

Selected Papers from Impact

Tiempo de Recuperación Después del Ejercicio de Fuerza con Diferentes Magnitudes de Carga y Pérdida de Velocidad en la Serie

Time Course of Recovery Following Resistance Exercise with Different Loading Magnitudes and Velocity Loss in the Set

Fernando Pareja-Blanco, Antonio Villalba-Fernández, Pedro J. Cornejo-Daza, Juan Sánchez-Valdepeñas y Juan José González-Badillo

Centro de Investigación Deportivo y de Rendimiento Físico, Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad Pablo de Olavide, Ctra. Utrera km 1, 41013 Sevilla, España

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue comparar el tiempo de recuperación siguiendo cuatro protocolos diferentes de ejercicios de fuerza en términos de magnitud de carga (60% vs. 80% 1RM - una repetición máxima) y pérdida de velocidad en la serie (20% vs. 40%). Diecisiete hombres realizaron cuatro protocolos diferentes del ejercicio sentadilla profunda, que fueron los siguientes: (1) 60% 1RM con una pérdida de velocidad del 20% (60-20), (2) 60% 1RM con una pérdida de velocidad del 40% (60-40), (3) 80% 1RM con una pérdida de velocidad del 20% (80-20), y (4) 80% 1RM con una pérdida de velocidad del 40% (80-40). La velocidad de movimiento con la carga que provocó una velocidad de $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en las mediciones al inicio (carga-V1), la altura del countermovement jump (CMJ) y el tiempo de sprint a 20 m (T20) se evaluaron en Pre, Post, 6 h-Post, 24 h-Post y 48 h-Post. Las deficiencias en la carga-V1 fueron significativamente mayores para 60-40 que en otros protocolos del Post ($p < 0,05$). Los protocolos 60-20 y 80-40 presentaron deficiencias significativas de rendimiento para la carga-V1 a 6 h-Post y 24 h-Post, respectivamente ($p < 0,05$). La altura del CMJ permaneció disminuida durante 60-20 y 60-40 hasta 24 h-Post ($p < 0,001-0,05$). Con respecto a T20, el protocolo 80-40 resultó en un rendimiento superior al 60-40 a las 24 h-Post y el protocolo 80-20 indujo un rendimiento superior al protocolo 60-40 a las 48 h-Post ($p < 0,05$). Una mayor pérdida de velocidad durante la serie (40%) y una menor carga relativa (60% 1RM) resultaron en una mayor fatiga y una tasa de recuperación más lenta que una menor pérdida de velocidad (20%) y una mayor carga relativa (80% 1RM).

Palabras Clave: Entrenamiento basado en la velocidad, entrenamiento de fuerza, sentadilla profunda, carrera de velocidad, recuperación a corto plazo, salto vertical

ABSTRACT

The aim of this study was to compare the time course of recovery following four different resistance exercise protocols in terms of loading magnitude (60% vs. 80% 1RM—one-repetition maximum) and velocity loss in the set (20% vs. 40%).

Seventeen males performed four different protocols in full squat exercise, which were as follows: (1) 60% 1RM with a velocity loss of 20% (60-20), (2) 60% 1RM with a velocity loss of 40% (60-40), (3) 80% 1RM with a velocity loss of 20% (80-20), and (4) 80% 1RM with a velocity loss of 40% (80-40). Movement velocity against the load that elicited a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ velocity at baseline measurements (V1-load), countermovement jump (CMJ) height, and sprint time at 20 m (T20) were assessed at Pre, Post, 6 h-Post, 24 h-Post, and 48 h-Post. Impairments in V1-load were significantly higher for 60-40 than other protocols at Post ($p < 0.05$). The 60-20 and 80-40 protocols exhibited significant performance impairments for V1-load at 6 h-Post and 24 h-Post, respectively ($p < 0.05$). CMJ height remained decreased for 60-20 and 60-40 until 24 h-Post ($p < 0.001-0.05$). Regarding T20, the 80-40 protocol resulted in higher performance than 60-40 at 24 h-Post and the 80-20 protocol induced a greater performance than 60-40 protocol at 48 h-Post ($p < 0.05$). A higher velocity loss during the set (40%) and a lower relative load (60% 1RM) resulted in greater fatigue and slower rate of recovery than lower velocity loss (20%) and higher relative load (80% 1RM).

Keywords: Velocity-based training, strength training, full squat, running sprint, short-term recovery, vertical jump

1. INTRODUCCIÓN

Entre las principales variables del ejercicio de fuerza que pueden ser manipuladas para configurar el estímulo mecánico, parece que la intensidad y el volumen del ejercicio se encuentran entre los factores más críticos para determinar el tipo y el alcance de las adaptaciones neuromusculares resultantes [1,2]. La interacción entre estas dos variables de entrenamiento produce lo que se denomina "nivel de esfuerzo", que se define como el número real de repeticiones realizadas en una serie en relación con el número máximo de repeticiones que se pueden completar [3]. Los indicadores que tradicionalmente se han utilizado como referencia para cuantificar y prescribir la carga del entrenamiento de fuerza (RT) (una repetición máxima, "1RM" y test de número máximo de repeticiones, "nRM") tienen limitaciones potenciales, como los cambios diarios en la 1RM real, lo que significa que la 1RM actual puede no corresponder con la medida en días o semanas anteriores. Por lo tanto, no se puede garantizar que las cargas relativas (%1RM) que se utilizan en cada sesión de entrenamiento en particular representen realmente las previstas. Otra desventaja del método nRM es que el número máximo de repeticiones que se pueden completar con una carga relativa dada indica una gran variabilidad entre individuos [4,5]. Por lo tanto, 10RM no constituyen necesariamente la misma carga (%1RM) para cada participante. Estas limitaciones llevaron a los investigadores y entrenadores a buscar una solución que permita una mejor definición y cuantificación del nivel de esfuerzo involucrado durante el RT. En este sentido, ha surgido un nuevo enfoque, conocido como entrenamiento basado en la velocidad (VBT), que utiliza la velocidad de movimiento para cuantificar y dosificar objetivamente los programas de RT [3,6,7].

