García et al. 2014). Teniendo clara esta definición, un ejercicio de estabilidad del tronco es aquel que reta la habilidad del raquis para mantener su estado de equilibrio cuando es sometido a fuerzas perturbadoras o desequilibrantes (Vera-García et al. 2014). El trabajo de estabilidad del tronco puede tener múltiples beneficios y aplicaciones en diferentes ámbitos, tales como la prevención de lesiones en el deporte (Al Attar et al. 2023; Kellie et al. 2013) y el rendimiento deportivo (Zemková et al. 2022), sin embargo, no hay evidencia suficiente acerca del impacto del entrenamiento de estabilidad en el rendimiento deportivo debido a las limitaciones y escasez de estudios (Vera-García et al. 2014). Además, los ejercicios de estabilidad del tronco son elementos habituales de los programas para la mejora del dolor lumbar (Fernández Rodríguez et al. 2022) y el equilibrio en poblaciones con déficit de control postural, como personas de la tercera edad o pacientes que han sufrido ictus (Prat-Luri et al. 2020).

Hay una amplia variedad de ejercicios de estabilidad del tronco, aunque algunos de los más utilizados son los puentes o planchas y el bird-dog o perro de muestra, cuyo principal objetivo es retar la capacidad de mantener la columna y la pelvis en posición neutra en diferentes posturas, con

el movimiento o no de las extremidades, sobre superficies con diferente estabilidad (esterilla, balón hemiesférico, balón suizo...), etc. (Dafkou et al. 2020; Heredia-Elvar et al. 2023; Moreno-Navarro et al. 2023). Se categorizan como ejercicios en “suelo”, ya que generalmente se realizan en decúbito supino, decúbito prono, decúbito lateral o cuadrupedia (Heredia-Elvar et al. 2023). Son muchos los estudios que han demostrado la efectividad del trabajo en estas posiciones, sin embargo, estos ejercicios se realizan en posiciones poco funcionales, por lo que, considerando la especificidad de las adaptaciones y medidas de estabilidad del core (Barbado et al. 2016), es posible que no tengan un gran impacto en la mejora de la estabilidad en posiciones más funcionales. Por ello, es notorio el interés por desarrollar y prescribir ejercicios de estabilidad del tronco en posiciones similares a las realizadas en la vida diaria, en ámbito deportivo o en el ámbito laboral, ya que la práctica de este tipo de ejercicios podría mejorar la estabilidad del tronco en situaciones más específicas para los participantes.

Aunque los ejercicios de estabilidad del tronco realizados en suelo son los más populares, actualmente también se realizan ejercicios en posiciones más funcionales, como, por ejemplo: el avión o aeroplano (Cochrane et al. 2017), ejercicios con kettlebells (Zhao et al. 2022), ejercicios con poleas (Press Pallof, Chops, Lfts, etc.) (Mullane et al. 2020), ejercicios con cuerdas de batalla (Calatayud et al. 2015), etc. El desarrollo y trabajo de ejercicios en posiciones más funcionales podría producir mejoras en movimientos realizados cotidianamente, además, podrían tener mayor transferencia que el trabajo en suelo. A pesar de los posibles beneficios de ejercicios de estabilidad del tronco realizados con materiales como las cuerdas de batalla, son pocos los estudios electromiográficos que han analizado la activación de los músculos del tronco en este tipo de ejercicios (Calatayud et al. 2015; Salzgeber et al., 2019).

Las cuerdas de batalla suelen medir entre 9 y 15 m y pueden ser de distintos grosores para ofrecer más o menos resistencia debido al peso de la cuerda. Se enganchan a un punto de anclaje firme y se cogen los extremos de la cuerda cada uno con una mano. Durante la ejecución de los ejercicios, generalmente el participante debe realizar diferentes tipos de ondas con uno o con los dos lados de la cuerda, manteniendo el cuerpo erguido, la mirada al frente y las rodillas semiflexionadas. Como se ha indicado anteriormente, a pesar del interés por este tipo de ejercicios, existe poca evidencia sobre la actividad muscular, así como sobre el control de la carga, la cadencia de ejecución, etc. Los resultados de los estudios electromiográficos sobre ejercicios con cuerdas de batalla parecen mostrar diferentes patrones de activación muscular dependiendo del tipo de ejercicio ejecutado (Calatayud et al. 2015; Salzgeber et al. 2019), destacando la participación del oblicuo externo del abdomen (OE) en ejercicios unilaterales y la activación del erector espinal [porción lumbar (EL)] en ejercicios bilaterales (Calatayud et al. 2015). Resaltar que, a pesar de que el oblicuo interno del abdomen (OI) es un músculo importante para la estabilidad del tronco y la generación de momentos de torsión, inclinación lateral y flexión de la columna vertebral (Vera-García et al. 2007), ninguno de los estudios electromiográficos citados anteriormente ha analizado su participación durante la realización de ejercicios con cuerdas de batalla.

