

Article

Actividad Electromiográfica de Superficie del Recto Abdominal y Oblicuo Externo durante Ejercicios Isométricos y Dinámicos

Athanasios Mandroukas¹, Yiannis Michailidis¹, Angelos E. Kyranoudis², Kosmas Christoulas¹ y Thomas Metaxas¹

¹Laboratory of Evaluation of Human Biological Performance, Department of Physical Education and Sport Sciences, Aristotle University of Thessaloniki, 57001 Thessaloniki, Greece

²Department of Physical Education and Sport Sciences, Democritus University of Thrace, University Campus, 69100 Komotini, Greece

RESUMEN

Los ejercicios para los músculos abdominales se utilizan ampliamente en actividades deportivas para el entrenamiento de la fuerza y la prevención de trastornos lumbares. El momento y el volumen de la activación muscular para varios movimientos aún no se han aclarado. El propósito de esta investigación fue evaluar la actividad electromiográfica de superficie del recto abdominal de la parte superior (RAU) y de la parte inferior (RAL) de los músculos recto abdominal y oblicuo externo (EO) durante once ejercicios de entrenamiento de la fuerza muscular abdominal. Treinta y cinco estudiantes universitarios varones sanos con una subespecialidad en fútbol participaron en el estudio. Realizaron ejercicios de contracciones musculares isométricas, concéntricas y excéntricas. Los registros electromiográficos fueron amplificados por un factor de 1000, rectificadas e integradas. Los valores integrados medios se calcularon dividiendo el tiempo transcurrido durante cinco repeticiones, para proporcionar los valores electromiográficos integrados medios para cada ejercicio. Los movimientos de piernas desde una posición tumbada prolongada mostraron una mayor actividad del recto abdominal, en comparación con el EO ($p < 0.001$). Los abdominales 'sit-ups' dinámicos mostraron una evidente actividad dominante del OE, en comparación con el recto abdominal ($p < 0.001$). Durante el ejercicio excéntrico, se encontró mayor actividad en el RAU, en comparación con el RAL ($p < 0.001$). Los resultados podrían servir como base para mejorar el diseño y la especificación de los ejercicios de entrenamiento. Los ejercicios previos deben realizarse antes de evaluar la fuerza de los músculos abdominales.

INTRODUCCIÓN

La importancia de la fuerza de los músculos abdominales es bien reconocida para la prevención de los trastornos de la espalda baja y la correcta ejecución de las actividades laborales y deportivas, por lo que se utilizan ejercicios especiales para su desarrollo [1,2,3,4,5]. La electromiografía de superficie proporciona información clara sobre las mediciones de varios patrones de activación muscular, que deben tenerse en cuenta al seleccionar y prescribir ejercicios de fortalecimiento, ya que la fuerza de contracción muscular está regulada por la cantidad total de unidades motoras

reclutadas [6,7,8]. La activación relativa de los músculos abdominales en varias formas de ejercicio de entrenamiento ha sido adecuadamente explorada. En muchos ejercicios los músculos abdominales tienen una función de estabilidad, de modo que un movimiento dado se facilita y se puede realizar bien.

Frecuentemente durante el entrenamiento, los músculos flexores de la cadera participan más de lo necesario y como resultado, los músculos abdominales están menos activados [9]. Los músculos abdominales tienen una función fásica, y cuando una activación es incompleta o incorrecta, tienden a debilitarse y se activan menos [10]. Se sabe que el entrenamiento de los músculos del tronco y de la pelvis es una condición necesaria para la estabilización y sostén de la columna vertebral [11]. Esto se vuelve particularmente evidente durante los movimientos rápidos y extremos del cuerpo. En algunos movimientos corporales fundamentales como caminar, correr, saltar, etc., la pelvis y la columna lumbar constituyen una unidad funcional central. La pelvis, conectada al sacro y situada en posición neutra, mantiene la curvatura normal de la columna.

Un fuerte 'corsé muscular' alrededor de la columna lumbar aumenta la estabilidad, evita una carga inadecuada de la columna, contribuye a la descarga del erector de la columna y, por lo tanto, también reduce la fuerza de compresión sobre los discos intervertebrales de la columna lumbar [12,13,14,15,16]. En general, se acepta que la evaluación y el entrenamiento de los músculos abdominales deben realizarse con sit-ups, realizados desde las posiciones de extensión recostada o de piernas flexionadas. En ambos casos, las flexiones comienzan con la flexión de la cabeza, mientras que los hombros se levantan con la espalda redondeada a aproximadamente 35 a 40° del suelo, de modo que la columna lumbar permanece en el suelo. Se recomienda que el curl-up se realice con las rodillas flexionadas sin apoyo, sin sujetar las rodillas ni los pies, y luego acurrucarse lentamente con la espalda redondeada a 35-40°, sin flexión del tronco. Las razones de esto son (1) para evitar la carga desigual en la columna lumbar y (2) para aislar la actividad de los flexores de la cadera. La tensión ejercida sobre la columna lumbar disminuye al limitar la cantidad de flexión del tronco a 35-40° [17]. Por lo tanto, los sit-ups realizados a través de un rango parcial pueden ser un método efectivo para ganar fuerza en los músculos abdominales, mientras se protege la columna lumbar.

Para realizar flexiones de tronco o recostarse con las rodillas rectas o flexionadas hasta una posición sentada completamente erguida, los músculos de la espalda deben tener una longitud normal [18]. De lo contrario, es posible que el sujeto no pueda realizar el curl-up correctamente, a pesar de la fuerza suficiente de los músculos abdominales. El tiempo y el volumen de activación en un movimiento, así como la relación funcional entre los músculos abdominales y de la espalda, aún no se han aclarado. Además, no existen estudios que comparen este tipo de ejercicios en términos de actividad electromiográfica. El propósito del estudio es investigar la activación de la porción superior del recto abdominal (RAU), la porción inferior del recto abdominal (RAL) y el oblicuo externo (EO) en varios patrones de ejercicios isométricos y dinámicos, en con el fin de obtener un mayor conocimiento sobre el reclutamiento de estos músculos, que se puede aplicar durante el entrenamiento físico adecuado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Este estudio examinó once ejercicios que se utilizan a menudo para el entrenamiento de los músculos abdominales. Los ejercicios investigados incluyeron ejercicios dinámicos (concéntricos y excéntricos) y contracciones isométricas de los músculos abdominales. Se dio un período de descanso de aproximadamente 2-3 min entre cada ejercicio. Si un sujeto no realizaba el ejercicio de acuerdo con las instrucciones, se repetía la prueba.