Un estudio pionero encontró una relación extremadamente estrecha entre el %1RM y la velocidad de movimiento ($R^2 = 0,98$) en el ejercicio press de banca [6]. Investigaciones adicionales también han observado relaciones estrechas entre la magnitud de la carga y la velocidad del movimiento en otros ejercicios (prone bench pull, sentadilla profunda, sentadilla media y pull-up) [8,9,10,11]. La relación extremadamente estrecha entre %1RM y la velocidad de movimiento permite a los investigadores y entrenadores determinar con considerable precisión qué %1RM se está utilizando tan pronto como la primera repetición de una serie se realiza con la máxima velocidad voluntaria [6,9]. Estos resultados abren la posibilidad de monitorizar, en tiempo real, la carga real (%1RM) que se está utilizando, midiendo la velocidad durante el entrenamiento. Esto permite determinar si la carga propuesta (kg) representa realmente el %1RM que se pretendía para cada sesión [6]. Aún más relevante es el hecho de que los entrenadores de fuerza y acondicionamiento pueden detectar los cambios en la fuerza que ocurren durante el curso de un programa de entrenamiento, sin la necesidad de realizar las evaluaciones de 1RM o nRM, a menudo exigentes, que requieren mucho tiempo e interfieren cada pocas sesiones de entrenamiento.

Tradicionalmente, el volumen de entrenamiento se prescribe utilizando un número fijo de repeticiones en cada serie de ejercicios para todos los participantes. En este sentido, un trabajo reciente ha informado que otras variables como la velocidad de movimiento o el tiempo bajo tensión, en lugar del nRM, son variables críticas en la evaluación del volumen de entrenamiento [12]. Además, el nRM que puede ser completado con una carga relativa dada (%1RM) muestra una gran variabilidad inter-individual [4,5]. Por lo tanto, si dos deportistas realizan el mismo número de repeticiones por serie con una carga relativa dada, es posible que estén ejerciendo un nivel diferente de esfuerzo (es decir, el número de repeticiones que quedan en reserva en cada serie puede variar considerablemente entre individuos). Un estudio reciente ha demostrado una estrecha relación entre el porcentaje de pérdida de velocidad que se produce en una serie y el porcentaje de repeticiones completadas con respecto al número máximo de repeticiones que se pueden realizar ($R^2 = 0,96$) [4]. De esta manera, es posible determinar con considerable precisión el porcentaje de repeticiones que se ha completado a partir de la pérdida de velocidad producida en la serie [4]. En el ejercicio sentadilla, una pérdida de velocidad del 40%-50% en la serie

significa que la serie es conducida a, o está muy cerca de, un fallo muscular, mientras que una pérdida de velocidad del 20% significa que el deportista ha realizado ~50% de las posibles repeticiones [3,13,14]. Estos hallazgos apoyan la validez de usar la pérdida de velocidad como una variable para cuantificar objetivamente el nivel de esfuerzo logrado durante la serie. Por lo tanto, en lugar de realizar un número específico de repeticiones, parece más apropiado terminar cada serie de entrenamiento tan pronto como se detecte un cierto nivel de fatiga neuromuscular.

El ejercicio de fuerza puede resultar en fatiga muscular aguda que puede continuar durante varias horas o días después de un entrenamiento. Varios estudios han demostrado que, entre otros factores, el tiempo necesario para la recuperación aumenta significativamente a medida que el número de repeticiones se acerca al fallo [13,14,15,16]. Con el fin de comparar el tiempo de recuperación después de cada entrenamiento, se evaluó la altura y velocidad de movimiento del countermovement jump (CMJ) con la carga que provocó una velocidad media propulsiva de $m \cdot s^{-1}$ (carga- V1) en Pre, Post, 6 h-Post, 24 h-Post y 48 h-Post [13,14,15,16]. Estos estudios previos han mostrado reducciones en la capacidad de aplicar rápidamente la fuerza hasta 48 horas después del ejercicio de fuerza al fallo con un 70%, 75% y 80% de 1RM [13,14,15,16]. Sin embargo, estos estudios prescribieron el mismo número de repeticiones para todos los participantes con el mismo %1RM [13,14,15,16]. Debido a que el número máximo de repeticiones con un %1RM dado muestra una gran variabilidad [4,5], es posible que el nivel de esfuerzo inducido para cada participante fuera diferente. Además, es posible que el nivel de fatiga y, en consecuencia, el tiempo de recuperación, sean diferentes cuando se utilizan diferentes %1RM [17]. Sin embargo, hasta donde sabemos, ningún estudio ha analizado el tiempo de recuperación de los protocolos de fuerza con la misma pérdida de velocidad inducida en la serie pero con diferentes cargas relativas. A la luz de estas consideraciones, un conocimiento más detallado de la recuperación a corto plazo de las diferentes intensidades relativas y porcentajes de pérdida de velocidad incurridos durante la serie permitirá a los entrenadores de fuerza y acondicionamiento establecer objetivamente el tiempo de recuperación que permitirá a los deportistas alcanzar un mayor rendimiento neuromuscular en un próximo evento de competición o en el próximo entrenamiento. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar el tiempo de recuperación siguiendo cuatro diferentes protocolos de ejercicios de fuerza (REPs) en términos de magnitud de carga (60% y 80% 1RM) y pérdida de velocidad requerida (20% vs. 40%) en el ejercicio sentadilla profunda (SQ). Se establecieron varios puntos de tiempo de evaluación hasta 48 h post-ejercicio para evaluar la respuesta mecánica a un REP agudo usando un enfoque de VBT, lo que significa prescribir entrenamiento en términos de dos variables: (1) la velocidad media de la primera repetición (normalmente la más rápida), que está intrínsecamente relacionada con la magnitud de carga [6], y (2) el porcentaje máximo de pérdida de velocidad permitido en cada serie [3].

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Diseño Experimental

Después de la familiarización, todos los participantes se sometieron a cuatro protocolos de ejercicios de fuerza aleatorios (REPs), realizados con 14 días de diferencia en ensayos separados. Se usaron dos cargas relativas diferentes (60% vs. 80% 1RM) y dos magnitudes diferentes de pérdida de velocidad durante la serie (20% vs. 40%). El mismo número de series de ejercicios (3) y la misma duración de descanso entre-series (4 min) se utilizaron en todos los REPs. Por lo tanto, el diseño experimental comprendía cuatro REPs, que eran los siguientes: (1) 60% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie del 20% (60-20), (2) 60% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie del 40% (60-40), (3) 80% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie del 20% (80-20), y (4) 80% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie del 40% (80-40). En cada REP, tan pronto como se excedió el límite de pérdida de velocidad correspondiente, se terminó la serie.