Considerando las limitaciones de la literatura presentadas anteriormente, el objetivo de este Trabajo Fin de Grado fue analizar la activación de músculos del tronco [recto del abdomen (RA), OI, OE, EL y erector espinal porción torácica (ET)] y la cadera [glúteo mayor (GM_y), glúteo medio (GM_d) y recto femoral (RF)] durante la ejecución de una serie de ejercicios de estabilidad del tronco realizados con una cuerda de batalla.

Método

Participante

El participante (28 años, 1,73 m y 68 kg) fue un varón físicamente activo que realizaba trabajo de fortalecimiento muscular entre 4-5 días a la semana y que estaba familiarizado con los ejercicios de estabilidad del tronco. Sin embargo, nunca había realizado este tipo de ejercicios con una cuerda de batalla. Antes de realizar el estudio, se preguntó al participante si sufría o había sufrido algún tipo de lesión en la columna vertebral o en otra estructura relevante para la ejecución de los ejercicios. El participante indicó que, aunque ya estaba recuperado, había sufrido una lesión en el ligamento cruzado anterior en su rodilla derecha, por lo que la electromiografía se realizó en músculos del lado izquierdo.

Se informó al participante de que no podía realizar ningún tipo de entrenamiento, ni consumir alcohol, cafeína o productos estimulantes en las 24 h previas a la toma de datos. Todos los procedimientos se desarrollaron de acuerdo con la declaración de Helsinki y fueron aprobados por el Comité de Ética e Integridad en la Investigación del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Miguel Hernández de Elche (Código de Investigación Responsable: TFG.GAF.FJVG.ACH.241114).

Instrumental y registro de datos

Para el correcto desarrollo del estudio, el registro de la señal electromiográfica (EMG) se llevó a cabo gracias a un electromiógrafo de superficie *Muscle Tester ME6000®* (Mega Electronics Ltd., Kuopio, Finlandia). Dicho dispositivo tiene 8 canales, una conversión analógica/digital de 14 bits, una relación de rechazo al modo común de 110 dB y un filtro de banda de 8-500 Hz. La señal EMG se capturaron a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz y se transmitieron a través de un cable óptico hacia un ordenador equipado con el programa MegaWin 3.0® para su almacenamiento y posterior análisis. Se empleó un metrónomo en un dispositivo móvil para mantener un ritmo de ejecución constante durante la realización de los ejercicios. Por último, se utilizó una cuerda de batalla de 12 m de largo para el desarrollo de los ejercicios de estabilidad del tronco.

Para llevar a cabo el registro de la señal EMG, se colocaron electrodos de superficie desechables Ag-AgCl (Arbo Infant Electrodes, Tyco Healthcare, Germany) sobre los vientres musculares y en toma bipolar. Dichos electrodos se colocaron en el sentido longitudinal a las fibras de los músculos RA, OE, OI, EL, ET, Gmd, GM y RF del lado izquierdo del participante (Figura 1). Para la correcta colocación de los electrodos sobre los músculos de la cadera se siguieron las recomendaciones del SENIAM (2017). Por otro lado, para la colocación de los electrodos sobre los músculos del tronco se utilizaron los lugares de colocación de referencia utilizados previamente por Vera-Garcia et al. (2010).

