

Selected Papers from Impact

Esfuerzo Percibido, Control Postural y Reclutamiento Muscular en Tres Ejercicios en Cuadropedia Diferentes Realizados por Mujeres Sanas

Perceived Exertion, Postural Control, and Muscle Recruitment in Three Different Quadruped Exercises Performed by Healthy Women

Patrícia Cardoso Clemente^{1,2}, Luane Landim de Almeida^{1,2}, Eduardo José Danza Vicente³, Diogo Simões Fonseca^{1,3}, Victor Hugo Souza^{1,4,5}, Diogo Carvalho Felício¹ y Marco Antonio Cavalcanti Garcia^{1,5,6}

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação e Desempenho Físico Funcional, Faculdade de Fisioterapia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil

²Faculdade de Ciências Médicas e da Saúde de Juiz de Fora (SUPREMA), Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil

³Departamento de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Musculoesquelética, Faculdade de Fisioterapia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil

⁴Department of Neuroscience and Biomedical Engineering, Aalto University, School of Science, Espoo, Finland

⁵Grupo de Neuro Biomecânica, Faculdade de Fisioterapia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil

⁶Departamento de Fisiologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil

RESUMEN

Aunque los ejercicios cuadrúpedos (QE) han sido parte de los programas deportivos y de rehabilitación, no hay claridad sobre cómo estos ejercicios exigen el sistema musculoesquelético. Por lo tanto, este estudio transversal investigó el esfuerzo percibido, las demandas posturales y los perfiles de reclutamiento muscular impuestos por tres posturas en los ejercicios QE. Se registraron señales electromiográficas de superficie (sEMG) del transverso abdominal, dorsal ancho, multifido e iliocostal de 30 mujeres sanas sedentarias, en forma bilateral. Realizaron el ejercicio clásico en posición cuadrúpeda (CQ), una variación con flexión de hombro (FQ) y cuadrúpedo homolateral (HQ). También se registraron las puntuaciones de Borg (BS) y el centro de presión (CoP) de un estatoquinesiógrama palmar. Las señales EMG de superficie se normalizaron utilizando la actividad mioeléctrica registrada en otras dos posturas mientras se realizaban contracciones voluntarias isométricas (IVC). Los resultados se analizaron utilizando ANOVA de una (CoP) y tres vías (datos sEMG) con pruebas post hoc de Bonferroni ($\alpha = 0.05$). La escala de Borg se analizó mediante la prueba de Friedman. La posición CQ proporcionó BS y CoP más bajos que la posición HQ ($p < 0.05$), seguido de una actividad sEMG más alta (~51% de IVC) que la posición FQ (~47% de IVC; $p = 0.53$) y que la posición HQ (~44% de IVC; $p = 0.01$). A su vez, la posición HQ proporcionó mayor BS ($p > 0.05$) que las posiciones CQ y FQ. Los resultados sugirieron que la postura HQ fue el ejercicio más desafiante con respecto a CoP y BS, aunque la posición CQ presentó una actividad sEMG simétrica más alta. Dado que los ejercicios QE a menudo se prescriben en programas de ejercicios, el conocimiento específico de las características de

cada ejercicio QE hace que la prescripción sea más segura y eficiente.

Palabras Clave: músculos abdominales; ejercitar técnicas de movimiento; lumbalgia; aptitud física; equilibrio postural

ABSTRACT

Although quadruped exercises (QE) have been a part of rehabilitation and sports programs, there is no clarity on how these exercises challenge the musculoskeletal system. Therefore, this cross-sectional study investigated the perceived exertion, postural demands, and muscle recruitment profiles imposed by three QE postures. Surface electromyographic (sEMG) signals were recorded from transverse abdominis, longissimus dorsi, multifidus, and iliocostalis lumborum from 30 sedentary healthy women, bilaterally. They performed the classic quadruped exercise (CQ), a variation with shoulder flexion (FQ), and the homolateral quadruped (HQ). Borg scores (BS) and the center of pressure (CoP) from the palmar statokinesiogram were also recorded. Surface EMG signals were normalized using the myoelectric activity recorded from two other postures while performing isometric voluntary contractions (IVC). Results were analyzed using one- (CoP) and three-way (sEMG data) ANOVA with Bonferroni post hoc tests ($\alpha = 0.05$). The Borg scale was analyzed using the Friedman test. The CQ provided lower BS and CoP than HQ ($p < 0.05$), followed by a higher sEMG activity (~51% of IVC) than FQ (~47% of IVC; $p = 0.53$) and HQ (~44% of IVC; $p = 0.01$). In turn, HQ provided greater BS ($p > 0.05$) than CQ and FQ. The results suggested that the HQ was the most challenging exercise regarding CoP and BS, although CQ presented a higher symmetrical sEMG activity. Since QE are often prescribed in exercise programs, specific knowledge of the characteristics of each QE makes prescribing safer and more efficient.

Keywords: abdominal muscles; exercise movement techniques; low back pain; physical fitness; postural balance

INTRODUCCIÓN

Los ejercicios de estabilización de la columna se han adoptado habitualmente para tratar y prevenir el dolor lumbar y promover el rendimiento físico de deportistas y no deportistas (Graham, 2009; Manchikanti y cols., 2014; Knox y cols., 2017). Los ejercicios cuadrúpedos (QE) son un tipo de estas actividades, que se caracterizan esencialmente por adoptar una postura de cuatro apoyos con las extremidades superiores e inferiores apoyadas total o parcialmente en el suelo (Graham, 2009; Kelly y cols., 2016). Los QE se entienden claramente como conducentes a la estabilización dinámica de las cinturas pélvica y escapular al favorecer el estiramiento axial de la columna vertebral y promover el fortalecimiento de los músculos abdominales y paravertebrales (Ekstrom y cols., 2007). Por lo tanto, los QE han sido ampliamente discutidos en la literatura debido a su relevancia en ejercicios de rehabilitación, deportes y salud (Ekstrom y cols., 2007; Kelly y cols., 2016; Shah y cols., 2020).