Para comparar la respuesta mecánica, así como el tiempo de recuperación después de cada protocolo analizado, los participantes se sometieron a una batería de mediciones en diferentes puntos de tiempo: pre-ejercicio (Pre), post-ejercicio (Post), 6 h-Post, 24 h-Post, y 48 h-Post. La velocidad de movimiento con la carga que provocó una velocidad media propulsiva de $1 m \cdot s^{-1}$ en las mediciones iniciales (carga-V1), la altura del countermovement jump vertical (CMJ) y el tiempo de sprint en 20 m (T20) se evaluaron en Pre, Post, 6 h-Post, 24 h-Post y 48 h-Post (Figura 1). Estas mediciones mecánicas han sido descritas en detalle en otra parte [3]. Se eligió la carga-V1 porque representa una intensidad de carga suficientemente moderada (~60% 1RM en SQ) [9] para permitir la detección rápida del efecto de la fatiga en la velocidad de movimiento y establecerla rápidamente como parte del calentamiento [3].

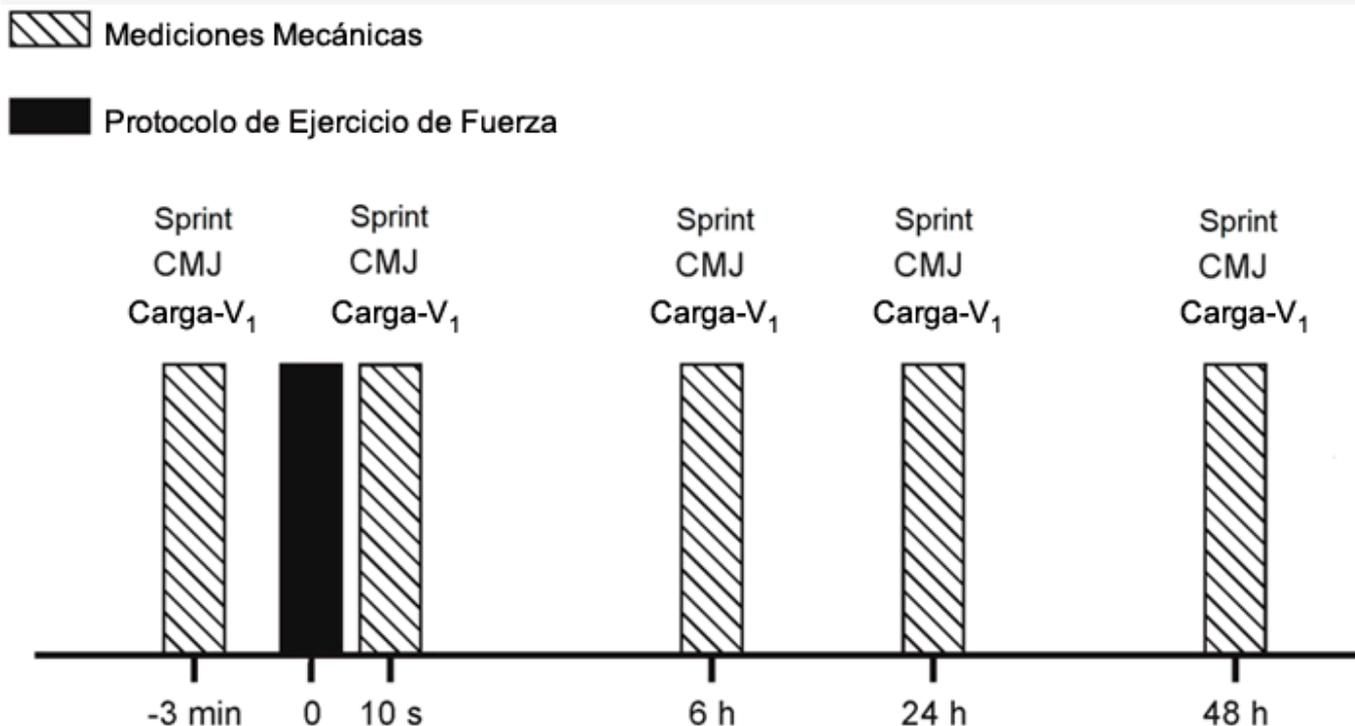


Figura 1. Representación de mediciones mecánicas en diferentes puntos de tiempo para analizar el tiempo de recuperación después del ejercicio.

Los participantes se abstuvieron de cualquier actividad física extenuante durante al menos 4 días antes de cada ensayo de REP. Todos los REPs se realizaron a la misma hora del día para cada participante y bajo condiciones ambientales controladas (20-22 °C y 55%-65% de humedad) en un laboratorio de investigación. Los participantes se sometieron a cuatro sesiones de familiarización dos semanas antes del inicio del primer ensayo. Estas sesiones fueron supervisadas por investigadores, y se prestó atención a asegurar que se utilizaran técnicas adecuadas de ejercicio de levantamiento y a proporcionar instrucciones detalladas sobre procedimientos de prueba específicos.

