

Efectos Agudos de Combinar Estiramientos Dinámicos y Calentamiento con Rodillo de Espuma con Vibración en el Rendimiento y Funciones de los Músculos de las Extremidades Inferiores en Jugadoras de Balonmano Femenino



Artículo traducido por: Marcos Celada Gómez

Chen, Che-Hsiu¹; Chiu, Chih-Hui²; Tseng, Wei-Chin³; Wu, Chun-Yen⁴; Su, Hsi-Hsun⁴; Chang, Chien-KM⁵; Ye, Xin⁶

Abstract

El propósito de este estudio fue comparar los efectos agudos de 3 protocolos de

calentamiento en el rendimiento de los músculos flexores y extensores de la rodilla en jugadoras de balonmano de élite en la universidad. Diez jugadoras de balonmano femenino con poca flexibilidad en los isquiosurales completaron 3 visitas experimentales secuenciadas aleatoriamente. Durante cada visita, se aplicó un protocolo de calentamiento diferente (calentamiento general con carrera [GW], estiramientos dinámicos [DS] o DS combinado con rodillo de espuma con vibración [DS + VR]) antes de las pruebas subsiguientes: rigidez muscular de cuádriceps e isquiosurales, rango de movimiento (ROM) de extensión y flexión de la rodilla, sentido de la posición de la articulación de la rodilla, fuerza isocinética de extensión y flexión de la rodilla con relación fuerza isquiosurales-cuádriceps y resistencia muscular durante el ejercicio fatigante. En comparación con el GW, el protocolo DS + VR resultó en un ROM de flexión de rodilla significativamente mayor (media \pm desviación estándar: DS + VR = $79.4^\circ \pm 7.7^\circ$; GW = $69.3^\circ \pm 9.6^\circ$) y una menor rigidez muscular de los isquiosurales (DS + VR = $253.33 \pm 36.20 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$; GW = $292.89 \pm 24.28 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$). Además, el protocolo DS + VR también proporcionó una mayor resistencia muscular de los isquiosurales en comparación con los otros 2 protocolos (porcentaje de fatiga: DS + VR = $30.24\% \pm 10.84\%$; GW = $41.40\% \pm 8.98\%$; DS = $42.22\% \pm 9.42\%$). Por lo tanto, los resultados de este experimento sugieren que para las jugadoras de balonmano femenino, puede ser más beneficioso calentar con el protocolo DS + VR en lugar de los protocolos GW y DS.

Resumen

Un partido de balonmano implica numerosas acciones como sprints, aceleraciones, giros, cambios de dirección y saltos. Las lesiones más comunes en los jugadores de balonmano ocurren alrededor de la articulación de la rodilla (8-26%), especialmente el ligamento cruzado anterior (ACL). La fatiga neuromuscular es un factor importante durante la competición o entrenamiento, ya que provoca un déficit en la fuerza de los músculos flexores y extensores de la rodilla, así como un desequilibrio muscular. Se destaca que el riesgo de lesiones en el ACL es mayor en jugadoras de balonmano en comparación con los hombres.

El estiramiento es un ejercicio común de calentamiento para diversas poblaciones atléticas. No solo mejora la flexibilidad y el rendimiento deportivo, sino que también ayuda a prevenir lesiones deportivas (7,38). Estudios han demostrado que en comparación con el estiramiento estático (SS), el estiramiento dinámico (DS) aumenta la temperatura central de los músculos y el flujo sanguíneo, mejorando el rendimiento deportivo (3,26,32). Sin embargo, también se han reportado hallazgos controvertidos (9,15,31). Por ejemplo, el DS (durante aproximadamente 12 minutos) aparentemente redujo el rendimiento de resistencia muscular de las extremidades inferiores (31). Además, el calentamiento general de carrera ([GW] correr durante 15 minutos en la cinta a una velocidad equivalente al 70% del $V_{O_2\text{max}}$) combinado con DS redujo inmediatamente el rendimiento de resistencia en comparación con el GW solo (39). Respecto a la fuerza muscular, el DS no tuvo efecto en la fuerza de los isquiotibiales (37). Sin embargo, es importante mencionar que la influencia del DS en la fuerza isocinética dinámica depende de la velocidad, mostrando un deterioro en baja velocidad ($60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$) pero una mejora en alta velocidad ($300^\circ\cdot\text{s}^{-1}$) (15). Finalmente, el DS redujo el desequilibrio muscular entre los músculos extensores y flexores de la rodilla (por ejemplo, la relación isquiotibiales-cuádriceps) y tuvo un efecto negativo mayor en la fuerza concéntrica y excéntrica de los

isquiotibiales (9). Por lo tanto, los resultados actuales de la investigación sobre el efecto del DS en el rendimiento deportivo y las funciones musculares son inconsistentes (26).

Recientemente, el rodillo de espuma de vibración (VR) se ha vuelto cada vez más popular y se ha utilizado como componente en ejercicios de calentamiento. Estudios han revelado que el VR por sí solo y combinado con otras modalidades de calentamiento podría mejorar el rendimiento atlético (16, 18-20). Sin embargo, la investigación relevante aún es limitada y los resultados han sido inconclusos en cuanto a la eficacia del VR en el rendimiento atlético. Por ejemplo, el VR (3 series de 20 segundos) en los músculos flexores del tobillo aumentó significativamente el rango de movimiento del tobillo, pero no tuvo efecto en la contracción isométrica voluntaria máxima del tobillo (13). Sin embargo, Lee et al. (18) encontraron resultados diferentes: el VR aumentó significativamente la fuerza muscular del cuádriceps. Cuando se combina con otros ejercicios de calentamiento, el VR puede proporcionar algunos beneficios. Por ejemplo, el DS seguido del VR fue efectivo para mejorar la flexibilidad de las extremidades inferiores, la agilidad y la potencia explosiva tanto de las extremidades superiores como inferiores (16). Otro estudio que comparó el DS solo vs. DS + VR sugirió que la combinación de calentamiento no era superior al DS solo para mejorar la flexibilidad, la potencia y la agilidad de las extremidades inferiores en atletas de bádminton (19). Sin embargo, DS + VR fue más efectivo para reducir la rigidez del músculo cuádriceps. Esto sugiere que agregar la parte de VR al protocolo de calentamiento puede potencialmente reducir el riesgo de lesiones deportivas.