Participantes

Los cálculos de tamaño del efecto (ES) y potencia estadística se realizaron con el software G*Power: Statistical Power Analyses for Windows, Version 3.1.9.7 [19,20], según los criterios de Cohen [21,22]. El análisis de potencia se realizó antes de que se realizara el estudio, en base a estudios previos de diseño de investigación similar. Para la presente investigación se utilizó un tamaño del efecto >0.25, un error de probabilidad de 0.05 y una potencia de 0.95.

Estos indicaron que 27 sujetos comprendían el menor número aceptable de participantes para el análisis.

Se generaron registros electromiográficos de superficie (EMG) de 35 estudiantes universitarios varones sanos con una subespecialidad en fútbol (edad media 22.5 ± 1.9 años; experiencia de entrenamiento 12.6 ± 2.1 años; altura 176.5 ± 3.8 cm; peso 72.0 ± 4.3 kg). Todos los participantes fueron informados de la naturaleza, el propósito, los procedimientos, las molestias potenciales, los riesgos y los beneficios involucrados en el estudio antes de dar su consentimiento por escrito

para participar. Ninguno de los participantes había realizado ejercicio resistido progresivo 24 hs antes de la prueba, y sus patrones de sueño eran suficientes (aproximadamente 8 hs) para llegar al laboratorio en condiciones de descanso. Todas las sesiones de entrenamiento y las mediciones se realizaron el mismo día y hora, en las mismas condiciones. Todos los participantes completaron un cuestionario que incluía su historial médico y físico relevante. Tres personas fueron excluidas de las pruebas de movilidad y pre-ejercicios, por no poder cumplir con la ejecución técnica de los movimientos de acuerdo a las instrucciones. Los sujetos normalmente entrenaban de 3 a 4 veces por semana y participaban en competencias universitarias de fútbol. Estaban sanos sin dolor de espalda y se ofrecieron como voluntarios para participar en el estudio. Estaban libres de tejido adiposo excesivamente extenso en la región abdominal. Se instruyó a los participantes para que realizaran ejercicios que se utilizan con frecuencia en los programas de entrenamiento deportivo y de rehabilitación. A cada participante se le dieron instrucciones para cada ejercicio antes de la prueba, y ninguno había entrenado previamente con ejercicios de estabilización. Los ejercicios se realizaron en el mismo orden en que se presentan en este documento, como se muestra en las figuras numeradas que incluyen los resultados de las pruebas. Si un sujeto no realizaba el ejercicio de acuerdo con las instrucciones, se repetía la prueba. Este estudio ha sido aprobado por la Junta de Revisión Institucional del Laboratorio de Fisiología del Ejercicio y Rehabilitación Deportiva, Tesalónica, Grecia (n.º 01/2021), y se ajusta a la Declaración de Helsinki.

Tests de Movilidad y Pre-Ejercicios para la Correcta Ejecución de los Movimientos

Durante las instrucciones y la ejecución de los ejercicios, se comprobó que, a pesar del entrenamiento general no supervisado (es decir, sin guía) que seguían, los participantes carecían de una adecuada conexión mente-músculo y coordinación de los complejos movimientos involucrados, y demostraron un intenso acortamiento muscular en el músculo iliopsoas, en los aductores y en los músculos isquiotibiales. Así, se realizaron dos pruebas para determinar la movilidad de los músculos de la espalda (flexibilidad espinal) para asegurar que la movilidad limitada no afectara la flexión completa del tronco; y lograr el correcto movimiento en el curl-up. Los sujetos fueron instruidos para sentarse en un asiento alto o pedestal, con el tronco en posición vertical (Figura 1). Esta posición inicial fue elegida para eliminar cualquier compromiso de los músculos isquiotibiales. Desde esta posición inicial, los participantes flexionaron lentamente la cabeza, seguido de la columna cervical, torácica y lumbar, luego de lo cual se inclinó la pelvis (Figura 1A). Los participantes intentaban tocar la frente con las rodillas, con una distancia entre 10 y 15 cm considerada como normal. La distancia se midió con una cinta métrica; si hubiera acortamiento en los músculos de la espalda, no se alcanzaría la distancia esperada. En esta prueba, la movilidad de la columna se midió desde C7-S1. En la segunda prueba, más específica (Figura 1B), los sujetos estabilizaban la pelvis con las manos sin que la pelvis se inclinara hacia adelante. En esta prueba, la movilidad de la columna lumbar se midió desde S1 y 10 cm hacia arriba, donde esta distancia normalmente aumentaba entre 4 y 5 cm en la fase final del movimiento.

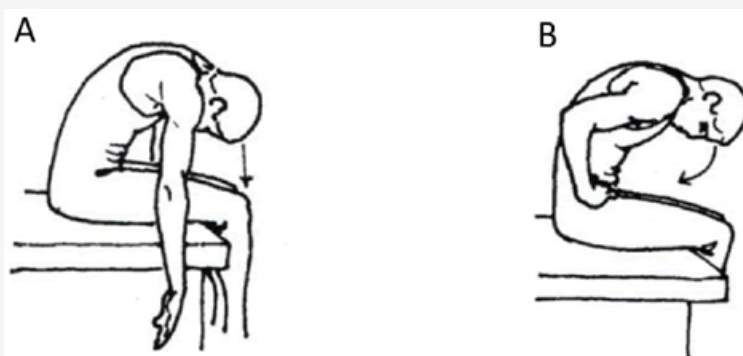


Figura 1. (A) Prueba de movilidad del tronco con flexión de la cabeza e inclinación (rotación) de la pelvis, y (B) sin la pelvis inclinada hacia adelante.

Se consideró necesario introducir los pre-ejercicios (Figura 2) antes de realizar los ejercicios con EMG.

