

Selected Papers from Impact

Efectos Agudos de las Bandas Elásticas como Resistencia o Asistencia sobre la EMG, la Cinética y la Cinemática durante el Peso Muerto en Hombres Entrenados en Fuerza

Acute Effects of Elastic Bands as Resistance or Assistance on Emg, Kinetics, and Kinematics During Deadlift in Resistance-Trained Men

Vidar Andersen¹, Helene Pedersen¹, Marius Steiro Fimland^{2,3}, Matthew Peter Shaw¹, Tom Erik Jorung Solstad¹, Nicolay Stien¹, Kristoffer Toldnes Cumming⁴ y Atle Hole Saeterbakken¹

¹Faculty of Education, Arts and Sports, Western Norway University of Applied Sciences, Sogndal, Norway

²Department of Neuromedicine and Movement Science, Faculty of Medicine and Health Sciences, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway

³Unicare Helsefort Rehabilitation Center, Rissa, Norway

⁴Faculty of Health and Welfare, Østfold University College, Halden, Norway

RESUMEN

El objetivo del estudio fue comparar la activación neuromuscular, la cinética y la cinemática en tres variaciones del peso muerto: (1) peso libre, (2) peso libre con bandas elásticas como resistencia (bandas ancladas al suelo) y (3) peso libre con bandas elásticas como ayuda (bandas unidas por encima de la barra). Dieciséis hombres entrenados en resistencia realizaron una repetición de las tres variaciones lo más rápido posible utilizando una carga máxima de 2 repeticiones en orden aleatorio y contrabalanceado. La activación muscular (glúteo mayor, semitendinoso, bíceps femoral, erector de la columna, vasto lateral y vasto medial), la cinemática (velocidad promedio, pico y tiempo hasta el pico) y la cinética (promedio, pico y tiempo hasta el pico de fuerza) se midieron durante el movimiento ascendente. El peso muerto asistido y resistido condujo a una producción de fuerza máxima y promedio más alta ($p < 0.001-0.037$, $ES = 0.29-0.58$), y el tiempo hasta la velocidad máxima fue más corto en comparación con el peso muerto con peso libre ($p = 0.005-0.010$, $ES = 0.83-1.01$). Sin embargo, la fuerza máxima se logró más rápidamente cuando se usaron pesos libres ($p < 0.001$, $ES = 1.58-2.10$) y el peso muerto asistido tuvo una velocidad máxima más baja en comparación con el peso muerto con resistencia y peso libre ($p = 0.004-0.046$, $ES = 0.43-0.60$). No hubo diferencias significativas en la activación muscular entre las diferentes condiciones ($p = 0.082-1.000$). En conclusión, el peso muerto asistido y resistido produjo una fuerza mayor en comparación con el peso libre. Sin embargo, el peso libre y el peso muerto resistido parecen más favorables para la velocidad de la barra. Estos hallazgos son de importancia para los atletas y entrenadores que deben seleccionar el ejercicio en función del

objetivo de la sesión.

Palabras Clave: efectos agudos, bandas elásticas, cinética, cinemática, peso muerto

ABSTRACT

The aim of the study was to compare neuromuscular activation, kinetics and kinematics in three variations of the deadlift: (1) free weights, (2) free weights with elastic bands as resistance (bands anchored to the ground) and (3) free weights with elastic bands as assistance (bands attached above the bar). Sixteen resistance-trained men performed one repetition of the three variations as fast as possible using a 2-repetition maximum load in randomized and counterbalanced order. Muscle activation (gluteus maximus, semitendinosus, biceps femoris, erector spinae, vastus lateralis, and vastus medialis), kinematics (average-, peak-, and time to peak velocity), and kinetics (average-, peak-, and time to peak force) were measured during the ascending movement. Resisted and assisted deadlifts led to higher average and peak force outputs ($p < 0.001-0.037$, ES = 0.29-0.58), and time to peak velocity was shorter when compared to the free weights deadlift ($p = 0.005-0.010$, ES = 0.83-1.01). However, peak force was achieved faster when using free weights ($p < 0.001$, ES = 1.58-2.10) and assisted deadlifts had a lower peak velocity compared to resisted and free weights deadlift ($p = 0.004-0.046$, ES = 0.43-0.60). There were no significant differences in muscle activation between the different conditions ($p = 0.082-1.000$). In conclusion, the assisted and resisted deadlift produced higher force when compared to free weights. However, free weight and resisted deadlift seem more favorable for the barbell velocity. These findings are of importance for athletes and coaches which should select exercise depending on the goal of the session.

Keywords: acute effects, rubber bands, kinetics, kinematics, deadlift

INTRODUCCIÓN

El peso muerto es un ejercicio popular entre atletas y levantadores recreativos que buscan aumentar la hipertrofia muscular y la fuerza máxima y explosiva (Kompf y Arandjelovic, 2017). Cuando se realiza un ejercicio con pesas libres, la carga máxima levantada suele estar dictada por una sección corta dentro del rango de movimiento (ROM) llamada región de estancamiento (van den Tillaar y cols., 2014). Más allá de la región de estancamiento habrá un desajuste entre el torque externo y el potencial del torque muscular (Gabriel y cols., 2006; Frost y cols., 2010). Es decir, cuando ha cruzado la región de estancamiento, el levantamiento se vuelve bastante fácil. En ejercicios con una curva de fuerza ascendente como el peso muerto, la sentadilla y el press de banco, se ha propuesto la combinación de pesas libres y bandas elásticas como una alternativa para reducir este desajuste y así optimizar la relación entre el torque muscular y el peso libre (Frost y cols., 2010; Wallace y cols., 2018). Las bandas elásticas inducen una resistencia variable a medida que se estiran debido a su elasticidad (McMaster y cols., 2010), provocando un aumento de la demanda muscular en todo el ROM.

El uso de bandas elásticas, como medio para proporcionar una resistencia variable, se puede implementar de dos maneras; resistencia y asistencia (McMaster y cols., 2009; Argus y cols., 2011). Cuando se usan las bandas elásticas para resistencia adicional, las bandas se anclan desde el piso y se unen a la barra, y requieren que el levantador actúe con menos carga en la barra que cuando se realiza sin bandas. Mientras tanto, las bandas elásticas que se utilizan para ayudar se unen desde una posición que está por encima de la barra, lo que permite a una persona levantar una mayor carga en la barra.

