

Article

Efectos Agudos de los Ejercicios Estáticos de Estiramiento y el Masaje con Foam Roller en el Rango de Movimiento del Tronco y la Fuerza de los Extensores del Tronco

Maria Fonta¹, Elias Tsepis¹, Konstantinos Fousekis¹ y Dimitris Mandalidis²

¹Department of Physiotherapy, School of Health Rehabilitation Sciences, University of Patras, 25100 Aigio, Greece

²Sports Physical Therapy Laboratory, Department of Physical Education and Sports Science, School of Physical Education and Sports Science, National and Kapodistrian University of Athens, 17237 Athens, Greece

RESUMEN

Aunque la eficacia de los ejercicios estáticos de autoestiramiento (static self-stretching exercise, SSSE) y el automasaje con rodillo de espuma (foam roller self-massaging, FRSM) en el rango de movimiento articular y la fuerza muscular de las extremidades inferiores ha sido ampliamente investigada, se sabe poco sobre su eficacia en los músculos posteriores del tronco. El presente estudio tuvo como objetivo investigar los efectos agudos de dos protocolos de intervención de SSSE y de FRSM de 7 minutos sobre el rango de movimientos del tronco y la fuerza de los extensores del tronco. Veinticinco hombres activos sanos (n = 14) y mujeres (n = 11) realizaron cada intervención por separado, con una semana de diferencia. El rango de movimiento (ROM) de la flexión del tronco y de la cadera (T-HF), el ROM de la flexión lateral del tronco (TSF) y la rotación (TR) bilateral, así como la fuerza máxima isométrica (TESmáx) y la resistencia (TESend) de los extensores del tronco se midieron antes y después de cada intervención. Las ROM de T-HF, TSF y TR aumentaron significativamente después de SSSE y de FRSM. La TESmáx y la TESend también aumentaron significativamente después de FRSM, pero disminuyeron después de SSSE. Si bien ambas intervenciones fueron efectivas para aumentar el rango de movimiento del tronco, una sola sesión de 7 min de FRSM presentó más ventajas sobre un protocolo de SSSE de duración similar debido al aumento en la fuerza de los extensores del tronco que indujo.

INTRODUCCIÓN

Mantener la elasticidad de los tejidos blandos y un rango de movimiento articular (ROM) completo y sin restricciones son elementos necesarios para un movimiento óptimo de todo el cuerpo, así como de sus partes individuales, tanto en actividades diarias como deportivas. Los ejercicios estáticos de autoestiramiento (SSSE), probablemente la forma más común de ejercicios de estiramiento, han sido la principal intervención utilizada durante muchos años por la mayoría de los atletas antes y después de la participación deportiva para: (i) garantizar suficiente ROM articular para realizar de manera óptima una actividad deportiva [1,2]; (ii) disminuir el riesgo de lesiones al reducir la rigidez muscular o aumentar la

flexibilidad muscular [3,4]; y (iii) acelerar la recuperación [5]. Sin embargo, mientras que la mayoría de los estudios han demostrado que un sólo turno de SSSE puede conducir a un aumento inmediato de la movilidad articular, bajo ciertas condiciones puede tener efectos perjudiciales en el rendimiento deportivo [1,2,6]. Esto se debe al efecto dependiente del tiempo de los estiramientos estáticos, ya que los estiramientos de mayor duración (≥ 60 seg) provocan una reducción inmediata y relativamente mayor en las acciones de fuerza, velocidad y potencia que los de menor duración (< 60 seg.) [1,2,6]. Para evitar los posibles efectos negativos del estiramiento estático, muchos atletas han buscado otros métodos para mantener la elasticidad muscular y preservar el ROM de las articulaciones. Entre las intervenciones más populares que se implementan, se encuentran las técnicas de liberación miofascial autoasistida utilizando equipos como rodillos de masaje o de espuma [7,8]. Esencialmente, estas técnicas son formas de automasaje de tejidos blandos que tienen como objetivo liberar los tejidos blandos de la tracción patológica ejercida por una fascia que se ha vuelto inelástica o se ha adherido a los tejidos adyacentes debido a una lesión o patología [9,10]. Aunque no está claro si estas técnicas liberan la miofascia, [8], su eficacia se manifiesta clínicamente con un aumento de la elasticidad de los tejidos blandos y del ROM articular, pero a diferencia de los estiramientos estáticos, parecen prevenir la disminución [11-15] o incluso mejorar la fuerza muscular [16,17].

La efectividad de un sólo turno de SSSE sobre las técnicas de automasaje utilizando un rodillo de espuma o un rodillo de masaje, y viceversa, en el ROM y/o la fuerza muscular se ha investigado principalmente en la musculatura de las extremidades inferiores. Halperin y cols. encontraron que 3 series de 30 segundos con 10 seg de descanso entre las series de masaje con un rodillo y estiramiento estático aumentaron el ROM de la dorsiflexión pasiva del tobillo en aproximadamente un 4% y un 5.2%, respectivamente, 1 y 10 min después de las intervenciones en 14 sujetos recreativamente entrenados [14]. Sin embargo, sólo el rodillo de masaje demostró pequeñas mejoras en la fuerza de contracción voluntaria máxima (MVC) a los 10 minutos después de la intervención, siendo significativamente diferente en comparación con los ejercicios de estiramiento estáticos que, incidentalmente, resultaron en una disminución de la fuerza máxima en el mismo punto de tiempo [14]. Su y cols., demostraron que el rodillo de espuma era más eficaz que el estiramiento estático y dinámico al aumentar de forma aguda la flexibilidad de los cuádriceps y de los isquiotibiales sin obstaculizar la fuerza muscular y, por lo tanto, puede recomendarse como parte de un calentamiento en adultos jóvenes sanos [18]. Lee y cols., demostraron un aumento del ROM de la extensión de la rodilla después de un automasaje con un rodillo de espuma en los isquiotibiales, como lo hicieron los ejercicios de estiramiento estático, con un aumento concomitante en la fuerza del cuádriceps [19]. El estiramiento estático no tuvo efecto sobre la fuerza de los cuádriceps ni de los isquiotibiales. A pesar de la amplia implementación del SSSE y del automasaje con rodillo de espuma (FRSM) en los miembros inferiores, la efectividad de estas técnicas de relajación en la musculatura del tronco es limitada y su uso se basa en parte en datos empíricos. Existe evidencia de que una sola serie de SSSE, ya sea sola o después de una serie de calentamiento general, aumenta el rango de flexión, flexión lateral y rotación axial tanto en la población general [20,21] como en la atlética [22]; sin embargo, el uso de un rodillo de espuma como relajante muscular en la musculatura del tronco ha sido poco investigado, ya que hasta ahora sólo hay unos pocos estudios que han abordado este tema [23].