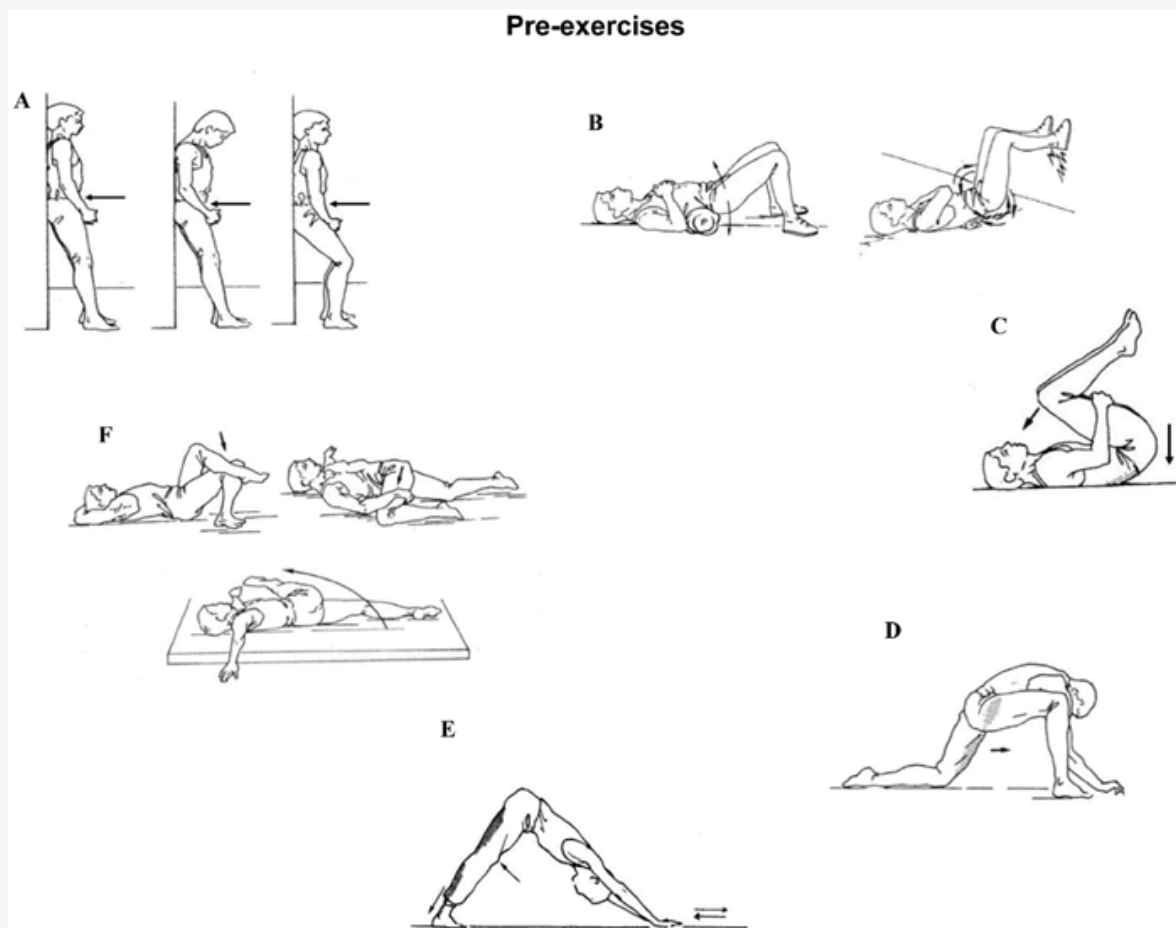


Figura 2. Los pre-ejercicios que se realizaron antes del procedimiento de prueba. (A): Inclinación pélvica en posición vertical aplanando la espalda y deslizándose hacia arriba y hacia abajo contra una pared, para iniciar el concepto de flexión y sentadillas adecuadas. (B): Rotación suave y elevación de la pelvis hacia delante y hacia atrás. Pies en el suelo y en la pared. (C): Ambas rodillas hacia el pecho en una posición totalmente flexionada, la columna lumbar presionada contra el suelo. (D): Estiramiento del músculo iliopsoas. (E): Estiramiento de los músculos isquiotibiales y gastrocnemios. (F): Estiramiento del oblicuo y músculos alrededor de la pelvis.

Ejercicios investigados

En todos los ejercicios, los sujetos estaban acostados en posición supina en el suelo. Todos los ejercicios se realizaron siguiendo la misma secuencia y bajo la supervisión y guía de un fisioterapeuta experimentado. Los ejercicios dinámicos (Figura 3A,B y Figura 4) se realizaron con cinco repeticiones continuas, con el ritmo marcado por un metrónomo (50 beats/min).

Figura 3: Posición inicial: recostado con piernas extendidas. Piernas rectas bilaterales movidas hacia arriba y hacia abajo en tijera (A) y en círculos diez veces (B). Pierna recta con elevación de 30 cm. Recostado extendido. Ejercicios dinámicos: (A) ejercicio de tijera, con piernas rectas movidas hacia arriba y abajo, (B) en círculos 10 veces, y (C) piernas estiradas rectas levantadas a 30 cm desde los talones hasta el suelo y contracción isométrica durante 10 seg (C). Las instrucciones a los sujetos durante estos ejercicios fueron mantener la pelvis en una posición neutral.

Figura 4: Posición inicial: recostado con las rodillas flexionadas (110°), apoyo en los pies y las manos detrás del cuello. Sit-ups completos (diez veces) con inicio rápido desde el suelo. Durante los sit-ups, los codos iban hacia adentro, hacia el cuello.

Figura 5: Posición inicial: recostado con las rodillas flexionadas (110°), los pies no tocaban el suelo. Las manos estaban elevadas hacia adelante. Antes de comenzar con el curl-up, se presionaba la columna lumbar contra el suelo y luego se realizaba un curl-up lento, con la espalda redondeada a aproximadamente $35-40^\circ$. La cabeza se flexionaba hasta la posición de mentón sobre el pecho con contracción isométrica durante 10 seg.

Figura 6: Posición inicial: Posición recostada con caderas y rodillas flexionadas 90°, por encima del suelo. Inclínación pélvica posterior y elevación de las caderas (región glútea) del suelo en dirección a las rodillas. Los brazos estaban paralelos al cuerpo y pegados al suelo. La contracción isométrica era de aproximadamente 10 seg. Este ejercicio no había sido examinado previamente por medio de la actividad EMG.

Figura 7: Posición inicial: recostado con las rodillas flexionadas (110°). Los pies sin apoyo estaban apoyados en el suelo. Curl-up con rotación lateral hacia el lado izquierdo y con la mano derecha tocando el lado lateral de la rodilla izquierda (A), y una rotación lateral hacia el lado derecho con la mano izquierda tocando el lado lateral de la rodilla derecha (B). La columna lumbar estaba plana en el suelo.

Figura 8: Ejercicios excéntricos. Posición inicial: Sentado (flexión completa del tronco) con las rodillas flexionadas sin apoyo y los brazos extendidos, intentando tocar las rodillas (A). Esto se realizó con las manos en el pecho (B) y con las manos detrás del cuello (C). Movimiento lento y excéntrico hacia el suelo. Este ejercicio excéntrico comenzaba con la cabeza flexionada, la barbilla sobre el pecho y la espalda redondeada. La desaceleración del movimiento se realizaba vértebra a vértebra (caída del tronco); partía de la compresión de la columna lumbar, continuaba con la columna torácica, y finalmente la columna cervical, que entraba en contacto con el suelo. De esta forma, los participantes sintieron la contracción de los músculos abdominales.