Podemos observar distintas variaciones en la ejecución de los QE. Los QE también se denominan comúnmente como tirón de piernas y brazos al frente, 'perro-pájaro' y extensión de cadera y hombros en una postura de cuatro posiciones debido a las muchas posibilidades en las posiciones adoptadas (Chou y cols., 2007; Lunes y cols., 2010; Kelly y cols., 2016). En consecuencia, diferentes posturas corporales, con o sin apoyo externo, y diversas formas de ejecución (movimientos simétricos o asimétricos, bilaterales u homolaterales) comprenden algunas propiedades de los QE. Por ejemplo, el ejercicio de cuadrúpedo funcional (FQ), que requiere una extensión máxima de la extremidad superior y la extensión de la extremidad inferior contralateral a 0° y flexión plantar máxima, es parte del método cinético funcional de Klein-Vogelbach (1990). Por lo tanto, el movimiento propuesto en esta postura se sugiere como un movimiento funcional ligado a la marcha, donde el miembro superior se balancea en fase con el inferior contralateral. Aun así, aunque estudios previos han aportado algunos conocimientos sobre el patrón electromiográfico de varios músculos del tronco durante la ejecución de diferentes posturas de los QE (Calatayud y cols., 2017), otros no han logrado aclarar su idoneidad para prevenir lesiones deportivas (Blasimann y cols., 2018) y el tratamiento de la lumbalgia (Gupta y Alok, 2020).

Por lo tanto, aunque conjeturamos que la diversidad de posturas de los QE (Youdas y cols., 2014; Kelly y cols., 2016) puede ofrecer a los entrenadores y fisioterapeutas la oportunidad de adaptarlas a diferentes grupos, parece haber una falta de comprensión de cómo pueden desafiar a sus practicantes. Por lo tanto, parece imperativo no sólo caracterizar los QE a partir de su patrón de reclutamiento muscular, sino también a partir de otros parámetros que pueden ayudar a los terapeutas y entrenadores en la prescripción de estos ejercicios. Por lo tanto, además del esfuerzo percibido y el

reclutamiento muscular, que se pueden determinar mediante el uso de la escala de Borg y la actividad mioeléctrica, respectivamente, sino también comprender qué tan desafiante puede ser cada postura, puede ayudar a aclarar la idoneidad de estos ejercicios. En cuanto a los desafíos impuestos por los QE en el control postural, entendemos que la exploración utilizando el área de excursión del centro de presión desde la base de apoyo puede ser un enfoque adecuado para este propósito. Sin embargo, hasta donde sabemos, ninguna investigación previa pudo caracterizar aún más las posturas de los QE a la luz de esos parámetros. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo investigar el esfuerzo percibido, las demandas posturales y los perfiles de reclutamiento muscular impuestos por tres posturas de los ejercicios QE tradicionales en mujeres sanas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Participantes

El tamaño de la muestra se estimó utilizando el software GPower (versión 3.1.9 Düsseldorf, Alemania) (Faul y cols., 2007). Los parámetros de estimación para una serie de pruebas F fueron: Tamaño del efecto f de 0.25, potencia = 0.80 y 5% ($\alpha = 0.05$) de nivel de significación, lo que nos permitió establecer un tamaño de muestra mínimo de 29 voluntarios. Todos los participantes eran diestros, según el cuestionario de Oldfield (Oldfield, 1971), libres de trastornos neurológicos y motores, y clasificados como sedentarios o insuficientemente activos según el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ) en su versión corta (Matsudo y cols., 2001). Los criterios de exclusión fueron los siguientes: lumbalgia incapacitante en los últimos 12 meses, hernia discal, escoliosis, enfermedades neurológicas o infecciosas, dismetría de miembros inferiores (miembros inferiores) y/o miembros superiores (comprobado por el examen físico realizado por los investigadores), dolor de espalda durante el día de la toma de datos, cáncer, embarazo, intervenciones quirúrgicas en la columna, lesiones cutáneas en los sitios de fijación de los electrodos y falta de realización de las tres diferentes posturas estudiadas antes de la toma de datos. El comité de ética local aprobó el estudio (Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil; n. 2.634.323) de conformidad con la Declaración de Helsinki y realizado durante el año 2019. Todos los participantes fueron informados sobre las características del estudio, y firmaron el formulario de consentimiento informado antes de participar en el protocolo experimental.

Instrumentación y procedimientos

Las posturas de los QE se investigaron únicamente a partir del mantenimiento de la mano derecha (dominante) en el suelo y en condiciones de contracción isométrica, y todos los datos se registraron en una sola sesión de adquisición. Se utilizó la escala de Borg modificada (niveles 1-10) al final de las tres repeticiones de cada postura de los QE para obtener el índice de esfuerzo percibido de cada participante (Borg, 1998).

Se utilizó una placa de presión (FootWork, Francia; conversor A/D: 16 bits; frecuencia de muestreo: 150 Hz; 400 mm × 400 mm) para registrar la serie temporal del centro de presión (CoP) de la mano dominante en el apoyo en el suelo para evaluar qué tan desafiante fue cada uno de los ejercicios QE adoptados para mantener la estabilidad postural. El área elíptica de la CoP del estatokinesiograma se utilizó para caracterizar las posturas de los QE y para medir cuánto desafiaba el control de estabilidad postural cuadrúpedo de la base de apoyo palmar. La plataforma de presión registra los desplazamientos antero-posterior y medio-lateral, infiriendo así el nivel de estabilidad de la postura adoptada.