La movilidad, la estabilidad y el control neuromuscular del tronco necesarios para realizar actividades deportivas diarias [24,25] y más complejas [26] están inextricablemente vinculados a la función normal de los tejidos miofasciales del tronco posterior. Muchas de las estructuras posteriores del tronco, como las que se extienden por la columna torácica y lumbar, son propensas a la rigidez o al acortamiento y pueden inducir un desequilibrio muscular, lo que eventualmente conduce a una disfunción del movimiento [27]. Además, estos músculos contrarrestan el 'tirón' de la gravedad hacia adelante, lo que permite a una persona mantener una postura erguida óptima cuando está de pie relajada o soportar las cargas que se aplican en su cuerpo durante posturas y movimientos exigentes relacionados con el deporte y el trabajo (por ej., transferencia de carga). Por lo tanto, es necesario que los ejercitantes, los científicos del deporte y los de atención médica (por ej., fisioterapeutas o entrenadores deportivos) conozcan la técnica o el método que les permitirá optimizar la movilidad y la fuerza muscular del tronco con fines preventivos y de rehabilitación. El presente estudio tuvo como objetivo investigar los efectos agudos de un sólo turno de SSSE y de FRSM sobre el rango de movimiento del tronco y la fuerza y resistencia de los músculos extensores del tronco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sujetos

Un total de 25 individuos sanos y activos, de los 31 que fueron evaluados para la selección, que realizaban ejercicios de intensidad moderada al menos 2-3 veces por semana, incluidos 14 hombres (edad: 31.2 ± 5.2 años, altura 178.8 ± 6.1 cm, peso corporal: 84.9 ± 11.3 kg) y 11 mujeres (edad: 29.8 ± 5.5 años, altura: 171.4 ± 4.6 cm, peso corporal: 60.3 ± 5.2 kg) se ofrecieron como voluntarias para este estudio (Figura 1). Individuos con dolor o malestar presente durante los últimos seis meses o surgidos al inicio o durante el estudio, patologías crónicas asintomáticas (por ej., hernia de disco intervertebral o

espondilolistesis) o lesiones (por ej., fracturas vertebrales) en cuello y tronco, así como problemas neurológicos o reumatológicos, fueron excluidos del estudio. Los criterios de exclusión también incluyeron escoliosis excesiva ($>5.0^\circ$ de rotación del tronco con la prueba de Adam) y discrepancia en la longitud de las piernas de más de 0.5 cm, así como experiencia previa en el uso de rodillos de espuma. La magnitud de la escoliosis se determinó en función de la magnitud de la deformidad rotacional (en grados) que se observó en la columna torácica o lumbar colocando suavemente un escoliómetro basado en el nivel de una burbuja en el vértice de la deformidad, perpendicular al eje longitudinal del cuerpo durante la “prueba de flexión hacia adelante de Adam” [28]. La discrepancia en la longitud de las piernas se determinó midiendo la distancia entre la espina ilíaca anterosuperior y la punta inferior del maléolo medial de cada miembro inferior con una cinta métrica estándar mientras se mantenía el tobillo, la cadera y la articulación subastragalina en una posición neutra [29]. Todos los sujetos firmaron un consentimiento informado por escrito antes del estudio.

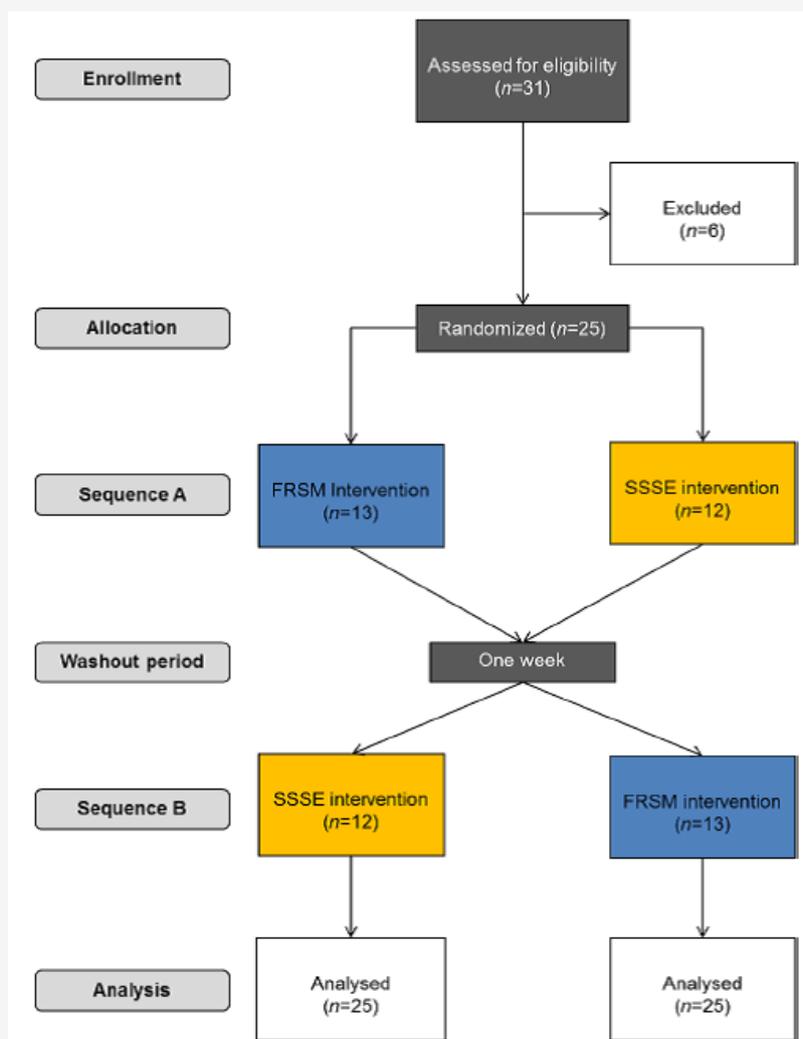


Figura 1. Diagrama de flujo ‘CONSORT’.

Procedimiento de estudio

El estudio se llevó a cabo utilizando un método de diseño experimental cruzado, con los participantes realizando aleatoriamente dos protocolos de 7 minutos de SSSE y de FRSM en dos ocasiones separadas. Los participantes fueron asignados a la primera intervención después de crear una serie aleatoria de 25 pares de intervenciones (SSSE y FRSM) balanceadas de tal manera que 13 de los participantes eventualmente tendrían que realizar primero el protocolo SSSE y los otros 12 el protocolo FRSM. La serie de pares aleatorios fue creada por el último autor utilizando una aplicación web (<https://www.random.org>, consultada el 22 de noviembre de 2021), y fue revelada al examinador pero no a los examinados, quienes finalmente estaban ciegos a la protocolos de tratamiento y sus posibles efectos. Se proporcionó un período de ‘lavado’ de una semana entre intervenciones para evitar la transferencia de los efectos entre las técnicas (Figura 1). Antes

de cada intervención, todos los participantes realizaron un programa de calentamiento ligero, que incluía 5 min de carrera en cinta rodante o ciclismo en bicicleta ergométrica y 5 min de ejercicios de movilidad del tronco. El rango activo de movimientos del tronco siempre se midió antes que la fuerza de los extensores del tronco, y todas las pruebas se realizaron antes y después de las intervenciones.