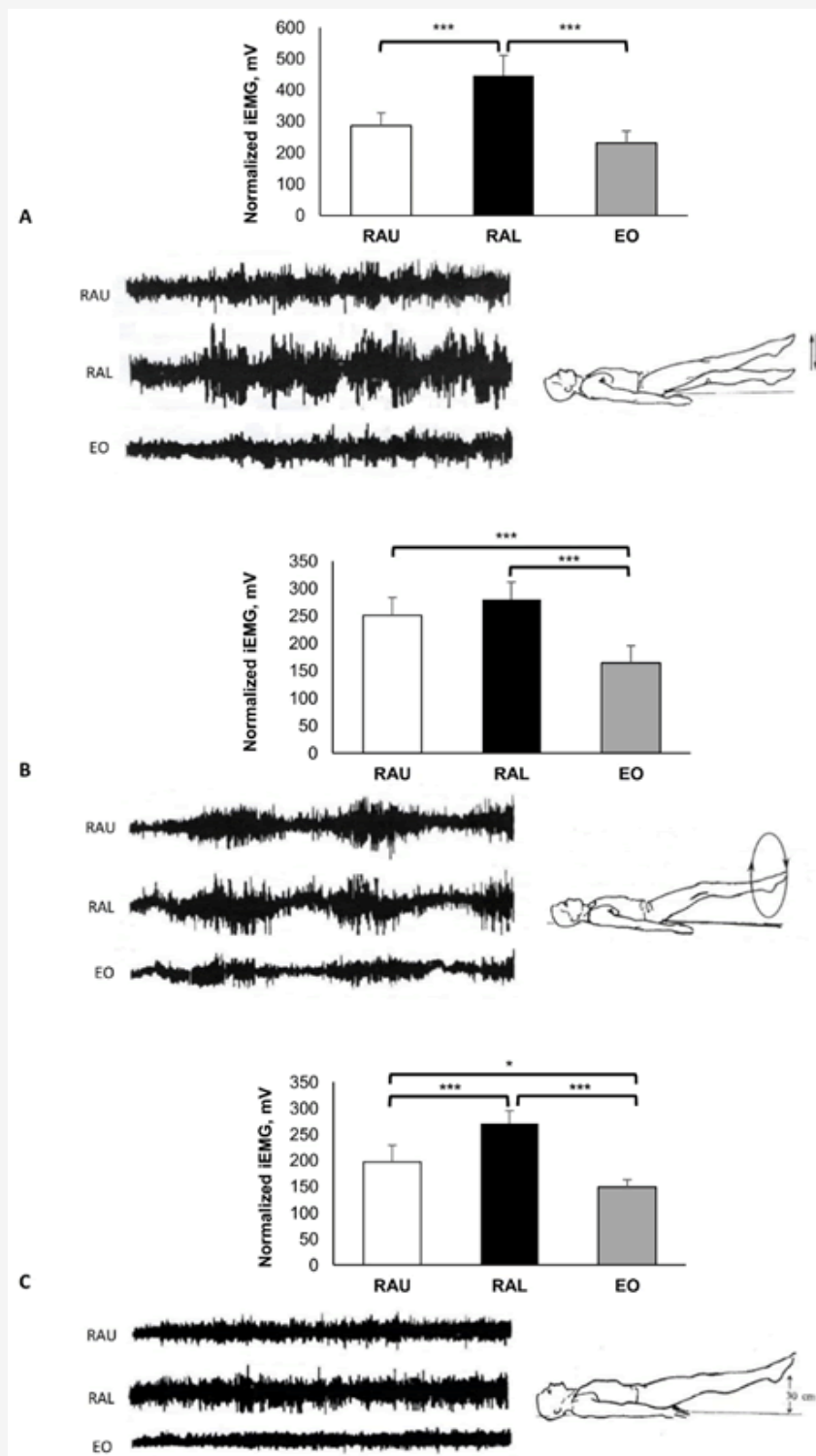


Figura 3. Recostado extendido. Ejercicios dinámicos: (A) ejercicio de tijera, (B) en círculos, y (C) piernas estiradas levantando 30 cm del piso con contracción isométrica por 10 seg (C). Actividad mioeléctrica media del grupo durante el ejercicio. iEMG indica actividad eléctrica superficial. Actividad EMG sin procesar de los tres músculos de un participante. RAU = parte superior del recto abdominal; RAL = parte inferior del recto abdominal; EO = oblicuo externo. Diferencias entre músculos: * $p < 0.05$; *** $p < 0.001$.

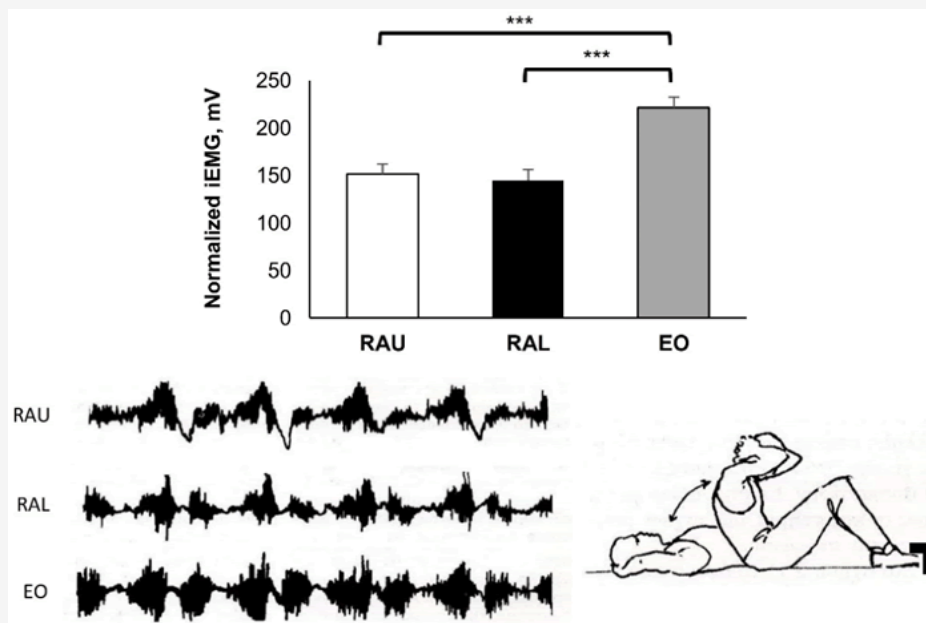


Figura 4. Sentado en el piso con las rodillas flexionadas y apoyo en los pies. Inicio rápido; Flexión y extensión del tronco cinco veces. Actividad mioeléctrica media del grupo durante el ejercicio. iEMG indica actividad eléctrica superficial. Actividad EMG sin procesar de los tres músculos de un participante. RAU = parte superior del recto abdominal; RAL = parte inferior del recto abdominal; EO = oblicuo externo. Diferencias entre músculos: *** $p < 0.001$.