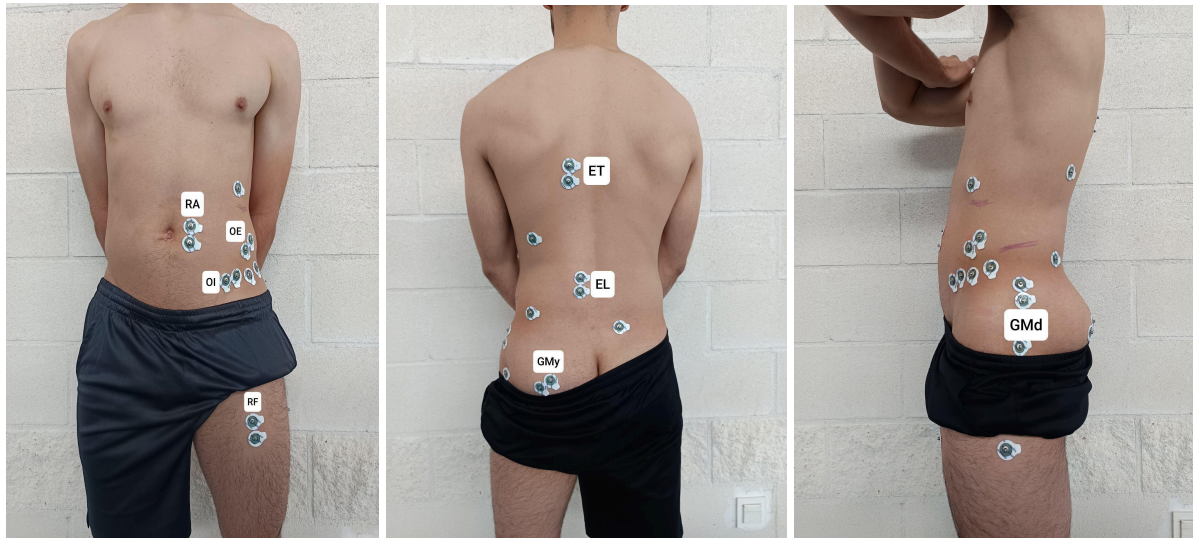


Figura 1. Colocación de los electrodos sobre el recto del abdomen (RA), oblicuo externo del abdomen (OE), oblicuo interno del abdomen (OI), recto femoral (RF), erector espinal porción torácica (ET), erector lumbar porción lumbar (EL), glúteo mayor (GMMy) y glúteo medio (GMd).

Para facilitar la colocación de electrodos sobre la piel del sujeto, se utilizó un lápiz dérmico para señalar puntos anatómicos importantes, realizando posteriormente un procedimiento para limpiar y desinfectar la piel donde serían colocados los electrodos. En primer lugar, se quitó el vello de las zonas donde fueron colocados los electrodos en caso de que fuera necesario y posteriormente se aplicó alcohol para limpiar la zona. Este procedimiento se realizó con el objeto de reducir la impedancia y facilitar la adherencia de los electrodos a la piel del sujeto. La separación entre cada par de electrodos fue constante, colocándolos a una distancia de 2,5 cm desde el centro de un electrodo al centro de su pareja.

Previo a la realización de ejercicios y para poder obtener valores de referencia con los que poder normalizar la señal EMG de los músculos medidos, se realizaron contracciones voluntarias isométricas máximas (CVM) contra resistencia manual aplicada por los experimentadores. En semi-sedestación, con rodillas flexionadas, sobre una camilla se realizaron las siguientes CVM: i) para OI y OE se realizaron acciones máximas de rotación e inclinación de tronco hacia ambos lados; y ii) para RA se realizaron acciones máximas de flexión del tronco. En decúbito prono sobre la camilla se realizaron acciones máximas de: i) extensión del tronco para ET y EL; y ii) extensión de la cadera para GMMy. En decúbito lateral se realizaron acciones máximas de abducción de la cadera para GMd. Finalmente, en sedestación sobre el borde de la camilla se realizaron acciones máximas de extensión de la rodilla para RF. Cada CVM tuvo una duración de 4-5 s y se realizaron al menos dos repeticiones de cada CVM, dejando 2-3 min de recuperación entre CVM. Además, se estimuló al participante verbalmente durante la ejecución para incidir en su motivación y lograr una activación máxima de la musculatura medida.

Tareas y procedimientos

Previamente a la sesión de registro, se realizó con el sujeto una sesión de familiarización para practicar el agarre, posición y movimientos con la cuerda de batalla. En primer lugar, se instruyó al participante a colocar la columna lumbar y la pelvis en posición neutra, con las rodillas semiflexionadas (ángulo de la rodilla: 115°), la mirada al frente y los pies separados a la anchura de los hombros (0,39 m). Para estandarizar la posición de las rodillas se colocó una barra horizontal (a 68 cm sobre el suelo) en leve contacto con los glúteos del participante (Figuras 2 a 9). En esta

posición el participante agarró los dos extremos de la cuerda, la cual no se encontraba extendida totalmente, sino aproximadamente al 85% de su longitud máxima. Durante la sesión de familiarización se comprobó que la longitud referida permitía realizar los ejercicios con una tensión de la cuerda adecuada. Una vez se estandarizó la posición del participante y la longitud de la cuerda, se practicaron los ejercicios utilizando un metrónomo (programado a 180 latidos/min) para controlar la cadencia de la ejecución. Se realizaron al menos dos repeticiones de cada ejercicio a la cadencia establecida y supervisadas por uno de los investigadores, el cual dio feedback al participante sobre su ejecución y determinó que éste realizaba las tareas correctamente.

Una semana después de la sesión de familiarización, el participante realizó la sesión de registro, donde se midió la señal EMG de la musculatura del tronco y la cadera durante la ejecución de 11 ejercicios de estabilización del tronco con la cuerda de batalla. Todos los ejercicios se realizaron en bipedestación y partiendo de la posición de inicio practicada en la sesión de familiarización.

A continuación se detallan los ejercicios:

1. *Ondas verticales bilaterales (OVB)*: El participante realizó ondas alternativas hacia arriba y hacia abajo (plano vertical) con la cuerda de batalla (Figura 2). Para ello, el participante realizó movimientos hacia arriba y hacia abajo con las manos de forma alternativa.



Figura 2. Visión lateral del participante realizando ondas verticales bilaterales (OVB).