Protocolo de automasaje con rodillo de espuma

El protocolo FRSM, que incluía dos series de 10 rolidos céfalocaudales con una duración de 30 seg cada serie y 15 seg de descanso entre las series, se realizó con cada participante rodando con la cara dorsal del tronco: (i) desde la posición supina contra el suelo a lo largo las superficies central y lateral de la columna torácica (3 min) y lumbar (3 min) utilizando un rodillo de espuma cilíndrico de dureza media de 30 cm x 15 cm (MED Foam Roller, Blackroll®, Bottighofen, Suiza); y (ii) desde la posición erguida contra la pared a lo largo de los músculos paravertebrales del tronco (1 min) utilizando un rodillo de espuma tipo 'maní' de 24 cm x 12 cm (MED Foam Roller y Duoball Fascia Ball, Blackroll®, Bottighofen, Suiza). Los rolidos se realizaron para que la presión ejercida por el peso de los participantes causara el mínimo dolor o molestia. La velocidad de balanceo se estableció mediante un metrónomo a 20 bits por minuto (Figura 2a-c). La duración total de cada sesión, basada en la duración de cada serie (30 seg), el número de series (n = 2) y las instrucciones de desplazamiento (n = 7) fue de 7 min. Aunque el tiempo de balanceo no pareció afectar significativamente el rango de movimiento [30], la mayoría de los estudios han demostrado que esto, así como el rendimiento, pueden mejorar con balanceos que duran hasta 300 seg por músculo y hasta 450 seg por sesión [31]. El programa fue diseñado para cumplir con estos criterios, considerando al mismo tiempo la amplia área donde se encuentran los músculos de la superficie dorsal del tronco y las posibles molestias que podría causar la presión ejercida por el peso corporal de los practicantes sobre el rodillo de espuma. Además, se seleccionó el rodillo de espuma cilíndrico, ya que se esperaba que afectara potencialmente las estructuras de los tejidos blandos ubicados más superficiales que cubren la amplia área de la cara dorsal del tronco (es decir, la fascia toracolumbar, dorsal ancho, trapecio, romboides y serrato posterior). El rodillo de espuma tipo maní, por otro lado, fue elegido porque, de acuerdo con las instrucciones del fabricante, es particularmente adecuado para todos los grupos de músculos paralelos, como el erector de la columna (es decir, espinal y longísimo torácico, iliocostal torácico y lumbar, y multifido), y puede penetrar más profundamente en el tejido.



Protocolo de ejercicio de autoestiramiento estático

El protocolo SSSE de 7 min incluía ejercicios de estiramiento para: (i) los extensores del tronco; (ii) el torácico derecho e izquierdo; (iii) los rotadores lumbares del tronco; así como (iv) los flexores laterales derecho e izquierdo del tronco (Figura 3a-d). Otras estructuras de tejido blando, como la fascia toracolumbar, músculo dorsal ancho y músculo trapecio, pueden haberse estirado eventualmente, ya que los ejercicios sugeridos requerían movimientos adicionales de las articulaciones de las extremidades superiores e inferiores. Todos los participantes fueron instruidos para realizar cada ejercicio dos veces, con 15 seg de descanso entre las repeticiones, a una velocidad lenta y hacia el lado derecho e izquierdo (sólo para los flexores y rotadores laterales del tronco), después de que el investigador principal mostrara el ejercicio. Para evitar inconsistencias en el tiempo de ejecución entre los dos protocolos y para minimizar el efecto potencial de los ejercicios de estiramiento sobre la fuerza muscular, se instruyó a cada participante para que permaneciera en la posición final durante

30 seg mientras mantenía la intensidad del estiramiento justo antes del punto de incomodidad [32].

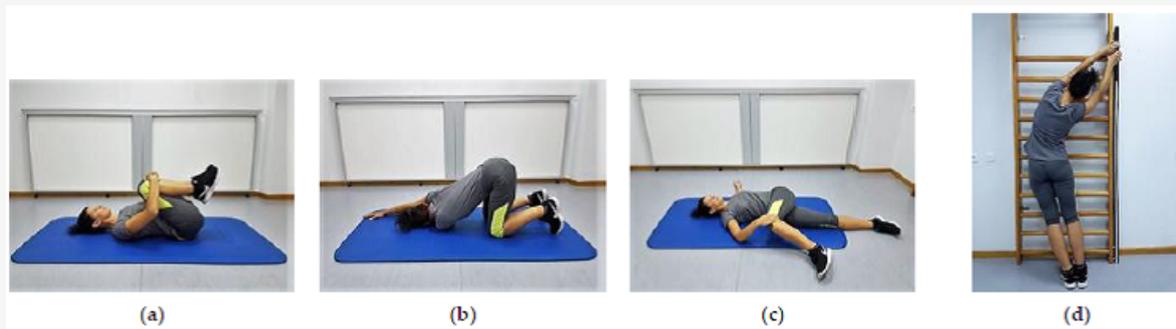


Figura 3. Ejercicios de estiramiento para: (a) extensores del tronco; (b) rotadores de la parte superior del tronco; (c) rotadores de la parte inferior del tronco hacia el lado derecho e izquierdo; (d) flexores laterales del tronco hacia el lado derecho e izquierdo.

MEDIDAS DE RESULTADO

Medidas del Rango de movimiento

El rango de movimiento activo (ROM) de flexión lateral del tronco derecho e izquierdo (TSFR y TSFL) y rotación (TRR y TRL) se midió utilizando un dispositivo de medición inercial que podía proporcionar aceleración (hasta 16 g), velocidad angular (hasta 2000°/seg), y mediciones de campo magnético a través de un acelerómetro 3D integrado, un giroscopio 3D y un magnetómetro 3D, respectivamente, con una frecuencia de adquisición de 1000 Hz (Gyko, Microgate Srl, Bolzano, Italia). Un estudio anterior reveló una buena confiabilidad y una excelente validez simultánea de este dispositivo para medir los rangos de movimientos del tronco, lo que respalda su uso en la práctica clínica [33]. El dispositivo se adjuntó a un chaleco, que se usó y se ajustó en la parte superior del torso de cada participante durante la prueba para que el sensor se ubicara entre las dos escápulas al nivel de las raíces de las espinas de las escápulas. Los datos se transmitieron de forma inalámbrica en tiempo real a una computadora a través de la tecnología Bluetooth, a través de la cual fue posible mostrarlos y almacenarlos para su uso y análisis futuro utilizando un software informático (Gyko RePower, Microgate S.r.l., Bolzano, Italia). El rango activo de flexión lateral del tronco se midió con cada participante en posición erguida mientras miraba y mantenía la superficie palmar de sus manos en contacto con la pared [34]. Se aconsejó a cada participante que flexionara el tronco hacia el lado derecho e izquierdo deslizando las manos sobre la pared, evitando doblar o torcer el tronco hacia adelante y manteniendo los codos y las rodillas rectas, así como los talones en el suelo. El rango activo de rotación del tronco se midió en el nivel horizontal con cada participante en posición sentada erguida. Los efectos de los posibles movimientos pélvicos y de la parte inferior del cuerpo en las mediciones de rotación del tronco se evitaron instruyendo a cada participante para que presionara suavemente una almohada cilíndrica que se colocó entre las rodillas [35]. La flexión del tronco y de la cadera (T-HF) se midió con la prueba *Sit-and-Reach*, una prueba que generalmente se usa para evaluar la flexibilidad del extensor del tronco y de los isquiotibiales, con cada participante inclinando el tronco hacia adelante lo más lejos posible desde la posición sentada y deslizando hacia adelante una placa de metal con las yemas de los dedos mientras mantiene las rodillas rectas y los pies planos contra la *caja Sit-and-Reach* modificada (Acuflex® I, Novel Products, Inc., Rocton, IL, EE. UU.). Un intento se consideró válido y medido si la posición final se lograba a baja velocidad sin rebotes y se mantenía durante 2-3 segundos. A cada participante se le indicó que realizara dos intentos de prueba después de que el examinador mostrara cada prueba, y luego tres intentos más, cuyo promedio se utilizó en el análisis de datos. Se dio un descanso de 10 seg entre los intentos, y se permitió un descanso de 2 min entre las pruebas.