Registramos la actividad mioeléctrica de superficie (sEMG) de cuatro músculos del tronco diferentes (transverso del abdomen [TA]; iliocostal [IC]; dorsal ancho [LD]; y multifido [MD], bilateralmente). Los electrodos de superficie sEMG (Solidor®, Medico Electrodes International Ltd., Uttar Pradesh, India; Ag-AgCl; 1 cm de diámetro) se colocaron sobre el vientre muscular correspondiente en configuración bipolar con una distancia interelectrodo de 20 mm, de acuerdo con las recomendaciones de SENIAM (Hermens y cols., 2000) y Knox y cols. (2017). El electrodo de referencia se colocó sobre la prominencia cervical C7. La piel fue rasurada y limpiada con alcohol y jabón neutro antes de colocar los electrodos. Las señales sEMG se digitalizaron (EMG System do Brasil Ltda, São José dos Campos, Brasil; modelo: 810C; ganancia: 2000, frecuencia de muestreo: 2,0 kHz por canal; filtro: paso de banda de cuarto orden Butterworth: 20-500 Hz; A/D conversor: 16 Bits) y grabado con el software EMGLab V1.1 (versión 2012; Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda, São Paulo, SP, Brasil). Además de adoptar las recomendaciones del SENIAM para reducir los riesgos de sesgo de la señal de sEMG, el sistema de registro fue alimentado por baterías sin ninguna otra conexión a la red eléctrica.

Los participantes realizaron tres ejercicios de QE diferentes desde una posición inicial (en una posición de cuatro posturas, las rodillas alineadas al ancho de la articulación de la cadera, las extremidades superiores en una flexión de hombro de 90° con las manos colocadas al ancho de los hombros) de la siguiente manera: 1) Cuadrúpedo clásico (CQ): flexión de hombro de 180° con rotación externa de hombro y antebrazo en posición neutra. Extensión de cadera contralateral hasta 0° con

máxima flexión plantar (Figura 1A); 2) Cuadrúpedo funcional (FQ): Extensión máxima del miembro superior y extensión del miembro inferior contralateral a 0° y flexión plantar máxima (Figura 1B); Cuadrúpedo homolateral (HQ): Igual que el clásico, pero el miembro inferior y el miembro superior homolaterales (Figura 1C). Los sujetos se familiarizaron con los ejercicios antes del registro de datos para garantizar la perfecta ejecución de cada variación de los ejercicios QE. Cada ejercicio QE se repitió tres veces durante 10 seg en cada intento, con 30 seg de descanso entre intentos y un intervalo de 5 min antes de comenzar el siguiente ejercicio para minimizar los efectos de la fatiga.

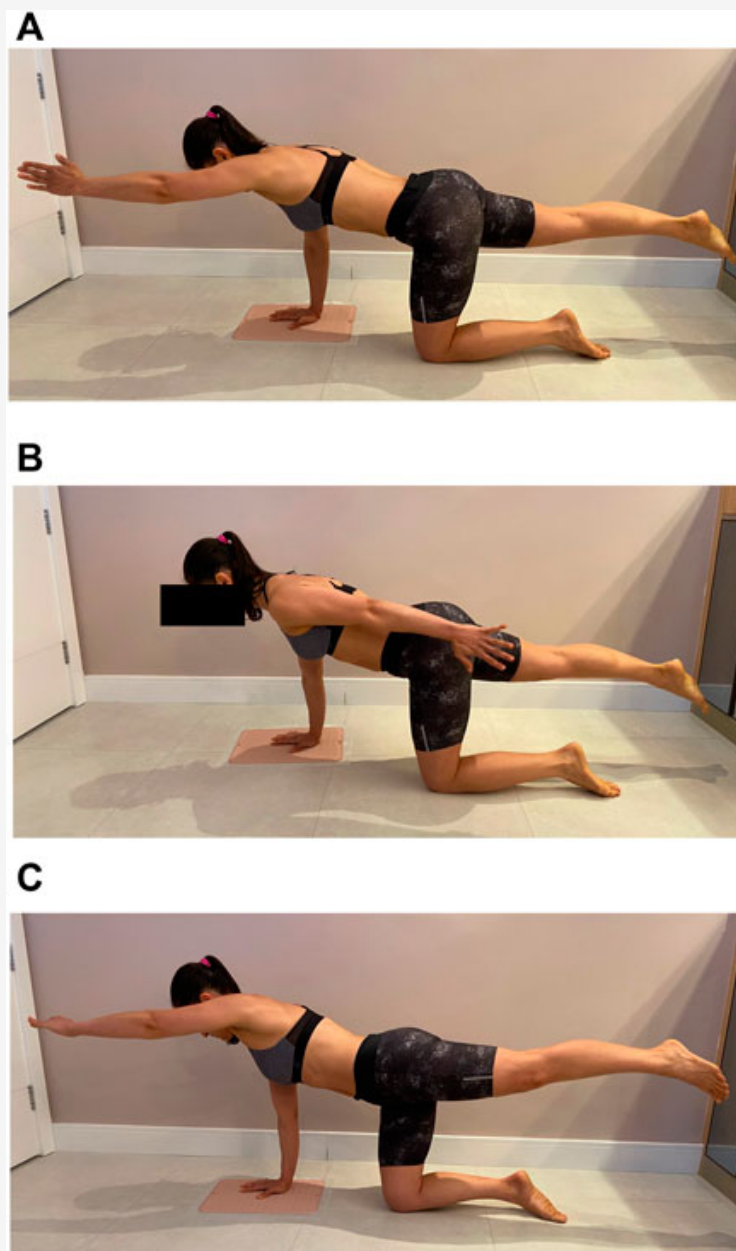


Figura 1. Posiciones finales de los ejercicios analizados. (A) Cuadrúpedo clásico (B) Cuadrúpedo funcional y (C) Cuadrúpedo homolateral.

