

La evolución del tiempo de recuperación de diferentes umbrales de pérdida de velocidad y configuraciones de series durante el entrenamiento de sentadilla completa



Artículo traducido por: Marcos Celada Gómez

Abstract

Cornejo-Daza, PJ, Villalba-Fernández, A, González-Badillo, JJ, y Pareja-Blanco, F. Evolución del tiempo de recuperación a partir de diferentes umbrales de pérdida de velocidad y configuraciones de series durante el entrenamiento de sentadillas completas. *J Strength Cond Res* 38(2): 221–227, 2024—Los objetivos de la investigación fueron examinar los efectos de (a) los umbrales de pérdida de velocidad (VL) y (b) la configuración de las series, tradicional o en clúster, en la recuperación a lo largo del tiempo. Se llevó a cabo un diseño de investigación cruzada aleatorizada, en la que 15 hombres entrenados realizaron 4 protocolos que consistían en 3 series del 70% de 1RM en sentadillas completas (SQ), diferenciándose en la VL incurrida durante la serie evaluada con un transductor de velocidad lineal: (a) 20% (70-20), (b) 30% (70-30), (c)

40% (70-40), y en la configuración de la serie (d) 20% de VL usando una metodología de clúster (70-CLU). La velocidad del movimiento contra la carga que provocó una velocidad de 1 m·s⁻¹ en las mediciones iniciales (carga V1) en SQ, la altura del salto con contramovimiento (CMJ) y el tiempo de sprint en 20 m (T20) se evaluaron al inicio (Pre) y después de la intervención (Post, 6 horas-Post, 24 horas-Post y 48 horas-Post). El protocolo 70-20 resultó en menos repeticiones totales que los otros protocolos ($p = 0.001$), mientras que 70-CLU, 70-30 y 70-40 completaron repeticiones totales similares. El protocolo 70-30 empeoró significativamente T20 a las 6 horas-Post, CMJ a las 48 horas-Post y carga V1 a las 6 horas-Post ($p < 0.05$). El protocolo 70-40 perjudicó significativamente T20 a las 6 horas-Post, y CMJ y carga V1 a las 24 horas-Post ($p < 0.05$). No se observaron reducciones significativas del rendimiento para 70-20 y 70-CLU a las 6 horas-Post, 24 horas-Post y 48 horas-Post. Los protocolos con mayor VL resultaron en una fatiga más pronunciada y una tasa de recuperación más lenta. Los conjuntos de clúster (70-CLU) resultaron en un volumen mayor que los protocolos con un nivel similar de fatiga (70-20) y una recuperación más rápida que los protocolos con un volumen similar (70-30 y 70-40).

Introducción

El conocimiento del tiempo necesario para recuperar los valores basales después del entrenamiento de fuerza es de gran importancia porque puede afectar no solo el entrenamiento físico sino también la calidad del entrenamiento técnico-táctico (5). Es importante que, si no se encuentra un equilibrio entre la sobrecarga y la recuperación, puede resultar en adaptaciones no deseadas (21). Por lo tanto, es importante considerar la recuperación antes de realizar la próxima sesión de entrenamiento o competición para asegurar una buena condición neuromuscular (25).

El entrenamiento basado en la velocidad (VBT) es una metodología que permite un monitoreo preciso y la prescripción en tiempo real de la intensidad y el volumen del entrenamiento de resistencia (RT). En este sentido, la pérdida de velocidad (VL) dentro de la serie se ha propuesto como un indicador objetivo, práctico y no invasivo del desarrollo de fatiga durante el RT (33). Se ha observado una fuerte relación ($R^2 = 0.93$) entre la VL durante la serie y el porcentaje de repeticiones completadas respecto al número máximo de repeticiones en el ejercicio de sentadilla completa (SQ) en un rango de intensidades del 50 al 85% de una repetición máxima (1RM) (31). En consecuencia, la VL alcanzada en la serie de ejercicios permite a los practicantes estimar con alta precisión la proporción de repeticiones ya realizadas y, como resultado, cuántas repeticiones quedan en reserva. Se ha sugerido que una VL del 40–50% significa que la serie se realiza hasta el fallo muscular o cerca de él, mientras que una VL del 20–25% permite la realización de aproximadamente el 50% de las repeticiones máximas posibles para el ejercicio SQ (31). Varios estudios han mostrado que la fatiga y el tiempo necesario para la recuperación aumentan con la proximidad al fallo (8,25,28). Estos estudios prescribieron el mismo número de repeticiones para todos los sujetos para un porcentaje dado de 1RM y no utilizaron un enfoque de VL. Sin embargo, el número de repeticiones requeridas para alcanzar una magnitud dada de fatiga dentro de las series puede reducirse a lo largo de las series de entrenamiento, lo cual puede individualizarse al usar el enfoque de VL (40). Además, la fuerza, la velocidad y la potencia pueden conservarse mejor durante la serie utilizando el umbral de VL como enfoque de

entrenamiento (40). Por lo tanto, prescribir volúmenes de series usando umbrales de VL puede mejorar la calidad del ejercicio al mitigar la fatiga y permitir que los entrenadores de fuerza y acondicionamiento tengan en cuenta factores asociados con diferencias individuales en el rendimiento, la preparación diaria o el desarrollo de fatiga dentro de la sesión. En este sentido, la evolución del tiempo de recuperación es otro factor que debe considerarse. La recuperación a lo largo del tiempo es crítica para optimizar el rendimiento subsiguiente y la calidad de las siguientes sesiones de entrenamiento, así como para minimizar el riesgo de sobreentrenamiento y promover adaptaciones a largo plazo. La duración de este período de recuperación es individual y varía según factores de entrenamiento como la intensidad o el volumen. Sin embargo, hasta donde sabemos, solo un estudio previo ha analizado la evolución del tiempo de recuperación para protocolos de ejercicio de fuerza (REPs) utilizando un enfoque de VL (29). Este estudio analizó la evolución del tiempo de recuperación (Pre, Post, 6 horas-Post, 24 horas-Post y 48 horas-Post) de 4 REPs con diferentes cargas relativas (60 y 80% 1RM) y distintos umbrales de VL dentro de la serie (20 y 40%) para el ejercicio SQ (29). Cargas relativas más ligeras (60% 1RM) y VL más alto (40%) resultaron en mayor fatiga y una tasa de recuperación más lenta que sus contrapartes (intensidad: 80% 1RM, VL: 20%) (29).