Dos estudios previos han comparado la cinética y la activación neuromuscular durante el peso muerto libre y el peso muerto resistido mediante bandas elásticas (Galpin y cols., 2015; Heelas y cols., 2019). Ambos estudios encontraron que la combinación de pesas libres y bandas elásticas aumentaba la velocidad en el levantamiento en comparación con sólo las pesas libres. Además, Galpin y cols. (2015) encontraron que la tasa de desarrollo de la fuerza (RFD) es mayor en el peso muerto resistido cuando se levanta a una intensidad alta [85% del máximo de 1 repetición (MR)]. Sin embargo, la condición de peso libre pareció favorable tanto para la fuerza media como para la máxima. Heelas y cols. (2019) encontraron una activación media similar entre el peso libre y las condiciones de banda, aunque con peso libre llevó a una activación máxima más alta en el semitendinoso y el gastrocnemio medial. Es importante destacar que ambos estudios coincidieron con la carga en la posición superior, es decir, condiciones con bandas y con peso libre desarrollaron la misma carga absoluta en la posición superior. Se podría argumentar que hacer coincidir la carga en función de la intensidad relativa (es decir, la misma MR) sería más específico para el entrenamiento (McBride y cols., 2010). Swinton y cols. (2011) usaron

cadena en lugar de bandas elásticas cuando compararon el peso muerto usando resistencia constante o variable. A diferencia de Galpin y cols. encontraron que la resistencia variable aumenta la fuerza, pero reduce la velocidad en comparación con los pesos libres. Finalmente, sólo un estudio ha comparado el peso muerto libre con el peso muerto asistido (Andersen y cols., 2019). Andersen y cols. (2019) compararon la activación muscular en los músculos isquiotibiales, glúteos y erectores de la columna entre 2 MR con peso libre vs peso libre en combinación con una contribución alta o baja de bandas elásticas entre hombres entrenados en fuerza. Los resultados mostraron una mayor activación en el erector de la columna, favoreciendo la condición de alta asistencia en comparación con la condición de baja asistencia, pero sin diferencia con el peso libre.

Estudios previos que examinan las propiedades de las bandas elásticas han demostrado que la resistencia no aumentaría linealmente cuando las bandas elásticas se alargan, sino que aumentaría en una relación tensión-deformación más curvilínea (McMaster y cols., 2010; Shoepe y cols., 2010). Por lo tanto, existe la posibilidad de una mayor resistencia a lo largo del ROM al realizar el peso muerto asistido en comparación con el peso muerto resistido. Este conocimiento podría ser de gran valor para los atletas y entrenadores al diseñar su programa de entrenamiento de fuerza. Según el conocimiento de los autores, no ha habido estudios previos que examinen los efectos agudos entre el peso muerto libre, peso muerto asistido y resistido sobre la activación neuromuscular y la cinética cuando se usa la misma intensidad relativa.

Por lo tanto, el objetivo del estudio fue comparar la activación neuromuscular, la cinética y la cinemática entre el peso muerto libre, el peso muerto resistido y el asistido utilizando una intensidad relativa equiparada (una repetición con carga de 2 MR). Basándonos en el estudio anterior que utilizó una intensidad relativa (Andersen y cols., 2019), planteamos la hipótesis de que la zona lumbar demostraría una mayor activación durante las condiciones de la banda elástica en comparación con el peso muerto libre. Además, planteamos la hipótesis de que ambas condiciones de banda producirían más fuerza que el peso libre, pero las condiciones de banda asistida serían favorables entre las dos. Finalmente, planteamos la hipótesis de que el peso muerto resistido produce una velocidad más alta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental del problema

Para comparar los efectos de las tres condiciones diferentes sobre la activación neuromuscular, la cinemática y la cinética, se utilizó un diseño de medidas repetidas intra-sujetos. Después de tres sesiones de familiarización para determinar las 2MR en cada condición, los participantes realizaron una repetición (sólo fase ascendente) en el peso muerto convencional, el peso muerto asistido y el peso muerto resistido tan rápido como pudieran, utilizando cargas de 2MR. El orden de los ejercicios fue aleatorio y contrabalanceado. En la condición asistida (Figura 1A), las bandas elásticas proporcionaron progresivamente menos carga/asistencia a la barra durante el levantamiento ascendente, por lo que exigieron más discos en la barra en comparación con la condición de peso libre. En la condición resistida (Figura 1B), las bandas elásticas actúan de manera opuesta, cargando progresivamente la barra a medida que la barra se levanta, por lo tanto, requieren menos discos en comparación con la condición de peso libre. Se midieron la activación muscular (glúteo mayor, semitendinoso, bíceps femoral, erector de la columna, vasto lateral y vasto medial), la cinemática (velocidad media, velocidad máxima, tiempo hasta la velocidad pico) y la cinética (fuerza media, fuerza máxima y tiempo hasta la fuerza pico) durante la parte ascendente del levantamiento. Si se encontraban diferencias significativas en la EMG, fuerza promedio o velocidad promedio entre las diferentes condiciones, todo el movimiento se dividía en una fase inferior y otra superior, para comprender mejor el patrón de las variables durante el levantamiento. La clasificación de cada fase se realizó a partir de la trayectoria de la barra, dividiendo la distancia total en dos partes idénticas. Para garantizar el mismo posicionamiento de los electrodos en todas las condiciones, todas las pruebas experimentales se realizaron en una sesión.