2.2. Participantes

Diecisiete hombres ($23,6 \pm 3,6$ años de edad, $1,80 \pm 0,10$ m de altura, $76,2 \pm 10,9$ kg de masa corporal) se ofrecieron a participar en este estudio. Los participantes eran estudiantes de ciencias del deporte físicamente activos con experiencia en RT que oscilaba entre $2,8 \pm 1,1$ años. ($2,1 \pm 0,6$ sesiones por semana), pero no eran deportistas entrenados en fuerza. Su 1RM inicial fue de $111,4 \pm 25,2$ kg para el ejercicio sentadilla profunda (SQ). Después de ser informados sobre los procedimientos experimentales y los riesgos potenciales de la investigación, los participantes dieron su consentimiento informado por escrito para participar. Después de un examen médico no se encontraron limitaciones físicas, problemas de salud o lesiones musculoesqueléticas que pudieran afectar las pruebas. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Pablo de Olavide y se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

2.3. Mediciones

En todas las sesiones se utilizó una máquina Smith sin mecanismo de contrapeso (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, España). La SQ se realizó con los participantes comenzando desde la posición vertical con las rodillas y las caderas completamente extendidas, los pies aproximadamente al ancho de hombros, y la barra colocada sobre la espalda al nivel del acromion. Cada participante descendió a un ritmo controlado ($\sim 0,50$ m·s⁻¹) hasta que la parte superior de los muslos quedó por debajo del plano horizontal, luego realizó el movimiento inverso inmediatamente y ascendió de nuevo a la posición vertical. Los participantes debían ejecutar siempre la fase concéntrica a la velocidad máxima prevista. Esta técnica de ejecución fue cuidadosamente reproducida en todos los REPs realizados en el estudio. Todas las repeticiones de las barras se registraron con un transductor de velocidad lineal (T-Force System, Ergotech, Murcia, España). La fiabilidad de esta configuración ha sido documentada en otra parte [3]. Las mediciones de velocidad obtenidas en el presente estudio corresponden a la velocidad media de la fase propulsiva (MPV) de cada repetición. La fase propulsiva se definió como la parte de la fase concéntrica durante la cual la aceleración de la barra era mayor que la aceleración debida a la gravedad [18].

2.4. Protocolo de Ejercicios de Fuerza

La figura 1 muestra una descripción detallada del protocolo realizado. Todos los REPs fueron realizados en la mañana (10 AM). El calentamiento consistió en: 5 minutos de trote a un ritmo fácil seleccionado por el usuario, cuatro carreras de aceleración de 20 m y 10 m de carrera a fondo. Luego, se realizaron dos sprints de 20 m separados por 3 minutos y se tomó el mejor tiempo como valor de referencia pre-ejercicio (T20). Una salida de pie con el pie de salida colocado 1 m antes de que se use la primera puerta de cronometraje. Los tiempos de sprint se midieron utilizando fotocélulas (Witty, Microgate, Bolzano, Italia). Después de la prueba de sprint, se realizaron dos series de 10 sentadillas sin carga externa (es decir, con la propia masa corporal) y cinco CMJs de intensidad creciente. Luego, se realizaron tres CMJs máximos separados por períodos de descanso de 20 s y se tomó la altura media de salto como valor de referencia pre-ejercicio. La altura del CMJ se determinó utilizando un sistema de cronometraje infrarrojo (OptojumpNext, Microgate, Bolzano, Italia). Durante el CMJ, el participante fue instruido a colocar sus manos sobre sus caderas. A todos los participantes se les instruyó que cayeran en posición vertical y que flexionaran las rodillas después de la caída. Para la determinación de la carga-V1 en la SQ, se realizaron 3 series de 6, 4 y 3 repeticiones, respectivamente (2 minutos de descanso entre-series) con cargas crecientes hasta la carga-V1 de cada participante. La velocidad media de las 3 repeticiones máximas previstas con la carga-V1 se registró como el valor de referencia pre-ejercicio para esta variable, determinado con una precisión de $\pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Finalmente, la carga externa se ajustó a la intensidad programada. Las cargas relativas se determinaron a partir de la relación carga-velocidad, ya que recientemente se ha demostrado que existe una relación muy estrecha ($R^2 = 0,95-0,98$) entre el %1RM y la MPV para el ejercicio SQ [9]. Por lo tanto, se utilizó una MPV objetivo a alcanzar en la primera repetición (generalmente la más rápida) del primer entrenamiento establecido en cada protocolo como una estimación del %1RM, como se indica a continuación: $1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para 60% 1RM y $0,68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para 80% 1RM. Posteriormente, se realizaron 3 series separadas por 4 minutos de descanso usando el protocolo designado. Inmediatamente después de completar la repetición final de la tercera serie (la carga fue cambiada en 10 s con la ayuda de observadores entrenados), los participantes nuevamente realizaron 3 repeticiones con la carga-V1. Además, 20 s después del ejercicio SQ, se realizaron otros 3 CMJs máximos, separados por descansos de 10 s. Además, 1 minuto después del ejercicio SQ, se llevó a cabo una prueba de sprint de 20 m. Los valores de carga-V1, CMJ y sprint se obtuvieron como mediciones agudas post-ejercicio. Se proporcionaron fuertes estímulos verbales y feedback de velocidad en cada repetición a lo largo de todas las series de ejercicios.

A las 4 de la tarde (6 h-Post) y a las 10 de la mañana de los dos días siguientes (24 h-Post y 48 h-Post), se repitieron las mediciones de la carga-V1, CMJ y de la carrera de sprint, tal y como se ha descrito anteriormente, con el fin de evaluar el tiempo de recuperación según cada protocolo específico.

2.5. Mediciones de las Deficiencias de Rendimiento

Se utilizaron cuatro métodos diferentes para cuantificar el grado de fatiga inducida por cada protocolo. El primer método analizó la disminución en la velocidad de repetición durante las tres series de ejercicios consecutivos y se calculó como el porcentaje de pérdida en la MPV de la repetición más rápida a la más lenta de cada serie y se promedió sobre las tres series. El segundo método examinó el cambio de velocidad alcanzado pre- y post-ejercicio con la carga-V1. El tercero y el cuarto método analizaron el cambio en la altura del CMJ y el ejercicio T20 pre-post. La fiabilidad de la prueba y la repetición de la prueba medida por el coeficiente de variación (CV) fue de 1,8%, 0,8% y 4,5% para el CMJ, el T20 y la carga-V1, respectivamente. Los valores del coeficiente de correlación intraclase (ICC) fueron 0,993 (intervalo de confianza del 95%, CI: 0,985-0,997), 0,984 (IC del 95%: 0,956-0,994) y 0,966 (IC del 95%: 0,880-0,994) para CMJ, T20 y carga-V1, respectivamente.