Registro de datos

Oliveira y cols. (1996) reportan que los datos estabilométricos siguen una distribución Gaussiana en las dos direcciones investigadas (x: latero-lateral; y: anteroposterior). Por lo tanto, el área de CoP elíptica calculada (mm²) contenía el 95% de las muestras (= 750) en ambas direcciones investigadas, a 1.96 desviaciones estándar en x e y de la mano dominante en el apoyo del suelo.

De acuerdo con la siguiente ecuación, el parámetro temporal extraído de la señal sEMG fue la raíz cuadrada media (valor RMS).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N EMG[n]^2}$$

donde N representa el número de muestras (= 10.000) en los intervalos analizados (T = 5 seg).

Los valores RMS se normalizaron en relación con este parámetro también obtenido de las señales sEMG registradas durante las contracciones voluntarias isométricas (IVC) derivadas de las dos tareas de control realizadas por los participantes. Permitió comparar el patrón de reclutamiento muscular de los cuatro músculos estudiados en las tres posturas de los ejercicios QE. Una de las tareas de control implicaba lograr una extensión completa de la columna lumbar durante 10 seg. El participante asumía la postura en decúbito ventral, con los miembros inferiores sujetos a la camilla, y mantenía las manos en la nuca. Para registrar la IVC del músculo transverso del abdomen, los participantes realizaron un ejercicio de plancha sobre los codos durante 10 seg, considerando que este músculo tiene una función activada en la estabilización del tronco en esta posición. En resumen, la normalización de la actividad mioeléctrica de cada músculo (lados derecho e izquierdo) ocurrió a partir de la relación entre el valor RMS obtenido de cada postura en los ejercicios QE y las dos tareas de control realizadas.

Las señales sEMG extraídas para el análisis fueron aquellas con una duración de 5 seg pero comprendidas entre los 2.5 seg iniciales y finales desde el mantenimiento de la postura final referente a cada ejercicio de QE y las dos tareas de control. Este procedimiento fue adoptado para garantizar la mínima estacionariedad de las señales sEMG. Los datos de CoP para el análisis también se obtuvieron del mismo intervalo de tiempo.

Los ejercicios QE se llevaron a cabo bajo la supervisión de uno de los investigadores. Al llegar a la posición final de cada postura, el participante debía permanecer en ella durante 10 seg, similar a las tareas de control. El orden en la ejecución de los tres ejercicios de QE se realizó de forma aleatoria. Al final de cada secuencia de QE, los participantes debían clasificar el esfuerzo percibido por el índice de Borg modificado (0-10; Borg, 1998) en cada ejercicio. Los datos obtenidos de la segunda repetición de cada ejercicio de QE se consideraron arbitrariamente para el análisis.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con scripts personalizados escritos en lenguaje R (versión 4.1.0, R Core Team, Viena, Austria, 2021). La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk cuando fue necesario. Se adoptó un análisis de varianza de tres vías (ANOVA) para la evaluación de datos sEMG (factores: *QE* × *lado corporal* × *músculo*). A su vez, el efecto del ejercicio de QE sobre el CoP se analizó con un ANOVA de una vía. Siempre que era necesario, se aplicó la prueba *post-hoc* de Bonferroni. Se aplicó la prueba de Friedman para los datos de la escala de Borg con Dunn como prueba *post-hoc* para comparaciones múltiples. El nivel de significación adoptado se fijó en el 5% ($\alpha = 0.05$).

Resultados

Treinta mujeres sanas (edad: 22.1 ± 1.55 años; altura: 1.60 ± 0.06 m; masa corporal: 54.4 ± 9.02 kg; IMC < 25 kg/m²; puntaje de Oldfield: $+80.4 \pm 33.8$) participaron del estudio.

En cuanto a la escala de Borg, al comparar las condiciones evaluadas, hubo diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.01$, W de Kendall = 0.03, IC 95% [-0.68 - 1.00]). Se encontraron valores más altos para la escala BORG en la condición HQ (4.35 ± 1.8) que en las otras 2 condiciones de QE (CQ: 2.1 ± 0.8 ; FQ: 2.9 ± 1.6 ; $p < 0.05$) (Figura 2).

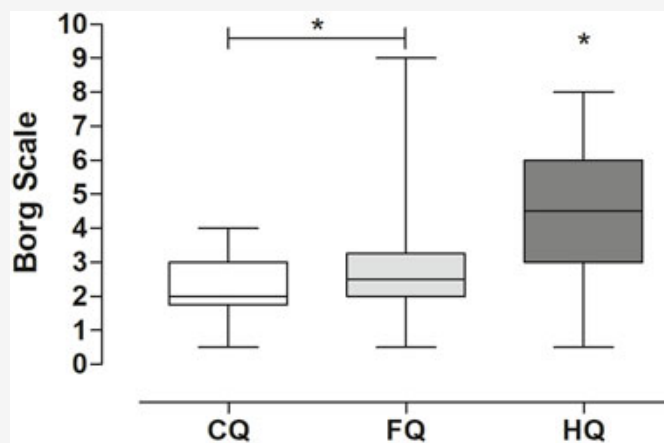


Figura 2. Resultados (medianas y cuartiles) de la escala de Borg para los tres ejercicios de QE. El ejercicio homolateral (HQ) resultó en niveles significativamente más altos (* $p < 0.05$) de esfuerzo percibido en contraste con los otros dos (CQ y FQ).

