

Article

# Efecto de la Carga de Entrenamiento sobre la Disminución no Intencionada de la Velocidad de Ejecución durante una Serie de Repeticiones hasta el Agotamiento

**Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions**

Keijo Häkkinen<sup>3</sup>, William J Kraemer<sup>4</sup>, Prof. Mikel Izquierdo<sup>1</sup>, Javier Ibañez<sup>1</sup>, Esteban M Gorostiaga<sup>1</sup>, Aritz Altadill<sup>1</sup> y Jesús Eslava<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Studies, Research and Sport Medicine Center, Government of Navarra, Navarra, España.

<sup>2</sup>Olympic Medical Institute, Northwick Park Hospital, Harrow.

<sup>3</sup>Department of Biology of Physical Activity and Neuromuscular Research Center, University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finlandia 40014.

<sup>4</sup>Human Performance Laboratory. Department of Kinesiology. University of Connecticut, Storrs, CT 06269, Estados Unidos.

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue examinar el efecto de diferentes cargas sobre la velocidad de ejecución durante una serie de repeticiones hasta el fallo en los ejercicios de press de banca y sentadilla paralela. Treinta y seis hombres físicamente activos realizaron el test de 1RM en press de banca (1RMBP) y en sentadilla paralela (1RMHS), y realizaron series a máxima potencia hasta el fallo alternando al azar cargas submáximas (60%, 65%, 70%, y 75% de 1RM, respectivamente) en los ejercicios de press de banca y sentadilla paralela con una separación de 10 días. La velocidad media de cada repetición fue registrada mediante un encoder unido al final de la barra. El valor de 1 RMBP fue de  $91 \pm 17$  kg y el de 1 RMHS fue de  $200 \pm 20$  kg, respectivamente. El número de repeticiones realizadas para un mismo porcentaje de 1RM fue significativamente mayor ( $p < 0.001$ ) en el ejercicio de sentadilla paralela comparado con el de press de banca. La media de la velocidad de repetición disminuyó en mayor proporción en la ejecución del press de banca que en la sentadilla paralela. La reducción significativa en la media de la velocidad de repetición (expresado como porcentaje de la velocidad media lograda durante la repetición inicial) fue observada a un mayor porcentaje del total de repeticiones realizadas en la sentadilla paralela (48-69%) que en la acción de press de banca (34-40%). El mayor hallazgo de este estudio fue que, para una misma acción muscular (press de banca o sentadilla paralela), el patrón de reducción de la velocidad media relativa lograda durante cada repetición y el número relativo de repeticiones realizadas fue el mismo para todos los porcentajes de 1RM testados. Sin embargo, la velocidad media relativa disminuyó con una mayor tasa en la ejecución del pectoral en banca que en la de la sentadilla paralela. Esto podría indicar que en el press de banca la reducción significativa observada en la media de la velocidad de repetición ocurrió cuando el número de repeticiones era cercano a un tercio (34%) del número total de repeticiones realizadas, mientras que en la sentadilla paralela esto ocurría cuando era más cercano a la mitad (48%). Conceptualmente, esto indicaría que para un mismo ejercicio (press de banca o sentadilla paralela) y porcentaje de la 1RM, el patrón de disminución de la velocidad puede ser predicha sobre una serie de repeticiones, de esta

forma se determina un umbral mínimo de repetición para asegurar la máxima velocidad de ejecución.