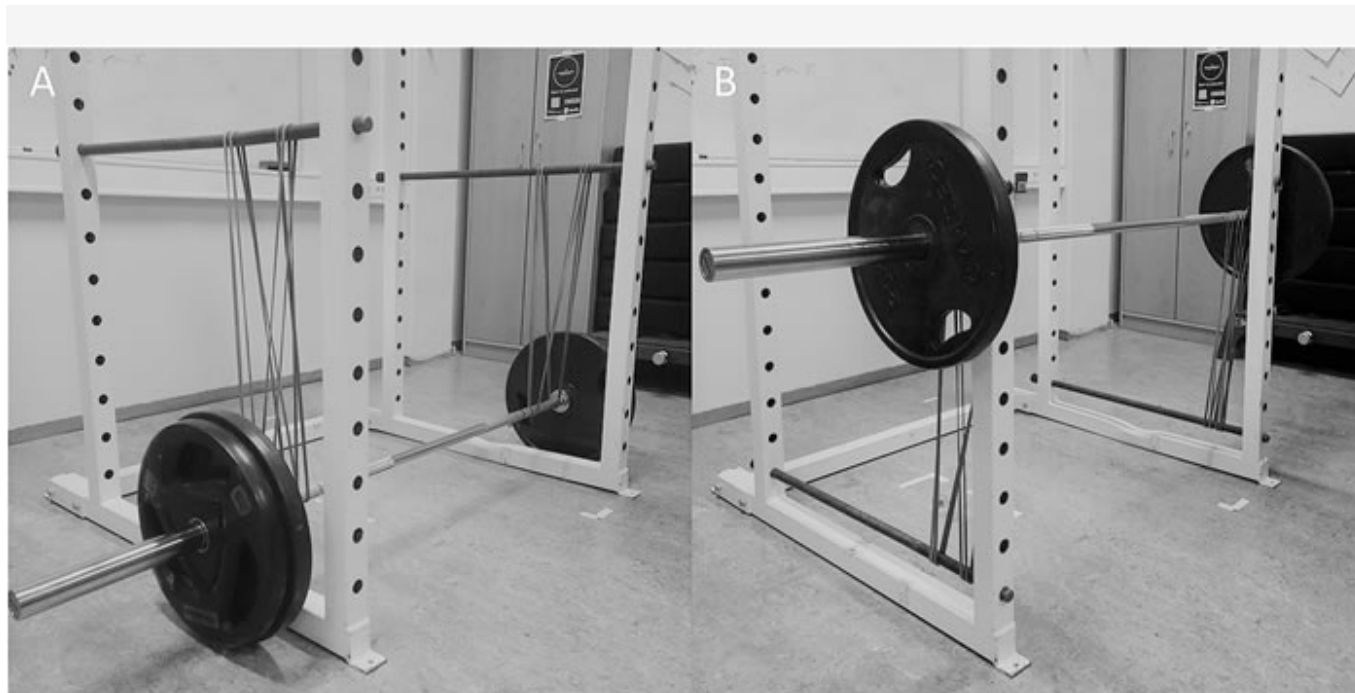


Figura 1. Ilustración del dispositivo, que muestra la posición inferior en el peso muerto asistido (A) y la posición superior en el peso muerto resistido (B). La longitud de las bandas elásticas es igual en las dos posiciones.

Sujetos

Con base en un estudio previo (Galpin y cols., 2015), se realizó un cálculo del tamaño de la muestra determinando una potencia del 80% y permitiendo que un tamaño del efecto de 0.8 sea significativo al nivel de significancia del 5%. Según el cálculo, se necesitaba reclutar un mínimo de 15 sujetos para el estudio.

Dieciséis hombres (edad 22.8 ± 1.7 años, masa corporal 84.0 ± 8.7 kg, altura 183.8 ± 6.7 cm) con 2.5 ± 1.5 años de experiencia en entrenamiento del peso muerto con peso libre, se ofrecieron como voluntarios para el estudio. Todos los participantes entrenaban el peso muerto semanalmente, pero ninguno competía en levantamiento de pesas o levantamiento de potencia (2 MR: 148 ± 17.7 kg). Los participantes debían ser mayores de 18 años, tener un mínimo de 1 año de entrenamiento de la fuerza semanal, realizar el peso muerto con la técnica adecuada y estar libres de lesiones o dolores que pudieran reducir el esfuerzo máximo durante la prueba. También tuvieron que abstenerse de realizar ejercicios de fuerza 72 h antes de la prueba. Todos los voluntarios fueron informados oralmente y por escrito sobre el proyecto, su anonimato y que no podían ser identificados de ninguna manera. Todos los participantes tenían que dar su consentimiento por escrito antes de ser incluidos en el estudio. Se obtuvo todo el consentimiento apropiado de conformidad con la ley antes del inicio del estudio.

Procedimientos

Antes de la sesión experimental, se completaron tres sesiones de familiarización con 3 a 5 días de separación. En la primera sesión, se definió la configuración (es decir, el ancho de toma preferido y la ubicación de las piernas, etc.) para cada participante, además de familiarizarse con la ejecución de las tres condiciones. Además, en esta sesión se ajustó la longitud de las bandas elásticas en la posición superior (peso muerto resistido) o en la posición más baja (peso muerto asistido) para que la producción de fuerza de las bandas elásticas se equiparara entre la posición superior en el peso muerto resistido y la posición inferior en el peso muerto asistido para cada participante (ver Figura 1). Según la experiencia de las pruebas piloto, la contribución elástica (en la posición más estirada) se estableció en ~50 por ciento de la carga de 2MR. En la segunda sesión de familiarización, se identificó la carga de 2MR en cada ejercicio. Las verdaderas 2MR se definieron en el caso cuando los participantes no podían completar el levantamiento o no podían levantar las pesas con la técnica adecuada, manteniendo la espalda recta/neutral. En la tercera sesión de familiarización, se repitió la rutina de la sesión dos para replicar o ajustar la carga de 2MR. La carga se identificó en uno a tres intentos. Las contribuciones del peso libre a las 2MR en las diferentes condiciones fueron: peso muerto libre: 148 ± 18 kg, peso muerto resistido: 115 ± 17 kg y peso muerto asistido: 197 ± 18 kg.

Antes de cada sesión de prueba se llevó a cabo el mismo procedimiento de calentamiento. El procedimiento consistió en un calentamiento general de 5 min en cicloergómetro seguido de un calentamiento específico realizando el peso muerto. Este

último consistió en cinco repeticiones al 40% de 2MR, tres repeticiones al 60% de 2MR y dos repeticiones al 80% de 2MR en cada una de las tres condiciones. Se dio un intervalo de descanso de 2-3 minutos entre cada serie.