2. *Ondas verticales unilaterales derecha e izquierda*: El participante realizó ondas hacia arriba y hacia abajo con un solo brazo (Figura 3). Primero realizó el ejercicio con el brazo derecho (OVU-D) y después con el izquierdo (OVU-I).

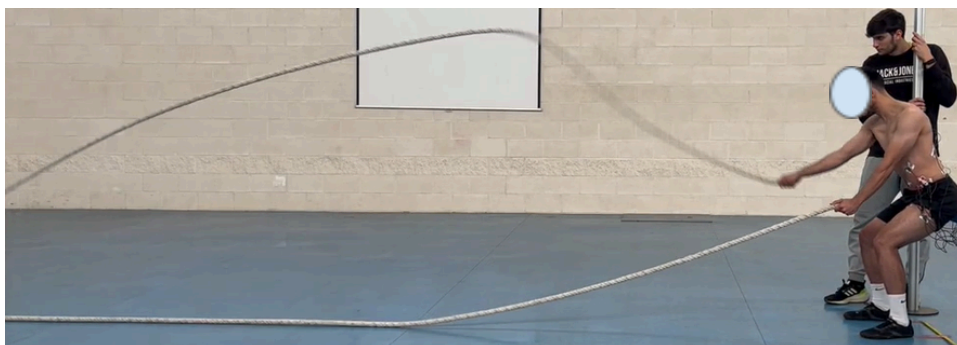


Figura 3. Visión lateral del participante realizando ondas verticales unilaterales con el brazo derecho (OVU-D).

3. *Ondas horizontales bilaterales* (OHB): En este ejercicio el movimiento ondulatorio de la cuerda se realiza en el plano horizontal (Figura 4). Para ello, el participante realizó movimientos hacia adentro y hacia fuera con ambas manos de forma simultánea.



Figura 4. Visión frontal del participante realizando ondas horizontales bilaterales (OHB).

4. *Ondas horizontales unilaterales derecha e izquierda*: El participante realizó ondas horizontales con un solo brazo (Figura 5). Primero realizó el ejercicio con el brazo derecho (OHU-D) y después con el izquierdo (OHU-I).



Figura 5. Visión frontal del participante realizando ondas horizontales unilaterales con el brazo derecho (OHU-D). En las imágenes se muestran dos instantes del ejercicio: la imagen de la izquierda muestra un movimiento del brazo hacia dentro y la imagen de la derecha un movimiento del brazo hacia fuera.

5. *Ondas circulares bilaterales (OCB)*: En este ejercicio el participante realizó simultáneamente con ambas manos movimientos circulares hacia dentro con la cuerda de batalla (Figura 6). Para ello, el participante realizó movimientos de circunducción de las manos hacia dentro con ambas manos y simultáneamente.

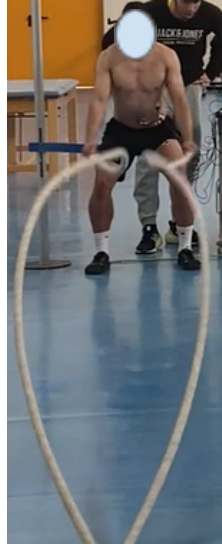


Figura 6. Visión frontal del participante realizando ondas circulares bilaterales (OCB).

6. *Ondas circulares unilaterales derecha e izquierda (OCU-D, OCU-I)*: El participante realizó ondas circulares hacia dentro con un solo brazo (Figura 7). Primero realizó el ejercicio con el brazo derecho (OCU-D) y después con el izquierdo (OCU-I).



Figura 7. Visión frontal del participante realizando ondas circulares unilaterales con el brazo izquierdo (OCU-I). En las imágenes se muestran dos instantes del ejercicio.

7. *Azotes verticales (AZV)*: En este ejercicio el participante realizó, simultáneamente con ambas manos, acciones de “latigazo” arriba y abajo con la cuerda de batalla (Figura 8). En este ejercicio las manos realizan “sacudidas” de la cuerda en el plano vertical, lo que implica

movimientos de mayor velocidad y amplitud respecto a los ejercicios donde se realizan ondas.