Una metodología que está recibiendo gran interés es el "entrenamiento por clústeres", que se basa en introducir cortos períodos de descanso entre cada repetición o después de un cierto número de repeticiones (13,37). La implementación de esta metodología es una estrategia efectiva para aliviar la fatiga mecánica inducida durante las sesiones de entrenamiento (23,26,38). Además, el entrenamiento por clústeres también es efectivo en mejorar la fatiga mecánica aguda post-entrenamiento de fuerza (RT) (7,23,30,39), aunque este efecto positivo fue menor que el observado dentro de la sesión (20). Importante, hasta donde sabemos, ningún estudio ha analizado los efectos del entrenamiento por clústeres en el curso temporal de la recuperación. Una revisión sistemática reciente ha reconocido que la investigación sobre este tema es insuficiente y se debe explorar más la efectividad del entrenamiento por clústeres en mitigar la fatiga residual después del RT (20). Por lo tanto, los objetivos de la investigación fueron analizar los efectos de diferentes (a) umbrales de VL (20, 30 y 40%) y (b) configuración de series (tradicional o por clústeres) en el curso temporal de la recuperación hasta 48 horas después del ejercicio.

Métodos

Enfoque Experimental al Problema

Se llevó a cabo un diseño experimental aleatorizado y transversal para examinar los efectos del VL dentro de la serie (20, 30 y 40%) y la configuración de la serie (tradicional vs. por clústeres) en el curso temporal de la recuperación. Los sujetos realizaron, en un orden aleatorizado, 4 REPs con 14 días de diferencia entre cada prueba, que diferían en el umbral de VL durante la serie y en la configuración de la serie en el ejercicio de SQ. Todas las REPs utilizaron la misma intensidad relativa (70% 1RM), número de series (3) y duración del descanso entre series (4 minutos). El diseño experimental comprendió 4 REPs: (a) 70% 1RM con un VL en la serie del 20% (70-20), (b) 70% 1RM con un VL del 30% (70-30), (c) 70% 1RM con un VL del 40% (70-40), y (d) 70% 1RM con una configuración por clústeres (descanso de 10 segundos entre cada repetición asegurando la barra en el soporte de la máquina Smith) hasta alcanzar un VL del 20% (70-CLU).

Para todos los protocolos, se realizó una batería de pruebas en diferentes puntos temporales: pre-ejercicio (Pre), post-ejercicio (Post), 6 horas-Post, 24 horas-Post y 48 horas-Post. La batería de pruebas consistió en (a) tiempo de sprint de 20 metros corriendo (T20), (b) salto vertical con contramovimiento (CMJ) y (c) velocidad de la barra contra la carga que provocó $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en las mediciones iniciales (V1-carga) en el ejercicio de SQ. Estas mediciones mecánicas y puntos temporales han sido previamente utilizados para analizar el curso temporal de la recuperación después de diferentes REPs (8,29).

Las sesiones y las pruebas se realizaron en un laboratorio de investigación, a la misma hora del día (± 1 hora) para cada sujeto, con las mismas condiciones ambientales (20°C y 60% de humedad). Todas las sesiones fueron supervisadas por investigadores para proporcionar instrucciones detalladas sobre procedimientos específicos de las pruebas, y dieron un fuerte ánimo verbal durante cada sesión para motivar a los sujetos a dar el máximo esfuerzo. Los sujetos tenían que completar todas las REPs y se les requería no realizar ningún otro tipo de actividad física extenuante al menos 4 días antes de cada prueba de REPs. Los sujetos realizaron 4 sesiones de familiarización 2 semanas antes del inicio del primer ensayo. Una evaluación inicial de fuerza se realizó 1 semana antes del primer ensayo para obtener el 1RM de los sujetos y las relaciones carga-velocidad.

Sujetos

Quince hombres entrenados y físicamente activos (edad 22.16 ± 3.3 años, altura 1.756 ± 0.04 m, masa corporal 71.26 ± 8.1 kg) se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio. Todos los sujetos tenían un antecedente de entrenamiento previo (1.5–4 años) en el ejercicio SQ (1RM relativo a la masa corporal = 1.40 ± 0.23) y fueron enseñados a realizar el SQ con la técnica correcta en las sesiones de familiarización (rango de edad: 19–31 años; ningún sujeto tenía menos de 18 años). Después de ser informados sobre el propósito, los procedimientos de prueba y los riesgos potenciales de la investigación, los sujetos firmaron un documento de consentimiento informado por escrito para participar. No se encontraron limitaciones físicas, problemas de salud, o lesiones musculoesqueléticas que pudieran afectar las pruebas después de un examen médico. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad Pablo de Olavide y se llevó a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Procedimientos

Sprint de 20 m en carrera. El rendimiento de sprint en interiores se evaluó con sprints en línea recta de 20 m utilizando un sistema de células fotoeléctricas (Witty, Microgate, Bolzano, Italia). El calentamiento consistió en 5 minutos de trote a un ritmo fácil auto-seleccionado; cuatro aceleraciones de carrera de 20 m al 80, 85, 90 y 95% de esfuerzo percibido; y un sprint de 10 m al 100% de esfuerzo con periodos de descanso de 1 minuto entre ellos. Luego, los sujetos comenzaron 1 m detrás de la primera fotocélula y luego corrieron a velocidad máxima hasta alcanzar la última fotocélula. Se realizaron dos intentos, con un descanso de 3 minutos, y el mejor tiempo (T20) se tomó como el valor de referencia antes del ejercicio. El coeficiente de correlación intraclase (CCI) fue de 0.989 (intervalo de confianza del 95% [IC]: 0.949; 0.998) y el coeficiente de variación (CV) fue del 0.7%.