El levantamiento se realizó en un power rack (Gym 2000, Modum, Noruega) con una barra (20 kg, Eleiko, Halmstad, Suecia), discos de pesas y bandas elásticas [dimensión: 1 cm (ancho) × 0.5 cm (espesor), Ropes 302, Bungee, Noruega]. Los participantes podían usar talco, decidir levantar con o sin zapatos y qué agarre usar, sin embargo, se tuvo que usar el mismo ajuste en todos los levantamientos. Además, se les indicó que levantaran la barra lo más rápido posible desde el suelo y hasta que alcanzaran una posición en la que las rodillas y las caderas estuvieran extendidas. Dos asistentes controlaron la barra después de la finalización de la fase ascendente, debido al objetivo del estudio y reducir la cantidad de fatiga. Se dio un descanso de tres a cinco minutos entre cada levantamiento.

Para identificar el inicio y el final del levantamiento, así como las diferentes fases, se colocó un encoder lineal en la barra (Ergotest Technology AS, Langesund Noruega: frecuencia de muestreo de 200 Hz). El encoder lineal se sincronizó con el sistema de adquisición de datos (MuscleLab 6000, Ergotest Technology AS, Langesund, Noruega).

Electromiografía

Antes de colocar los electrodos se afeitó la piel, se lavó con alcohol y se raspó de acuerdo con las recomendaciones del SENIAM (Hermens y cols., 2000). Se colocaron electrodos autoadhesivos recubiertos de gel (11 mm de diámetro de contacto y una distancia de centro a centro de 2 cm, electrodos EMG AE-131 de superficie circular Dri-Stick Silver, NeuroDyne Medical, EE. UU.) En la presunta dirección de las fibras musculares de la pierna dominante (definida como la que se usa para patear una pelota). El electrodo del glúteo mayor se colocó a la mitad de la distancia entre las vértebras sacras y el trocánter mayor. Para el semitendinoso, el electrodo se colocó al 50% en la línea entre la tuberosidad isquiática y el epicóndilo medial de la tibia. El bíceps femoral se colocó al 50% en la línea entre la tuberosidad isquiática y el epicóndilo lateral de la tibia. El electrodo del erector de la columna estaba ubicado en L1, tres centímetros lateral a la apófisis espinosa. El electrodo en el vasto lateral se ubicó dos tercios por debajo de la línea entre la espina ilíaca anterosuperior y el lado lateral de la rótula y, finalmente, el electrodo en el vasto medial se colocó cuatro quintos por debajo de la línea entre la espina ilíaca anterior superior y la cavidad al frente del ligamento colateral medial (www.seniam.org).

La EMG de raíz cuadrada media (RMS) obtenida durante todo el levantamiento (fase ascendente inferior y superior) se utilizó en el análisis principal (es decir, desde el momento en que se levantó la barra del suelo hasta que se extendieron la cadera y las rodillas). La señal EMG se muestreó a 1000 Hz utilizando un convertidor A/D de 16 bits. Para minimizar el ruido del entorno, la señal EMG sin procesar se amplificó y filtró utilizando un preamplificador ubicado cerca del punto de muestreo. El preamplificador tenía una relación de rechazo de modo común de 106 dB, una frecuencia de corte alto de 500 Hz y una frecuencia de corte bajo de 20 Hz (filtro Butterworth de cuarto orden). Finalmente, las señales EMG se convirtieron a RMS utilizando una red de circuitos de hardware (respuesta de frecuencia de 450 kHz, promedio constante de 12 ms, error total $\pm 0.5\%$). Se utilizó un software comercial (MuscleLab V10.4, Ergotest Technology AS, Langesund, Noruega) para analizar los datos EMG almacenados. Para normalizar los valores de EMG, se midieron las contracciones isométricas voluntarias máximas (MVC) para todos los músculos. Los participantes realizaron dos intentos en cada músculo y el orden de los músculos fue aleatorio. Para el glúteo mayor, los participantes yacían en decúbito prono con un ángulo de 90 grados en la rodilla (McGill y Marshall, 2012). La pierna dominante realizó una MVC de los extensores de cadera resistidos manualmente. Para el semitendinoso y el bíceps femoral, los participantes, aún recostados en decúbito prono, realizaron MVC flexoras de rodilla con un ángulo de rodilla de ~ 45 grados. Para el erector de la columna, se realizaron MVC del extensor de la espalda resistido en la posición de Biering-Sorenson (Zebis y cols., 2013). Para los músculos vastos, los participantes se sentaron en una silla con la rodilla y la cadera bloqueadas en un ángulo de 90 grados. Cada MVC duró ~ 5 seg y el intento con la mayor amplitud de 3 seg se utilizó en los análisis (McBride y cols., 2006). Se dio un descanso de 2 minutos entre cada intento. Se ha informado que la CCI para la electromiografía es alta (0.90-0.95) siempre que las pruebas se realicen en la misma sesión (Lim y Sherwood, 2005).

Cinética

Los participantes se colocaron en una plataforma de fuerza durante todas las sesiones (Ergotest Innovation A/S, Porsgrunn, Noruega), que se calibró de acuerdo con las especificaciones del fabricante antes de la prueba. La frecuencia de muestreo fue de 200 Hz. Se calculó la fuerza promedio y la máxima, en función de la masa y la aceleración sumadas del peso corporal y de la barra a lo largo del levantamiento, utilizando un software comercial (MuscleLab v.10.4.37.4073, Ergotest Innovation A/S, Porsgrunn, Noruega). Se ha demostrado que la confiabilidad de las plataformas de fuerza es buena (ICC 0.94) al medir la fuerza (Cordova y Armstrong, 1996).

Cinetmática

Se colocó un encoder lineal directamente debajo de la barra y se usó para calcular la velocidad promedio y la máxima,

utilizando el mismo software (MuscleLab v.10.4.37.4073, Ergotest Innovation A/S, Porsgrunn, Noruega). Los datos del encoder lineal y la plataforma de fuerza se sincronizaron, lo que permitió calcular el tiempo desde el comienzo del levantamiento hasta la fuerza máxima y la velocidad máxima. Se ha demostrado que el uso del encoder lineal para medir la velocidad es un método altamente confiable (ICC 98%) (van den Tillaar y Ball, 2019).