**Palabras Clave:** press de banca, sentadilla paralela, relación carga-velocidad

## ABSTRACT

---

The purpose of this study was to examine the effect of different loads on repetition speed during single sets of repetitions to failure in bench press and parallel squat. Thirty-six physical active men performed 1-repetition maximum in a bench press (1 RM (BP)) and half squat position (1 RM (HS)), and performed maximal power-output continuous repetition sets randomly every 10 days until failure with a submaximal load (60 %, 65 %, 70 %, and 75 % of 1RM, respectively) during bench press and parallel squat. Average velocity of each repetition was recorded by linking a rotary encoder to the end part of the bar. The values of 1 RM (BP) and 1 RM (HS) were 91 +/- 17 and 200 +/- 20 kg, respectively. The number of repetitions performed for a given percentage of 1RM was significantly higher ( $p < 0.001$ ) in half squat than in bench press performance. Average repetition velocity decreased at a greater rate in bench press than in parallel squat. The significant reductions observed in the average repetition velocity (expressed as a percentage of the average velocity achieved during the initial repetition) were observed at higher percentage of the total number of repetitions performed in parallel squat (48 - 69 %) than in bench press (34 - 40 %) actions. The major finding in this study was that, for a given muscle action (bench press or parallel squat), the pattern of reduction in the relative average velocity achieved during each repetition and the relative number of repetitions performed was the same for all percentages of 1RM tested. However, relative average velocity decreased at a greater rate in bench press than in parallel squat performance. This would indicate that in bench press the significant reductions observed in the average repetition velocity occurred when the number of repetitions was over one third (34 %) of the total number of repetitions performed, whereas in parallel squat it was nearly one half (48 %). Conceptually, this would indicate that for a given exercise (bench press or squat) and percentage of maximal dynamic strength (1RM), the pattern of velocity decrease can be predicted over a set of repetitions, so that a minimum repetition threshold to ensure maximal speed performance is determined.

**Keywords:** Bench press, parallel squat, load velocity, relationship

## INTRODUCCION

---

Tanto los entrenadores como los investigadores en el campo del entrenamiento de la fuerza muscular tratan de identificar la correcta utilización de las variables del entrenamiento con el propósito de conocer los estímulos más apropiados que optimicen la mejora de la marca. A la hora de diseñar los programas de entrenamiento para la mejora del rendimiento deportivo una de las variables menos utilizada es la velocidad de ejecución. Clásicamente, la elección de la carga debería determinar la velocidad de movimiento, pero muchos de los datos que han analizado este fenómeno han sido obtenidos con ejercicios isocinéticos [11]. La velocidad de movimiento determinará el estímulo de entrenamiento y la consiguiente adaptación al entrenamiento. Así, se ha sugerido, que los atletas deberían tratar de realizar los ejercicios "de forma explosiva" a la máxima velocidad que le permita la carga utilizada. De esta manera, entrenando a una velocidad específica se mejoraría la aplicación de la fuerza y la tasa o pendiente de producción de fuerza principalmente a esa velocidad, tanto es así que si se entrena a velocidades diferentes a la velocidad específica de entrenamiento el efecto del entrenamiento será menos efectivo [1-3, 10, 17]. Diversos estudios que han utilizado estímulos de entrenamiento en los que se reduce la fase de deceleración y se permite que la carga sea proyectada como en un lanzamiento o un salto, se ha observado un mayor pico y media de velocidad, fuerza y potencia [2, 3, 14]. En estos casos la evolución del perfil de la velocidad y de la aceleración será diferente en función del régimen de la carga en todas las series realizadas. Sin embargo, en la actualidad no queda claro el impacto que tiene la carga sobre la evolución de la velocidad de ejecución en una serie de repeticiones realizadas hasta el agotamiento.

En la curva clásica de fuerza-velocidad, la velocidad de contracción muscular disminuye a medida que aumenta la tensión muscular, logrando la máxima velocidad cuando la carga es cero [6, 9]. También se ha publicado que en una serie de repeticiones hasta el fallo la velocidad de cada repetición disminuye a medida que aumenta la fatiga. El impacto que tienen estos cambios de velocidades o la velocidad media sobre una serie de repeticiones a un porcentaje dado de la máxima fuerza dinámica (1RM) no está del todo esclarecido. Si se utilizan cargas con diferentes porcentajes de 1RM y se comparan las velocidades medias resultantes en una serie de repeticiones hasta el agotamiento se podría realizar una incursión en la

comparación entre diferentes porcentajes así como entre los diferentes grupos musculares. Por otro lado, desde un punto de vista práctico y científico tiene gran interés analizar la fatiga que se produce cuando se realizan series repetidas de un mismo ejercicio con diferentes tiempos de recuperación.