A su vez, para el área elíptica de CoP, también hubo una diferencia estadísticamente significativa entre las condiciones evaluadas ($p < 0.01$, $\eta^2 = 0.18$, IC del 95% [0.07-1.00]). La postura HQ presentó áreas significativamente mayores que CQ (MD = 32.04) y que FQ (MD = 25.15) ($p < 0.05$), como se muestra en la Figura 3.

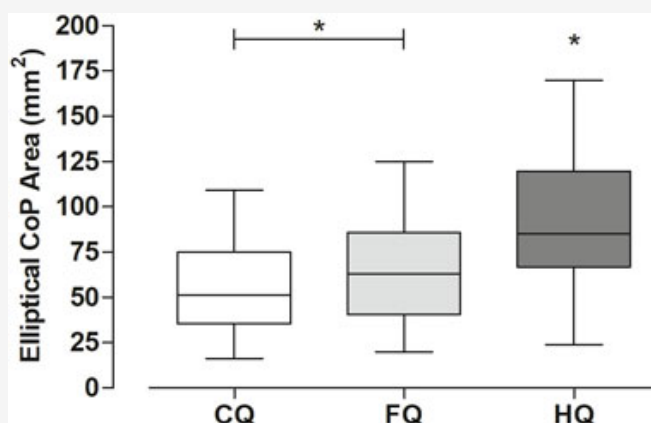


Figura 3. Resultados (medianas y cuartiles) del área elíptica de CoP (mm²) obtenidos del apoyo palmar en las tres condiciones evaluadas. El ejercicio homolateral (HQ) también resultó en áreas elípticas de CoP significativamente mayores (* $p < 0.05$) en contraste con los otros dos ejercicios (CQ y FQ).

La amplitud relativa de la señal sEMG presentó una diferencia estadísticamente significativa para los efectos principales de QE ($p = 0.01$, $F(2, 696) = 4.10$, $\eta^2 = 0.01$, IC 95% [0.00-1.00]) y Músculo ($p < 0.01$, $F(3, 696) = 9.26$, $\eta^2 = 0.04$, IC del 95% [0.02-1.00]). No hubo interacción entre los factores QE \times Músculo ($F(6, 696) = 0.56$; $p = 0.76$). Considerando el ejercicio de QE, la postura CQ fue significativamente mayor en contraste con HQ (DM = 6.93, $t = 2.86$, $p = 0.01$) pero no en relación con FQ (DM = 3.27, $t = 1.35$, $p = 0.36$) (Figuras 4A-C). No hubo diferencia estadísticamente significativa para la señal sEMG entre los lados ($F(1, 696) = 1.99$; $p = 0.15$) (Figura 4D). Además, no hubo interacción entre los tres factores (QE \times lado del cuerpo \times músculo); $F(6, 696) = 0.41$; $p = 0.86$).