2.6. Análisis Estadísticos

Los valores se informan como media \pm desviación estándar (SD). La fiabilidad absoluta de las pruebas y la repetición de las pruebas se midió mediante el error estándar de medida (SEM) que se expresó en términos relativos a través del CV, mientras que la fiabilidad relativa se evaluó por el ICC (IC 95%) calculado con el modelo de efectos aleatorios unidireccional. El SEM se calculó como raíz de la media cuadrática de la media cuadrática total intra-sujeto. La significación estadística se estableció en $P \leq 0,05$. En Pre, todos los datos se distribuyeron normalmente según lo determinado por la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Se utilizó un ANOVA factorial con medidas repetidas con ajuste de Bonferroni. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando la versión 18.0 de SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, EEUU).

3. Resultados

3.1. Características Descriptivas de los Protocolos de Ejercicios de Fuerza

Las características de cada REP se informan en la Tabla 1 en términos de repeticiones realizadas por serie (repeticiones) y velocidades de repetición reales. La repetición más rápida no difirió de las velocidades objetivo esperadas correspondientes a cada %1RM. Por lo tanto, la velocidad más alta durante cada REP (Fastest-V) fue mayor para los

protocolos 60-20 y 60-40 que para los protocolos 80-20 y 80-40. La pérdida relativa de velocidad dentro de la serie (MeanLoss-V) coincidió con las pérdidas de velocidad esperadas anteriormente mencionadas. Por eso, tanto 60-20 como 80-20 lograron una MeanLoss-V significativamente menor que los protocolos 60-40 y 80-40 (Tabla 1). Tanto la velocidad más lenta medida en las tres series (Slowest-V) como la velocidad media durante la sesión de entrenamiento (Mean-V) fueron menores en 80-40 en comparación con los otros REPs (Tabla 1). Además, el protocolo 80-20 logró una Slowest-V y una Mean-V más bajas que los REPs de 60-20 y 60-40. Por último, el 60-40 también logró valores más bajos en estas variables que el protocolo 60-20. El protocolo 60-40 resultó en más repeticiones completadas por serie (repeticiones) que los otros REPs (Tabla 1). Además, tanto el 60-20 como el 80-40 realizaron más repeticiones que el 80-20, sin diferencias significativas entre los protocolos 60-20 y 80-40 (Tabla 1).

Tabla 1. Características descriptivas de cada protocolo de ejercicio de fuerza.

Intra-Session Variables	60-20	60-40	80-20	80-40
Fastest-V (m·s ⁻¹)	0.99 ± 0.04 ^{82,84}	1.00 ± 0.05 ^{82,84}	0.69 ± 0.03	0.70 ± 0.03
MeanLoss-V (%)	22.7 ± 2.5 ^{64,84}	41.5 ± 3.1	23.5 ± 4.1 ^{84,84}	43.6 ± 3.7
Slowest-V (m·s ⁻¹)	0.69 ± 0.05 ^{64,82,84}	0.51 ± 0.06 ^{82,84}	0.44 ± 0.06 ⁸⁴	0.34 ± 0.03
Mean-V (m·s ⁻¹)	0.85 ± 0.04 ^{64,82,84}	0.77 ± 0.07 ^{82,84}	0.57 ± 0.04 ⁸⁴	0.54 ± 0.03
Reps (n)	7.1 ± 2.1 ^{64,82}	12.0 ± 5.1 ^{82,84}	3.2 ± 1.1 ⁸⁴	5.4 ± 2.8

Los datos son media ± SD, n = 17. 60-20: protocolo con 60% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 20%; 60-40: protocolo con 60% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 40% (60-40); 80-20: protocolo con 80% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 20%; 80-40: protocolo con 80% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 40% (80-40); Fastest-V: velocidad máxima medida en las tres series; MeanLoss-V: pérdida porcentual media de la velocidad de la repetición más rápida a la más lenta en las tres series; Slowest-V: velocidad mínima medida en las tres series; Mean-V: velocidad media de todas las repeticiones durante las tres series; Reps: repeticiones realizadas en cada serie. Las velocidades corresponden a la velocidad concéntrica media propulsiva de cada repetición. Diferencias estadísticamente significativas con el protocolo 60-40: 64 $p < 0,05$. Diferencias estadísticamente significativas con el protocolo 80-20: 82 $p < 0,05$. Diferencias estadísticamente significativas con el protocolo 80-40: 84 $p < 0,05$.

3.2. Tiempo de Recuperación

No se encontraron diferencias significativas entre los REPs en Pre para ninguna de las variables analizadas (Tabla 2). La Tabla 3 muestra los cambios en las variables mecánicas analizadas después de cada REP. Todos los REPs mostraron una disminución significativa en el rendimiento en Post, excepto 80-40 en T20. Las deficiencias en la carga-V1 fueron significativamente más altas para el 60-40 que los otros REPs en Post. Además, el 60-20 presentó deficiencias significativas de rendimiento para la carga-V1 en 6h-Post, y el protocolo 80-40 siguió disminuyendo hasta 24 h-Post. Para la altura del CMJ, el 60-40 resultó en una deficiencia del rendimiento significativamente mayor que el 80-20 y el 80-40 en Post. La altura del CMJ permaneció disminuida tanto para el 60-20 como para el 60-40 hasta las 24 h-Post (Tabla 3). Con respecto al T20, el protocolo 80-40 resultó en un mayor rendimiento que el 60-40 a las 24 h-Post y el protocolo 80-20 indujo un mayor rendimiento que el protocolo 60-40 a las 48 h-Post.

Tabla 2. Valores iniciales en cada prueba antes de cada protocolo de ejercicio de fuerza.

REP	T20 (s)	CMJ (cm)	V ₁ -load (m·s ⁻¹)
60-20	2.99 ± 0.16	42.0 ± 6.2	1.01 ± 0.02
60-40	3.00 ± 0.12	42.7 ± 6.1	0.99 ± 0.04
80-20	3.00 ± 0.14	43.1 ± 3.8	0.98 ± 0.03
80-40	3.00 ± 0.14	43.3 ± 3.9	1.00 ± 0.04

Los datos son media ± SD, n = 17. REP: protocolo de ejercicio de fuerza; 60-20: protocolo con 60% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 20%; 60-40: protocolo con 60% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 40% (60-40); 80-20: protocolo con 80% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 20%; 80-40: protocolo con 80% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 40% (80-40); T20: 20 m de tiempo de sprint; CMJ: countermovement jump; carga-V₁: velocidad alcanzada con la carga que provoca 1 m·s⁻¹ en el pre-ejercicio.