Según lo que se conoce hasta el momento, solo un estudio ha observado un aumento significativo relacionado con la fatiga de la duración de la fase concéntrica de la primera con respecto a la última repetición en el ejercicio de press de banca a la intensidad de 5RM [13]. Sin embargo, no se sabe el número óptimo de repeticiones con diferentes cargas con las que no disminuye la máxima velocidad de repetición debido a la fatiga. Es también probable, que en el transcurso del tiempo la disminución involuntaria de la velocidad pueda variar entre la extremidad inferior y la superior. Por ejemplo, en relación a las diferencias en las características biomecánicas de los ejercicios superiores/inferiores de cadena cinética abierta y cerrada o en la diferente distribución de fibras en los diferentes grupos musculares. Hoeger y Colaboradores [7] también demostraron que cuanto más bajo sea el porcentaje, mayor será el número de repeticiones realizables. Sin embargo, estos resultados estaban condicionados por la cantidad de masa muscular utilizada en el ejercicio, es decir, los grupos musculares más grandes requirieron porcentajes mayores para solicitar valores más bajos de RM. El propósito de este estudio, fue examinar en dos de los principales ejercicios, uno para el tren superior (Press de banca), y uno para el tren inferior (Sentadilla paralela) la velocidad media resultante cuando se realizaban series de repeticiones con diferentes porcentajes de 1RM. La posible diferencia en el patrón de disminución de la velocidad entre las acciones musculares del tren superior y la del tren inferior es una cuestión importante que todavía no se ha dilucidado.

## MÉTODOS

---

### Sujetos

Un grupo de treinta y seis jugadores de pelota vasca, con experiencia en entrenamiento y competición ( $12.5 \pm$  años) se prestaron voluntariamente para participar en el estudio. La media de edad, altura, peso corporal y porcentaje graso de los sujetos ( $\pm$ SD) fue de  $24 \pm 2.9$  años,  $1.80 \pm 0.01$  m,  $80 \pm 2.01$  kg y  $12.2 \pm 4.4$  %, respectivamente. Todos los sujetos eran miembros de la selección española de pelota vasca. El estudio fue realizado durante el período (de Febrero a Abril) previo a la preparación del XIV mundial de pelota vasca. Todos los sujetos se habían familiarizado con los ejercicios. Durante los quince meses antes de participar en el estudio, los sujetos participaron en un programa de entrenamiento de fuerza, que consistía principalmente en el clásico entrenamiento de ejercicios de levantamiento de peso libre (incluyendo los ejercicios utilizados en el estudio, press de banca y sentadilla paralela) con un volumen e intensidad relativa de 3 series de 6-8 repeticiones al 60-75% de 1RM, respectivamente.

La última sesión de entrenamiento de fuerza tuvo lugar 5-7 días antes del primer día de test. El estudio se llevó a cabo de acuerdo con la declaración de Helsinki y fue aprobado por la comisión responsable del Instituto Navarro de Deporte y Juventud (Navarra, España). Se aseguró que los sujetos no habían tomado durante varios meses antes o durante la duración del estudio esteroides anabolizantes-androgénicos exógenos o ningún otro tipo de droga o sustancia que pudiera afectar al rendimiento físico o al balance hormonal, así como no estaban bajo ningún tipo de medicación que pudiera influir en los resultados del estudio.

### Diseño Experimental

Los sujetos completaron 5 días de protocolo experimental en 5 ocasiones diferentes con 10 días de separación. Durante la primera sesión de medida se registró el peso y el porcentaje graso seguido del registro del grosor de 7 pliegues cutáneos. En la primera sesión de test, cada sujeto realizó el test de 1RM en el ejercicio de press de banca y en el de sentadilla paralela para determinar los porcentajes que iban a poder usar en las series de repeticiones hasta el fallo. Durante las subsecuentes sesiones de medida, cada sujeto realizó de forma aleatoria una serie de repeticiones hasta el fallo realizando cada repetición a la máxima velocidad posible, con cargas submáximas (60%, 65%, 70% y 75% de 1RM, respectivamente) en los ejercicios de press de banca o sentadilla paralela. Cada sesión de medida estuvo separada por 10 días. Todos los sujetos estaban familiarizados con el protocolo de test, ya que fueron testados usando el mismo procedimiento varias veces durante la temporada. El coeficiente de correlación intraclase en el test retest de las variables de los procedimientos usados para los test en este estudio fueron mayores de 0.91 y el rango de coeficiente de variación fue de 0.9% a 2.3%.