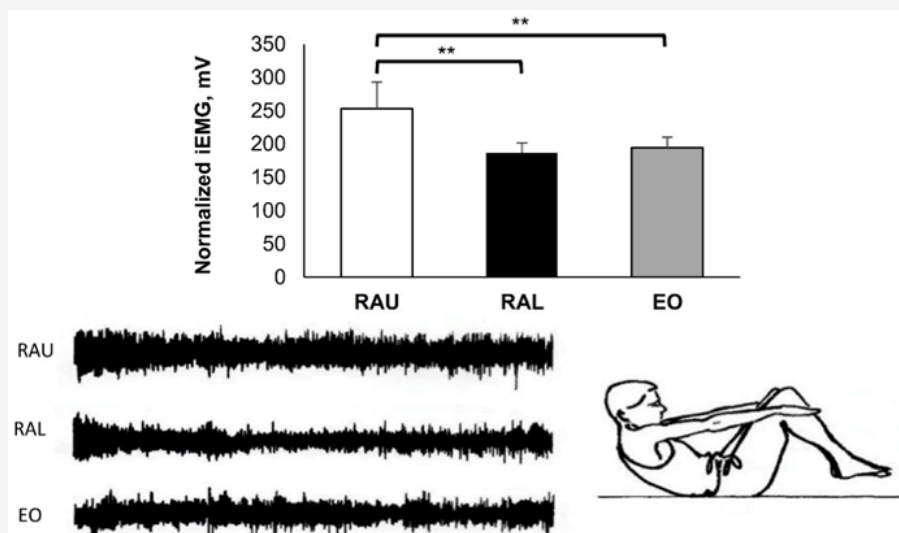


Figura 5. Recostado con los brazos elevados hacia adelante y los pies por encima del suelo. Enrollamiento lento con espalda redondeada a aproximadamente 35-40°, con contracción isométrica durante 10 seg. Actividad mioeléctrica media del grupo durante el ejercicio. iEMG indica actividad eléctrica superficial. Actividad EMG sin procesar de los tres músculos de un participante. RAU = parte superior del recto abdominal; RAL = parte inferior del recto abdominal; EO = oblicuo externo. Diferencias entre músculos: ** $p < 0.01$.

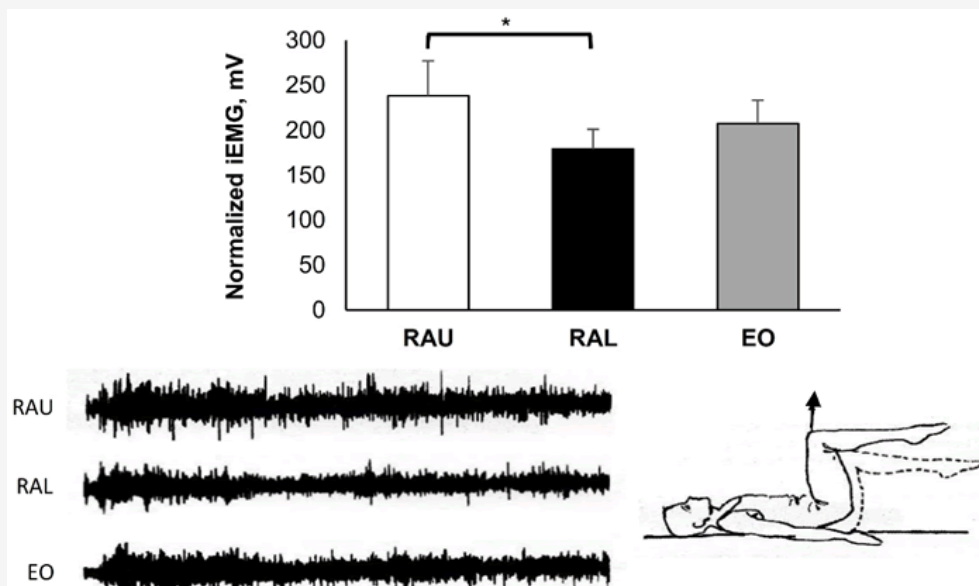


Figura 6. Caderas y rodillas flexionadas 90°. Inclinación pélvica posterior y elevación de caderas (ver flecha) con contracción isométrica durante 10 seg. Actividad mioeléctrica media del grupo durante el ejercicio. iEMG indica actividad eléctrica superficial. Actividad EMG sin procesar de los tres músculos de un participante. RAU = parte superior del recto abdominal; RAL = parte inferior del recto abdominal; EO = oblicuo externo. Diferencias entre músculos: * $p < 0.05$.