Tabla 3. Comparación de los cambios en los indicadores mecánicos de fatiga después de cada protocolo de ejercicio de fuerza.

REP	T20 (%)			
	Post	6 h-Post	24 h-Post	48 h-Post
60-20	94.0 ± 4.6 *	99.1 ± 2.2	98.2 ± 2.8	98.0 ± 2.2 ⁸²
60-40	90.9 ± 7.9 *	98.3 ± 4.1	97.1 ± 3.0	97.8 ± 4.3
80-20	96.0 ± 2.2 *	99.6 ± 3.4	99.5 ± 1.8	101.1 ± 2.0
80-40	97.6 ± 2.4	99.6 ± 2.2	100.6 ± 2.5 ⁶⁴	100.3 ± 2.8
REP	CMJ (%)			
	Post	6 h-Post	24 h-Post	48 h-Post
60-20	75.4 ± 1.9 **	92.2 ± 1.6 *	93.1 ± 2.1 *	95.2 ± 2.1
60-40	67.3 ± 2.6 **	91.9 ± 2.3 *	92.9 ± 2.0 *	93.4 ± 2.1
80-20	78.4 ± 1.8 ** ⁶⁴	95.5 ± 1.9	95.5 ± 1.5	100.6 ± 1.1
80-40	76.7 ± 1.4 ** ⁶⁴	96.5 ± 1.4	96.4 ± 1.7	99.9 ± 1.8
REP	V ₁ -load (%)			
	Post	6 h-Post	24 h-Post	48 h-Post
60-20	81.0 ± 8.0 ** ⁶⁴	93.1 ± 7.7 *	92.2 ± 11.8	95.5 ± 10.5
60-40	67.4 ± 10.1 **	95.6 ± 12.2	92.6 ± 10.5	93.0 ± 13.9
80-20	78.7 ± 7.0 ** ⁶⁴	95.9 ± 7.6	95.9 ± 6.1	100.8 ± 4.5
80-40	77.2 ± 8.8 ** ⁶⁴	93.2 ± 8.1 *	89.2 ± 9.9 *	95.9 ± 9.3

Los datos son media ± SD, n = 17. Los valores se expresan como porcentaje de las medidas iniciales (Pre). REP: protocolo de ejercicio de fuerza; 60-20: protocolo con 60% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 20%; 60-40: protocolo con 60% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 40% (60-40); 80-20: protocolo con 80% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 20%; 80-40: protocolo con 80% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie de 40% (80-40); T20: 20 m de tiempo de sprint; CMJ: countermovement jump; carga-V₁: velocidad alcanzada con la carga que provoca 1 m·s⁻¹ en el pre-ejercicio. Diferencias estadísticamente significativas con Pre en el punto de tiempo correspondiente: * p < 0,05, ** p < 0,001. Diferencias estadísticamente significativas con el protocolo 60-40: ⁶⁴ p < 0,05. Diferencias estadísticamente significativas con el protocolo 80-20: ⁸² p < 0,05.

4. Discusión

Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que ha analizado el tiempo de recuperación de diferentes niveles de

esfuerzo (número real de repeticiones realizadas en relación con el número máximo posible) en cada serie de ejercicios utilizando un enfoque VBT; y ha seguido pérdidas de velocidad distintas durante la serie (20% vs. 40%). Además, comparamos estas magnitudes de pérdida de velocidad para dos cargas relativas diferentes (60% vs. 80% 1RM). Se comparó el tiempo de recuperación hasta 48 h post-ejercicio después de cuatro REP distintos, 60-20 vs. 60-40 vs. 80-20 vs. 80-40. El hecho de que la velocidad de movimiento se midiera y registrara para cada repetición nos permitió aislar el efecto de las variables de interés; en este caso, la pérdida de velocidad, la carga relativa y la interacción entre ambas. Aunque puede parecer obvio que reducir a la mitad el número máximo posible de repeticiones por serie induce una mayor fatiga, los hallazgos importantes de este estudio son las implicaciones que esto puede tener para la recuperación posterior. De manera interesante, ambos protocolos de 60% 1RM (60-20 y 60-40) no retornaron completamente a los valores de pre-ejercicio a las 48 h-Post para ninguna variable analizada (carga-V1, CMJ y T20). En este sentido, el protocolo 80-20 incluso mostró un mayor rendimiento de sprint a 48 h-Post en comparación con el Pre-ejercicio. Por lo tanto, una mayor pérdida de velocidad durante la serie (40%) y una menor carga relativa (60% 1RM) resultaron en una mayor fatiga y una tasa de recuperación más lenta que una menor pérdida de velocidad (20%) y una mayor carga relativa (80% 1RM).

Se verificó que se cumplieron las velocidades objetivo correspondientes al 60% y 80% de 1RM (1,00 y 0,68 m·s⁻¹, respectivamente) y las pérdidas de velocidad esperadas (20% y 40%) (Tabla 1). Por lo tanto, este estudio proporciona información muy precisa sobre el esfuerzo real realizado, como puede observarse en la Tabla 1. Esto resultó en un estímulo mecánico compuesto de velocidades de movimiento más lentas para el protocolo 80-40 en comparación con los otros protocolos, mientras que el REP 60-20 indujo velocidades más rápidas. Además, los protocolos del 60% 1RM permitieron a los deportistas realizar más repeticiones para inducir la misma magnitud de pérdida de velocidad que los protocolos del 80% 1RM. Vale la pena aclarar que el protocolo 60-40 resultó en reducciones significativamente mayores en la carga-V1 que los otros protocolos (Tabla 3). Además, el protocolo 60-20 presentaba importantes deficiencias de rendimiento para la carga-V1 en 6h-Post, mientras que el protocolo 80-40 seguía disminuyendo hasta 24 h-Post y sólo el 80-20 mostraba los valores iniciales totalmente restaurados (100%) a 48 h-Post. Estos resultados fueron aún más evidentes para la capacidad de salto, ya que la altura del CMJ permaneció disminuida tanto para el 60-20 como para el 60-40 hasta las 24 h-Post. Asimismo, el protocolo 60-40 indujo una mayor reducción del rendimiento del sprint que los protocolos 80-40 y 80-20 a 24 h-Post y 48 h-Post, respectivamente (Tabla 3). Tomados en conjunto, parece que la capacidad de desarrollar fuerza con las extremidades inferiores puede ser dependiente del ejercicio (sentadilla, CMJ, sprint). El rendimiento de sprint requirió un tiempo de recuperación más corto en comparación con los otros ejercicios (sentadilla y CMJ). En apoyo a esto, un estudio previo mostró que el rendimiento del sprint requiere un tiempo de recuperación mucho más corto en comparación con el rendimiento del CMJ [19]. Varios estudios previos también demostraron que la prueba de CMJ ofrece una sensibilidad superior a la función neuromuscular alterada que otras pruebas de salto y de sprint [19,20,21]. Además, el rendimiento físico puede verse considerablemente comprometido hasta 48 horas después del ejercicio de fuerza al fallo, como se indica especialmente en aquellos REPs que se caracterizaron por un gran número de repeticiones e intensidades moderadas (protocolo 60-40). Esta información es relevante porque proporciona un feedback significativo a los entrenadores y deportistas sobre el tiempo de recuperación inducido por un REP específico en relación con el deterioro resultante en el rendimiento físico (rendimiento de sprint, salto y sentadilla, Tabla 3).