Pocos estudios han examinado los efectos de DS con y sin VR en las funciones musculares de la rodilla y la resistencia muscular de las extremidades inferiores durante ejercicios de fatiga. Considerando que la fatiga neuromuscular es un factor de riesgo que aumenta progresivamente durante una competición o sesión de entrenamiento, es importante diseñar ejercicios especiales de calentamiento o preacondicionamiento para minimizar este factor. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar los efectos agudos de GW, DS y DS + VR en el rango de movimiento de la articulación de la rodilla, la rigidez de los músculos cuádriceps e isquiosurales, el sentido de la posición de la rodilla, la fuerza isocinética de extensión y flexión de la rodilla, y la resistencia muscular en atletas de balonmano femenino con poca flexibilidad en los isquiosurales. Los resultados de este estudio pueden ayudar a los entrenadores a seleccionar modalidades de calentamiento más beneficiosas para reducir el riesgo de lesiones deportivas y, potencialmente, mejorar el rendimiento atlético.

Métodos

Enfoque experimental para el problema

Para comparar los efectos de los 3 protocolos de calentamiento (es decir, GW, DS y DS + VR) en la flexibilidad de la articulación de la rodilla, rigidez muscular, sentido de posición de la articulación, fuerza isocinética y resistencia muscular, se llevó a cabo un diseño cruzado equilibrado con mediciones repetidas. Los sujetos realizaron 3 condiciones de calentamiento separadas en un orden aleatorio, y se proporcionó un intervalo de 1 semana entre visitas experimentales consecutivas. Durante cada visita experimental, los sujetos completaron un protocolo de calentamiento y las pruebas de medición subsecuentes. Basado en los tamaños de efecto observados en un estudio previo (4), un

análisis de potencia a priori (G*Power 3.1.9.7) sugirió que se requerían un mínimo de 9 sujetos para este experimento.

Sujetos

Diez jugadoras universitarias de balonmano femenino (edad = 21 ± 1 años; altura = 162.7 ± 6.8 cm; masa corporal = 61.67 ± 7.30 kg; media \pm DE) con poca flexibilidad en los isquiosurales (levantamiento pasivo de pierna recta $>70^\circ$) (12) del equipo campeón nacional universitario de Taiwán se ofrecieron como voluntarias para participar en este estudio. En promedio, entrenaban 5 veces a la semana (3-4 horas por sesión). Antes de cualquier prueba experimental, todos los sujetos completaron y firmaron los formularios de consentimiento informado por escrito. Todos los procedimientos experimentales en esta investigación estuvieron de acuerdo con la Declaración de Helsinki y fueron aprobados por el Comité de Ética de Jen-Ai Hospital (número de aprobación: IRB-108-61). Se solicitó a todos los sujetos que se abstuvieran de realizar actividades físicas vigorosas y entrenamiento durante al menos 72 horas antes de todas las visitas experimentales. En los días de visita experimental, se les indicó a los sujetos que no consumieran alcohol ni cafeína. Además, se realizó un esfuerzo adicional para asegurar que las pruebas se realizaran aproximadamente a la misma hora del día para cada sujeto, y se les pidió a los sujetos que mantuvieran sus niveles de hidratación, sueño y nutrición tanto como les fuera posible durante todo el estudio.

Procedimientos

Antes del primer día de pruebas, todos los sujetos asistieron a una sesión introductoria, durante la cual se familiarizaron completamente con los procedimientos experimentales y de pruebas.

Calentamiento General de Carrera

Durante la visita de GW, todos los sujetos comenzaron trotando durante 5 minutos en una cinta de correr a 6.4 km/h con una inclinación del 1%. Posteriormente, realizaron un protocolo de estiramiento que consistió en 8 minutos de estiramientos estáticos (SS) y 8 minutos de estiramientos dinámicos (DS), tal como se utilizó en un estudio de Sekir et al. (32). Este protocolo fue diseñado para estirar los músculos cuádriceps e isquiotibiales de cada pierna. Tanto los ejercicios de SS como de DS se realizaron hasta el punto de leve incomodidad, sin sentir dolor. Para el SS, se realizaron 4 ejercicios en rotación (ver detalles en Sekir et al. (32)), y se instruyó a los sujetos a mantener cada posición de estiramiento durante 30 segundos, con un periodo de descanso de 15 segundos entre cada posición de estiramiento consecutiva. Para el DS, los sujetos realizaron 4 series de diferentes ejercicios de estiramiento dinámico enfocados en los músculos cuádriceps e isquiosurales para cada pierna. Cada repetición de estiramiento dinámico se realizó cada 2 segundos y se repitió 5 veces lentamente, seguido de 10 veces lo más rápido y poderosamente posible sin rebotes (32). Se proporcionaron 15 segundos de descanso entre estiramientos consecutivos.

Estiramientos Dinámicos

Después de los 5 minutos de trote, sin realizar estiramientos estáticos, todos los sujetos realizaron 4 series de ejercicios de estiramientos dinámicos (8 minutos) para los cuádriceps e isquiosurales de cada pierna, como lo hicieron durante el calentamiento

general.

Estiramientos Dinámicos Combinados con Rodillo de Espuma con Vibración

Después del ejercicio de trote de 5 minutos, todos los jugadores realizaron 4 series de estiramientos dinámicos (8 minutos), seguidos de 4 series de rodillo de espuma con vibración (8 minutos). En este estudio, se utilizó un rodillo de espuma con vibración comercial (Vyper 2.0, Hyperice, Irvine, CA) con una frecuencia de vibración configurada en 45 Hz. Los sujetos realizaron el rodillo de espuma con vibración en el suelo, rodando hacia adelante y hacia atrás en los músculos cuádriceps e isquiosurales. Cada serie de rodillo de espuma con vibración se realizó durante 30 segundos a una velocidad de 30 rodillos por minuto (1 segundo hacia arriba, 1 segundo hacia abajo) utilizando un metrónomo. El rodillo de espuma con vibración se aplicó en los músculos isquiosurales y cuádriceps de ambas piernas en un orden aleatorio predeterminado.