Salto Vertical con Contramovimiento. El salto con contramovimiento ha sido utilizado como un indicador de fatiga y del curso temporal de recuperación en contextos de entrenamiento de fuerza y de sprint (19,27). Los sujetos estaban en posición vertical con sus rodillas y caderas completamente extendidas y sus manos en las caderas, manteniendo sus pies completamente apoyados en el suelo y separados a la anchura de las caderas. Se agacharon hasta una profundidad auto-seleccionada y luego saltaron lo más alto posible, aterrizando en flexión plantar. El calentamiento consistió en 2 series de 10 sentadillas sin carga externa (es decir, solo con el peso del cuerpo), 5 CMJs progresivamente más altos y 3 CMJs casi máximos. Las alturas de los saltos se calcularon a partir del tiempo de vuelo, usando una plataforma de contacto (Optojump Next, Microgate, Bolzano, Italia). Cada sujeto realizó 5 saltos con 20 segundos de descanso entre ellos. Las alturas de CMJ más alta y más baja se descartaron, y la altura media de CMJ resultante se tomó como el valor de referencia antes del ejercicio (2). El CCI (IC del 95%) fue de 0.995 (0.985; 0.999) y el CV fue del 1.7%.

Ejercicio de Sentadilla Completa. Se utilizó una máquina Smith (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, España) sin mecanismo de contrapeso para todas las sesiones. Los sujetos comenzaron desde la posición erguida con las rodillas y caderas completamente extendidas, los pies aproximadamente a la anchura de los hombros, y la barra descansando en la espalda a nivel del acromion. Los sujetos descendieron en un movimiento continuo ($0.50\text{--}0.65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) lo más bajo posible ($35\text{--}40^\circ$ de flexión de rodilla), y luego ascendieron inmediatamente a la posición erguida a la máxima velocidad intencionada. Esta técnica de ejecución se reprodujo cuidadosamente en todas las REPETICIONES realizadas en el estudio. Todas las repeticiones se registraron con un transductor de velocidad lineal (Sistema T-Force, Ergotech, Murcia, España). La fiabilidad de este dispositivo ha sido reportada en otro lugar (3). Para la determinación de la carga V1, los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado que consistió en un conjunto de 6 repeticiones de SQ con una carga de 20 kg, seguido por un conjunto de 6 y 4 repeticiones de SQ con cargas del 40% y 50% del 1RM, respectivamente, con descansos inter-serie de 3 minutos. Luego, los sujetos realizaron un conjunto de 3 repeticiones con carga V1 (60% 1RM). La velocidad más rápida de las 3 repeticiones con la carga V1 se registró como el valor de referencia pre-ejercicio para esta variable, determinada con una precisión de $\pm 0.03\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Las cargas relativas se determinaron a partir de la relación carga-velocidad porque recientemente se ha demostrado que hay una relación muy cercana ($R^2 \geq 0.96$) entre el 1RM y la velocidad propulsiva media (MPV) para el ejercicio de SQ (9). Las medidas de velocidad utilizadas en este estudio corresponden a la MPV de cada repetición, definida como esa porción de la acción concéntrica durante la cual la aceleración medida es mayor que la aceleración debido a la gravedad ($9.81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) (34). Los valores de CCI (IC del 95%) y CV fueron 0.928 (0.706; 0.984) y 1.5%, respectivamente.

Protocolo de Ejercicio de Resistencia. La Figura 1 muestra una descripción detallada del protocolo realizado. En Pre, la batería de pruebas se realizó en el orden descrito anteriormente (es decir, T20, CMJ y carga V1). Una vez que se determinó la carga V1, la carga externa se aumentó hasta la intensidad objetivo (70% 1RM). Posteriormente, se realizaron 3 series separadas por descansos de 4 minutos usando el REP correspondiente. En Post, inmediatamente después de completar la última repetición en la tercera serie (la carga se cambió en 10 segundos con la ayuda de observadores entrenados), los sujetos realizaron nuevamente 3 repeticiones con la carga V1. Además,

5 segundos después de la carga V1 (20 segundos después del ejercicio SQ), se realizaron otros 3 CMJs máximos, separados por descansos de 5 segundos. Además, 1 minuto después del último CMJ, se realizó un sprint de carrera de 20 m. La carga V1, la altura del CMJ y el T20 se obtuvieron como medidas postejercicio agudas. Se proporcionó un fuerte estímulo verbal y retroalimentación de la velocidad en cada repetición a lo largo de todos los conjuntos de ejercicios.

Todas las REP se realizaron por la mañana. Por la tarde, 6 horas después del ejercicio (6 horas-Post), y por la mañana, 24 y 48 horas después del ejercicio (24 horas-Post y 48 horas-Post), se obtuvieron los valores de T20, altura de CMJ y carga V1, tal como se describió para Pre, para evaluar el curso temporal de la recuperación después de cada REP.

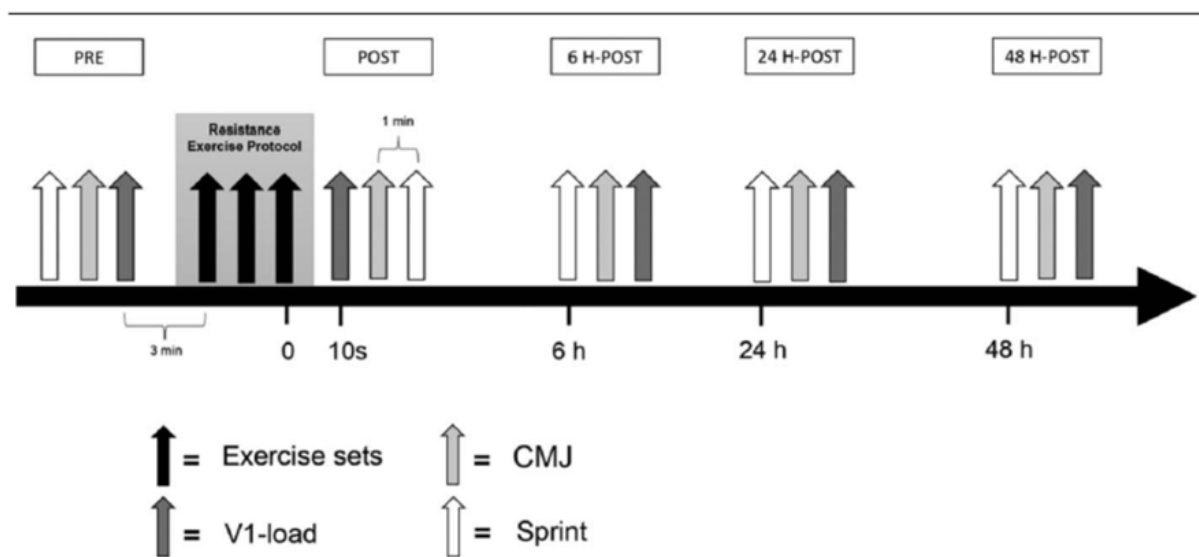


Figure 1. Representation of mechanical measurements at different time points to analyze the time course of recovery after exercise.