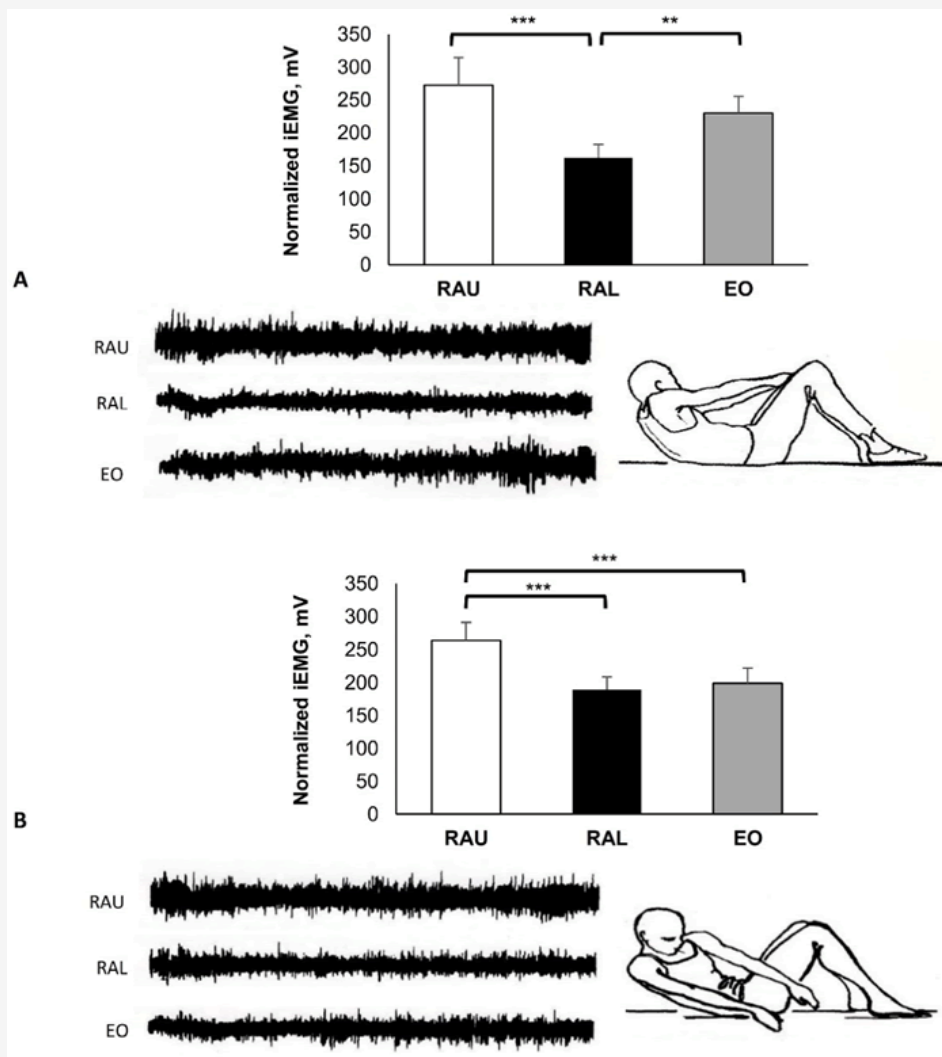


Figura 7. Posición supina con rodillas flexionadas y sin estabilización de miembros inferiores. Rotación del tronco hacia (A) el lado izquierdo y (B) el lado derecho del cuerpo con contracción isométrica durante 10 seg. Los electrodos de superficie se colocaron en el lado derecho del músculo oblicuo externo. Actividad mioeléctrica media del grupo durante el ejercicio. iEMG indica actividad eléctrica superficial. Actividad EMG sin procesar de los tres músculos de un participante. RAU = parte superior del recto abdominal; RAL = parte inferior del recto abdominal; EO = oblicuo externo. Diferencias entre músculos: ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

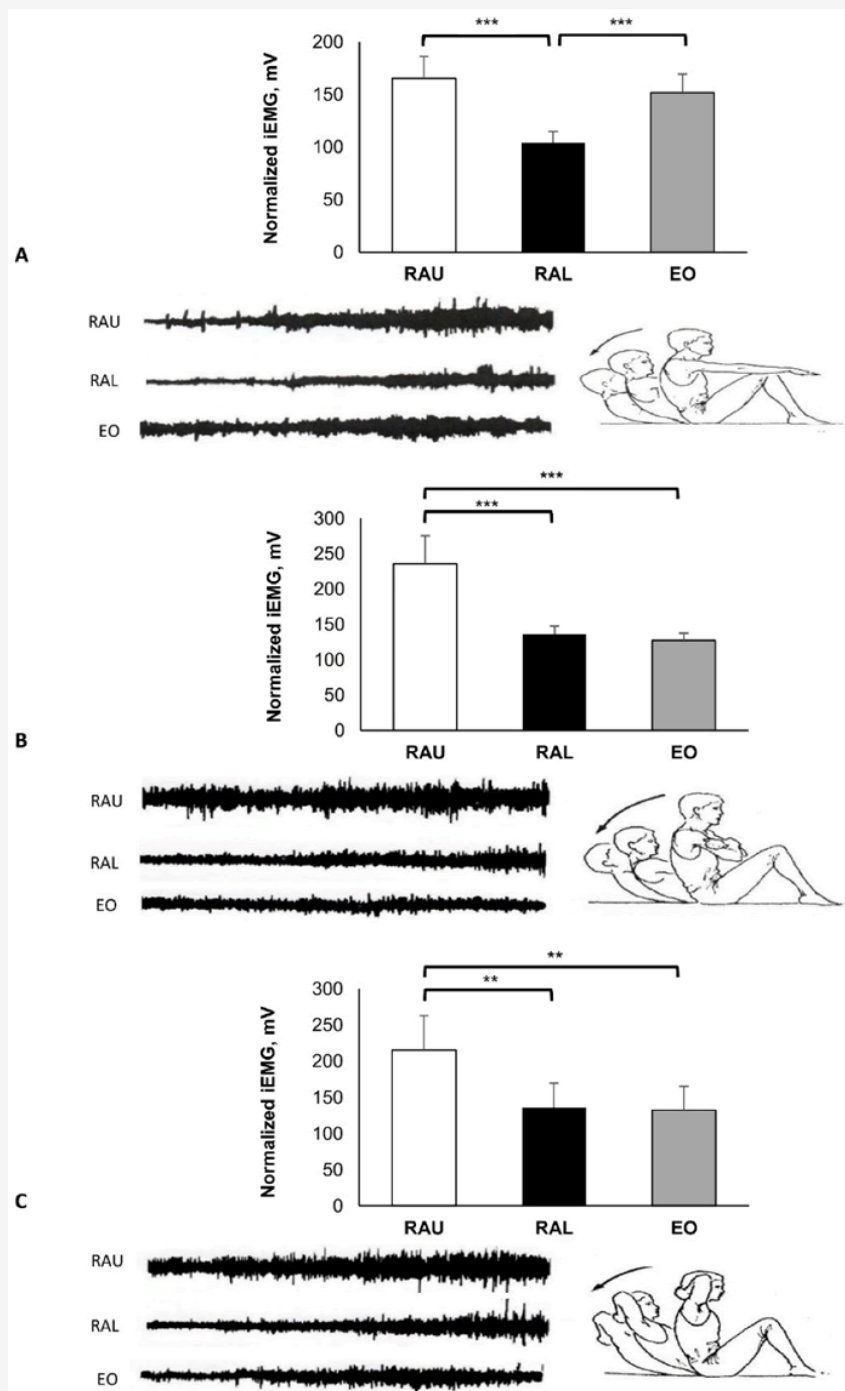


Figura 8. Ejercicios excéntricos. Desde la flexión completa del tronco con las rodillas sin apoyo y las manos dirigidas (A) hacia adelante, (B) sobre el pecho y (C) detrás del cuello. Extensión lenta del tronco con la espalda redondeada en el suelo. Actividad mioeléctrica media del grupo durante el ejercicio. iEMG indica actividad eléctrica superficial. Actividad EMG sin procesar de los tres músculos de un participante. RAU = parte superior del recto abdominal; RAL = parte inferior del recto abdominal; EO = oblicuo externo. Diferencia entre músculos: ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Registro EMG y análisis de datos

Las señales EMG sin procesar se evaluaron con dos electrodos de superficie de plata-cloruro de plata en miniatura (Beckman Instruments, Inc., Fullerton, CA, EE. UU.) y se registraron en un modelo Medelec MS 6 calibrado (velocidad de barrido 10:1 Ms/dv), a 2 kHz. Se utilizaron toallitas con alcohol para limpiar la superficie de la piel antes de la colocación de los electrodos. Los electrodos bipolares se aplicaron 6 cm por debajo del proceso xifoides para el RAU, 6 cm distales del ombligo para el RAL y en cada lado de la línea media a lo largo de la dirección del músculo. En el músculo EO, el electrodo se colocó en el lado derecho del centro del músculo, a 3 o 4 cm del ombligo, en dirección diagonal, coincidiendo con las

fibras musculares. Los registros de EMG se amplificaron por un factor de 1000, se rectificaron y se integraron mediante el cálculo del área bajo la curva rectificada, proporcionando una apreciación de la cantidad total de actividad eléctrica superficial (iEMG) durante el ejercicio. El iEMG promedio se calculó dividiendo por el tiempo transcurrido de las cinco repeticiones; el iEMG medio (MiEMG) para cada ejercicio se utilizó como criterio para el análisis estadístico [23].