Medición de las Variables Dependientes

Las pruebas de medición siempre se realizaron en el siguiente orden: rigidez muscular, rango de movimiento articular, sentido de posición articular, fuerza isocinética y ejercicio de fatiga. Además, todas las pruebas de medición se realizaron en el muslo dominante de los sujetos, según su preferencia de patada. Todos los sujetos del estudio actual son dominantes con la pierna derecha. Todas las pruebas de medición fueron realizadas por personal de investigación capacitado, que también fueron supervisados por un especialista certificado en fuerza y acondicionamiento físico (CSCS).

Rigidez Muscular

La rigidez de los músculos vasto lateral y bíceps femoral se midió en un estado relajado utilizando un miotomo portátil (Myoton PRO; Myoton AS, Tallinn, Estonia), que aplica un impulso mecánico breve (duración: 15 ms; fuerza: 0.4 N) para provocar oscilaciones amortiguadas en el músculo. Se ha informado que el miotomo tiene una confiabilidad de alta a excelente (2). La rigidez muscular se calculó de la siguiente manera: $Rigidez = a \times m_{probe} / \Delta l$, donde "a" denota la aceleración de la oscilación amortiguada, "m_{probe}" se refiere a la masa de la sonda y "Δl" denota el desplazamiento máximo del tejido. Se completó una serie de medición de 2 pruebas individuales en cada sitio muscular (vasto lateral: 1/2 de la distancia entre el borde lateral de la rótula y la espina ilíaca anterosuperior; bíceps femoral: el eje longitudinal del músculo bíceps femoral dominante al 50% de la distancia desde la tuberosidad isquiática hasta el epicóndilo medial de la tibia), con un intervalo de 1 segundo entre cada medición. Se registró el valor promedio de 2 pruebas.

Rango de Movimiento de Flexión de Rodilla

Se evaluó el rango de movimiento (ROM) de flexión de rodilla utilizando elevaciones pasivas de pierna recta, de acuerdo con estudios previos (5,40). Los sujetos permanecieron en posición supina sobre una plataforma acolchada. Tanto su cintura como la pierna no estirada fueron fijadas con una correa. El examinador alineó un inclinómetro digital (Modelo # 122 A800; JIN-BOMB Inc, Kaohsiung, Taiwán) sobre la tibia distal de la pierna dominante. Luego, la pierna dominante se levantó pasivamente hasta una posición donde los sujetos sintieron una leve tensión, pero no dolor. Se registró el valor promedio de 2 pruebas. Esta prueba tiene un coeficiente de correlación intraclase

(ICC) mayor a 0.8 (6).

Rango de Movimiento de Extensión de Rodilla

El ROM de extensión de rodilla se evaluó utilizando flexiones pasivas de rodilla, de acuerdo con un estudio previo (19). Los sujetos se colocaron en posición prona sobre la plataforma acolchada. El examinador estabilizó la pelvis del sujeto colocando una mano en el sacro y luego levantó el tobillo de la pierna dominante para flexionar pasivamente la pierna hasta un punto donde los sujetos sintieron una leve tensión, pero no dolor. Posteriormente, se midió el ángulo entre el muslo y la pierna. Se registró el valor promedio de 2 pruebas. Esta prueba tiene un ICC de 0.91, lo que sugiere una alta confiabilidad en las pruebas repetidas (29).

Sentido de Posición de la Articulación de Rodilla

La medición del sentido de posición de la articulación de rodilla (JPS) se realizó en el dinamómetro isocinético (Biodex Medical Systems, Inc., Shirley, NY). Todos los sujetos tenían un botón de "mantener" en una mano, lo que les permitía detener el brazo de palanca del dinamómetro cuando alcanzaban el ángulo objetivo, que sostenían durante aproximadamente 2 segundos. La posición inicial fue la extensión completa de la rodilla, y los sujetos movieron activamente su pierna a las posiciones objetivo (flexión de rodilla de 30° y 70°, en un orden aleatorio). En cada prueba, la pierna dominante se movió pasivamente a la posición objetivo a una velocidad angular lenta ($10^{\circ}\cdot s^{-1}$), y la posición se mantuvo durante 10 segundos, seguido de devolver la pierna a la posición inicial. Posteriormente, los sujetos fueron vendados y se les indicó que movieran activamente su pierna a las posiciones objetivo. Cada posición de prueba se repitió 5 veces. El error angular absoluto de reposicionamiento se obtuvo calculando la diferencia entre el ángulo objetivo y el ángulo de posición elegido (34).

Pruebas de Fuerza Isocinética

Se midió el pico de torque isocinético (PT) concéntrico para la extensión y flexión de rodilla de la pierna dominante utilizando un dinamómetro Biodex System 3 (Biodex Medical Systems, Inc., Shirley, NY) a velocidades aleatorias de $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ y $240^{\circ}\cdot s^{-1}$. Los sujetos estaban sentados en posición vertical en el dinamómetro en una posición cómoda. El eje mecánico del dinamómetro se alineó con el epicóndilo lateral de la rodilla, y el tronco, cintura, muslo y pecho fueron estabilizados con cinturones para evitar movimientos compensatorios durante la prueba de fuerza. El ROM de rodilla se estableció antes de los ejercicios de calentamiento para la prueba de fuerza. Todos los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado que incluía 4 contracciones concéntricas submáximas para cada velocidad antes de cada sesión de prueba. Después de un período de descanso de 2 minutos, se les indicó que realizaran 3 extensiones máximas concéntricas alternas de rodilla y flexiones de rodilla. Se recogió el PT más alto de las 3 contracciones máximas para cada velocidad para el análisis posterior. Las relaciones de desequilibrio de fuerza entre isquiotibiales y cuádriceps (H:Q) se calcularon dividiendo el PT de la flexión concéntrica de rodilla por el PT de la extensión concéntrica de rodilla.