Análisis Estadísticos

Los datos se presentan como media \pm SD. La fiabilidad test-retest para T20, altura de CMJ y carga V1 se midió mediante el CV y el ICC (95% CI), que se calculó con el modelo de efectos aleatorios unidireccionales. En Pre, todos los datos se distribuyeron normalmente según determinó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Un ANOVA de medidas repetidas (4 REP) con ajustes de Bonferroni se utilizó para comparar las características descriptivas de cada REP. Un ANOVA factorial con medidas repetidas 4 \times 3 \times 5 (4 REP y 5 puntos temporales) con ajustes de Bonferroni se utilizó para analizar el curso temporal de la recuperación. La corrección de Bonferroni se eligió debido a su naturaleza conservadora, que proporciona una fuerte protección contra la realización de hallazgos positivos falsos (error de tipo I) (1). La significación estadística se estableció en el nivel de $p < 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SPSS versión 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL).

Resultados

Características Descriptivas de los Protocolos

Las características descriptivas de cada REP se informan en la Tabla 1 para repeticiones realizadas por serie (repeticiones) y velocidades de repetición reales. No se encontraron diferencias significativas entre las REP ($p = 0.41$) para la repetición más rápida (Velocidad-Máxima). Como se esperaba, la carga de volumen (VL) aumentó significativamente a medida que la carga programada de VL aumentaba (70-20 = 70-CLU, 70-30, 70-40, $p < 0.001$). En consecuencia, la velocidad media durante la sesión de entrenamiento (Velocidad-Media) disminuyó a medida que la carga programada de VL aumentaba (70-20 = 70-CLU, 70-30, 70-40, $p < 0.001$). En cuanto a la velocidad más lenta medida en los 3 sets (Velocidad-Mínima), los protocolos 70-30 y 70-40 mostraron valores significativamente más bajos que 70-20 y 70-CLU ($p < 0.001$). Finalmente, el protocolo 70-20 completó menos repeticiones por serie (repeticiones) que los otros REPs ($p = 0.001$).

Table 1

Descriptive characteristics of each resistance exercise protocol.*†

REP	70-20	70-CLU	70-30	70-40	Protocol	
					<i>p</i>	<i>F</i>
Fastest-V ($m \cdot s^{-1}$)	0.85 ± 0.02	0.86 ± 0.03	0.85 ± 0.03	0.85 ± 0.02	0.41	1.05
VL (%)	$23.0 \pm 2.0^{30,40}$	$21.3 \pm 2.0^{30,40}$	34.4 ± 3.9^{40}	40.5 ± 4.5	<0.001	144.03
Slowest-V ($m \cdot s^{-1}$)	$0.59 \pm 0.05^{30,40}$	$0.61 \pm 0.04^{30,40}$	0.49 ± 0.05	0.45 ± 0.05	<0.001	33.57
Mean-V ($m \cdot s^{-1}$)	$0.74 \pm 0.03^{30,40}$	$0.74 \pm 0.03^{30,40}$	0.70 ± 0.03^{40}	0.65 ± 0.03	<0.001	45.26
Reps (n)	$5.1 \pm 1.9^{CLU,30,40}$	8.5 ± 4.2	6.1 ± 2.1	7.4 ± 2.7	0.001	12.51

*REP = resistance exercise protocol; 70-20 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 20%; 70-CLU = protocol against 70% 1RM with a cluster configuration and a velocity loss in the set of 20%; 70-30 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 30% (70-30); 70-40 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 40% (70-40); Fastest-V = highest velocity measured in the 3 sets; VL = mean percent loss in velocity from the fastest to the slowest repetition over the 3 sets; Slowest-V = lowest velocity measured in the 3 sets; Mean-V = mean velocity of all repetitions during the 3 sets; Reps = repetitions performed in each set.

†Data are mean \pm SD, $n = 15$. Velocities correspond to the mean propulsive velocity of each repetition. Protocol indicates *p* values among protocols. Statistically significant differences with the 70-CLU protocol: ^{CLU} $p < 0.05$. Statistically significant differences with the 70-30 protocol: ³⁰ $p < 0.05$. Statistically significant differences with the 70-40 protocol: ⁴⁰ $p < 0.05$.

Evolución del Tiempo de Recuperación

No se encontraron diferencias significativas entre los REPs en el Pre para ninguna de las variables analizadas (Tabla 2). Se observó una interacción significativa "protocolo X tiempo" ($p = 0.003$) para la altura del CMJ. Se observaron "efectos del protocolo" significativos para T20 ($p = 0.04$) y V1-carga ($p = 0.02$). De manera similar, se encontró un efecto "tiempo" significativo para todas las variables de rendimiento evaluadas (T20, CMJ y V1-carga). Todos los REPs mostraron disminuciones significativas en todos los indicadores mecánicos de fatiga (T20, CMJ y V1-carga) en el Post ($p < 0.001$). Para T20, los protocolos 70-30 y 70-40 resultaron en deterioros significativos ($p < 0.05$) a las 6 horas-Post (Tabla 3). Para la altura del CMJ, los protocolos 70-30 y 70-40 resultaron en deterioros significativos a las 6 horas-Post y 24 horas-Post. Además, 70-30 indujo reducciones en la altura del CMJ hasta las 48 horas-Post. Los deterioros en V1-carga fueron significativamente ($p < 0.05$) mayores para el protocolo 70-40 en comparación con 70-30 en el Post y con 70-20 en el Post y 24 horas-Post (Figura 2). El protocolo 70-30 también mostró deterioros significativamente ($p < 0.05$) mayores en comparación con 70-20 en el Post. Finalmente, la V1-carga permaneció significativamente ($p < 0.05$)

disminuida hasta las 24 horas-Post para 70-40 y hasta las 6 horas-Post para 70-30. No se observaron más diferencias significativas para ninguna variable examinada.