Mediciones de fuerza y de resistencia muscular

La fuerza máxima de los extensores del tronco (TES_{máx}) se midió isométricamente en Newtons (N), con cada participante en decúbito prono sobre una tabla de exploración [36] utilizando un dinamómetro digital tipo S para medir la tensión y la compresión (rango de medición: ≤ 50 kN; frecuencia de adquisición: 2000 Hz; precisión: 0.5 % del máx.; FH-5K, Sauter GmbH, Alemania). Al costado de la celda de carga se conectó a una plataforma de madera que se colocó debajo de las patas delanteras de la tabla de exploración. El otro lado se unió a un chaleco, que cada participante usó durante la prueba, a través de un anillo de metal ubicado en la superficie anterior del tórax (a medio camino entre el proceso xifoides y el

surco esternoclavicular) usando una correa resistente que se pasó verticalmente a través de una abertura en la parte superior de la tabla. El chaleco se ajustó firmemente en la parte superior del torso de cada participante mediante correas ajustables, mientras que se colocaron dos correas más alrededor de la pelvis y el tercio inferior de las piernas para estabilizar a cada participante sobre la tabla de exploración. Cada participante fue instruido para extender el tronco dos veces, evitando movimientos bruscos y manteniendo las extremidades superiores del lado del cuerpo con un esfuerzo casi máximo, y realizar tres intentos más de 5 seg cada uno con el máximo esfuerzo, el promedio de los cuales se utilizó en el análisis de los datos. Se dio un descanso de 1 min entre los intentos (Figura 4a).

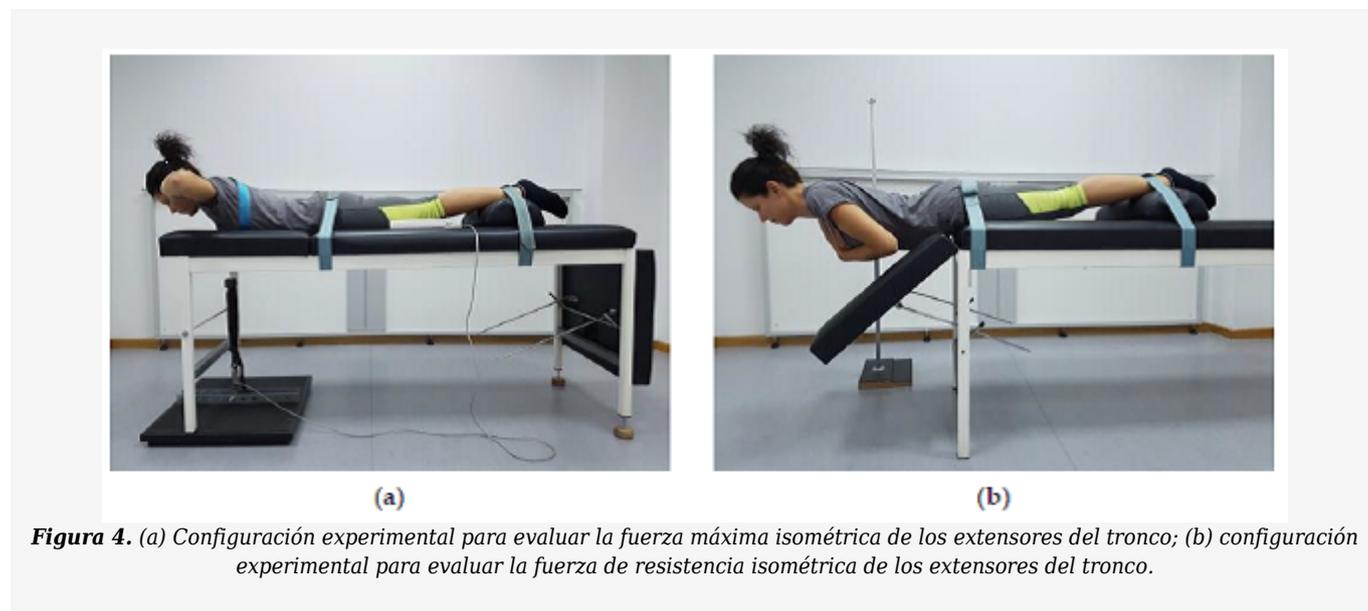


Figura 4. (a) Configuración experimental para evaluar la fuerza máxima isométrica de los extensores del tronco; (b) configuración experimental para evaluar la fuerza de resistencia isométrica de los extensores del tronco.

La resistencia de los músculos extensores del tronco (TESend) también se midió isométricamente con el Test de Sorensen [37]. Esta prueba mide esencialmente el tiempo (en segundos) que un participante puede mantener la parte superior del torso (desde el nivel de la espina ilíaca anterior y más arriba) en una posición horizontal fuera de la tabla de exploración con las extremidades superiores cruzadas frente al tórax. La prueba se realizó con cada participante en decúbito prono sobre la tabla de exploración en la que se estabilizaron con correas alrededor de la pelvis y el tercio inferior de las piernas. Una antena, que se montó horizontalmente en un estadiómetro, se ajustó en altura y longitud para proporcionar a los participantes estímulos táctiles en la superficie dorsal de su tronco con respecto a su posición horizontal. La prueba se completaba cuando un participante ya no podía mantener la parte superior del torso en contacto con la antena durante ≥ 10 seg (Figura 4b).

Confiabilidad de las medidas de resultado

La confiabilidad de las medidas de resultado se determinó antes del comienzo del estudio en función de los hallazgos que se publicaron en estudios anteriores. El coeficiente de correlación intraclase (ICC), el error estándar de medición (SEM) y el cambio mínimo detectable (MDC) para cada una de las medidas de resultado se enumeran en la Tabla 1. Si los investigadores no proporcionaban el MDC, se calculaba usando la fórmula $MDC = 1.96 \times SEM \times 2 - \sqrt{\quad}$ [38].

Tabla 1. Coeficiente de correlación de infraclase (ICC), error estándar de medición (SEM) y cambio mínimo detectable (MDC) de cada medida de resultado.

Outcome Measure	ICC	SEM	MDC
T-HF (cm) [39]	0.92	0.3	1.4
TSFR (°) [40]	0.92	0.8	2.2
TSFL (°) [40]	0.98	0.6	1.7
TRR (°) [40]	0.96	3.2	8.9
TRL (°) [40]	0.99	2.1	5.8
TESmax (N) [41]	0.93	13.0	36.0
TESend (s) [42]	0.86	15.2	42.1

Satisfacción de los sujetos hacia la intervención

La satisfacción de los alumnos después de completar cada intervención se evaluó mediante la implementación de la Escala de Felling [43], que examinó la respuesta de un alumno a un tipo particular de ejercicio; es decir, si un ejercicio fue agradable o desagradable basado en una escala de 10 puntos que variaba entre -5 y +5, con -1 a -5 variando de bastante malo a muy malo, siendo 0 neutral y +1 a +5 desde sentirse bastante bien hasta muy bien.

Análisis estadístico

Se verificó la normalidad de todos los datos con la prueba de Shapiro-Wilk seguida de una inspección visual del diagrama Q-Q y el diagrama de caja. Para lograr significación estadística con $\alpha = 0.05$, 80 % de poder y tamaño del efecto (f) = 0,2526 (calculado en base a un η^2 parcial = 0.06), se realizó un análisis de potencia *a priori* utilizando una aplicación de análisis de potencia estadística *on line* (G*Power v. 3.0.10; <https://www.hhu.de> consultado el 22 de noviembre de 2021) para determinar un tamaño de muestra adecuado. Los resultados del análisis de la potencia indicaron un tamaño de muestra total de 23 sujetos, que se aproximó al número de participantes que intervinieron en el estudio actual.

Después de confirmar la normalidad de los datos, se examinó el análisis estadístico de las diferencias entre las intervenciones antes y después de su implementación mediante un ANOVA de dos vías para medidas repetidas. La esfericidad se determinó en base a la Prueba de Mauchly y se utilizó la corrección de Greenhouse-Geisser cuando la esfericidad era significativa. Los efectos principales significativos fueron seguidos por comparaciones por pares después de controlar los errores de tipo I usando un ajuste de Bonferroni.