Análisis estadístico

Todos los datos se expresaron como media \pm desviación estándar (SD). El análisis estadístico se realizó con SPSS V.26.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). La normalidad de los datos se verificó con la prueba de Kolmogorov-Smirnoff. Se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con análisis *post-hoc* de Bonferroni para determinar las diferencias entre los grupos musculares (RAU, RAL y EO) para todos los ejercicios. Se calcularon los tamaños del efecto *eta* cuadrado parcial (η^2) para los efectos de interacción del tipo de ejercicio \times grupo muscular. Un efecto de $\eta^2 = 0.2$ indicó un efecto pequeño, $=0.5$ medio y $=0.8$ grande. El nivel de significación se fijó en $p < 0.05$.

Resultados

Todas las actividades de EMG se realizaron durante varios tipos de ejercicios de curl-up y sit-up. Los datos de MiEMG y EMG sin procesar (de un sujeto seleccionado) en todos los ejercicios para los tres grupos musculares se muestran en la Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8. La Figura 3 presenta la actividad típica de los músculos abdominales con varios movimientos de piernas. Durante el movimiento alternado de piernas arriba y abajo (tijeras) (Figura 3A), hubo una fuerte activación del RAL (445.83 ± 64.83 mV), que mostró mayor actividad en comparación con el RAU (285.70 ± 40.75 mV) y el EO (231.17 ± 37.94 mV) ($p < 0.001$), respectivamente. Como se observa en la Figura 3B, el EO (163.90 ± 31.67 mV) estuvo menos activado en comparación con el RAU (250.67 ± 32.78 mV) y el RAL (279.00 ± 32.59 mV) ($p < 0.001$), respectivamente. Durante la elevación bilateral de piernas rectas y la contracción isométrica (Figura 3C), el RAL (271.17 ± 23.77 mV) mostró mayor actividad EMG en comparación con el RAU (197.00 ± 31.84 mV) y el EO (148.93 ± 13.81 mV) ($p < 0.001$); y la actividad del RAU fue mayor en comparación con el EO ($p = 0.011$).

Los movimientos de abdominales dinámicos (contracción muscular concéntrica y excéntrica) de la Figura 4 mostraron una evidente actividad dominante del EO (221.60 ± 10.56 mV), que fue mayor en comparación con RAU (151.42 ± 10.59 mV) y RAL (144.57 ± 11.72 mV) ($p < 0.001$).

En el ejercicio mostrado en la Figura 5, hubo mayor actividad en el RAU (252.83 ± 39.93 mV), en comparación con el RAL (186.63 ± 14.66 mV; $p = 0.002$) y el EO (194.13 ± 15.97 mV; $p = 0.004$).

En el ejercicio que se muestra en la Figura 6, el comportamiento de la actividad EMG fue completamente diferente entre los sujetos y el RAU (238.17 ± 38.76 mV) fue mayor en comparación con el RAL (179.10 ± 21.87 mV; $p = 0.011$).

Durante la rotación lateral izquierda (Figura 7A) la actividad del RAU (272.67 ± 41.88 mV) fue similar a la del EO (229.90 ± 25.56 mV); mientras que durante la rotación lateral a la derecha (Figura 7B), el RAU (263.67 ± 27.63 mV) tuvo mayor actividad en comparación con el EO (199.00 ± 22.98 mV; $p < 0.001$). Cabe destacar que el RAU y el RAL tuvieron una actividad similar, independientemente de que la rotación lateral se realizara hacia la derecha o hacia la izquierda.

Durante los ejercicios excéntricos (Figura 8A), la actividad EMG aumentó más al final del movimiento, cuando el sujeto se acercaba a la colchoneta. Se encontró mayor actividad EMG en el RAU (165.43 ± 20.92 mV) en comparación con el RAL (104.00 ± 10.86 mV; $p < 0.001$). El EO (151.88 ± 17.78 mV) fue más regular en todo el rango del movimiento y mostró mayor actividad en comparación con el RAL ($p < 0.001$). Se encontraron patrones similares en la Figura 8 B,C, donde el RAU (235.67 ± 39.74 mV y 215.10 ± 47.79 mV, respectivamente) fue mayor, en comparación con el RAL (136.50 ± 10.97 mV, $p < 0.001$ y 135.83 ± 33.83 mV, $p < 0.009$, respectivamente) y el EO (127.17 ± 10.57 mV, $p < 0.001$ y 132.08 ± 32.82 mV, $p < 0.006$, respectivamente).

Discusión

Los movimientos que se muestran en la figura 3A-C son realizados por los flexores de la cadera, en particular por el iliopsoas, el recto femoral y el sartorio [24]. La contracción de estos músculos aumenta la lordosis en la columna lumbar, mientras que los músculos abdominales tienen una acción estática, estabilizando la pelvis y evitando su rotación lateral o anterior.

La elevación bilateral de piernas a 30 cm del piso (Figura 3C) es un ejercicio que involucra dos movimientos; primero, una contracción de los flexores de la cadera para levantar las piernas, y segundo, mantener la elevación mediante la contracción isométrica de los músculos abdominales. En muchos ejercicios, los músculos abdominales tienen una función estabilizadora, lo que facilita la correcta realización del movimiento. Para conseguirlo, los músculos abdominales necesitan la fuerza suficiente para poder estabilizar la pelvis (fijación de la pelvis). El peso de los miembros inferiores suele corresponder a alrededor del 40% del peso corporal total. Los miembros inferiores se mantienen por encima del suelo por

la contracción de los flexores de la cadera, mientras que la posición neutra de la pelvis se logra por la fuerza estabilizadora isométrica de los abdominales, especialmente del RAL. En los ejercicios anteriores (Figura 3A-C), la alta actividad de los músculos abdominales se logra a expensas de una carga desigual en los discos intervertebrales y, por lo tanto, este método no se recomienda para el fortalecimiento abdominal [25].