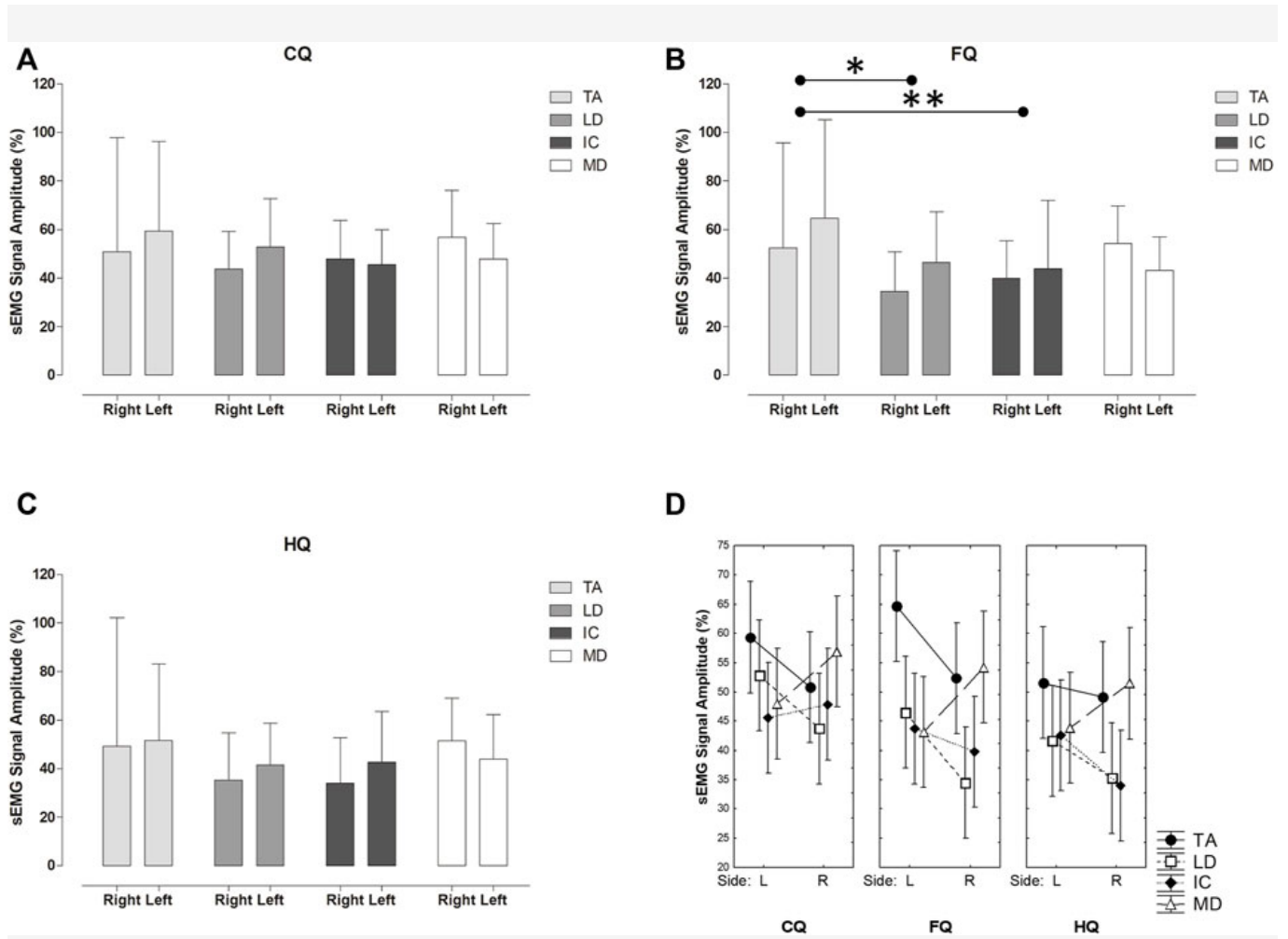


Figura 4. Media (\pm SD) de la amplitud relativa de la señal sEMG (%) comparando los músculos TA, LD, CI, MD bilateralmente para el (A) cuadrúpedo clásico (CQ) (B) cuadrúpedo funcional (FQ) (C) cuadrúpedo homolateral (HQ) y entre los lados del hemicerpo para las tres posturas (D); * $p = 0.01$; ** $p = 0.03$. Lados del hemicerpo: L: Izquierda; R: Derecha.

Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar tres posturas diferentes de ejercicios de QE comúnmente adoptadas en rehabilitación y en el entrenamiento funcional, debido a la falta de consenso sobre aportes proporcionados a los entrenadores y fisioterapeutas en la prescripción de estos ejercicios. De acuerdo con los resultados encontrados, se sugiere que las tres posturas difieren no sólo en el esfuerzo percibido sino también en el patrón de reclutamiento muscular y control postural, que se discuten a continuación.

Escala de Borg

Los resultados obtenidos de la escala de Borg modificada sugieren que la postura HQ fue más exigente para los participantes que las otras dos posturas. Al igual que el clásico perro-pájaro cuadrúpedo, la posición inicial es bajo cuatro apoyos: manos y rodillas. Desde esta posición, el sujeto realiza una flexión de hombro de 180° mientras que el miembro inferior homolateral se extiende en un movimiento de 90° hasta la posición neutra. La base de apoyo, configurada por los puntos de apoyo en el suelo, se define en el lado derecho de esta postura. Debido a que el centro de gravedad está desplazado hacia la izquierda, puede haber una rotación del tronco hacia la izquierda para proyectarlo hacia la base de apoyo. Esta hipótesis parece ser corroborada por el estatokinesiograma, cuya área elíptica del CoP fue significativamente mayor que en CQ y en FQ. Por lo tanto, según la escala de Borg modificada, se sugiere que la condición homolateral (HQ) parece más exigente que las otras dos posturas.

Curiosamente, no mostró una sEMG más alta o amplitudes de señal asimétricas en comparación con las posturas de CQ y de FQ. Por lo tanto, aunque el ejercicio homolateral fue defendido por Rudolph Klapp y descrito como un ejercicio efectivo para el tratamiento de la escoliosis (Lunes y cols., 2010), podemos conjeturar que la postura HQ puede no ser tan adecuada como se hipotetizó en una población de este tipo basada sólo en la amplitud de la señal sEMG. Significa que si

alguien tiene como objetivo aumentar el reclutamiento muscular de un lado del tronco con respecto al otro para corregir las desviaciones posturales, la postura HQ puede no ser el mejor ejercicio. Por lo tanto, los entrenadores y fisioterapeutas deben interpretar cuidadosamente la amplitud de la señal sEMG como parámetro al prescribir ejercicios QE.

Área elíptica de CoP

De acuerdo con nuestra revisión de la literatura, ningún otro estudio había investigado los efectos de las posturas de los ejercicios QE en las áreas de excursión del CoP. En consecuencia, fue posible esclarecer algunas de las estrategias adoptadas por los participantes en el control del equilibrio en cada una de las posturas de QE evaluadas.

Como se destacó anteriormente, la condición homolateral (HQ) parecía conducir a una tarea más desafiante y, por lo tanto, inestable que la condición de control clásica (CQ), corroborado por la escala de Borg modificada. El área elíptica CoP de la postura HQ recorrió los ejes anteroposterior y medio-lateral de manera más significativa que la postura CQ, lo que puede estar relacionado con la disposición homolateral de los miembros superiores e inferiores en esta postura. Debemos mencionar que planteamos la hipótesis de que un área de CoP reducida iría acompañada de una mayor amplitud de la señal sEMG. Significaría que cuanto menor sea el desplazamiento del CoP, mayor será el reclutamiento muscular para hacer que el cuerpo sea más rígido para enfrentar las exigencias en el control postural de cada ejercicio QE. Sin embargo, no observamos tal concordancia, lo que sugiere que no parece haber asociación entre los parámetros investigados a partir del estatocinesiógrama y la señal sEMG.