El tamaño del efecto se determinó en función de la d de Cohen utilizando la fórmula d de Cohen =

$$d = \frac{M_1 - M_2}{\text{sample } SD_{\text{pooled}}}, \text{ donde la muestra } SD (\text{pooled}) = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \times SD_1^2 + (n_2 - 1) \times SD_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}; M_1, M_2 \text{ y } SD_1, SD_2 \text{ son las medias y las desviaciones estándar de las medias para las medidas pre y post intervención; y } n_1, n_2 \text{ son los tamaños de muestra en las dos condiciones. Una } d \text{ de Cohen igual a } 0.2 \text{ se consideró un tamaño del efecto "pequeño", } 0.5 \text{ representó un tamaño del efecto "mediano" y } 0.8 \text{ un tamaño del efecto "grande" [44]. Los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS, versión 26.0 (IBM Corp, Armonk, NY, EE. UU.), y el nivel de significación se fijó en } p < 0.05.$$

RESULTADOS

Rangos de movimientos del tronco

Nuestros hallazgos revelaron efectos principales significativos en el tiempo para el ROM de los movimientos del tronco, como el ROM de T-HF ($F = 48.674$, $p < 0.001$), TSFR ($F = 15.524$, $p < 0.001$) y TSFL ($F = 31.002$, $p < 0.001$), así como TRR ($F = 34.346$, $p < 0.001$) y TRL ($F = 50.961$, $p < 0.001$), se incrementó utilizando SSSE o FRSM. Los principales efectos de la intervención para el ROM de todos los movimientos del tronco medidos no fueron significativos.

El análisis estadístico también arrojó una interacción significativa de la intervención por tiempo para el ROM de TSFR ($F = 4.558$, $p < 0.05$) y TRL ($F = 7.422$, $p < 0.05$), principalmente debido a un aumento significativo mayor en el ROM después de FRSM ($p < 0.001$) en comparación con el SSSE ($p < 0.05$). La interacción de intervención por tiempo para el ROM de T-

HF, TSFL y TRR no fue significativa (Tabla 2).

Tabla 2. Medias \pm SD, cambios previos y posteriores a la intervención (dif) y tamaños del efecto (d de Cohen) de los rangos de movimiento del tronco antes y después de la implementación de los ejercicios de automasaje con rodillo de espuma (FRSM) y ejercicios estáticos de autoestiramiento (SSSE).

	Pre-FRSM	Foam Roller Self-Massaging Post-FRSM	Diff	Cohen's d	Pre-SSSEs	Static Self-Stretching Exercises Post-SSSEs	Diff	Cohen's d
T-HF (cm)	36.9 \pm 8.2	40.6 \pm 8.3 ^b	3.7 \pm 3.3	0.45	35.8 \pm 9.0	39.6 \pm 8.1 ^b	3.8 \pm 3.6	0.44
TSFR (°)	50.2 \pm 9.9	54.1 \pm 10.4 ^b	3.9 \pm 4.4	0.39	50.9 \pm 9.8	53.0 \pm 8.8 ^a	2.1 \pm 4.3 ^c	0.22
TSFL (°)	51.6 \pm 9.7	55.5 \pm 10.7 ^b	3.9 \pm 4.5	0.38	51.5 \pm 8.4	55.6 \pm 10.7 ^b	4.0 \pm 4.1	0.42
TRR (°)	55.9 \pm 8.6	60.6 \pm 9.3 ^b	4.8 \pm 5.0	0.53	57.2 \pm 7.5	60.8 \pm 8.3 ^b	3.6 \pm 4.5	0.46
TRL (°)	56.3 \pm 9.1	63.0 \pm 8.2 ^b	6.4 \pm 4.1	0.74	58.5 \pm 8.1	61.3 \pm 8.4 ^a	2.8 \pm 5.1 ^d	0.34

T-HF: trunk-hip flexion; TSFR: trunk side flexion right; TSFL: trunk side flexion left; TRR: trunk rotation right; TRL: trunk rotation left; ^a $p < 0.05$; ^b $p < 0.001$ significantly greater compared to pre-FRSM and pre-SSSEs ROM measurements; ^c $p < 0.05$; ^d $p < 0.01$ significantly different compared to the changes obtained after FRSM.

Las diferencias entre los cambios obtenidos tras el FRSM vs SSSE en el ROM de los movimientos del tronco fueron significativas únicamente para TSFR ($p < 0.05$) y TRL ($p < 0.01$).

Fuerza Máxima Isométrica y Resistencia de los Extensores de Tronco

Se revelaron efectos principales significativos en el tiempo tanto para TESmáx ($F = 4.282$, $p < 0.05$) como para TESend ($F = 5.407$, $p < 0.05$). Sin embargo, los efectos principales de la intervención fueron significativos sólo para TESend ($F = 9.598$, $p < 0.01$).

Se encontró una interacción significativa de la intervención por tiempo tanto para TESmáx ($F = 33.612$, $p < 0.001$) como para TESend ($F = 41.825$, $p < 0.001$) de los extensores del tronco. Las comparaciones *post hoc* por pares revelaron que la fuerza y la resistencia de los extensores del tronco aumentaron significativamente después del uso de FRSM en 43.8 ± 27.4 N para TESmáx (de 438.7 ± 191.4 N a 482.5 ± 200.2 N; $p < 0.001$) y en 26.1 ± 19.6 seg para TESend (de 130.2 ± 57.6 seg a 156.3 ± 65.8 seg, $p < 0.001$). Por el contrario, los ejercicios de SSSE dieron como resultado una disminución significativa en TESmáx de 27.4 ± 43.8 N (de 457.6 ± 203.8 N a 430.2 ± 195.3 N; $p < 0.01$) y TESend de 15.5 ± 19.8 seg (de 135.7 ± 62.9 s a 120.3 ± 54.5 seg; $p < 0.001$). Las diferencias entre las dos intervenciones fueron significativas para el TESmáx ($p < 0.05$) y TESend ($p < 0.001$) de los extensores del tronco sólo en las mediciones posteriores a la intervención (Figura 5 y Figura 6).

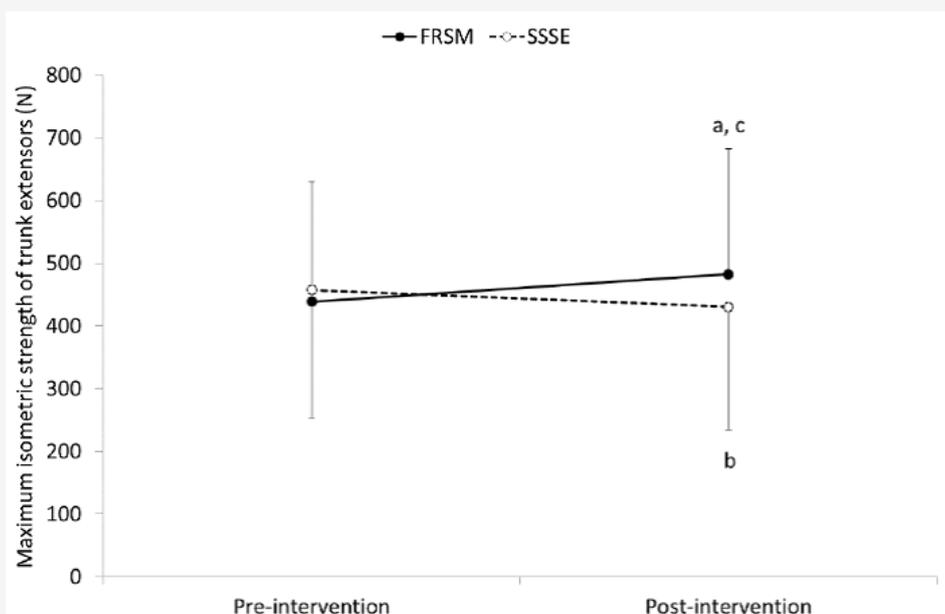


Figura 5. Medias y desviaciones estándar (barras de error) para la fuerza isométrica máxima de los extensores del tronco antes y después de la implementación de los ejercicios de automasaje con rodillo de espuma (FRSM) y ejercicios estáticos de autoestiramiento (SSSE). ^a $p < 0.001$ significativamente mayor en comparación con las mediciones anteriores a FRSM TESmáx; ^b $p < 0.01$

significativamente más bajo en comparación con las mediciones de TES_{máx} previas a los ejercicios de SSSE; $c p < 0.05$ significativamente diferente en comparación con el post-SSSE en las mediciones posteriores a la intervención.