Análisis estadístico

La normalidad de los datos se confirmó mediante inspección visual. Los análisis estadísticos se realizaron con SPSS versión 26 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Las diferencias en la activación neuromuscular, cinemática y cinética se evaluaron utilizando un ANOVA de medidas repetidas unidireccionales con pruebas *post hoc* de Bonferroni. Las diferentes condiciones (pesos libres, asistido y resistido) se establecieron como variables independientes. Todos los resultados se presentan como media de intervalo de confianza del 95% (IC del 95%) y tamaño del efecto *d* de Cohen (ES). Un ES de 0.35 se consideró pequeño, 0.8 moderado y 1.5 grande (Rhea, 2004). La diferencia estadística se aceptó a $p \leq 0.05$.

Resultados

Ambas condiciones con banda elástica produjeron significativamente un mayor promedio (resistido: $p = 0.037$, ES = 0.29; asistido: $p < 0.001$, ES = 0.58, Tabla 1) y pico (resistido: $p = 0.002$, ES = 0.59; asistido: $p < 0.001$, ES = 0.67) de fuerza en comparación con la condición con sólo peso libre. Para la producción de fuerza promedio, se encontraron las mismas diferencias en la fase superior del movimiento (resistido: $p < 0.001$, ES = 1.23; asistido: $p < 0.001$, ES = 1.28, Figura 2). En la fase inferior, la condición de peso libre en realidad condujo a una fuerza promedio más alta ($p < 0.001$, ES = 0.50) en comparación con el peso muerto resistido. No hubo diferencias entre el peso libre y el peso muerto asistido en la fase inferior ($p = 1.000$). Al comparar las dos condiciones de banda elástica, no hubo diferencias para la producción de fuerza promedio o máxima ($p = 0.061-0.969$). El tiempo hasta la producción de fuerza máxima fue más corto para el peso muerto con peso libre en comparación con las dos condiciones con banda elástica (resistido: $p < 0.001$, ES = 1.58; asistido: $p < 0.001$, ES = 2.10).

Tabla 1. Fuerza y velocidad de la barra durante peso muerto libre, peso muerto resistido y asistido durante todo el levantamiento.

	Free weights	Resisted	Assisted
Average force (N)	2,298 (128)	2,366 (118) ^a	2,432 (120) ^a
Peak force (N)	2,525 (144)	2,673 (124) ^a	2,713 (150) ^a
Time to peak force (s)	0.56 (0.29)	1.57 (0.39) ^a	1.76 (0.31) ^a
Average velocity (m/s)	0.33 (0.05)	0.35 (0.06)	0.29 (0.05)
Peak velocity (m/s)	0.59 (0.10)	0.56 (0.10)	0.49 (0.07) ^{ab}
Time to peak velocity (s)	1.30 (0.26)	0.84 (0.23) ^a	0.94 (0.20) ^a

Values are presented as mean and 95% confidence intervals, ^adifferent from free weights ($p \leq 0.05$), ^bdifferent from resisted deadlift ($p \leq 0.05$). N, newton; s, seconds; m/s, meter per second.

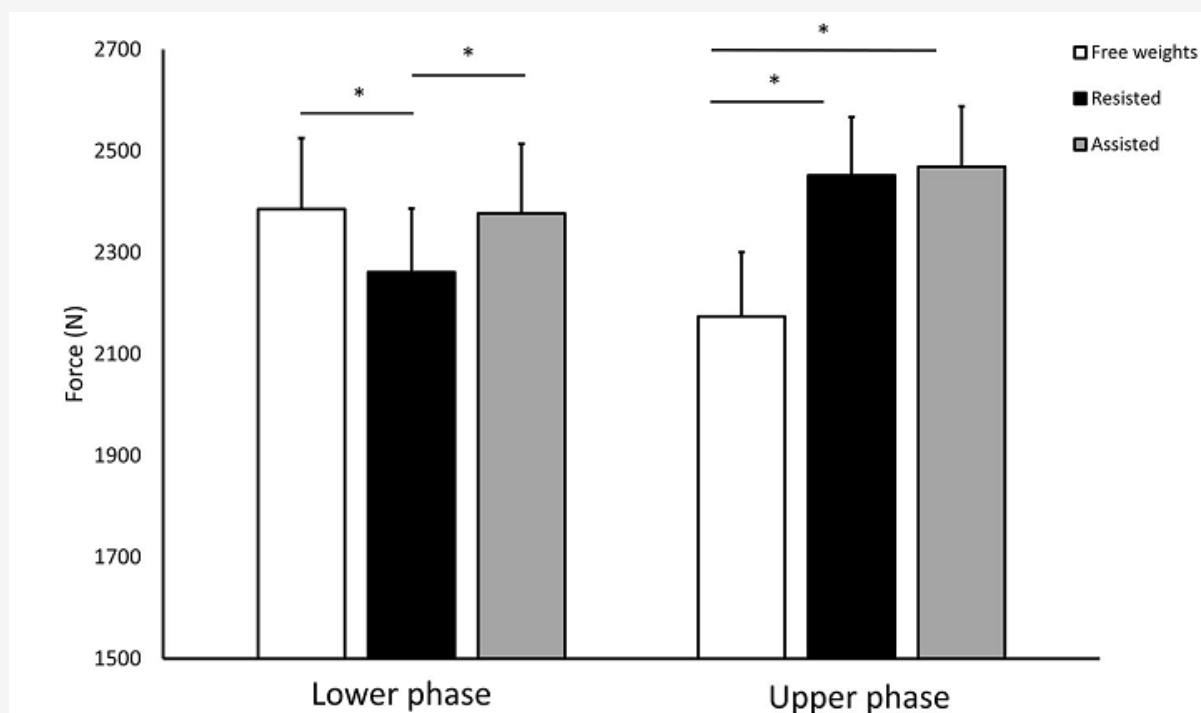


Figura 2. Producción de fuerza promedio en la fase inferior y superior durante el peso muerto libre, resistido y asistido. Los valores son medias e intervalo de confianza del 95%. * $p < 0.01$.

No hubo diferencias significativas en la velocidad promedio entre las tres condiciones ($p = 0.178-1.000$). Sin embargo, el peso muerto asistido mostró una velocidad pico más baja en comparación tanto con el peso muerto libre ($p < 0.004$, $ES = 0.60$) como con el peso muerto resistido ($p < 0.046$, $ES = 0.43$), sin diferencia entre el peso muerto libre y el peso muerto resistido ($p = 1.000$). El tiempo empleado para alcanzar la velocidad máxima fue mayor en el peso libre en comparación con el peso muerto resistido ($p < 0.005$, $ES = 1.01$) y asistido ($p = 0.010$, $ES = 0.83$).