Fuerza Muscular

Los sujetos realizaron una prueba modificada de Thorstensson (33), que consistió en 50

repeticiones alternas máximas concéntricas de extensión y flexión de rodilla en el dinamómetro isocinético a una velocidad angular de $180^{\circ}\cdot s^{-1}$. El PT de la extensión de rodilla y la flexión de rodilla se midieron cada 10 repeticiones. El PT promedio de la extensión de rodilla y la flexión de rodilla de las últimas 10 repeticiones se compararon con las de las primeras 10 repeticiones, y la diferencia se dividió por el promedio de las primeras 10 repeticiones para obtener el porcentaje de fatiga (%).

Análisis Estadísticos

Los datos se presentan como media \pm desviaciones estándar. Después de que las variables pasaron la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, se analizaron utilizando SPSS (versión 25; IBM, Armonk, NY). Se utilizaron pruebas de análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de una vía por separado para probar los efectos de las diferentes condiciones (GW vs. DS vs. DS + VR) para la rigidez de los cuádriceps e isquiotibiales, el ROM de la articulación de rodilla, el JPS de la rodilla, la fuerza isocinética, la relación H:Q y la resistencia muscular (% de fatiga). Si se encontraba un efecto significativo de la condición, se utilizaron comparaciones pareadas con corrección de Bonferroni para comparar las posibles diferencias entre las 2 condiciones. Además, se utilizaron pruebas ANOVA de medidas repetidas de dos vías (intervalo de repeticiones [1–10 vs. 11–20 vs. 21–30 vs. 31–40 vs. 41–50] \times condición [GW vs. DS vs. DS + VR]) para analizar los PT de extensión y flexión de rodilla durante el ejercicio de fatiga. La significancia estadística se estableció en p

Resultados

La Tabla 1 presenta las medias y desviaciones estándar del rango de movimiento (ROM) de la extensión y flexión de rodilla, y la rigidez de los músculos cuádriceps e isquiosurales después de 3 protocolos de calentamiento diferentes. Los ANOVAs unidireccionales mostraron diferencias significativas entre los 3 protocolos de calentamiento para la rigidez del músculo isquiosural ($F = 4.53$, $p = 0.02$) y el ROM de la flexión de rodilla ($F = 3.59$, $p = 0.04$). Las comparaciones entre pares revelaron que la rigidez del isquiosural ($d = 1.28$, $p = 0.006$) fue significativamente menor en el protocolo de DS + VR que en el protocolo de GW, y el ROM de la flexión de rodilla ($d = 1.17$, $p = 0.01$) fue significativamente mayor en el protocolo de DS + VR que en el protocolo de GW. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre las 3 condiciones de calentamiento para el ROM de la extensión de rodilla ($F = 0.62$, $p = 0.55$) y la rigidez del músculo cuádriceps ($F = 0.23$, $p = 0.80$).

Table 1 - Mean \pm SD of knee joint range of motion (ROM) and muscle stiffness after 3 warm-up protocols (GW, DS, and DS + VR).*



	ROM (degree)		Stiffness (N·m ⁻¹)	
	Knee flexion	Knee extension	Hamstring	Quadriceps
GW	69.3 \pm 9.6	130.5 \pm 6.0	292.89 \pm 24.28	254.00 \pm 23.78
DS	75.8 \pm 8.4	132.1 \pm 6.8	276.34 \pm 26.68	250.54 \pm 25.94
DS + VR	79.4 \pm 7.7†	133.5 \pm 5.1	253.33 \pm 36.20†	257.09 \pm 12.50

*GW = general running warm-up; DS = dynamic stretching; DS + VR = dynamic stretching with vibration foam rolling.

†Statistically significant difference between GW and DS + VR ($p < 0.05$).

Para la JPS de la rodilla, no se observaron diferencias significativas entre los 3 protocolos de calentamiento (JPS 30°: $F = 0.70$, $p = 0.51$; JPS 70°: $F = 0.17$, $p = 0.84$). Además, no se observaron diferencias significativas en el PT (PT de flexión de rodilla a 60°·s⁻¹: $F = 0.31$, $p = 0.74$; PT de extensión de rodilla a 60°·s⁻¹: $F = 1.13$, $p = 0.34$; PT de flexión de rodilla a 240°·s⁻¹: $F = 0.11$, $p = 0.89$; PT de cuádriceps a 240°·s⁻¹: $F = 0.03$, $p = 0.97$) y las relaciones H:Q (relación H:Q a 60°·s⁻¹: $F = 0.54$, $p = 0.59$; relación H:Q a 240°·s⁻¹: $F = 0.08$, $p = 0.92$) entre los protocolos de calentamiento en ambas velocidades de contracción para ambos músculos (Tabla 2).

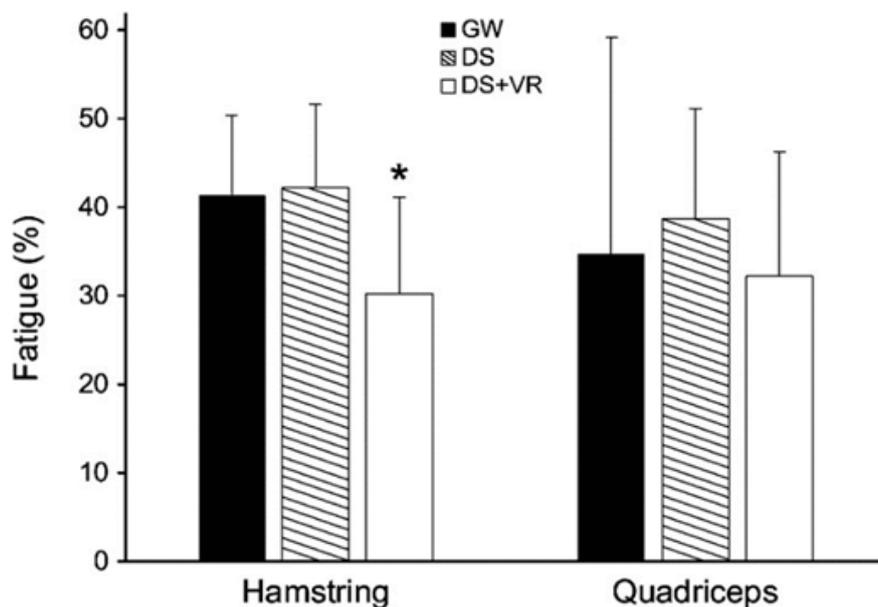
Table 2 - Mean \pm SD of isokinetic strength, hamstring: quadriceps (H: Q) ratio and knee joint position sense (JPS) after 3 warm-up protocols (GW, DS, and DS + VR).*