Se realizaron abdominales sit-ups dinámicos con un inicio rápido (flexión concéntrica y extensión excéntrica) a través de todo el rango de flexión del tronco (Figura 4). La actividad de las unidades motoras de los abdominales aumentó, pero en un grado comparativamente bajo. Esto puede deberse al inicio rápido desde el suelo, donde no hubo suficiente tiempo para que los músculos abdominales se contrajeran. Además, se ha informado que el apoyo en los pies activa los flexores de la cadera y reduce la actividad de los músculos abdominales [10]. Nachemson [26] informó un aumento de la presión sobre el disco intervertebral al nivel de L3 durante la ejecución de sit-ups completos. Esto debe tenerse en cuenta cuando el entrenamiento continúa durante muchos años. La actividad del músculo recto abdominal fue mayor en las primeras etapas de la flexión del tronco y disminuyó a medida que aumentaba el rango de movimiento, más de 35 a 40°. La actividad EMG más alta se mostró durante la flexión del tronco (concéntrica) y en una posición más baja durante la extensión del tronco (excéntrica). Anderson y cols. [27] informaron que durante la contracción muscular concéntrica, la actividad de los músculos abdominales es un 50% mayor que durante la contracción muscular excéntrica.

En el ejercicio de curl-up que se muestra en la Figura 5, los músculos abdominales se activaron más cuando las piernas estaban por encima del suelo. La parte superior e inferior del cuerpo fueron levantadas por el mismo músculo, y esta podría ser la razón de la alta activación de los abdominales. También es posible que durante este ejercicio las extremidades inferiores y los músculos flexores de la cadera, que participan durante la sentadilla, estén inactivos debido a la posición acortada, por lo que los músculos abdominales podrían estar más activados. Se han informado resultados similares en investigaciones anteriores [28,29,30,31,32,33].

El ejercicio ilustrado en la Figura 6 mostró diferencias en la actividad EMG entre los sujetos. Esto, combinado con el aumento de la actividad EMG en general, puede deberse a la fatiga de los participantes. Fue difícil para muchos sujetos estabilizar el tronco y, por lo tanto, activar sus unidades motoras durante todo el ejercicio. Los participantes llevaban sus rodillas al pecho, en lugar de levantarlas verticalmente hacia arriba. Las razones podrían haber sido que no podían reclutar fácilmente sus unidades motoras, mientras que la reducción de la flexibilidad de la columna y posiblemente los músculos lumbares tensos tenían más probabilidades de bloquear la inclinación de la pelvis y levantar las rodillas. Por ello, previo a una prueba o entrenamiento de los músculos abdominales, es importante realizar pre-ejercicios que incluyan conexión mente-músculo para asegurar la correcta ejecución de los movimientos.

En la Figura 7, se puede ver que el RAU y el RAL tuvieron una actividad similar durante los curl-ups con rotación lateral hacia la izquierda y hacia la derecha, independientemente de la dirección que siguiera la rotación lateral. Esto era de esperarse, ya que el RAL permaneció aún en el piso. La diferencia observada entre el RAU y el EO sólo durante la rotación lateral derecha puede deberse a la variación de la movilidad del tronco de los participantes. Nuestros resultados están de acuerdo con estudios previos con enfoques metodológicos similares [34,35].

El ejercicio excéntrico puede ser una forma efectiva de mejorar la función neuromuscular reducida (reclutamiento y sincronización de unidades motoras) [36]. El ejercicio excéntrico que se muestra en la Figura 8 tiene la ventaja de que los participantes son "obligados" a sentir la contracción muscular. Por lo tanto, puede ser utilizado por personas no entrenadas y con sobrepeso, así como por personas con poca sensibilidad muscular. Esta técnica también se considera un buen ejercicio propioceptivo para fortalecer los músculos abdominales.

Limitaciones

Este estudio tuvo varias limitaciones. El tamaño de la muestra era pequeño y faltaron datos electromiográficos para otros músculos que también son responsables de la estabilidad del tronco (por ej., el oblicuo interno y el transverso del abdomen). Además, los ejercicios fueron realizados por cada participante en el mismo orden, lo que puede resultar en un posible efecto de orden. Además, en el presente estudio sólo se evaluaron estudiantes universitarios masculinos sanos con una subespecialidad en fútbol. Esto redujo el posible sesgo pero limitó la generalización de los hallazgos.

Aplicaciones prácticas

Nuestro estudio se realizó en adultos jóvenes, pero esto no excluye el hecho de que la adherencia a la forma adecuada para los ejercicios descritos en este estudio debe aplicarse en entornos de rehabilitación clínica y deportiva. La correcta aplicación de los ejercicios mencionados en este estudio puede mejorar el rendimiento de los músculos del tronco y la espalda, resultando dicha aplicación efectiva en la prevención y tratamiento del dolor lumbar. Los hallazgos del presente estudio serán una herramienta útil para fines de entrenamiento y proporcionarán información importante para programas de entrenamiento más efectivos y preventivos.

Conclusiones

El RAU y el RAL mostraron diferente activación EMG en algunos ejercicios, a pesar de ser partes del mismo músculo. Sin embargo, los ejercicios de abdominales sit-ups hacia la rodilla activaron casi por igual al RAU y al RAL. Los abdominales dinámicos o isométricos realizados en un rango parcial pueden ser un método efectivo para el entrenamiento de la fuerza de los músculos abdominales, porque ejercen comparativamente menos tensión sobre la columna lumbar. El enfoque metodológico de este estudio y sus hallazgos sugieren que futuras investigaciones deben centrarse en el hecho de que los estiramientos y ejercicios previos son necesarios antes de la implementación de cualquier prueba o entrenamiento de los músculos abdominales, y que la flexibilidad de la columna y los músculos que rodean la pelvis deben ser evaluados. El entrenamiento adecuado de los músculos abdominales es útil cuando se busca activar los músculos dentro de la curvatura fisiológica de la columna.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiación externa.

Declaración de la Junta de Revisión Institucional

El estudio se realizó de acuerdo con las pautas de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional del Laboratorio de Fisiología del Ejercicio y Rehabilitación Deportiva, Tesalónica, Grecia (n.º 01/2021).

Declaración de consentimiento informado

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos involucrados en el estudio.

Declaración de disponibilidad de datos

Los datos presentados en este estudio están disponibles previa solicitud al autor correspondiente. Los datos no están disponibles públicamente debido a restricciones de privacidad.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a todos los que se ofrecieron como voluntarios para participar en el estudio.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Para ver las referencias bibliográficas remitirse al artículo original (Electromyographic Activity of the Rectus Abdominis and External Oblique during Isometric and Dynamic Exercises). <https://doi.org/10.3390/jfmk7030067>.

Cita Original

Mandroukas, A.; Michailidis, Y.; Kyranoudis, A.E.; Christoulas, K.; Metaxas, T. Surface Electromyographic Activity of the Rectus Abdominis and External Oblique during Isometric and Dynamic Exercises. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2022, 7, 67. <https://doi.org/10.3390/jfmk7030067>