No hubo diferencias significativas en la activación muscular para ninguno de los músculos entre las diferentes condiciones ($p = 0.082-1.000$, $ES = 0.04-0.27$, Tabla 2).

Tabla 2. Activación neuromuscular para todo el movimiento (% de MVC).

	Free weights	Resisted	Assisted
Gluteus maximus	110 (21)	112 (21)	113 (20)
Semitendinosus	85 (9)	90 (13)	90 (10)
Biceps femoris	116 (21)	122 (23)	121 (20)
Erector spinae	109 (29)	109 (21)	101 (19)
Vastus lateralis	141 (36)	138 (37)	123 (37)
Vastus medialis	155 (37)	163 (38)	145 (35)

Values are presented as mean and 95% confidence intervals.

Discusión

El principal hallazgo del presente estudio fue que el peso muerto resistido y asistido condujo a una producción de fuerza máxima y promedio más alta en comparación con el peso muerto con peso libre. Sin embargo, la fuerza máxima se logró más rápidamente al usar peso libre. Además, el tiempo hasta la velocidad máxima fue más corto para las condiciones con la banda elástica en comparación con el peso libre, pero el peso muerto asistido tuvo una velocidad máxima más baja en comparación con el peso muerto con resistencia y con el peso muerto libre.

De acuerdo con nuestra hipótesis, las dos condiciones de banda elástica produjeron una mayor producción de fuerza durante todo el movimiento ascendente en comparación con el peso muerto libre. La diferencia entre el peso muerto asistido y resistido estuvo cerca de ser estadísticamente significativa ($p = 0.061$). La razón detrás del uso de bandas elásticas como resistencia variable es maximizar la carga en todo el rango de movimiento, especialmente en las partes superiores del levantamiento donde el torque externo se reduce debido a la reducción de los brazos de momento. Además, en esta parte se reduce la resistencia externa ya que la barra ha adquirido velocidad (es decir, es más difícil acelerarla más). Nuestros datos de fuerza promedio sostienen este razonamiento mostrando que las condiciones de la banda elástica son superiores al peso muerto libre sólo en la fase superior. En la fase inferior el peso muerto libre produce más fuerza que el peso muerto resistido, pero no que el peso muerto asistido. Es importante tener en cuenta esto si se seleccionan ejercicios para mejorar la capacidad de producir fuerza en las diferentes partes del movimiento. Nuestro hallazgo probablemente se explica por el hecho de que existe una relación curvilínea entre el alargamiento de las bandas y la tensión en la banda (McMaster y cols., 2010). En el peso muerto asistido, las bandas se estiran más en la parte inferior del levantamiento y, por lo tanto, crean un potencial para levantar cargas más pesadas en esta fase en comparación con el peso muerto resistido donde las bandas se estiran más en la parte superior del levantamiento.

El tiempo hasta la fuerza máxima fue más largo para las condiciones de la banda elástica, lo que podría indicar que la fuerza máxima ocurre más tarde (posición más erguida) en estas condiciones. Esto también podría explicar por qué la fuerza máxima fue mayor en las dos condiciones de banda elástica, lo que concuerda con nuestra hipótesis. Los extensores de las piernas tienen el potencial de generar una mayor fuerza cuando las piernas están más extendidas.

Por ejemplo, Bartolomei y cols. (2019) encontraron que la producción de fuerza era mayor durante un tirón a mitad del muslo en comparación con un tirón a mitad de la canilla. El uso de bandas elásticas aumenta la resistencia a medida que se levanta la barra, lo que, en consecuencia, sería más óptimo para igualar la capacidad de los músculos para producir fuerza durante todo el levantamiento.

En contraste con nuestra hipótesis, no hubo diferencias entre las condiciones en la velocidad promedio. Además, el peso muerto asistido tuvo una velocidad máxima más baja en comparación con el peso muerto libre y el peso muerto resistido. Tanto en el peso muerto libre como en el peso muerto resistido, la fuerza varía en cierta medida a lo largo del movimiento (~200 N entre la fase inferior y la superior). Sin embargo, para el peso muerto asistido, la fuerza parece distribuirse más uniformemente a lo largo del levantamiento (92 N entre la fase inferior y la superior). La relación entre fuerza y velocidad está bien establecida y las diferencias en la variación de la fuerza podrían explicar las diferencias en la velocidad máxima.

El tiempo hasta la velocidad máxima fue mayor para el peso muerto libre en comparación con las dos condiciones con

banda elástica, lo que podría relacionarse con el patrón de fuerza en las diferentes condiciones. En el peso muerto libre, la mayor fuerza se logra al principio del levantamiento y luego se reduce, lo que aumentaría la aceleración y la velocidad durante todo el levantamiento. Combinar las pesas libres con bandas elásticas cambiaría el patrón y dirigiría la mayor fuerza hacia el final del movimiento. Por lo tanto, en estas condiciones, la barra acelerará más al comienzo del levantamiento y desacelerará hacia la posición superior.