	GW	DS	DS + VR
Hamstring strength (Nm)			
60°·s ⁻¹	51.52 \pm 8.89	47.90 \pm 13.30	51.39 \pm 12.28
240°·s ⁻¹	48.33 \pm 10.65	48.10 \pm 11.67	50.57 \pm 15.48
Quadriceps strength (Nm)			
60°·s ⁻¹	107.47 \pm 14.29	95.36 \pm 17.69	100.16 \pm 21.76
240°·s ⁻¹	61.40 \pm 11.46	59.94 \pm 13.78	60.68 \pm 13.58
H:Q ratio			
60°·s ⁻¹	0.47 \pm 0.05	0.50 \pm 0.10	0.52 \pm 0.09
240°·s ⁻¹	0.81 \pm 0.24	0.83 \pm 0.26	0.86 \pm 0.27
Joint position sense (degree)			
30°	3.2 \pm 2.6	4.3 \pm 3.7	2.9 \pm 1.5
70°	4.7 \pm 3.3	5.3 \pm 4.3	4.4 \pm 2.8

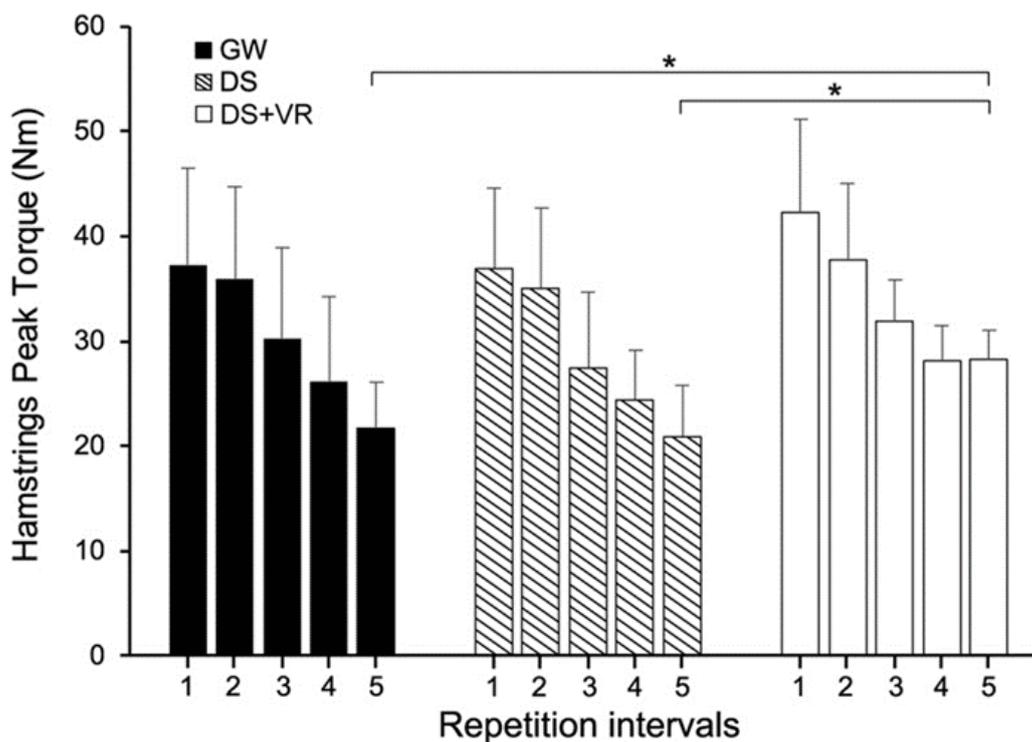
*GW = general running warm-up; DS = dynamic stretching; DS + VR = dynamic stretching with vibration rolling.

Para el test de Thorstensson modificado, el ANOVA reveló que la fatiga (%) del músculo flexor de la rodilla fue significativamente diferente entre los 3 protocolos ($F = 3.37$, $p = 0.04$), con un porcentaje significativamente menor en el protocolo DS + VR que en los protocolos de GW y DS (DS + VR vs. GW: $d = 1.12$, $p = 0.03$; DS + VR vs. DS: $d = 1.17$, $p = 0.02$, respectivamente). No se encontraron diferencias significativas en la fatiga (%) del músculo extensor de la rodilla entre las 3 condiciones de calentamiento ($F = 0.34$, $p = 0.71$; Figura 1).

En cuanto al PT (pico de torque) de flexión de rodilla durante el test de fatiga, no se observó una interacción de dos vías ($p = 0.53$); sin embargo, se encontraron efectos principales significativos para el intervalo de repeticiones (p



Porcentaje de fatiga (%) de ambos grupos musculares (isquiotibiales y cuádriceps) durante el test de fatiga de Thorstensson modificado después de los 3 protocolos de calentamiento. *Diferencias significativas entre DS + VR y GW, y entre DS + VR y DS. DS = calentamiento con estiramientos dinámicos; DS + VR = calentamiento con estiramientos dinámicos combinados con rodillo de espuma vibratorio; GW = calentamiento de carrera general.



Pico de torque promedio del músculo isquiotibial para cada 10 repeticiones durante el test de fatiga de Thorstensson modificado después de los 3 protocolos de calentamiento. Intervalo de repetición 1: primeras 10 repeticiones; intervalo de repetición 2: repeticiones 10-20; intervalo de repetición 3: repeticiones 20-30; intervalo de repetición 4: repeticiones 30-40; intervalo de repetición 5: últimas 10 repeticiones. *Diferencias significativas (todos los intervalos de repetición combinados) entre DS + VR y GW, y entre DS + VR y DS. DS = calentamiento con estiramientos dinámicos; DS + VR = calentamiento con estiramientos dinámicos combinados con rodillo de espuma vibratorio; GW = calentamiento de carrera general.