Table 2

Baseline values in every test before each resistance exercise protocol.*†

REP	70-20	70-CLU	70-30	70-40	Protocol	
					<i>p</i>	<i>F</i>
T20 (s)	3.07 ± 0.13	3.10 ± 0.11	3.10 ± 0.14	3.05 ± 0.13	0.36	1.19
CMJ height (cm)	39.7 ± 3.0	39.1 ± 4.7	39.7 ± 3.3	38.8 ± 3.6	0.52	0.79
V1-load (m·s ⁻¹)	0.99 ± 0.02	1.00 ± 0.03	1.00 ± 0.03	1.00 ± 0.03	0.68	0.51

*REP = resistance exercise protocol; 70-20 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 20%; 70-CLU = protocol against 70% 1RM with a cluster configuration and a velocity loss in the set of 20%; 70-30 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 30% (70-30); 70-40 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 40% (70-40); T20 = 20-m running sprint time; CMJ = countermovement jump; V1-load = velocity attained against the load that elicited a 1 m·s⁻¹ in the pre-exercise test.

†Data are mean ± SD, *n* = 15. Protocol indicates *p* values among protocols.

Table 3

Time course of recovery in the sprint and jump performance after each resistance exercise protocol.†‡

REP	Post	6 h-Post	24 h-Post	48 h-Post
T20 (%) "protocol × time" interaction (<i>p</i> = 0.53); "time effect" (<i>p</i> < 0.001); "protocol effect" (<i>p</i> = 0.04)"protocol × time" interaction (<i>F</i> = 1.13); "time effect" (<i>F</i> = 24.65); "protocol effect" (<i>F</i> = 3.91)				
70-20	95.9 ± 2.4***	99.3 ± 2.0	98.8 ± 1.8	99.5 ± 1.8
70-CLU	95.6 ± 1.9***	98.5 ± 2.9	98.8 ± 2.7	99.4 ± 2.3
70-30	95.0 ± 1.2***	98.7 ± 1.2**	98.9 ± 2.4	99.2 ± 2.9
70-40	93.7 ± 4.6***	97.9 ± 1.7**	97.5 ± 4.2	98.0 ± 2.5
CMJ height (%) "protocol × time" interaction (<i>p</i> = 0.003); "time effect" (<i>p</i> < 0.001); "protocol effect" (<i>p</i> = 0.09)"protocol × time" interaction (<i>F</i> = 57.89); "time effect" (<i>F</i> = 136.44); "protocol effect" (<i>F</i> = 2.75)				
70-20	78.1 ± 4.7***	96.0 ± 5.1	97.7 ± 6.3	97.9 ± 5.2
70-CLU	81.2 ± 8.0***	94.5 ± 9.8	95.4 ± 7.1	98.4 ± 5.7
70-30	76.1 ± 5.5***	95.4 ± 4.4*	93.4 ± 2.9***	95.2 ± 4.3**
70-40	76.2 ± 8.7***	95.2 ± 4.9*	93.8 ± 6.6*	96.7 ± 6.6

†REP = resistance exercise protocol; 70-20 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 20%; 70-CLU = protocol against 70% 1RM with a cluster configuration and a velocity loss in the set of 20%; 70-30 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 30% (70-30); 70-40 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 40% (70-40); T20 = 20-m running sprint time; CMJ = countermovement jump.

‡Data are mean ± SD, *n* = 15. Statistically significant differences with Pre at the corresponding time point. **p* < 0.05, ***p* < 0.01, ****p* < 0.001.