Dos estudios anteriores han comparado la producción de fuerza, la velocidad de la barra y la activación muscular entre el peso muerto con peso libre y el peso muerto resistido con bandas elásticas (Galpin y cols., 2015; Heelas y cols., 2019). También examinaron si diferentes contribuciones de las bandas elásticas, es decir, el uso de bandas con más tensión, afectaban los parámetros. Los hallazgos de estos estudios difieren de nuestros resultados y ambos encuentran que el peso muerto resistido conduce a una velocidad promedio y máxima más alta. Más Galpin y cols. (2015) encontraron que el peso muerto libre produce más fuerza promedio y pico mientras que Heelas y cols. (2019) encontraron que la condición de peso libre activa varios de los músculos más que en comparación con el peso libre y las bandas elásticas. Es muy probable que las diferencias sean el resultado de diferentes enfoques del problema. Tanto Galpin y cols. como Heelas y cols. compararon las condiciones usando la misma carga absoluta, es decir, igualando la fuerza total en la posición superior. Una de las razones detrás de la resistencia variable es igualar mejor la capacidad de los músculos para producir un torque durante todo el movimiento. Por lo tanto, optamos por comparar las condiciones usando la misma carga relativa, es decir, una repetición a 2MR que podría tener una mejor validez ecológica (de puesta en escena) hacia el entrenamiento. El uso de la carga absoluta reduciría la carga en las condiciones de la banda elástica, lo que provocaría una menor fuerza pero una mayor velocidad en comparación con el uso de la misma carga relativa. Esto también podría explicar la disminución de la activación muscular en las condiciones de la banda elástica como se observó en los estudios anteriores (Galpin y cols., 2015; Heelas y cols., 2019). Nuestros datos de fuerza están respaldados por Swinton y cols. (2011) quienes compararon el peso muerto usando peso libre y peso libre + cadenas. Encontraron que la condición con cadenas era favorable con respecto a la producción de fuerza. Esto podría explicarse por el hecho de que su enfoque metodológico es más similar al nuestro en comparación con Galpin y cols. y Heelas y cols. Este documento coincidió con la carga en el punto medio de la trayectoria de la barra, haciendo que la condición de las cadenas sea más pesada en la parte superior, pero más ligera en la parte inferior, lo que se asemeja a lo que sucede cuando se usa la intensidad relativa.

Sorprendentemente, y en contraste con nuestra hipótesis, no hubo diferencias en la activación neuromuscular en ninguno de los músculos entre las tres condiciones. Estudios previos han mostrado diferencias al comparar ejercicios realizados con pesas libres en combinación con bandas elásticas y pesas libres sólo cuando se usa la misma carga relativa (Andersen y cols., 2016, 2019). En ambos estudios, la diferencia sólo ha sido aparente cuando una cantidad considerable de resistencia proviene de las bandas elásticas (media de 30 a 35% de resistencia). En el presente estudio, la resistencia elástica fue del 50% de la carga de 2MR, por lo que los diferentes hallazgos fueron inesperados.

Sin embargo, a diferencia de los estudios anteriores, la ejecución de los ejercicios en nuestro estudio se intentó realizar de manera explosiva, lo que podría aumentar la aceleración y, por lo tanto, compensar las diferencias en la carga de la barra. Finalmente, se ha demostrado que la activación muscular es relativamente similar entre el 70 y el 90% de 1MR cuando la carga se levanta con la máxima velocidad deseada (van den Tillaar y cols., 2019). Por lo tanto, las diferencias de fuerza pueden ser demasiado pequeñas para generar diferencias en la activación muscular.

Es necesario abordar algunas limitaciones. Sólo se reclutaron para el estudio hombres entrenados en fuerza y los hallazgos no necesariamente pueden generalizarse a otras poblaciones. Además, ninguno de los sujetos estaba familiarizado con la realización del peso muerto en combinación con bandas elásticas. Independientemente de las tres sesiones de familiarización, los resultados pueden haber sido diferentes si los participantes tuvieran más experiencia en el uso de resistencia variable. No analizamos la fase excéntrica, que pudo haber afectado al movimiento total. Sin embargo, entre los sujetos entrenados en fuerza, el peso muerto a menudo se realiza levantando la barra antes de dejarla caer al suelo. En este estudio, se utilizó una carga pesada y es posible que una carga submáxima hubiera cambiado la cinética y la activación muscular. Sin embargo, dado que todas las pruebas se realizaron en una sesión, que se recomienda para estudios agudos de EMG, queríamos exponer a los participantes a la mínima cantidad de fatiga posible. Además, la EMG sólo proporciona una estimación de la activación neuromuscular y existe la posibilidad de diafonía de los músculos vecinos (Farina y cols., 2004). También existen limitaciones metodológicas adicionales al evaluar la EMG durante las contracciones musculares dinámicas (Farina, 2006). Sin embargo, estas limitaciones deben minimizarse, ya que todos los datos se recopilaron en una sesión, lo que elimina los posibles errores que surgen al reemplazar los electrodos (Mathiassen y cols., 1995).

Las implicaciones prácticas del presente estudio sugieren que al comparar el peso muerto con peso libre y el peso muerto asistido y resistido, los atletas y practicantes que deseen concentrarse en producir tanta fuerza como sea posible al realizar el peso muerto, deberían combinar pesas libres con bandas elásticas en lugar de sólo peso libre. Sin embargo, si la fuerza en un alto grado de flexión de rodillas y caderas es el enfoque principal, el peso muerto libre junto con el peso muerto asistido son las mejores alternativas. Además, el peso muerto asistido parece producir una fuerza uniformemente

alta a lo largo de todo el movimiento, lo que podría ser beneficioso para muchos movimientos deportivos, por ejemplo, en scrum en rugby y fútbol americano. Sin embargo, el peso muerto resistido junto con el peso muerto libre parece favorecer factores más explosivos como la velocidad máxima que es importante en otros movimientos como el sprint y el salto. Finalmente, si el entrenamiento está dirigido hacia movimientos que requieren una gran cantidad de fuerza en la fase inicial y velocidad máxima en la fase posterior de la extensión de las piernas, entonces el peso muerto libre parece más óptimo, mientras que las condiciones con la banda elástica favorecen lo contrario.

En conclusión, realizar el peso muerto asistido y resistido aumentó la fuerza promedio, la fuerza máxima y el tiempo hasta la fuerza máxima, además de reducir el tiempo hasta la velocidad máxima en comparación con el peso muerto con peso libre. La velocidad máxima fue menor durante el peso muerto asistido en comparación con el peso muerto libre y el peso muerto resistido. Finalmente, no hubo diferencias entre las condiciones en la activación muscular.

Declaración de disponibilidad de datos

Los datos en bruto que respaldan las conclusiones de este artículo serán puestos a disposición por los autores, sin reservas indebidas.

Declaración de Ética

No se requirió una revisión y aprobación éticas para el estudio en participantes humanos de acuerdo con la legislación local y los requisitos institucionales. Los pacientes/participantes proporcionaron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se llevó a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un posible conflicto de intereses.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los participantes por su positividad y participación en el estudio. Este estudio se realizó sin financiación de empresas o fabricantes ajenos a las organizaciones.