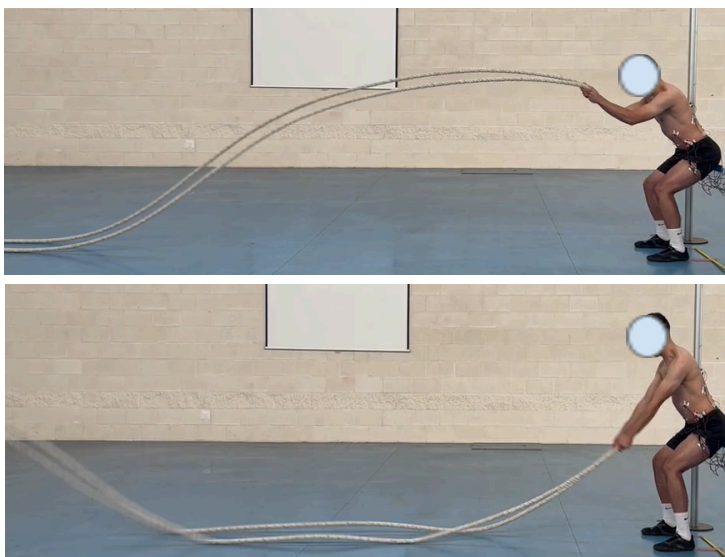


Figura 8. Visión lateral del participante realizando azotes verticales (AZV). En las imágenes se muestran dos instantes del ejercicio: la imagen de arriba muestra un instante de la ejecución donde la cuerda de batalla alcanza el punto más alto y la imagen de abajo muestra un instante de la ejecución donde la cuerda de batalla está en el punto más bajo.

8. *Azotes lado a lado (AZL):* En este ejercicio el participante realizó, simultáneamente con ambas manos, azotes hacia derecha y hacia izquierda con la cuerda de batalla. Como se observa en la Figura 9, en estos azotes la onda de la cuerda se proyectó de manera oblicua al suelo, hacia un lado y luego hacia el otro.



Figura 9. Visión frontal del participante realizando azotes lado a lado (AZL). En las imágenes se muestran dos instantes del ejercicio: en la imagen de la izquierda se observa la cuerda en el punto más alto del movimiento y en la imagen de la derecha en el punto más bajo, describiendo una onda oblicua al suelo.

Los 11 ejercicios no se realizaron en el orden presentado en este trabajo, sino que se ordenaron al azar, mezclando las diferentes variables de la ejecución analizadas, es decir, el tipo de movimiento (onda vs. azote), el tipo de onda (vertical vs. horizontal vs. circular) y el tipo de ejecución (bilateral vs. unilateral). Se realizó una repetición de 10 s de cada ejercicio a la cadencia practicada en la sesión de familiarización (180 latidos/min), dejando 2 min de recuperación entre ejercicios. Dos experimentadores controlaron la correcta ejecución de los ejercicios, dando feedback al participante cuando era necesario.

Tratamiento de datos

Tras la sesión de registro, se analizaron y revisaron las señales EMG para comprobar que no hubiera errores. A continuación, se rectificaron las señales EMG (rectificado de onda completa) y se suavizaron mediante el promedio de los datos cada 0,05 s (Software MegaWin 3.0®). Posteriormente, se extrajo la señal EMG de los 6 s centrales de cada ejercicio y se calculó la media de dicha señal rectificada y suavizada. Para finalizar, la media de la señal EMG fue normalizada respecto a los valores máximos obtenidos durante la ejecución de las CVM (%CVM).

Resultados

La activación muscular registrada durante la ejecución de los 11 ejercicios realizados con cuerda de batalla se muestra en la Tabla 1. Como se puede observar en la tabla, los niveles de activación fueron de bajos a moderados, obteniendo los mayores niveles en el OI (8,6-41,3% CVM), ET (10,7-32,6% CVM) y EL (9,6-21,3% CVM), seguidos del RF (10,6-18,8% CVM) y OE (1,5-12,2% CVM). En los músculos RA, Gmd y GMy el nivel de activación fue muy bajo, no superando el 4,7% CVM.

Tabla 1. Media de la señal electromiográfica normalizada (% CVM) de los músculos erector espinal porción torácica (ET) y porción lumbar (EL), oblicuo externo del abdomen (OE), oblicuo interno del abdomen (OI), recto del abdomen (RA), glúteo medio (GMd), glúteo mayor (GMy) y recto femoral (RF) para los diferentes ejercicios realizados con cuerda de batalla.

	EJERCICIOS	ET	EL	OE	OI	RA	Gmd	GMy	RF
ONDAS V	OVb	17,9	14,0	4,6	20,0	1,5	2,1	1,7	13,9
	OVU-D	12,0	16,2	5,5	39,2	2,0	1,9	1,7	15,2
	OVU-I	17,0	12,9	7,5	16,6	2,0	1,7	1,1	11,7
ONDAS H	OHb	24,2	13,3	1,5	8,6	1,5	1,6	1,1	12,3
	OHU-D	15,4	13,5	4,5	41,3	1,6	2,3	2,3	17,2
	OHU-I	32,6	11,5	8,7	22,0	1,6	1,9	1,9	15,1
ONDAS C	OCb	29,3	12,3	1,9	8,8	1,3	1,4	1,3	10,6
	OCU-D	10,7	10,6	4,3	18,4	1,8	1,9	1,1	13,5
	OCU-I	19,5	9,6	6,2	14,7	1,6	1,6	1,5	16,9
AZOTES	AZV	19,2	17,7	5,1	21,5	2,9	1,9	1,5	16,9
	AZL	26,3	21,3	12,2	36,7	4,0	4,7	3,2	18,8