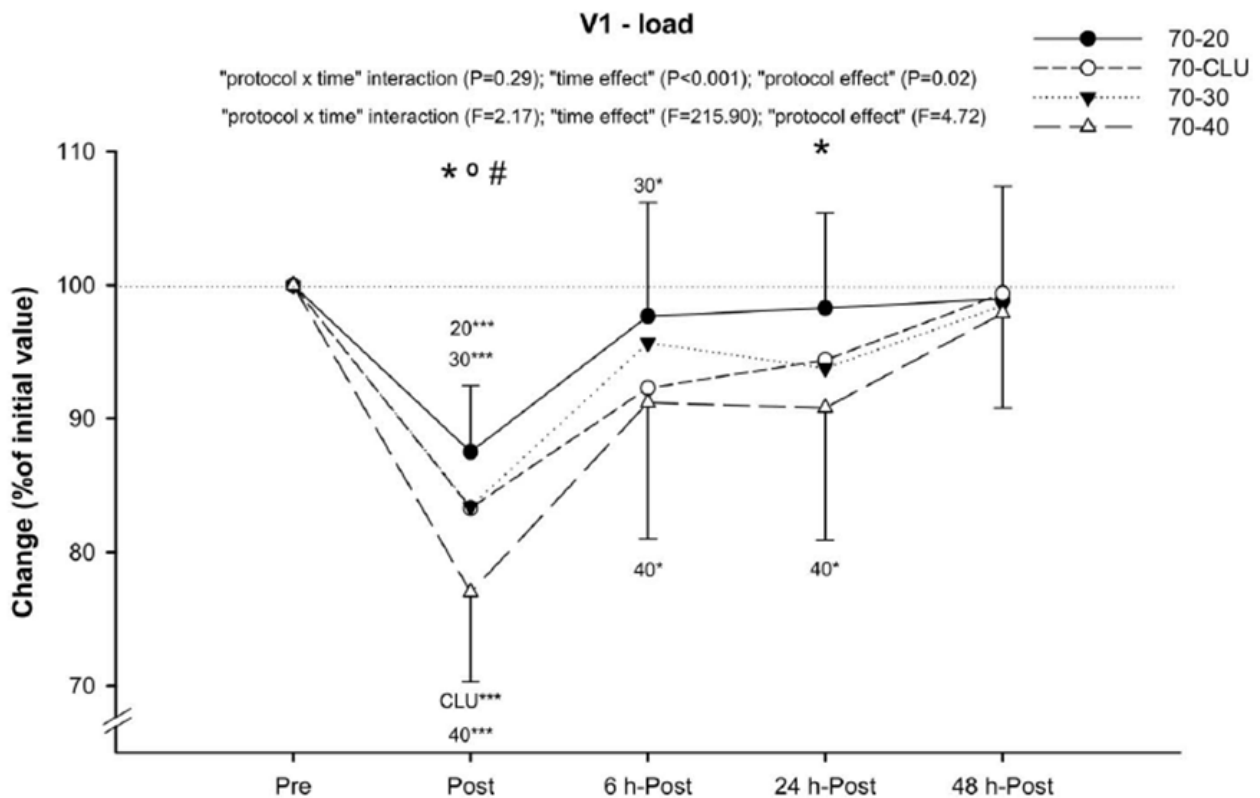


Figure 2. V1-load changes at various time points. Data are mean \pm SD, $n = 15$. 70-20 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 20%; 70-CLU = protocol against 70% 1RM with a cluster configuration and a velocity loss in the set of 20%; 70-30 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 30% (70-30); 70-40 = protocol against 70% 1RM with a velocity loss in the set of 40% (70-40); V1-load = velocity attained against the load that elicited a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ in the full-squat exercise at pre-exercise. Statistically significant differences with 70-20 at Pre for the corresponding time point: ^{20***} $p < 0.001$. Statistically significant differences with 70-CLU at Pre for the corresponding time point: ^{CLU***} $p < 0.001$. Statistically significant differences with 70-30 at Pre for the corresponding time point: ^{30*} $p < 0.05$, ^{30***} $p < 0.001$. Statistically significant differences with 70-40 at Pre for the corresponding time point: ^{40*} $p < 0.05$, ^{40***} $p < 0.001$. Statistically significant ($p < 0.05$) differences between 70-20 and 70-40 at the corresponding time point: *; statistically significant ($p < 0.05$) differences between 70-20 and 70-30 at the corresponding time point: °; statistically significant ($p < 0.05$) differences between 70-30 and 70-40 at the corresponding time point: #.

Discusión

Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que ha analizado el efecto de incluir la metodología de entrenamiento por clústeres en la evolución del tiempo de recuperación para el rendimiento físico. Para ello, se examinó la evolución del tiempo de recuperación después de 4 REPs (70-20, 70-30, 70-40 y 70-CLU). Dos de estos REPs experimentaron un nivel similar de fatiga dentro del conjunto: 20% de VL (70-20 y 70-CLU), pero resultaron en diferentes volúmenes de entrenamiento (70-20, 70-CLU). La metodología de clústeres (70-CLU) indujo niveles más bajos de fatiga dentro del conjunto y tasas más rápidas de recuperación que los protocolos de alto VL (70-30 y 70-40), a pesar de que el volumen de entrenamiento completado en estos REPs fue similar. Estos hallazgos abren la posibilidad de incluir volúmenes de entrenamiento similares pero con fatiga reducida y recuperación más rápida al incluir períodos cortos de descanso entre repeticiones.

Los REPs de alto VL (70-30 y 70-40) se caracterizaron por reducciones sustanciales en la

velocidad de repetición, lo que resultó en velocidades de levantamiento lentas durante la sesión de entrenamiento (Mean-V), especialmente en las últimas repeticiones (Slowest-V). Dado que el cambio en la velocidad de levantamiento contra una carga dada depende directamente de la fuerza aplicada a la carga, la fuerza aplicada en las últimas repeticiones fue mucho menor que la aplicada en las primeras repeticiones. En cuanto al número de repeticiones realizadas por serie (Reps), el protocolo 70-20 realizó menos repeticiones que los otros REPs (70-CLU, 70-30 y 70-40). No se encontraron diferencias significativas en el número de repeticiones completadas por 70-CLU, 70-30 y 70-40, a pesar de los diferentes niveles de fatiga inducidos dentro del conjunto, según lo evaluado por VL. El protocolo 70-CLU permitió a los atletas realizar ligeramente más repeticiones que 70-30 y 70-40 (8.5 ± 4.2 , 6.1 ± 2.1 ; 7.4 ± 2.7 , respectivamente). Estos hallazgos están en línea con investigaciones previas que informan que la metodología de cluster permite realizar un mayor número de repeticiones hasta el fallo con una carga dada (4,16) y un mejor mantenimiento del rendimiento (es decir, fuerza, velocidad y potencia) en el conjunto que un conjunto de repeticiones continuas con el mismo número de repeticiones objetivo (6,13,22,24,26,39). Sin embargo, hasta donde sabemos, realizar repeticiones en cluster hasta alcanzar un umbral de VL dado es novedoso en la literatura. Una de las causas más ampliamente aceptadas de la reducción de fatiga inducida por cluster es el mejor mantenimiento de las reservas de fosfocreatina (PCr) y adenosín trifosfato (ATP) (12,37). Se ha informado que un descanso de 10 segundos entre repeticiones puede ser suficiente para evitar una disminución significativa en la velocidad de la barra (23) y, por lo tanto, realizar más repeticiones para el mismo nivel de esfuerzo. Por lo tanto, al proporcionar períodos cortos de descanso entre repeticiones, un atleta puede completar más repeticiones antes de alcanzar un cierto nivel de fatiga.

Es digno de mención que, mientras ambos protocolos usando un 20% VL (70-20 y 70-CLU) ya se habían recuperado a las 6 horas posteriores para todas las variables de rendimiento evaluadas, el rendimiento basal no se restauró completamente hasta las 24–48 horas posteriores después de los protocolos de alto VL (70-30 y 70-40). Específicamente, VL30 resultó en un rendimiento disminuido en sprint, SQ y saltos hasta las 6 horas posteriores y 48 horas posteriores, mientras que VL40 mostró reducciones en el rendimiento de sprint (a las 6 horas posteriores), salto (a las 24 horas posteriores) y SQ (a las 24 horas posteriores). Esta mayor deterioración del rendimiento y recuperación más lenta provocada por los protocolos con mayor VL (70-40 y 70-30) podría deberse a un alto estrés metabólico (acumulación de iones de hidrógeno y amoníaco) (33) junto con una depleción de purinas musculares (10,11). Se ha demostrado que las reservas de nucleótidos de adenina pueden tardar varios días en recuperarse, aunque los niveles de PCr pueden haber vuelto a valores normales (14,36). Estudios previos también han mostrado reducciones en el rendimiento hasta 48 horas después de REPs hasta el fallo (8,27,28). Sin embargo, en el presente estudio, incluso los protocolos de alto VL recuperaron su rendimiento basal a las 48 horas posteriores.