Discusión

Hasta donde sabemos, el estudio actual es uno de los pocos que comparan los efectos agudos de diferentes protocolos de calentamiento (es decir, GW, DS y DS + VR) en la flexibilidad de la articulación de la rodilla, la rigidez muscular, la percepción de la posición articular de la rodilla (JPS), la fuerza de las extremidades inferiores y la resistencia muscular en jugadoras de balonmano de élite universitarias. Los principales hallazgos son los siguientes: (a) El rango de movimiento de flexión de la rodilla después de realizar el DS + VR fue significativamente mayor que el protocolo de calentamiento GW. Este resultado se acompañó de una menor rigidez muscular de los músculos isquiosurales después del DS + VR, en comparación con el protocolo de calentamiento GW; (b) No se observaron efectos diferenciales del calentamiento en el rango de movimiento de extensión de la rodilla y la rigidez del músculo cuádriceps; (c) Los músculos flexores de la rodilla mostraron una mayor resistencia muscular después de realizar el DS + VR que después de realizar los protocolos de calentamiento GW y DS. Esto se reflejó en una mayor potencia concéntrica de flexión de la rodilla en general (repeticiones combinadas) después del DS + VR en comparación con los protocolos de calentamiento GW y DS; (d) No se observaron efectos diferenciales del calentamiento en la percepción de la posición articular de la rodilla, la fuerza concéntrica isocinética de extensión de la rodilla, la fuerza concéntrica isocinética de flexión de la rodilla y las relaciones de fuerza entre los músculos isquiotibiales y los cuádriceps (H:Q).

En cuanto a los efectos diferenciales de diferentes protocolos de calentamiento en el rango de movimiento de las extremidades inferiores y la rigidez muscular, Lin et al. (19) compararon DS y DS + VR (a 28 Hz) y reportaron que DS + VR no mejoró el rango de movimiento de flexión de la rodilla, mientras que DS (3.7°) y DS + VR (4.1°) mejoraron significativamente el rango de movimiento de extensión de la rodilla, sin diferencia significativa entre los dos protocolos (19). Las diferencias en los resultados sobre el rango de movimiento de flexión de la rodilla entre nuestro estudio y Lin et al. (2020) pueden atribuirse a la flexibilidad deficiente de los músculos isquiosurales de los sujetos reclutados en el estudio actual, en el que el protocolo de calentamiento podría haber inducido una mayor disminución en la rigidez muscular de los isquiosurales en estos sujetos. Un hallazgo interesante de este estudio es el efecto de mejora en el rango de movimiento de flexión de la rodilla al agregar el componente de VR al DS en el estudio actual. Previamente, Lee et al. (18) encontraron que el rango de movimiento de flexión (3.0°) y extensión (3.7°) de la rodilla mejoró después de la intervención de calentamiento con VR solo (a 28 Hz). Además, Lin et al. (19) revelaron que el DS solo aumentaba significativamente la rigidez del cuádriceps, pero con la adición de VR, la rigidez del cuádriceps se redujo. Los autores (19) sugirieron además que DS + VR era superior a DS en la reducción de la rigidez muscular. En conjunto, estos hallazgos respaldan nuestros resultados.

Se sabe menos acerca de los efectos de las intervenciones de calentamiento, como DS + VR, en la propiocepción, y los resultados de estudios previos son inconsistentes. En este estudio, los tres tipos de protocolos de calentamiento no afectaron de manera diferente a la propiocepción de la rodilla. Este hallazgo es consistente con un estudio similar en el que el rodillo de espuma no vibrante redujo la propiocepción de la articulación de la rodilla en una posición de flexión de 45°, pero la vibración no tuvo ese efecto. Por otro lado, otro estudio reveló que el rodillo de espuma en los isquiosurales mejoró la propiocepción de la rodilla durante al menos 20 minutos, pero no tuvo efecto en la propiocepción de la cadera ni en la percepción de la fuerza en la articulación de la rodilla. A diferencia del estudio actual y el de Lee et al. (18), David et al. (10) utilizaron un método de medición diferente al adoptar tareas de coincidencia de posición en articulaciones con soporte de peso (por ejemplo, posición de zancada hacia adelante) para evaluar la propiocepción de la rodilla y la cadera. Además, la velocidad de rodadura del rodillo de espuma en ese estudio fue más lenta (3-4 repeticiones por minuto), lo que también podría ser un factor influyente, ya que un rodaje constante y lento tiende a relajar el tejido muscular, mientras que una velocidad de rodaje más rápida tiende a aumentar la tensión del tejido (36).

En este estudio, los tres protocolos de calentamiento no tuvieron efectos diferenciales en la fuerza muscular isocinética absoluta (tanto en la flexión de la rodilla como en la extensión de la rodilla). Este resultado está dentro de nuestras expectativas. Aunque los estiramientos estáticos pueden ser perjudiciales para el rendimiento de la fuerza (3), nuestros sujetos realizaron series de corta duración (30 segundos) de estiramientos estáticos, seguidos de estiramientos dinámicos (protocolo GW), lo que no debería ser un factor que afecte negativamente a la fuerza isocinética. Además, rara vez se ha demostrado que la intervención con rodillo de espuma afecte al rendimiento de la fuerza (35). De manera interesante, durante el ejercicio fatigante (prueba modificada de Thorstensson), el grupo de músculos flexores de la rodilla se volvió más resistente a la fatiga después del DS + VR que después de los protocolos de calentamiento GW y DS. En cuanto a los efectos de los ejercicios de estiramiento en el ejercicio fatigante, un