Nombres de los ejercicios: Ondas V: ondas verticales; Ondas H: ondas horizontales; Ondas C: ondas circulares; Ondas Verticales Bilaterales (OVb), Ondas Verticales Unilaterales Derecha (OVU-D), Ondas Verticales Unilaterales Izquierda (OVU-I), Ondas Horizontales Bilaterales (OHb), Ondas Horizontales Unilaterales Derecha (OHU-D), Ondas Horizontales Unilaterales Izquierda (OHU-I), Ondas Circulares Bilaterales (OCb), Ondas Circulares Unilaterales Derecha (OCU-D), Ondas Circulares Unilaterales Izquierda (OCU-I), Azotes Verticales (AZV) y Azotes Lado a Lado (AZL).

En relación con la comparación entre ejercicios, durante la realización de ondas bilaterales la activación muscular fue mayor en las ondas verticales en comparación con las ondas horizontales y circulares para todos los músculos, excepto para el ET, que se activó con mayor intensidad en las ondas circulares (Tabla 1).

Asimismo, en los músculos del abdomen, sobre todo en la musculatura oblicua, las ondas unilaterales produjeron mayores niveles de activación muscular que las ondas bilaterales (Tabla 1). Al comparar entre ondas unilaterales realizadas por el lado derecho y por el lado izquierdo, el ET y el OE se activaron con mayor intensidad al realizar las ondas por el lado izquierdo, con valores de entre 17,0 y 32,6% CVM y 6,2 y 8,7% CVM, respectivamente. Por el contrario, el OI y el EL se activaron con mayor intensidad al realizar las ondas por el lado derecho, con valores de entre 18,4 y 41,3% CVM y 10,6 y 16,2% CVM, respectivamente.

En relación con los azotes, en general, este tipo de ejercicios produjeron mayores niveles de activación que las ondas, sobre todo los azotes lado a lado, donde los músculos del miembro inferior, EL, RA y OE obtuvieron sus máximos niveles de activación muscular en comparación con el resto de tareas (Tabla 1). Además, aunque el OI y el ET obtuvieron sus mayores niveles de activación en las ondas horizontales unilaterales por el lado derecho (41,3% CVM) e izquierdo (32,6% CVM), respectivamente, estos músculos alcanzaron mayores niveles de activación que el resto de músculos analizados tanto en los azotes verticales como en los azotes lado a lado.

Discusión

A pesar de que la realización de ejercicios con cuerdas de batalla se ha popularizado en el fitness y el entrenamiento deportivo (Bornath et al., 2022), son pocos los estudios que han analizado la actividad muscular durante este tipo de ejercicios (Calatayud et al., 2015; Salzgeber et al., 2019). Para nuestro conocimiento, este Trabajo Fin de Grado es el primer estudio que realiza un análisis de la participación de los principales músculos del tronco y la cadera durante la ejecución de ejercicios de estabilidad del tronco realizados con cuerda de batalla. Específicamente, el estudio se centra en la comparación: i) entre el tipo de onda realizada (vertical vs. horizontal vs. circular); ii) entre ondas bilaterales y unilaterales; y iii) entre ondas y azotes.

Los resultados presentados en la Tabla 1 muestran una actividad muscular baja-moderada para los músculos analizados en las diferentes tareas con la cuerda de batalla, alcanzando los mayores valores de activación en el OI (41,3% CVM) y el ET (32,6% CVM), seguidos por EL (21,3% CVM), el RF (18,8% CVM) y el OE (12,2% CVM). Estos niveles de activación son inferiores a los encontrados en estudios previos realizados con ejercicios similares, donde se registraron valores de moderados a altos (Calatayud et al., 2015; Salzgeber et al., 2019). Entre otros motivos, las diferencias entre este TFG y los estudios previos pudieron deberse a diferencias en la técnica y/o velocidad de ejecución. En este sentido, mientras que en este trabajo la cadencia fue de 180 latidos/min, en el estudio de Calatayud et al. (2015) se marcó una cadencia de 70 latidos/min y en el estudio Salzgeber et al. (2019) el ritmo de la ejecución fue marcado por los propios participantes, siendo activo y retante.

En relación con la comparación entre los 3 tipos de ondas realizadas, se observaron niveles de activación similares entre ellas, siendo las ondas verticales bilaterales aquellas que presentaron mayores niveles de activación en general, salvo en el ET. Las ondas verticales requieren de un control más asimétrico de ambas extremidades, por lo que podrían activar los músculos del tronco con mayor intensidad para evitar los movimientos de rotación del tronco.