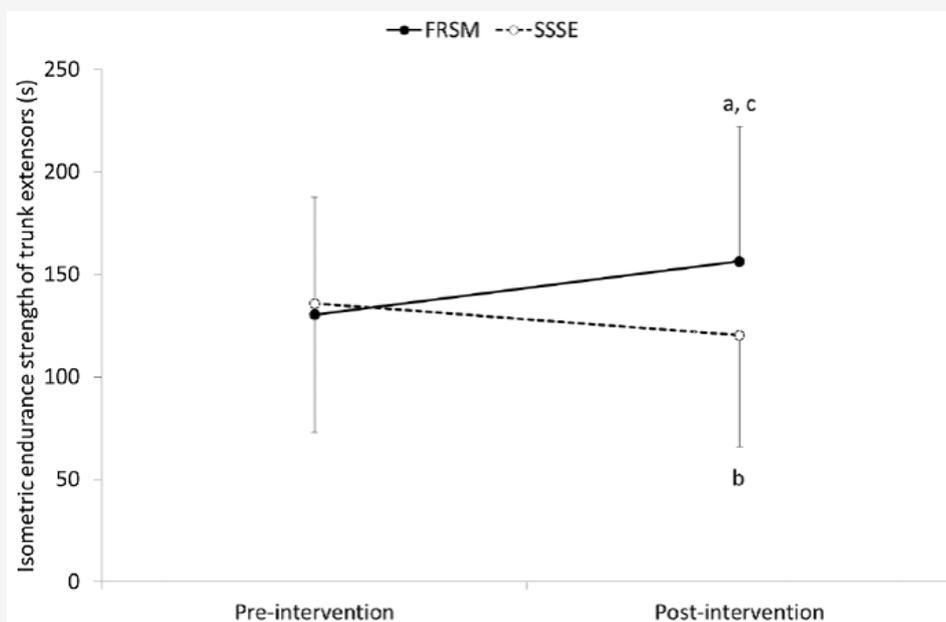


Figura 6. Medias y desviaciones estándar (barras de error) para la fuerza de resistencia isométrica de los extensores del tronco antes y después de la implementación de los ejercicios de automasaje con rodillo de espuma (FRSM) y de los ejercicios estáticos de autoestiramiento (SSSE); $a p < 0.001$ significativamente mayor en comparación con las mediciones de TES_{end} anteriores al uso de FRSM; $b p < 0.001$ significativamente menor en comparación con las mediciones de TES_{end} previas a los ejercicios de SSSE; $c p < 0.001$ significativamente diferente en comparación con el post-SSSE en las mediciones posteriores a la intervención.

Los cálculos de la d de Cohen para las diferencias antes y después de la intervención revelaron tamaños de efecto pequeños a medianos con respecto a T_{máx} y TES_{end} tanto para FRSM (0.22 y 0.42) como para SSSE (0.14 y 0.26).

Satisfacción de los aprendices hacia la intervención

En base a la Escala de Sensaciones, la respuesta de los participantes respecto a la satisfacción que manifestaron luego de la intervención de SSSE estuvo entre buena y muy buena (4.1 ± 0.9 unidades), y no difirió significativamente de la satisfacción que expresaron luego de la intervención de FRSM (4.2 ± 0.9 unidades).

Discusión

Los hallazgos del presente estudio revelaron que un sólo turno de SSSE y de FRSM aumentó el rango de movimientos del tronco, y el primer protocolo en general presentó mejoras menores en comparación con el último. Los cambios en el ROM fueron marginalmente o mucho más allá del MDC en todos los movimientos excepto TRR y TRL. Los tamaños de efecto promedios calculados para la mayoría de los cambios encontrados en los ROMs indicaron que estos cambios eran clínicamente significativos. Varios estudios han demostrado un aumento agudo en el rango de movimiento articular después de los ejercicios SSSE, particularmente en las articulaciones de las extremidades inferiores, con cambios que varían entre pequeños y grandes dependiendo de la duración e intensidad del ejercicio, la posición adoptada por el practicante para estirar, y la población que realizó los estiramientos [1]. Por otro lado, sólo un pequeño número de estudios ha demostrado un aumento en el rango de movimientos del tronco después de estirar los músculos posteriores del tronco [20,21,34]. Zakas y cols. [20,21] revelaron un aumento de aproximadamente 4.4% ($\approx 8.0^\circ$) y 7.5% ($\approx 10^\circ$) en el ROM de la flexión del tronco en futbolistas adolescentes y mujeres mayores, respectivamente, después de tres períodos de estiramiento de 15 seg o 60 seg con 10 seg de descanso entre las series. En un estudio anterior, Dvořák y cols. [34] también encontraron un aumento en el ROM de la flexión lateral del tronco (6.7%, $\approx 4.3^\circ$) y de la rotación axial (2.9%, $\approx 2.5^\circ$) luego de cinco repeticiones de ejercicios de estiramiento de los músculos respectivos, con sólo el ROM primero teniendo un cambio significativo.

El rodillo de espuma, por otro lado, mientras aumentó el ROM de las articulaciones de las extremidades inferiores en aproximadamente un 5% cuando un individuo realiza de uno a cinco rodillos de 5 a 60 seg cada uno en los músculos de las extremidades inferiores [45], no mostró un efecto similar sobre los movimientos del tronco después de rodar sobre los músculos del tronco [23]. Griefahn y cols. [23] demostraron que estirar el glúteo mayor, el erector de la columna lumbar y torácica, así como el dorsal ancho con el peso del cuerpo durante tres intervalos de 30 seg cada uno usando un rodillo de espuma no tuvo efecto sobre el ROM de la flexión de la columna lumbar, aunque la movilidad de la fascia toracolumbar se incrementó en un 56.5% (≈ 1.8 mm). Las diferencias entre los estudios actuales y los anteriores muy probablemente se relacionaron con los protocolos de intervención, así como con los instrumentos y los procedimientos de prueba utilizados para medir los rangos de los movimientos del tronco. A pesar de la información limitada sobre los protocolos de intervención de estiramiento proporcionados por estudios previos, parece que la mayoría de los investigadores intentaron estirar o desplegar principalmente los músculos extensores del tronco [20,21], incluidos, en algunos casos, los músculos ubicados más distalmente como el glúteo mayor [23]. Además, algunos autores, centrándose principalmente en la columna lumbar, midieron sólo el ROM de la flexión lumbar, ya sea en posición de pie con un flexómetro, que es un dispositivo de tipo con gravedad [20,21], o en posición sentada con el test de Schober modificado usando una cinta métrica estándar [23]. En un estudio, los investigadores midieron el ROM de la flexión lateral y la rotación axial de la columna lumbar utilizando un analizador de movimiento 3D basado en un potenciómetro montado en el sacro y la unión toracolumbar de los sujetos [34]. Tanto los protocolos de intervención de los SSSE como del FRSM en el presente estudio incluyeron estiramientos y giros de los músculos de todo el torso, lo que resultó en un cambio más evidente en el rango de movimientos del tronco. El protocolo de SSSE incluía ejercicios destinados a alargar los extensores, los flexores laterales y los rotadores axiales del tronco, pero posteriormente, estos movimientos multidireccionales pueden estirar con la misma eficacia la fascia extramuscular circundante [46,47]. El protocolo con el rodillo FRSM también requería la ejecución de múltiples giros cefalocaudales sobre la piel, la fascia y los músculos subyacentes de los lados 'core' y lateral del tronco. Además, los cambios en el ROM que ocurrieron con ambas intervenciones pueden haberse identificado más fácilmente al colocar el dispositivo de medición de inercia en la columna torácica superior, asegurando así las mediciones del ROM de toda la columna toracolumbar.