estudio relacionado reveló que los estiramientos estáticos redujeron significativamente la resistencia de los músculos flexores de la rodilla (23). Sin embargo, los estiramientos activos de corta duración (aproximadamente 5-8 minutos) de las extremidades inferiores no tuvieron efecto en la resistencia muscular, mientras que los estiramientos activos de larga duración (aproximadamente 11-13 minutos) resultaron en una reducción de la resistencia muscular (31). Por lo tanto, parece que el DS de corta duración por sí solo no afecta la resistencia muscular. Además, las intervenciones con rodillo de espuma o vibración pueden mejorar la resistencia muscular en las extremidades inferiores. Por ejemplo, un estudio reveló que la intervención con vibración en el músculo cuádriceps aumentó significativamente el tiempo hasta la fatiga del músculo cuádriceps (27). Además, después de una intervención con rodillo de espuma, la magnitud de la reducción de la fuerza isométrica voluntaria máxima en la extensión de la rodilla después del ejercicio fatigante fue menor que en la intervención de control (11). Sin embargo, se debe tener precaución porque las sesiones de rodillo de espuma más largas pueden afectar negativamente la resistencia muscular. Por ejemplo, 4 series de ejercicios de extensión de rodilla hasta el fallo concéntrico junto con duraciones relativamente largas de rodillo de espuma (60, 90 y 120 segundos) en el muslo anterior antes de cada serie resultaron en menos repeticiones en comparación con el grupo de descanso pasivo (22). Otro estudio relacionado indicó que después de 60 o 120 segundos de intervenciones con rodillo de espuma en el muslo anterior, la resistencia del músculo extensor de la rodilla disminuyó (21).

Este estudio tiene algunas limitaciones. En primer lugar, los sujetos actuales fueron jugadoras de balonmano de élite saludables y con una flexibilidad limitada en los músculos isquiosurales. Los resultados pueden diferir en otras poblaciones atléticas o en individuos con una flexibilidad normal en los isquiosurales. Se necesita más investigación para determinar la efectividad de DS + VR en personas con síntomas que puedan estar relacionados con lesiones en los isquiosurales o la rodilla. En segundo lugar, no se incluyó una verdadera condición de control (en la que los sujetos no reciben ningún protocolo de calentamiento, sino que descansan pasivamente) ni una línea de base (antes de cualquier intervención de calentamiento) en este estudio. Por lo tanto, es imposible saber si o cuánto cada protocolo de calentamiento alteró las variables de medición. Además, la configuración experimental actual no nos permitió examinar los efectos de tener solo estiramientos estáticos o solo vibración como intervención de calentamiento. Sería más beneficioso si la investigación futura pudiera identificar los efectos de cada componente del calentamiento, de modo que los profesionales puedan elegir o combinar ejercicios de calentamiento para sus propósitos específicos. Por último, se debe tener precaución al interpretar los resultados. Aunque la ROM limitada en las articulaciones y la fatiga muscular son factores de riesgo en lesiones relacionadas con el deporte, nuestros resultados no deben usarse simplemente para prescribir intervenciones para reducir el riesgo de lesiones deportivas durante el ejercicio y las competiciones deportivas. En conclusión, este estudio demostró que, aunque el efecto del calentamiento DS+VR en la fuerza muscular y la propiocepción de las extremidades inferiores no difirió de los protocolos de calentamiento GW y DS, se encontraron efectos superiores en la ROM de la flexión de rodilla y la rigidez muscular de los isquiosurales, así como en la resistencia de los músculos flexores de la rodilla, después del protocolo de calentamiento DS+VR.

Aplicaciones prácticas

Para atletas universitarias que son más susceptibles a lesiones en la musculatura isquiosural debido a la limitada flexibilidad articular y una mayor rigidez muscular, el calentamiento combinado de DS con VR puede considerarse como una posible alternativa al calentamiento convencional (SS combinado con DS) y al calentamiento de DS. Aunque los efectos superiores del calentamiento DS + VR en la fuerza muscular y la propiocepción no son evidentes en comparación con GW y DS, resultó en un mayor aumento en el ROM de la flexión de rodilla y una disminución en la rigidez muscular de los isquiosurales. Además, el DS + VR también tiene un efecto superior en la resistencia de los músculos flexores de la rodilla.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los sujetos por su participación en este estudio, así como al Hospital Feng Yuan del Ministerio de Salud y Bienestar por su apoyo.

Este proyecto recibió apoyo financiero del Hospital Feng Yuan del Ministerio de Salud y Bienestar (número de premio: 109004).

Bibliografía

1. Achenbach L, Krutsch V, Weber J, et al. Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26: 1901–1908, 2018.
2. Aird L, Samuel D, Stokes M. Quadriceps muscle tone, elasticity and stiffness in older males: Reliability and symmetry using the MyotonPRO. *Arch Gerontol Geriatr* 55: e31–39, 2012.
3. Behm DG, Blazevich AJ, Kay AD, McHugh M. Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: A systematic review. *Appl Physiol Nutr Metab* 41: 1–11, 2016.
4. Chen CH, Chang CKM, Tseng WC, et al. Acute effects of different warm-up protocols on sports performance in elite male collegiate handball players. *J Strength Cond Res* 36: 2262–2267, 2022.
5. Chen CH, Huang TS, Chai HM, Jan MH, Lin JJ. Two stretching treatments for the hamstrings: Proprioceptive neuromuscular facilitation versus kinesio taping. *J Sport Rehabil* 22: 59–66, 2013.
6. Chen CH, Xin Y, Lee KW, Lin MJ, Lin JJ. Acute effects of different dynamic exercises on hamstring strain risk factors. *PLoS One* 13: e0191801, 2018.
7. Chen CH, Ye X, Wang YT, Chen YS, Tseng WC. Differential effects of different warm-up protocols on repeated sprints-induced muscle damage. *J Strength Cond Res* 32: 3276–3284, 2018.
8. Cohen J. Chapter 2: The t test for means. In: *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates, 1988. pp. 20–40.
9. Costa PB, Herda TJ, Herda AA, Cramer JT. Effects of dynamic stretching on strength, muscle imbalance, and muscle activation. *Med Sci Sports Exerc* 46: 586–593, 2014.
10. David E, Amasay T, Ludwig K, Shapiro S. The effect of foam rolling of the hamstrings on proprioception at the knee and hip joints. *Int J Exerc Sci* 12: 343–354, 2019.
11. Fleckenstein J, Wilke J, Vogt L, Banzer W. Preventive and regenerative foam rolling are equally effective in reducing fatigue-related impairments of muscle function following exercise. *J Sports Sci Med* 16: 474–479, 2017.