En cuanto a la comparación entre ejercicios bilaterales y unilaterales, los ejercicios de carácter unilateral obtuvieron mayores niveles de activación que los bilaterales, destacando la activación de la musculatura oblicua, datos que corroboran los obtenidos previamente por Calatayud et al. (2015). Como se puede observar en la Tabla 1, en los ejercicios unilaterales se activaron con mayor intensidad los músculos rotadores e inclinadores del tronco, sobre todo el OI, un músculo que a pesar de su importancia en el control de la estabilidad del tronco en el plano horizontal y frontal (Vera-García et al., 2014), no ha sido analizado en estudios previos durante la ejecución de ejercicios realizados con cuerda de batalla. Hay que destacar que, en función del lado de trabajo en las ondas unilaterales, se observaron incrementos de activación en ET y OE (lado izquierdo) o en OI y EL (lado derecho) (Tabla 1), que, en el caso de los músculos oblicuos del abdomen, reflejan su antagonismo en los movimientos de rotación (OE: rotador contralateral del tórax; OI: rotador homolateral del tórax) (Paulsen & Waschke, 2013).

En general, los ejercicios de azotes produjeron mayores niveles de activación muscular que los de ondas, diferencias que también han sido registradas por Salzgeber et al. (2019). En el estudio referido, durante la ejecución de los azotes se llegaron a obtener valores del 65-80% CVM en los diferentes grupos musculares. Estas diferencias a favor de los azotes pudieron deberse a la naturaleza de este ejercicio, ya que implica la ejecución de acciones de “latigazo”, con mayores amplitudes y velocidades de desplazamiento en las extremidades en comparación con las ondas, lo que incrementa las demandas de control postural en el tronco y por tanto la intensidad del ejercicio. En relación con la variante de azotes lado a lado, destacar que la musculatura rotadora parece desempeñar un papel fundamental para mantener la posición neutra del tronco durante esta tarea, ya que esta variante implica mayores momentos de torsión e inclinación lateral en el tronco que los azotes verticales. Finalmente, destacar también el papel de los extensores de tronco durante la acción de latigazo propia de los azotes, cuyos valores fueron de los más elevados.

Es fundamental reconocer las limitaciones de este estudio, ya que pueden afectar la interpretación de los resultados. En primer lugar, en el estudio sólo participó un único sujeto lo que limita la generalización de los resultados a poblaciones más amplias. Futuros estudios deberían analizar la participación muscular del tronco en ejercicios realizados con cuerda de batalla en muestras más grandes de diferentes poblaciones. Aunque se utilizó una cadencia común para todos los ejercicios (180 latidos/min) para estandarizar las tareas y facilitar su análisis, es posible que la amplitud del movimiento y, por tanto, la velocidad de ejecución fuera mayor en algunos ejercicios, especialmente en los azotes, lo que dificulta la comparación entre ondas y azotes. Como todo estudio electromiográfico, la variabilidad de la señal EMG puede limitar el análisis de los datos (De Luca, 1997), especialmente considerando que los niveles de activación en muchos casos fueron bajos y que sólo se realizó una repetición por ejercicio. No obstante, se prestó especial atención a la correcta normalización de los datos y al control y estandarización de la ejecución del participante, por lo que consideramos que los datos obtenidos nos permiten realizar un primer análisis sobre la participación muscular en ejercicios de estabilidad del tronco con cuerda de batalla. Este supone el punto de partida para el diseño de nuevos estudios que permitan conocer en profundidad las posibilidades y limitaciones de los ejercicios realizados con este material.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se pueden extraer una serie de conclusiones principales:

- Los valores de activación de la musculatura fueron de bajos a moderados, alcanzando los mayores valores de activación los músculos OI y ET, seguidos por EL, RF y OE.
- Los ejercicios de azotes obtuvieron mayores niveles de activación que los ejercicios de ondas, posiblemente por implicar mayores amplitudes y velocidades de ejecución en las extremidades y mayores demandas de control postural en el tronco.

-Las ondas unilaterales produjeron mayores niveles de activación muscular en los músculos rotadores del tronco que las ondas bilaterales. El ET y el OE se activaron con mayor intensidad al realizar las ondas por el lado izquierdo y el OI y el EL se activaron con mayor intensidad al realizar las ondas por el lado derecho.

-En general, las ondas verticales produjeron mayores niveles de activación que las ondas horizontales y circulares, especialmente cuando las ondas se realizaron bilateralmente.

Financiación

Este Trabajo Fin de Grado es parte del proyecto de I+D+i PID2022-140323OB-I00, financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.