Esto puede ser porque el fallo de la tarea no se alcanzó en este estudio. Esto se observó desde los valores de Slowest-V porque la velocidad de la última repetición antes del fallo en el ejercicio SQ es de aproximadamente $0.30\text{--}0.35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (18,27), mientras que en el presente estudio, el Slowest-V fue de $0.45 \pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para 70-40. Tomados en conjunto, los decrementos de rendimiento provocados por protocolos de alto VL podrían perjudicar la capacidad de aplicar fuerza en eventos de entrenamiento o competición subsiguientes, lo cual afecta el desarrollo de otras cualidades físicas y el rendimiento atlético (5,17,35).

A pesar de la abundante evidencia que respalda el uso del entrenamiento en clúster para mantener el rendimiento durante el entrenamiento de fuerza (RT) (20,37), se conoce poco sobre cómo el entrenamiento en clúster puede influir en el curso temporal de la recuperación después del RT. Curiosamente, el protocolo de clúster (70-CLU) logró una tasa de recuperación similar a la de 70-20, ambos con el mismo VL (20%), a pesar de que 70-CLU acumuló un volumen de entrenamiento más alto que 70-20 (Tabla 1). Además, 70-CLU logró una recuperación más rápida que los REPs realizando un número similar de repeticiones pero con un VL más alto (70-30 y 70-40). Esto puede ser porque los sets en clúster provocan niveles más bajos de fatiga y estrés metabólico que los sets de repeticiones continuas (4,7,23,30,39). Además, los cortos períodos de descanso entre repeticiones pueden permitir la reposición parcial de las reservas musculares de PCr y ATP (10,12), lo que puede atenuar los aumentos en inosinmonofosfato (32), evitando la pérdida de purinas del tejido muscular (15). Esta hipótesis puede explicar, desde un punto de vista metabólico, el curso temporal de recuperación más rápido observado para 70-CLU en comparación con los otros REPs que completaron el mismo volumen de entrenamiento (70-30 y 70-40) porque la reposición del pool de nucleótidos musculares puede tardar hasta varios días (36). En conjunto, nuestros resultados sugieren que el entrenamiento en clúster puede aliviar la fatiga residual inducida por el RT, lo que puede mitigar la interferencia potencial con sesiones de entrenamiento subsiguientes.

En resumen, nuestros resultados sugieren que la fatiga experimentada dentro del set, independientemente del volumen de entrenamiento, determina la respuesta aguda y la tasa de recuperación después del entrenamiento de resistencia (RT). Específicamente, al usar la misma intensidad relativa (%1RM), los protocolos que involucran umbrales de VL más altos resultaron en fatiga más pronunciada y tasas de recuperación más lentas. Además, los sets en clúster (70-CLU) resultaron en volúmenes más altos que los protocolos con niveles similares de fatiga (70-20) y una recuperación más rápida que los protocolos con volúmenes similares (70-30 y 70-40).

Aplicaciones Prácticas

Los entrenadores de fuerza y acondicionamiento pueden utilizar la información resumida aquí para crear sesiones de entrenamiento basado en la velocidad (VBT) más efectivas, teniendo en cuenta que (a) el ejercicio de fuerza con altos niveles de fatiga dentro del set (umbrales de VL altos) se caracteriza por una fatiga aguda alta y necesita períodos más largos para la recuperación del rendimiento y (b) introducir períodos cortos de descanso entre repeticiones (sets en clúster) permite a los atletas completar un volumen de entrenamiento más alto para un nivel dado de fatiga y acelera la tasa de recuperación después del entrenamiento. Este enfoque es de gran relevancia práctica para los profesionales de la fuerza y el acondicionamiento, especialmente donde las competiciones se celebran cada fin de semana o incluso cada 3–4 días, porque permite a los atletas estar en mejor condición para emprender una nueva sesión de entrenamiento o competición en un período más corto.

Bibliografía

1. Armstrong RA. When to use the Bonferroni correction. *Ophthalmic Physiol Opt* 34: 502–508, 2014.
2. Claudino JG, Cronin J, Mezêncio B, et al. The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *J Sci Med Sport* 20: 397–402, 2017.
3. Courel-Ibanez J, Martinez-Cava A, Moran-Navarro R, et al. Reproducibility and repeatability of five different technologies for bar velocity measurement in resistance training. *Ann Biomed Eng* 47: 1523–1538, 2019.
4. Denton J, Cronin JB. Kinematic, kinetic, and blood lactate profiles of continuous and intraset rest loading schemes. *J Strength Cond Res* 20: 528–534, 2006.
5. Draganidis D, Chatzinikolaou A, Jamurtas AZ, et al. The time-frame of acute resistance exercise effects on football skill performance: The impact of exercise intensity. *J Sports Sci* 31: 714–722, 2013.
6. García-Ramos A, Padial P, Haff GG, et al. Effect of different interrepetition rest periods on barbell velocity loss during the ballistic bench press exercise. *J Strength Cond Res* 29: 2388–2396, 2015.
7. Girman JC, Jones MT, Matthews TD, Wood RJ. Acute effects of a cluster-set protocol on hormonal, metabolic and performance measures in resistance-trained males. *Eur J Sport Sci* 14: 151–159, 2014.
8. González-Badillo JJ, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, et al. Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure. *Int J Sports Med* 37: 295–304, 2015.
9. Gonzalez-Badillo JJ, Sanchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med* 31: 347–352, 2010.
10. Gorostiaga EM, Navarro-Amezqueta I, Calbet JA, et al. Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. *PLoS One* 7: e40621, 2012.
11. Gorostiaga EM, Navarro-Amézqueta I, Calbet JA, et al. Blood ammonia and lactate as markers of muscle metabolites during leg press exercise. *J Strength Cond Res* 28: 2775–2785, 2014.
12. Gorostiaga EM, Navarro-Amezqueta I, Cusso R, et al. Anaerobic energy expenditure and mechanical efficiency during exhaustive leg press exercise. *PLoS One* 5: e13486, 2010.
13. Haff GG, Whitley A, McCoy LB, et al. Effects of different set configurations on barbell velocity and displacement during a clean pull. *J Strength Cond Res* 17: 95–103, 2003.
14. Hellsten-Westling Y, Balsom PD, Norman B, Sjödín B. The effect of high intensity training on purine metabolism in man. *Acta Physiol Scand* 149: 405–412, 1993.
15. Hellsten Y, Sjodin B, Richter EA, Bangsbo J. Urate uptake and lowered ATP levels in human muscle after high-intensity intermittent exercise. *Am J Physiology-Endocrinology Metab* 274: E600–E606, 1998.
16. Iglesias-Soler E, Carballeira E, Sanchez-Otero T, Mayo X, Fernandez-del-Olmo M. Performance of maximum number of repetitions with cluster-set configuration. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 637–642, 2014.
17. Izquierdo-Gabarren M, González De Txabarri Expósito R, García-pallarés J, Sánchez-Medina L, De Villarreal ESS, Izquierdo M. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Med Sci Sports Exerc* 42: 1191–1199, 2010.
18. Izquierdo M, González-Badillo JJ, Häkkinen K, et al. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during

- upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med* 27: 718–724, 2006.
19. Jiménez-Reyes P, Pareja-Blanco F, Cuadrado-Peñafiel V, Ortega-Becerra M, Párraga J, González-Badillo JJ. Jump height loss as an indicator of fatigue during sprint training. *J Sports Sci* 37: 1029–1037, 2019.
 20. Jukic I, Ramos AG, Helms ER, McGuigan MR, Tufano JJ. Acute effects of cluster and rest redistribution set structures on mechanical, metabolic, and perceptual fatigue during and after resistance training: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 50: 2209–2236, 2020.
 21. Kuipers H. How much is too much? Performance aspects of overtraining. *Res Q Exerc Sport* 67(Suppl 3): S-65–S-69, 1996.
 22. Lawton TW, Cronin JB, Lindsell RP. Effect of interrepetition rest intervals on weight training repetition power output. *J Strength Cond Res* 20: 172–176, 2006.
 23. Mora-Custodio R, Rodríguez-Rosell D, Yanez-García JM, Sánchez-Moreno M, Pareja-Blanco F, González-Badillo JJ. Effect of different inter-repetition rest intervals across four load intensities on velocity loss and blood lactate concentration during full squat exercise. *J Sports Sci* 36: 2856–2864, 2018.
 24. Morales-Artacho AJ, Padial P, García-Ramos A, Pérez-Castilla A, Feriche B. Influence of a cluster set configuration on the adaptations to short-term power training. *J Strength Cond Res* 32: 930–937, 2018.
 25. Morán-Navarro R, Pérez CE, Mora-Rodríguez R, et al. Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. *Eur J Appl Physiol* 117: 2387–2399, 2017.
 26. Ortega-Becerra M, Sanchez-Moreno M, Pareja-Blanco F. Effects of cluster set configuration on mechanical performance and neuromuscular activity. *J Strength Cond Res* 35: 310–317, 2021.
 27. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Aagaard P, et al. Time course of recovery from resistance exercise with different set configurations. *J Strength Cond Res* 34: 2867–2876, 2020.
 28. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, et al. Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clin Physiol Funct Imaging* 37: 630–639, 2017.
 29. Pareja-Blanco F, Villalba-Fernández A, Cornejo-Daza PJ, Sánchez-Valdepeñas J, González-Badillo JJ. Time course of recovery following resistance exercise with different loading magnitudes and velocity loss in the set. *Sports* 7: 59, 2019.
 30. Rial-Vázquez J, Mayo X, Tufano JJ, Fariñas J, Rúa-Alonso M, Iglesias-Soler E. Cluster vs. traditional training programmes: Changes in the force-velocity relationship. *Sports Biomech* 21: 85–103, 2022.
 31. Rodríguez-Rosell D, Yáñez-García JM, Sánchez-Medina L, Mora-Custodio R, González-Badillo JJ. Relationship between velocity loss and repetitions in Reserve in the Bench press and back squat exercises. *J Strength Cond Res* 34: 2537–2547, 2020.
 32. Sahlin K, Broberg S. Adenine nucleotide depletion in human muscle during exercise: Causality and significance of AMP deamination. *Int J Sports Med* 11: S62–S67, 1990.
 33. Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1725–1734, 2011.
 34. Sanchez-Medina L, Perez CE, González-Badillo JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med* 31: 123–129, 2010.
 35. Schumann M, Eklund D, Taipale RS, et al. Acute neuromuscular and endocrine

- responses and recovery to single-session combined endurance and strength loadings: “order effect” in untrained young men. *J Strength Cond Res* 27: 421–433, 2013.
36. Stathis CG, Zhao S, Carey MF, Snow RJ. Purine loss after repeated sprint bouts in humans. *J Appl Physiol* 87: 2037–2042, 1999.
 37. Tufano JJ, Brown LE, Haff GG. Theoretical and practical aspects of different cluster set structures: A systematic review. *J Strength Cond Res* 31: 848–867, 2017.
 38. Tufano JJ, Conlon JA, Nimphius S, et al. Maintenance of velocity and power with cluster sets during high- volume back squats. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 885–892, 2016.
 39. Varela-Olalla D, Romero-Caballero A, Del Campo-Vecino J, Balsalobre- Fernandez C. A cluster set protocol in the half squat exercise reduces mechanical fatigue and lactate concentrations in comparison with A traditional set configuration. *Sports* 8: 45, 2020.
 40. Weakley J, Ramirez-Lopez C, McLaren S, et al. The effects of 10%, 20%, and 30% velocity loss thresholds on kinetic, kinematic, and repetition characteristics during the barbell back squat. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 180–188, 2019.

Link to Original article: <https://www.congresodefuerza.com/journal-nsca-spain/la-evolucion-del-tiempo-de-recuperacion-de-diferentes-umbrales-de-perdida-de-velocidad-y-configuraciones-de-series-durante-el-entrenamiento-de-sentadilla-completa?elem=315615>