12. Gajdosik RL. Effects of static stretching on the maximal length and resistance to passive stretch of short hamstring muscles. *J Orthop Sports Phys Ther* 14: 250–255, 1991.
13. Garcia-Gutierrez MT, Guillen-Rogel P, Cochrane DJ, Marin PJ. Cross transfer acute effects of foam rolling with vibration on ankle dorsiflexion range of motion. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 18: 262–267, 2018.
14. Gillot T, L'Hermette M, Garnier T, Tourny-Chollet C. Effect of fatigue on functional stability of the knee: Particularities of female handball players. *Int J Sports Med* 40: 468–476, 2019.
15. Haddad M, Prince MS, Zarrouk N, et al. Dynamic stretching alone can impair slower velocity isokinetic performance of young male handball players for at least 24 hours. *PLoS One* 14: e0210318, 2019.
16. Hsu FY, Tsai KL, Lee CL, Chang WD, Chang NJ. Effects of dynamic stretching combined with static stretching, foam rolling, or vibration rolling as a warm-up exercise on athletic performance in elite table tennis players. *J Sport Rehabil* 30: 198–205, 2020.
17. Hughes G, Watkins J. A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sports Med* 36: 411–428, 2006.
18. Lee CL, Chu IH, Lyu BJ, Chang WD, Chang NJ. Comparison of vibration rolling, nonvibration rolling, and static stretching as a warm-up exercise on flexibility, joint proprioception, muscle strength, and balance in young adults. *J Sports Sci* 36: 2575–2582, 2018.
19. Lin WC, Lee CL, Chang NJ. Acute effects of dynamic stretching followed by vibration foam rolling on sports performance of badminton athletes. *J Sports Sci Med* 19: 420–428, 2020.
20. Lyu BJ, Lee CL, Chang WD, Chang NJ. Effects of vibration rolling with and without dynamic muscle contraction on ankle range of motion, proprioception, muscle strength and agility in young adults: A crossover study. *Int J Environ Res Public Health* 17: 354, 2020.
21. Monteiro ER, Costa PB, Correa Neto VG, et al. Posterior thigh foam rolling increases knee extension fatigue and passive shoulder range-of-motion. *J Strength Cond Res* 33: 987–994, 2019.
22. Monteiro ER, Vigotsky A, Skarabot J, et al. Acute effects of different foam rolling volumes in the intersit rest period on maximum repetition performance. *Hong Kong Physiother J* 36: 57–62, 2017.
23. Nelson AG, Kokkonen J, Arnall DA. Acute muscle stretching inhibits muscle strength endurance performance. *J Strength Cond Res* 19: 338–343, 2005.
24. Noyes FR, Barber-Westin SD. Neuromuscular retraining intervention programs: Do they reduce noncontact anterior cruciate ligament injury rates in adolescent female athletes? *Arthroscopy* 30: 245–255, 2014.
25. Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Holme I, Bahr R. Relationship between floor type and risk of ACL injury in team handball. *Scand J Med Sci Sports* 13: 299–304, 2003.
26. Opplert J, Babault N. Acute effects of dynamic stretching on muscle flexibility and performance: An analysis of the current literature. *Sports Med* 48: 299–325, 2018.
27. Otadi K, Ghasemi M, Jalaie S, et al. A prophylactic effect of local vibration on quadriceps muscle fatigue in non-athletic males: A randomized controlled trial study. *J Phys Ther Sci* 31: 223–226, 2019.
28. Peterson JR, Krabak BJ. Anterior cruciate ligament injury: Mechanisms of injury and strategies for injury prevention. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 25: 813–828, 2014.
29. Piva SR, Fitzgerald K, Irrgang JJ, et al. Reliability of measures of impairments associated with patellofemoral pain syndrome. *BMC Musculoskelet Disord* 7: 33, 2006.
30. Rafnsson ET, Valdimarsson O, Sveinsson T, Arnason A. Injury pattern in Icelandic elite male handball players. *Clin J Sport Med* 29: 232–237, 2019.
31. Ryan ED, Everett KL, Smith DB, et al. Acute effects of different volumes of dynamic stretching on vertical jump performance, flexibility and muscular endurance. *Clin Physiol Funct Imaging* 34: 485–492, 2014.

32. Sekir U, Arabaci R, Akova B, Kadagan SM. Acute effects of static and dynamic stretching on leg flexor and extensor isokinetic strength in elite women athletes. *Scand J Med Sci Sports* 20: 268–281, 2010.
33. Thorstensson A, Karlsson J, Viitasalo JH, Luhtanen P, Komi PV. Effect of strength training on EMG of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 98: 232–236, 1976.
34. Torres R, Vasques J, Duarte JA, Cabri JM. Knee proprioception after exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 31: 410–415, 2010.
35. Wiewelhoeve T, Doweling A, Schneider C, et al. A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery. *Front Physiol* 10: 376, 2019.
36. Wilke J, Niemeyer P, Niederer D, Schleip R, Banzer W. Influence of foam rolling velocity on knee range of motion and tissue stiffness: A randomized, controlled crossover trial. *J Sport Rehabil* 28: 711–715, 2019.
37. Williams N, Coburn J, Gillum T. Static stretching vs. dynamic warm-ups: A comparison of their effects on torque and electromyography output of the quadriceps and hamstring muscles. *J Sports Med Phys Fitness* 55: 1310–1317, 2015.
38. Woods K, Bishop P, Jones E. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med* 37: 1089–1099, 2007.
39. Yamaguchi T, Takizawa K, Shibata K, et al. Effect of general warm-up plus dynamic stretching on endurance running performance in well-trained male runners. *Res Q Exerc Sport* 90: 527–533, 2019.
40. Ye X, Killen BS, Zelizney KL, Miller WM, Jeon S. Unilateral hamstring foam rolling does not impair strength but the rate of force development of the contralateral muscle. *PeerJ* 7: e7028, 2019.

Link to Original article: <https://www.congresodefuerza.com/journal-nsca-spain/efectos-agudos-de-combinar-estiramientos-dinamicos-y-calentamiento-con-rodillo-de-espuma-con-vibracion-en-el-rendimiento-y-funciones-de-los-musculos-de-las-extremidades-inferiores-en-jugadoras-de-balonmano-femenino?elem=314250>