Referencias

Al Attar, W. S. A., & Husain, M. A. (2023). Effectiveness of Injury Prevention Programs With Core Muscle Strengthening Exercises to Reduce the Incidence of Hamstring Injury Among Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 194173812311708. <https://doi.org/10.1177/19417381231170815>

Austin Salzgeber, John P. Porcari, Charlend Howard, Blaine E. Arney, Attila Kovacs, Cordial Gillette, Carl Foster (2019). Muscle Activation during Several Battle Rope Exercises. *International Journal of Research in Exercise Physiology*, 14(2), 1-10. <https://ijrep.org/muscle-activation-during-several-battle-rope-exercises/>

Barbado, D., Barbado, L. C., Elvira, J. L. L., Dieën, J. H. v., & Vera-Garcia, F. J. (2016). Sports-related testing protocols are required to reveal trunk stability adaptations in high-level athletes. *Gait & Posture*, 49, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.06.027>

Bornath DPD, Kenno KA. Physiological Responses to Increasing Battling Rope Weight During Two 3-Week High-Intensity Interval Training Programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(2), 352-358. doi: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003470>.

Calatayud, J., Martin, F., Colado, J. C., Benítez, J. C., Jakobsen, M. D., & Andersen, L. L. (2015). Muscle Activity During Unilateral vs. Bilateral Battle Rope Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(10), 2854–2859. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000963>

Cochrane, D. J., Harnett, M. C., & Pinfold, S. C. (2017). Does short-term gluteal activation enhance muscle performance? *Research in Sports Medicine*, 25(2), 156–165. <https://doi.org/10.1080/15438627.2017.1282358>

Dafkou K, Kellis E, Ellinoudis A, Sahinis C. (2020). The Effect of Additional External Resistance on Inter-Set Changes in Abdominal Muscle Thickness during Bridging Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, 19(1), 102-111. <https://www.jssm.org/researchjssm-19-102.xml>

Fernández-Rodríguez, R., Álvarez-Bueno, C., Cavero-Redondo, I., Torres-Costoso, A., Pozuelo-Carrascosa, D. P., Reina-Gutiérrez, S., Pascual-Morena, C., & Martínez-Vizcaíno, V. (2022). Best Exercise Options for Reducing Pain and Disability in Adults With Chronic Low Back Pain: Pilates, Strength, Core-Based, and Mind-Body. A Network Meta-analysis. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 52(8), 505–521. <https://doi.org/10.2519/jospt.2022.10671>

Heredia-Elvar, J. R., Juan-Recio, C., Prat-Luri, A., Barbado, D., de los Ríos-Calonge, J., & Vera-Garcia, F. J. (2023). Exercise Intensity Progressions and Criteria to Prescribe Core Stability Exercises in Young Physically Active Men: A Smartphone Accelerometer-Based Study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 38(2), 266–273. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004630>

Huxel Bliven, K. C., & Anderson, B. E. (2013). Core Stability Training for Injury Prevention. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 5(6), 514–522. <https://doi.org/10.1177/1941738113481200>

Moreno-Navarro, P., Sabido, R., Barbado, D., Prat-Luri, A., & Vera-Garcia, F. J. (2023). Trunk muscle activation in prone plank exercises with different body tilts. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation* 37(2024),743-750 . <https://doi.org/10.3233/bmr-230209>

Mullane, M., Turner, A. N., & Bishop, C. (2020). The Pallof Press. *Strength & Conditioning Journal*, 43(2), 121-128.. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000596>

Paulsen, F., & Waschke, J. (2013). *Sobotta Atlas of Human Anatomy, Vol. 3, 15th ed., English/Latin: Head, Neck and Neuroanatomy*. Elsevier,Urban & Fischer Verlag.

Prat-Luri, A., Moreno-Navarro, P., García, J. A., Barbado, D., Vera-Garcia, F. J., & Elvira, J. L. L. (2020). Do Initial Trunk Impairment, Age, Intervention Onset, and Training Volume Modulate the Effectiveness of Additional Trunk Exercise Programs after Stroke? A Systematic Review with Meta-Analyses. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 8714. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238714>

SENIAM. (2017). *Surface electromyography: Recommendations for sensor locations*. <http://www.seniam.org>

Vera-Garcia, F. J., Barbado, D., Moreno-Pérez, V., Hernández-Sánchez, S., Juan-Recio, C., & Elvira, J. L. L. (2015). Core stability. Concepto y aportaciones al entrenamiento y la prevención de lesiones. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 8(2), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2014.02.004>

Vera-Garcia FJ, Elvira JL, Brown SH, McGill SM. Effects of abdominal stabilization maneuvers on the control of spine motion and stability against sudden trunk perturbations. *Journal of Electromyography and Kinesiology*,17(5), 556-67. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.07.004>

Vera-Garcia, F. J., Moreside, J. M. & McGill, S. M. (2010). MVC techniques to normalize trunk muscle EMG in healthy women. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(1), 10-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.03.010>

Zemková, E., & Zapletalová, L. (2022). The Role of Neuromuscular Control of Postural and Core Stability in Functional Movement and Athlete Performance. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.796097>

Zhao, H., Cheng, R., Song, G., Teng, J., Shen, S., Fu, X., Yan, Y., & Liu, C. (2022). The Effect of Resistance Training on the Rehabilitation of Elderly Patients with Sarcopenia: A Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 15491. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315491>