Además, destacamos la imposibilidad de registrar los estatocinesiógramas de toda la base de apoyo en las tres posturas. Esta medida permitiría comprender mejor cómo se comporta el centro de gravedad del cuerpo como consecuencia de las tareas realizadas.

La actividad mioeléctrica

Graham (2009) describió el CQ como un ejercicio para reclutar el 'core', activando los músculos del tronco, el abdomen, la cadera y la cintura escapular. En consecuencia, el CQ puede considerarse el ejercicio más útil para estimular la estabilización de la columna dentro de la práctica clínica en consultorios y gimnasios. Se encontró un reclutamiento muscular equilibrado tanto en la mano ascendente como en los lados del apoyo palmar. La señal sEMG encontrada en los datos sugiere que este es un ejercicio para el desarrollo de la fuerza, es decir, por encima del ~41% de la IVC en todos los músculos evaluados (Ekstrom y cols., 2007). Además del patrón de reclutamiento muscular encontrado en el presente estudio, esta postura de QE sugiere una activación muscular más notable y equilibrada entre los lados que las posturas FQ y HQ. Es atractivo ya que la postura adoptada durante el ejercicio es asimétrica y proporciona puntajes de Borg modificados más bajos. En este sentido, nuestros resultados no corroboran a García-Vaqueiro y cols. (2012), quienes observaron una mayor activación en el TA izquierdo (refiriéndose a la mano ascendente). Se plantearon algunas hipótesis sobre las divergencias entre los resultados observados en el presente estudio y los informados por García-Vaqueiro y cols. (2012). Principalmente, se instruyó a los participantes para que realizaran las dos tareas de control que contribuyeron al proceso de normalización de la señal sEMG sin otras fuerzas de resistencia además de las relacionadas con el peso de las partes del cuerpo. Además, el valor RMS, en contraste con el valor medio rectificado, parece ofrecer ventajas en la interpretación de los mecanismos de reclutamiento muscular ya que el primero está relacionado con la potencia de la señal sEMG (De Luca, 1997). Además, aunque los autores reportan mínimas diferencias entre hombres y mujeres en cuanto al patrón electromiográfico y han realizado sus análisis en base a ambos grupos, nuestra muestra de estudio presentó características más homogéneas. En consecuencia, algunas cuestiones metodológicas pueden haber contribuido a estos diferentes hallazgos, que merecen una mayor aclaración en estudios futuros.

Comparando la postura FQ con la postura CQ, donde el cambio se basó únicamente en el movimiento del hombro, siendo la extensión más que la flexión, la activación de los músculos TA y MD fue similar. Además, observamos que las activaciones del IC y del LD mostraron una diferencia menor estadísticamente significativa en el cuadrúpedo funcional (FQ) en comparación con el clásico QC.

Como se describió anteriormente como un ejercicio para el tratamiento de la escoliosis (Lunes y cols., 2010; Dantas y cols., 2017), el HQ proporcionó mayor inestabilidad y puntuaciones de Borg. Curiosamente, no resultaron en mayores niveles de reclutamiento muscular. A pesar de una mayor pero no significativa activación en el TA con respecto a los otros músculos, el lado de apoyo más grande con un reclutamiento más evidente de los músculos MD, LD y IC presentó una activación menor que los ejercicios anteriores. La mayor área de excursión del CoP en la mano de apoyo parece haber llevado a una estrategia muscular menos activa para hacer que la condición de equilibrio sea más flexible. Estudios futuros que relacionen la inestabilidad postural y el grado de activación muscular de un determinado ejercicio pueden beneficiar la prescripción del ejercicio asertivo.

Con respecto a la estabilidad palmar y el esfuerzo percibido, la postura HQ fue el ejercicio más desafiante. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la postura HQ no mostró una mayor activación muscular que los demás. Estos resultados

refuerzan que interpretar la contribución de las variables intervinientes de los ejercicios de QE únicamente por la magnitud de la contracción muscular puede ser erróneo. Con base en la amplitud de la señal sEMG, el ejercicio CQ parecía más simétrico en el reclutamiento muscular entre los músculos estudiados bilateralmente, probablemente porque la postura adoptada conduce a una proyección del centro de gravedad hacia el centro de la base de apoyo. Sin embargo, esto es sólo una conjetura ya que sólo pudimos monitorear el área de excursión del CoP desde sólo uno de los puntos de la base de apoyo. Aun así, nuestros hallazgos sugieren que el ejercicio CQ puede ser una excelente opción para el reclutamiento bilateral de los músculos responsables de la estabilización de la columna. Por lo tanto, a partir de los presentes resultados, creemos haber encontrado algunas pistas que deben ser consideradas por los profesionales de la salud en el proceso de entrenamiento de los ejercicios de QE.

Finalmente, afirmamos que: 1) El reclutamiento muscular de los músculos investigados no parece seguir el nivel de esfuerzo percibido en las tres diferentes posturas estudiadas de los ejercicios cuadrúpedos; 2) La postura clásica de los ejercicios cuadrúpedos parece ofrecer un reclutamiento muscular que, además de ser mayor que las otras dos posturas estudiadas, también resultó ser más simétrico entre los lados; y 3) Dadas las características del esfuerzo percibido, el desafío en el control postural y el reclutamiento muscular, se sugiere que cada una de las posturas asumidas puede ser adoptada más claramente por diferentes sujetos con diferentes demandas/capacidades. Podemos concluir que es posible prescribir estas condiciones con mayor asertividad y seguridad a partir de estos datos.

Declaración de disponibilidad de datos

Los datos sin procesar que respaldan la conclusión de este artículo serán puestos a disposición por los autores, sin reservas indebidas.