REFERENCIAS

1. Andersen, V., Fimland, M. S., Kolnes, M. K., Jensen, S., Laume, M., and Saeterbakken, A. H. (2016). Electromyographic comparison of squats using constant or variable resistance. *J. Strength Cond. Res.* 30, 3456-3463.
2. Andersen, V., Fimland, M. S., Mo, D. A., Iversen, V. M., Larsen, T. M., Solheim, F., y cols. (2019). Electromyographic comparison of the barbell deadlift using constant versus variable resistance in healthy, trained men. *PLoS ONE* 14:e0211021.
3. Argus, C. K., Gill, N. D., Keogh, J. W., Blazevich, A. J., and Hopkins, W. G. (2011). Kinetic and training comparisons between assisted, resisted, and free countermovement jumps. *J. Strength Cond. Res.* 25, 2219-2227.
4. Bartolomei, S., Rovai, C., Lanzoni, I. M., and di Michele, R. (2019). Relationships between muscle architecture, deadlift performance, and maximal isometric force produced at the midthigh and midshin pull in resistance-trained individuals. *J. Strength Cond. Res.* doi: 10.1519/JSC.0000000000003455. [Epub ahead of print].
5. Cordova, M. L., and Armstrong, C. W. (1996). Reliability of ground reaction forces during a vertical jump: implications for functional strength assessment. *J. Athl. Train* 31, 342-345.
6. Farina, D. (2006). Interpretation of the surface electromyogram in dynamic contractions. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 34, 121-127.
7. Farina, D., Merletti, R., and Enoka, R. M. (2004). The extraction of neural strategies from the surface EMG. *J. Appl. Physiol.* 96, 1486-1495.
8. Frost, D. M., Cronin, J., and Newton, R. U. (2010). A biomechanical evaluation of resistance: fundamental concepts for training and sports performance. *Sports Med.* 40, 303-326.
9. Gabriel, D. A., Kamen, G., and Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med.* 36, 133-149.
10. Galpin, A. J., Malyszek, K. K., Davis, K. A., Record, S. M., Brown, L. E., Coburn, J. W., et al. (2015). Acute effects of elastic bands on kinetic characteristics during the deadlift at moderate and heavy loads. *J. Strength Cond. Res.* 29, 3271-3278.
11. Heelas, T., Theis, N., and Hughes, J. D. (2019). Muscle activation patterns during variable resistance deadlift training with and without elastic bands. *J. Strength Cond. Res.* 10.1519/JSC.0000000000003272. [Epub ahead of print].
12. Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., and Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 10, 361-374.
13. Kompf, J., and Arandjelovic, O. (2017). The sticking point in the bench press, the squat, and the deadlift: similarities and differences, and their significance for research and practice. *Sports Med.* 47, 631-640.
14. Lim, H. K., and Sherwood, A. M. (2005). Reliability of surface electromyographic measurements from subjects with spinal cord injury during voluntary motor tasks. *J. Rehabil. Res. Dev.* 42, 413-422.

15. Mathiassen, S. E., Winkel, J., and Hagg, G. M. (1995). Normalization of surface EMG amplitude from the upper trapezius muscle in ergonomic studies - a review. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 5, 197-226.
16. McBride, J. M., Cormie, P., and Deane, R. (2006). Isometric squat force output and muscle activity in stable and unstable conditions. *J. Strength Cond. Res.* 20, 915-918.
17. McBride, J. M., Larkin, T. R., Dayne, A. M., Haines, T. L., and Kirby, T. J. (2010). Effect of absolute and relative loading on muscle activity during stable and unstable squatting. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 5, 177-183.
18. McGill, S. M., and Marshall, L. W. (2012). Kettlebell swing, snatch, and bottoms-up carry: back and hip muscle activation, motion, and low back loads. *J. Strength Cond. Res.* 26, 16-27.
19. McMaster, D. T., Cronin, J., and McGuigan, M. (2009). Forms of variable resistance training. *Strength Cond. J.* 31, 50-64.
20. McMaster, D. T., Cronin, J., and McGuigan, M. R. (2010). Quantification of rubber and chain-based resistance modes. *J. Strength Cond. Res.* 24, 2056-2064.
21. Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J. Strength Cond. Res.* 18, 918-920.
22. Shoepe, T. C., Ramirez, D. A., and Almstedt, H. C. (2010). Elastic band prediction equations for combined free-weight and elastic band bench presses and squats. *J. Strength Cond. Res.* 24, 195-200.
23. Swinton, P. A., Stewart, A. D., Keogh, J. W., Agouris, I., and Lloyd, R. (2011). Kinematic and kinetic analysis of maximal velocity deadlifts performed with and without the inclusion of chain resistance. *J. Strength Cond. Res.* 25, 3163-3174.
24. van den Tillaar, R., Andersen, V., and Saeterbakken, A. H. (2014). The existence of a sticking region in free weight squats. *J. Hum. Kinet.* 42, 63-71.
25. van den Tillaar, R., Andersen, V., and Saeterbakken, A. H. (2019). Comparison of muscle activation and kinematics during free-weight back squats with different loads. *PLoS ONE* 14:e0217044.
26. van den Tillaar, R., and Ball, N. (2019). Validity and reliability of kinematics measured with PUSH band vs. *linear encoder in bench press and push-ups.* *Sports* 7:207.
27. Wallace, B. J., Bergstrom, H. C., and Butterfield, T. A. (2018). Muscular bases and mechanisms of variable resistance training efficacy. *Int. J. Sports Sci. Coach.* 13, 1177-1188.
28. Zebis, M. K., Skotte, J., Andersen, C. H., Mortensen, P., Petersen, H. H., Viskaer, T. C., et al. (2013). Kettlebell swing targets semitendinosus and supine leg curl targets biceps femoris: an EMG study with rehabilitation implications. *Br. J. Sports Med.* 47, 1192-1198

Cita Original

Andersen V, Pedersen H, Fimland MS, Shaw MP, Solstad TEJ, Stien N, Cumming KT and Saeterbakken AH (2020) Acute Effects of Elastic Bands as Resistance or Assistance on EMG, Kinetics, and Kinematics During Deadlift in Resistance-Trained Men. *Front. Sports Act. Living* 2:598284. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.598284>