Los aumentos agudos en el ROM de las articulaciones después de una sola serie de ejercicios de estiramiento estático se han atribuido al aumento de la tolerancia al estiramiento, que es una mayor capacidad de tolerar la sensación de incomodidad asociada con el estiramiento de los músculos tensos [48] y/o la disminución de la rigidez de la unidad musculotendinosa del miembro afectado [49]. También se ha informado que los estímulos mecánicos que proporcionan los ejercicios de estiramiento pueden alterar la hidratación fascial, disminuyendo la rigidez del tejido conectivo [50]. Estos mecanismos dan como resultado cambios elásticos temporales en la longitud del músculo que pueden mantenerse durante un corto período de tiempo. También se ha encontrado que el aumento en el umbral del dolor con un aumento posterior en la tolerancia al estiramiento, como el informado después de los ejercicios de estiramiento, siguiente a una sesión de rodillos de espuma y, por lo tanto, puede considerarse como un posible mecanismo para aumentar el rango de movimiento del tronco [51]. Además, el aumento del ROM del tronco después del FRSM puede atribuirse a la tixotropía, un fenómeno que ocurre cuando la viscosidad de un fluido espeso, como los fluidos intracelulares y extracelulares, se reduce o se vuelve más fluido cuando se agita, se frota o tensiona [52], proporcionando eventualmente menos resistencia al movimiento. Se supone que tales cambios son causados por el aumento de la temperatura de la piel, la fascia y el tejido muscular inducido por la fricción, así como por el estrés de roce generado por la presión directa y de barrido que se ejerce al hacer rodar los músculos con un rodillo de espuma. La estimulación de los propioceptores miofasciales, la reducción de la rigidez de la fascia y la mejora de la función vascular tanto del músculo como de la fascia son algunas otras respuestas al automasaje con rodillos de espuma que pueden contribuir al aumento del rango de movimiento del tronco.

Un factor que puede haber contribuido a un mayor aumento en el rango de movimientos del tronco después del FRSM en comparación con los SSSE probablemente estuvo relacionado con la reducción del dolor y la rigidez inducida por la presión ejercida por los puntos gatillo latentes (LTrP) de la musculatura del tronco. Se cree que los LTrP están asociados con la rigidez muscular y la amplitud articular restringida del ROM y, a diferencia de los puntos gatillo activos en los que eventualmente evolucionan, no son dolorosos a menos que se compriman directamente [53]. La prevalencia de los LTrP fue bastante alta entre los sujetos asintomáticos en la parte posterior del tronco, particularmente en la mitad superior [54]. Aunque los participantes en el presente estudio no fueron examinados para el umbral del dolor y la rigidez muscular, algunos de ellos experimentaron molestias leves causadas por el uso de FRSM. En base a hallazgos previos que muestran una reducción inmediata en el umbral del dolor por presión después de usar un rodillo de espuma en el gastrocnemio y la fascia plantar con un aumento concomitante en el ROM del tobillo [46], es posible que una respuesta similar eventualmente resulte en un aumento del ROM de los movimientos del tronco. Además, el aumento del rango de movimiento podría deberse, en parte, a la movilización de las vértebras torácicas y lumbares que posiblemente se produjo como consecuencia de la presión ejercida por el peso corporal del practicante al rodar sobre la columna. Algunos investigadores han demostrado que la reducción de la rigidez articular siguiente a la movilización de la columna en dirección posterior a anterior puede causar una mejora inmediata en el rango de movimiento de la columna lumbar, particularmente en pacientes con dolor lumbar [55,56].

Considerando la mayor fuerza ejercida por el peso corporal de los participantes en comparación con la fuerza que normalmente aplica manualmente un terapeuta durante la ejecución de estos movimientos, es posible que se haya inducido algún grado de movilización en las vértebras subyacentes, aumentando el rango de movimientos del tronco.

La ejecución de los SSSE en el presente estudio resultó en una disminución significativa de la TES_{máx} isométrica (-6.0%) y de la TES_{end} (-11.3%) de los extensores del tronco, a pesar de la implementación de períodos cortos de estiramiento estático de los músculos del tronco (30 seg) para evitar los efectos perjudiciales de dosis-respuesta de los períodos de estiramiento estático más largos. La reducción de la fuerza demostrada por los extensores del tronco puede deberse al tipo de contracción isométrica y a la posición en prono utilizada para la prueba de fuerza muscular. Se ha informado que la fuerza muscular después de un programa de ejercicios de estiramiento estático muestra una mayor reducción cuando se mide isométricamente (-6.3%) en comparación con las mediciones concéntricas (-4.4 %) o excéntricas de la fuerza muscular (-4.2%), y que la disminución de la fuerza isométrica obtenida depende de la duración del estiramiento [1]. Se debe esperar una menor reducción en la fuerza isométrica cuando un músculo se estira por períodos de <60 seg (4.5%) en comparación con períodos de estiramiento que duran ≥60 seg (6.8 %) [1].

Además, la fuerza de los extensores del tronco puede haber parecido reducida porque la prueba se realizó en posición en prono, en la que la longitud de los músculos del tronco era relativamente más corta [57]. Esto ha sido respaldado por varios estudios que han demostrado una mayor reducción de la fuerza cuando los músculos se evaluaron en longitudes más cortas (-10.2%), a diferencia de las ganancias de fuerza moderadas que se presentaron cuando la fuerza se evaluó en las longitudes musculares más largas (+2.2%) [58,59]. Los cambios en la rigidez del tendón y la relación fuerza-longitud, la "fatiga" o daño contráctil inducido por el estiramiento, la disminución del acoplamiento electromecánico y/o la reducción del impulso central (eferente) se encuentran entre los mecanismos que potencialmente afectan la producción de fuerza muscular después del estiramiento con ejercicios estáticos [1]. Son muchos los estudios que avalan la contribución de estos mecanismos en la reducción de la fuerza muscular, mientras que otros los cuestionan. Sin embargo, un análisis más profundo de estos mecanismos está más allá del alcance del presente estudio, y se anima a los lectores a estudiarlos más a fondo en artículos ya publicados.