Declaración de Ética

Los estudios con participantes humanos fueron revisados y aprobados por el comité de ética local (Universidad Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil; n. 2.634.323) y de conformidad con la Declaración de Helsinki. Los pacientes/participantes dieron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio.

Financiamiento

Este estudio fue financiado en parte por la [Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES) #1] bajo Grant [Finance Code 001], [Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) #2] bajo Grant (CDS-APQ-01730-09-51900) y (CDS-APQ-00923-11-213588), y [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) #3]. VS fue financiado por el Consejo Europeo de Investigación (ERC) en el marco del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea (ConnectToBrain; acuerdo de subvención número 810377).

Agradecimientos

Los autores agradecen a la profesora Ludimila Forechi (UFJF/GV) por las fructíferas discusiones sobre nuestros hallazgos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

REFERENCIAS

1. Blasimann A., Eberle S., Scuderi M. M. (2018). [Effect of core muscle strengthening exercises (including plank and side plank) on injury rate in male adult soccer players: a systematic review]. *Sportverletz. Sportschaden* 32, 35–46.
2. Borg G. (1998). Borg's Perceived exertion and pain scales. *Champaign, IL: Human Kinetics*.
3. Calatayud J., Casaña J., Martín F., Jakobsen M. D., Colado J. C., Andersen L. L. (2017). Progression of core stability exercises based on the extent of muscle activity. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 96, 694–699.
4. Chou R., Qaseem A., Snow V., Casey D., Cross J. T., Shekelle P., y cols. (2007). Diagnosis and treatment of low back pain: a joint clinical practice guideline from the american college of physicians and the american pain society. *Ann. Intern. Med.* 147, 478–491.
5. Dantas D. S., De Assis S. J., Baroni M. P., Lopes J. M., Cacho E. W. A., Cacho R. O., y cols. (2017). Klapp method effect on idiopathic scoliosis in adolescents: blind randomized controlled clinical trial. *J. Phys. Ther. Sci.* 29, 1–7.
6. De Luca C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *J. Appl. Biomech.* 13, 135–163.
7. Ekstrom R. A., Donatelli R. A., Carp K. C. (2007). Electromyographic analysis of core trunk, hip, and thigh muscles during 9 rehabilitation exercises. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 37, 754–762.
8. Faul F., Erdfelder E., Lang A. G., Buchner A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social,

- behavioral, and biomedical sciences. *Behav. Res. Methods* 39, 175-191.
9. García-Vaquero M. P., Moreside J. M., Brontons-Gil E., Peco-González N., Vera-García F. J. (2012). Trunk muscle activation during stabilization exercises with single and double leg support. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 22, 398-406.
 10. Graham J. F. (2009). Exercise: bird dog. *Strength Cond. J.* 31, 93-94.
 11. Gupta G., Alok M. (2020). Effectiveness of plank exercise in low back pain. *Int. J. Sci. Res.* 9, 1182-1186.
 12. Hermens H. J., Freriks B., Disselhorst-Klug C., Rau G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 10, 361-374.
 13. Kelly M., Jacobs D., Wooten M. E., Edeer A. O. (2016). Comparison of electromyographic activities of lumbar iliocostalis and lumbar multifidus muscles during stabilization exercises in prone, quadruped, and sitting positions. *J. Phys. Ther. Sci.* 28, 2950-2954.
 14. Klein-vogelbach S. (1990). Functional kinetics: observing, analyzing, and teaching human movement. *New York: Springer-Verlag.*
 15. Knox M. F., Chipchase L. S., Schabrun S. M., Marshall P. W. M. (2017). Improved compensatory postural adjustments of the deep abdominals following exercise in people with chronic low back pain. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 37, 117-124.
 16. Lunes D. H., Cecilio M. B. B., Dozza M. A., Almeida P. R. (2010). Análise quantitativa do tratamento da escoliose idiopática com o método klapp por meio da biofotogrametria computadorizada. *Braz. J. Phys. Ther.* 14, 133-140. (in portuguese).
 17. Manchikanti L., Singh V., Falco F. J., Benyamin R. M., Hirsch J. A. (2014). Epidemiology of low back pain in adults. *Neuromodulation.* 17, 3-10.
 18. Matsudo S. M., Araújo T., Matsudo V., Andrade D., Andrade E., Oliveira L. C., y cols. (2001). Questionário internacional de Atividade física (IPAQ): estudo de validade e reprodutibilidade no Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Esporte* 10, 5-18. in portuguese.
 19. Oldfield R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9, 97-113.
 20. Oliveira L. F., Simpson D. M., Nadal J. (1996). Calculation of area of stabilometric signals using principal component analysis. *Physiol. Meas.* 17, 305-312.
 21. Shah J., Tanwar T., Iram I., Aldabbas M., Veqar Z. (2020). Effect of increased lumbar lordosis on lumbar multifidus and longissimus thoracis activation during quadruped exercise in patients with chronic low back pain: an EMG study. *J. Appl. Biomech.* 36, 436-443.
 22. Youdas J. W., Boor M. M., Darfler A. L., Koenig M. K., Mills K. M., Hollman J. H. (2014). Surface electromyographic analysis of core trunk and hip muscles during selected rehabilitation exercises in the side-bridge to neutral spine position. *Sports Health* 6, 416-421.

Cita Original

Clemente PC, de Almeida LL, Vicente EJD, Fonseca DS, Souza VH, Felício DC and Garcia MAC (2022) Perceived exertion, postural control, and muscle recruitment in three different quadruped exercises performed by healthy women. *Front. Physiol.* 13:948469. doi: 10.3389/fphys.2022.948469