Como era de esperar, nuestros resultados indicaron que para un %1RM dado, una mayor magnitud de pérdida de velocidad en la serie resultó en una mayor deficiencia del rendimiento neuromuscular y una recuperación post-ejercicio más lenta. De acuerdo con estos resultados, estudios anteriores también han mostrado reducciones en la capacidad de aplicar rápidamente fuerza hasta 48 horas después de un ejercicio de fuerza al fallo [13,14,15]. Sin embargo, estos estudios prescribieron el mismo número de repeticiones para todos los participantes con el mismo %1RM [13,15], lo que puede inducir un nivel diferente de esfuerzo para cada participante, mientras que nosotros empleamos un enfoque VBT. Además, un artículo reciente analizó los efectos del 20% vs. 40% de la pérdida de velocidad durante la serie sobre el fenotipo muscular [7]. Se encontró que una pérdida de velocidad del 40% maximizaba la respuesta hipertrófica junto con un cambio rápido-a-lento en el fenotipo muscular. Sin embargo, una pérdida de velocidad del 20% impidió esta reducción en el grupo más rápido de fibras tipo IIX y resultó en ganancias de fuerza similares o incluso superiores [7]. Recientemente se ha planteado la cuestión de si las cargas más pesadas o más ligeras provocan una mayor fatiga [22]. Algunos autores sugieren que el levantamiento repetitivo de cargas pesadas reclutaría más unidades motoras con tasas de disparo más altas que una carga más liviana [23] y resultaría en una mayor fatiga debido a la menor disponibilidad de unidades motoras no fatigadas para reclutar [17,24]. Por otro lado, otros autores han sugerido que las cargas moderadas que conducen al fallo permiten mayores niveles de trabajo mecánico, así como estrés metabólico y hormonal, lo que induciría mayores niveles de fatiga [3,25]. Nuestros hallazgos sugieren que, para la misma magnitud de pérdida de velocidad incurrida en la serie, se experimentó un mayor grado de fatiga y una recuperación más lenta a medida que disminuían las cargas. Este hallazgo respalda un artículo reciente que mostró que cuando se incurre en el mismo porcentaje de pérdida de velocidad en la serie, las cargas más bajas resultan en una mayor fatiga mecánica aguda y mayores concentraciones de lactato [26].

Nuestros resultados sugieren que una mayor pérdida de velocidad durante la serie (40%) y una menor carga relativa (60% 1RM) resultaron en una mayor fatiga y una tasa más lenta de recuperación neuromuscular que una menor pérdida de velocidad (20%) y una mayor carga relativa (80% 1RM). Sin embargo, nuestros hallazgos se limitan a la población

específica analizada (deportistas no entrenados en fuerza), ya que un estudio reciente ha demostrado que el mismo estímulo relativo induce en los deportistas novatos una recuperación post-ejercicio más lenta y un mayor daño muscular en comparación con los deportistas experimentados [16]. Como principal limitación de este estudio, debemos reconocer que no existe un grupo de control, por lo que se desconoce la fatiga inducida por las diferentes mediciones de punto de tiempo. En conjunto, nuestros resultados muestran que tanto la intensidad como el nivel de esfuerzo son dos variables clave a tener en cuenta cuando se configura un programa de entrenamiento. La intensidad del entrenamiento debe prescribirse tomando como referencia la velocidad de la primera repetición (la más rápida) y el nivel de esfuerzo prescrito como el porcentaje de pérdida de velocidad en la serie. La cuantificación de estas dos variables puede proporcionar información objetiva sobre el grado de fatiga inducida por el entrenamiento de fuerza y los periodos de tiempo necesarios para la recuperación de la función neuromuscular. Además, la recuperación parece ser ejercicio-dependiente. Esta metodología permite realizar ajustes en la carga de entrenamiento en cualquier momento, resultando en un mejor entrenamiento individualizado, especialmente en aquellos deportes en los que el objetivo de rendimiento se centra principalmente en el desarrollo de adaptaciones neuromusculares específicas a la vez que se intenta prevenir la fatiga excesiva que puede interferir con otros componentes del entrenamiento.

Contribuciones de los Autores

Conservación de datos, A.V.-F., P.J.C.-D. y J.S.-V.; Análisis formal, F.P.-B., A.V.-F. y P.J.C.-D.; Investigación, A.V.-F., P.J.C.-D. y J.S.-V.; Metodología, F.P.-B. y J.J.G.-D.B.; Administración de proyectos, F.P.-B. y J.J.G.-B.; Supervisión, F.P.-B. y J.J.G.-B.; Redacción, F.P.-B.; Redacción, revisión y edición, F.P.-B. y J.J.G.-B.