En contraste con los SSSE, la evaluación de la fuerza posterior al rodamiento reveló un aumento de la TES_{máx} isométrica y de la TES_{end} de los músculos extensores del tronco en un 10% y un 20%, respectivamente, lo que confirma hasta cierto punto los hallazgos informados previamente [16,17]. Los cambios obtenidos fueron mucho mayores en comparación con los informados para la fuerza de los músculos de las extremidades inferiores, donde los cambios se consideraron, en general, pequeños o insignificantes (+1.8%) [45]. El aumento de la fuerza de los extensores del tronco hasta un punto que superó en 10 veces el aumento de la fuerza de los músculos de las extremidades inferiores después del uso del FRSM puede explicarse parcialmente por las diferentes propiedades fisiológicas del erector de la columna, el extensor más fuerte del tronco. El erector de la columna es un músculo que presenta un gran porcentaje de fibras de tipo I (de contracción lenta), lo que confirma el papel funcional que desempeña para oponerse a la gravedad y controlar la inclinación hacia adelante del tronco, siendo su diámetro mayor que los que se encuentran en los músculos de las extremidades [60,61]. Como resultado de esto, el potencial de producción de fuerza del músculo después del FRSM fue mayor en comparación con los músculos de las extremidades inferiores. La sesión única de FRSM también puede haber inducido una respuesta circulatoria más efectiva en el músculo [62,63], ya que el erector de la columna demuestra una alta vascularización [64], una propiedad que lo hace más adecuado para actividades que requieren altos niveles de resistencia muscular. El alto flujo sanguíneo que aún estaba presente incluso después de 30 minutos de utilizar el rodillo de espuma [62] puede haber permitido que el músculo funcionara de manera óptima incluso al final del procedimiento experimental, cuando se realizó la prueba isométrica de fuerza muscular y de resistencia muscular. La reducción de la rigidez y la posterior relajación de la fascia toracolumbar causada por el uso del FRSM [23,46] también podría afectar positivamente la estabilidad de la columna, permitiendo así que los músculos extensores del tronco actúen de manera más eficiente. Esto podría estar justificado por alteraciones en la mecanosensación en el área lumbar, y posiblemente en el área torácica, inducidas por las fuerzas de contracción generadas por la fascia toracolumbar. La fascia toracolumbar, una estructura con una densidad significativamente mayor de miofibroblastos (células especializadas del tejido conectivo con propiedades contráctiles aumentadas) en comparación con otras fascias ubicadas en las extremidades, como la fascia plantar humana o la fascia lata humana [65], puede ejercer fuerzas de contracción en la región lumbar que se han predecido matemáticamente en un rango entre 0.95 y 2.63 N. Estas fuerzas, aunque es poco probable que tengan un impacto directo en la estabilidad mecánica de la región lumbar [66], están muy por encima del umbral mucho más bajo para la estimulación mecanosensorial en el área lumbar [67], afectando potencialmente la coordinación neuromuscular y el control reflejo de la estabilidad articular funcional en el área [68]. Sin embargo, los hallazgos con respecto a los cambios de fuerza después de FMRM y de SSSE deben verse con cautela, ya que sólo la TES_{máx} después de la sesión móvil fue mayor que una MDC. Además, los tamaños del efecto fueron pequeños para la mayoría de los cambios encontrados en la fuerza de los extensores del tronco después de la implementación de ambos protocolos de relajación, lo que sugiere que la importancia clínica de nuestros hallazgos fue limitada.

Nuestros hallazgos no confirmaron la superioridad de los ejercicios SSSE frente a los ejercicios con FRSM, o viceversa, en cuanto a la satisfacción de los sujetos con los programas de intervención. El mismo nivel de satisfacción entre las dos

intervenciones probablemente se debió a la tensión y presión submáximas ejercidas durante su ejecución y, en consecuencia, a la incomodidad limitada pero similar experimentada por los participantes. Después de todo, los participantes tenían que sentirse cómodos realizando las intervenciones y, en lo que respecta al uso del FRSM menos familiar, sólo podían participar aquellos que podían tolerar la presión del rodillo. Sobre la base de estos hallazgos, es razonable suponer que ambas intervenciones se pueden utilizar alternativamente, siempre que los alumnos puedan tolerar la incomodidad inducida, si la hubiere.

Los resultados de este estudio deben evaluarse a la luz de algunas limitaciones que pueden impedir su generalización a otras poblaciones. Estas limitaciones incluyeron las características de los participantes del estudio y los elementos relacionados con el desempeño de los programas de intervención. La selección de los participantes se basó en: (i) el hecho de que los individuos más flexibles no son necesariamente menos susceptibles a los cambios inducidos por el estiramiento que los no entrenados [2]; y (ii) la falta de diferencias en términos de respuesta de estiramiento entre géneros, aunque las mujeres en general son más flexibles que los hombres [69]; por lo tanto, en la muestra del estudio se incluyeron hombres y mujeres sanos sin rigidez o dolor musculoesquelético aparente y con una variedad de ROM del tronco. Sin embargo, se esperaba que los efectos de estas intervenciones fueran diferentes en las personas con trastornos musculoesqueléticos como el dolor lumbar. Además, tanto los ejercicios SSSE como los de FRSM se realizaron con una intensidad "justo antes" del punto de disconformidad (POD), ya que los hallazgos previos mostraron que el estiramiento con una intensidad menor que el POD aumentó la flexibilidad más que el estiramiento en el POD sin afectar el rendimiento muscular [32]. Además, el uso del FRSM se realizó utilizando un rodillo de espuma con una superficie lisa y una dureza moderada, a diferencia de un rodillo de espuma multidensidad que se supone que aumenta más el ROM de la articulación [70,71]. Los cambios en el rango de movimientos del tronco y la fuerza de los extensores del tronco podrían ser diferentes si se aumentara la fuerza de tracción de la unidad musculoesquelética o la presión aplicada a los tejidos subyacentes realizando ejercicios estáticos de autoestiramiento con mayor intensidad o utilizando un rodillo de espuma con diferentes capas de dureza o patrón superficial, respectivamente. Finalmente, cabe señalar que se trata de un estudio simple ciego, ya que sólo los sujetos desconocían el resultado de los programas de intervención. Aunque no se dio aliento verbal ni durante el seguimiento de los programas de intervención ni durante la evaluación de los participantes para minimizar el posible sesgo del investigador, esto no se puede descartar.

Conclusiones

Según los hallazgos del presente estudio, una sola sesión de SSSE de 7 minutos y una sola sesión de FRSM de 7 minutos fueron igualmente efectivas para aumentar de forma aguda el rango de movimientos del tronco. A pesar de la limitada significación clínica, el aumento de la fuerza extensora del tronco que se obtuvo después del uso del FRSM le dio una ventaja adicional a esta intervención sobre los ejercicios SSSE, cuya implementación indujo una disminución en la fuerza de estos músculos. A la luz de esta información, los terapeutas físicos pueden recomendar el uso de un rodillo de espuma como un medio relajante alternativo para mantener o aumentar la movilidad del tronco y la fuerza de los músculos extensores del tronco, particularmente en situaciones en las que se debe mejorar el rendimiento requerido en forma óptima, como en trabajos manuales y actividades deportivas.

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 el Instituto de Educación Tecnológica (TEI) de Grecia Occidental, (Reg. No 39013/14-11-2018; el Departamento de Fisioterapia de TEI se unió recientemente a la Universidad de Patrás).

Declaración de consentimiento informado

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

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiación externa.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Para ver las referencias bibliográficas remitirse al artículo original: (Acute Effects of Static Self-Stretching Exercises and Foam Roller Self-Massaging on the Trunk Range of Motions and Strength of the Trunk Extensors). <https://doi.org/10.3390/sports9120159>.

Cita Original

Acute Effects of Static Self-Stretching Exercises and Foam Roller Self-Massaging on the Trunk Range of Motions and Strength of the Trunk Extensors. Maria Fonta, Elias Tsepis, Konstantinos Fousekis, Dimitris Mandalidis. Sports 2021, 9(12), 159; <https://doi.org/10.3390/sports9120159>