Financiación

Esta investigación no recibió financiación externa.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Bird, S.P.; Tarpenning, K.M.; Marino, F.E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: A review of the acute programme variables. *Sports Med.* 2005, 35, 841-851.
2. Fry, A.C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med.* 2004, 34, 663-679.
3. Sanchez-Medina, L.; Gonzalez-Badillo, J.J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2011, 43, 1725-1734.
4. Gonzalez-Badillo, J.J.; Yanez-Garcia, J.M.; Mora-Custodio, R.; Rodriguez-Rosell, D. (2017). Velocity loss as a variable for monitoring resistance exercise. *Int. J. Sports Med.*
5. Richens, B.; Cleather, D.J. (2014). The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. *Biol. Sport* 2014, 31, 157-161.
6. Gonzalez-Badillo, J.J.; Sanchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int. J. Sports Med.* 2010, 31, 347-352.
7. Pareja-Blanco, F.; Rodriguez-Rosell, D.; Sánchez-Medina, L.; Sanchis-Moysi, J.; Dorado, C.; Mora-Custodio, R.; Yáñez-García, J.M.; Morales-Alamo, D.; Pérez-Suárez, I.; Calbet, J.A.; et al. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2017, 27, 724-735.
8. Sanchez-Medina, L.; Gonzalez-Badillo, J.J.; Perez, C.E.; Pallares, J.G. (2014). Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *Int. J. Sports Med.* 2014, 35, 209-216.
9. Sánchez-Medina, L.; Pallarés, J.G.; Pérez, C.E.; Morán-Navarro, R.; González-Badillo, J.J. (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Med. Int. Open* 2017, 1, 80-88.
10. Sánchez-Moreno, M.; Rodríguez-Rosell, D.; Pareja-Blanco, F.; Mora-Custodio, R.; González-Badillo, J.J. (2017). Movement velocity as indicator of relative intensity and level of effort attained during the set in pull-up exercise. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2017, 12, 1378-1384.
11. Loturco, I.; Pereira, L.A.; Cal Abad, C.C.; Gil, S.; Kitamura, K.; Kobal, R.; Nakamura, F.Y. (2016). Using the bar-velocity to predict the maximum dynamic strength in the half-squat exercise. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2016, 11, 697-700.
12. Wilk, M.; Golas, A.; Stastny, P.; Nawrocka, M.; Krzysztofik, M.; Zajac, A. (2018). Does tempo of resistance exercise impact training volume? *J. Hum. Kinet.* 2018, 62, 241-250.
13. Pareja-Blanco, F.; Rodriguez-Rosell, D.; Sanchez-Medina, L.; Ribas-Serna, J.; Lopez-Lopez, C.; Mora-Custodio, R.; Yanez-Garcia, J.M.; Gonzalez-Badillo, J.J. (2017). Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 2017, 37, 630-639.
14. Gonzalez-Badillo, J.J.; Rodriguez-Rosell, D.; Sanchez-Medina, L.; Ribas, J.; Lopez-Lopez, C.; Mora-Custodio, R.; Yanez-Garcia, J.M.;

- Pareja-Blanco, F. (2016). Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure. *Int. J. Sports Med.* 2016, 37, 295-304.
15. Moran-Navarro, R.; Perez, C.E.; Mora-Rodriguez, R.; de la Cruz-Sanchez, E.; Gonzalez-Badillo, J.J.; Sanchez-Medina, L.; Pallares, J.G. (2017). Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2017, 117, 2387-2399.
 16. Pareja-Blanco, F.; Rodriguez-Rosell, D.; Gonzalez-Badillo, J.J. (2019). Time course of recovery from resistance exercise before and after a training program. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 2019.
 17. Brandon, R.; Howatson, G.; Strachan, F.; Hunter, A.M. (2015). Neuromuscular response differences to power vs. *strength back squat exercise in elite athletes.* *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2015, 25, 630-639.
 18. Sanchez-Medina, L.; Perez, C.E.; Gonzalez-Badillo, J.J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int. J. Sports Med.* 2010, 31, 123-129.
 19. Gathercole, R.J.; Sporer, B.C.; Stellingwerff, T.; Sleivert, G.G. (2015). Comparison of the capacity of different jump and sprint field tests to detect neuromuscular fatigue. *J. Strength Cond. Res.* 2015, 29, 2522-2531.
 20. Jimenez-Reyes, P.; Pareja-Blanco, F.; Cuadrado-Penafiel, V.; Morcillo, J.A.; Parraga, J.A.; Gonzalez-Badillo, J.J. (2016). Mechanical, metabolic and perceptual response during sprint training. *Int. J. Sports Med.* 2016, 37, 807-812.
 21. Jimenez-Reyes, P.; Pareja-Blanco, F.; Cuadrado-Penafiel, V.; Ortega-Becerra, M.; Parraga, J.; Gonzalez-Badillo, J.J. (2018). Jump height loss as an indicator of fatigue during sprint training. *J. Sports Sci.* 2018, 1-9.
 22. Mitchell, C.J.; Churchward-Venne, T.A.; West, D.W.; Burd, N.A.; Breen, L.; Baker, S.K.; Phillips, S.M. (2012). Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J. Appl. Physiol.* 2012, 113, 71-77.
 23. Luca, C.J.D. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *J. Appl. Biomech.* 1997, 13, 135-163.
 24. Adam, A.; De Luca, C.J. (2005). Firing rates of motor units in human vastus lateralis muscle during fatiguing isometric contractions. *J. Appl. Physiol.* 2005, 99, 268-280.
 25. Kraemer, W.J.; Fleck, S.J.; Dziados, J.E.; Harman, E.A.; Marchitelli, L.J.; Gordon, S.E.; Mello, R.; Frykman, P.N.; Koziris, L.P.; Triplett, N.T. (1993). Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J. Appl. Physiol.* 1993, 75, 594-604.
 26. Rodriguez-Rosell, D.; Yanez-Garcia, J.M.; Torres-Torrelo, J.; Mora-Custodio, R.; Marques, M.C.; Gonzalez-Badillo, J.J. (2018). Effort index as a novel variable for monitoring the level of effort during resistance exercises. *J. Strength Cond. Res.* 2018, 32, 2139-2153.

Cita Original

Fernando Pareja-Blanco, Antonio Villalba-Fernández, Pedro J. Cornejo-Daza, Juan Sánchez-Valdepeñas, Juan José González-Badillo (2019) Time Course of Recovery Following Resistance Exercise with Different Loading Magnitudes and Velocity Loss in the Set. *Sports* 7 59