### Realización de los Test

#### *Fuerza Máxima en el Press de Banca y en Sentadilla Paralela*

En un reciente estudio [9] se puede encontrar una descripción detallada de los procedimientos para la medición de la

fuerza y la potencia muscular. En resumen, durante la primera sesión de test, se midió la fuerza máxima del tren superior e inferior mediante una repetición máxima en las acciones de press de banca (1RMBP) y sentadilla paralela (1RMHS). En el protocolo de 1RMBP, el test comenzaba cuando el sujeto bajaba la barra desde la posición de brazos totalmente extendidos, hasta la posición en la que la barra se situaba a 1 cm sobre el pecho y estaba sujeta por los topes inferiores del aparato de medición. Desde esta posición, se le pedía al sujeto que realizara una acción puramente concéntrica (a la máxima velocidad posible) manteniendo los hombros en la posición de 90° en abducción para asegurar la consistencia de la articulación del hombro y del codo durante todo el movimiento. No se permitió ningún tipo de balanceo o de arqueado de la espalda. En el protocolo de 1RMHS, el test comenzaba desde la posición de piernas en extensión con la barra en contacto con los hombros, bajando controladamente hasta la posición en la que los muslos quedaban paralelos al suelo. Desde esta posición el sujeto realizó una extensión de piernas (a la máxima velocidad posible) comenzando de la posición de flexionado hasta lograr la extensión total de 180° contra la resistencia de los discos colocados a ambos extremos de la barra. El movimiento se completó cuando el torso estaba recto. Todos los test fueron realizados en un sistema de barra guiada (similar a la máquina Smith) en el cual la barra estaba fijada por ambos finales, mediante sujeciones lineales por dos barras verticales permitiendo únicamente movimientos verticales. El calentamiento consistía en una serie de 5 repeticiones a la intensidad del 40-60% del máximo percibido. Posteriormente, se realizaban de 4 a 5 intentos separados hasta que el sujeto no era capaz de realizar la extensión completa de brazos o piernas. La recuperación entre los intentos máximos fue siempre de dos minutos.

### *Series a la Máxima Potencia de Repeticiones Continuas hasta el Agotamiento con Cargas Submáximas*

Durante las posteriores sesiones de medida, cada sujeto realizaba una serie de repeticiones a la máxima potencia hasta el agotamiento con diferentes cargas submáximas al azar (60%, 65%, 70% y 75% de 1RM, respectivamente) en los ejercicios de pectoral en-banca y sentadilla paralela con una separación de 10 días. Se pidió a los sujetos que movieran la barra a la máxima velocidad posible en la fase concéntrica de cada repetición, hasta el fallo. Se definía como fallo el momento en el que la barra dejaba de moverse, si el sujeto paraba más de 1s cuando los brazos o las piernas estaban totalmente extendidas o cuando el sujeto no era capaz de lograr la máxima extensión de brazos o piernas. Durante las primeras repeticiones la cadencia era controlada con un metrónomo con una cadencia de 19 Hz. Con el aumento de la fatiga y con el aumento progresivo de la dificultad para realizar las repeticiones se permitía una cadencia menor a 19Hz, permaneciendo constante el tiempo entre repeticiones.

Durante los test en acciones de la extremidad inferior, se grababa el desplazamiento de la barra, velocidad media (m/s), y potencia media (vatios) mediante un encoder unido al final de la barra. El encoder (*Computer Optical Products Inc*, California, Estados Unidos) registraba la posición y dirección de la barra con una precisión de 0.2 mm e informaba de la situación con una precisión de 1ms. Mediante un software específico (JLML I+D, Madrid, España) se calculaba la potencia producida durante cada repetición en el ejercicio de sentadilla paralela durante el rango de movimiento completo. Se determinaron el número de repeticiones total para cada serie de press de banca y la velocidad media de cada repetición para la sentadilla paralela y el press de banca. Las curvas de velocidad se presentaban gráficamente usando la velocidad media de todo el rango de movimiento como parámetro mecánico más representativo asociado al ciclo concéntrico de la musculatura extensora de brazos y piernas participantes en la ejecución del sentadilla paralela (articulaciones de cadera, rodilla y tobillo) y del press de banca (articulaciones de hombro y codo) [9]. Para posibilitar la confrontación de los datos, la velocidad de cada repetición fue expresada en valores absolutos como porcentaje de la velocidad media obtenida durante las 2 primeras repeticiones de cada serie.

### **Análisis Estadísticos**

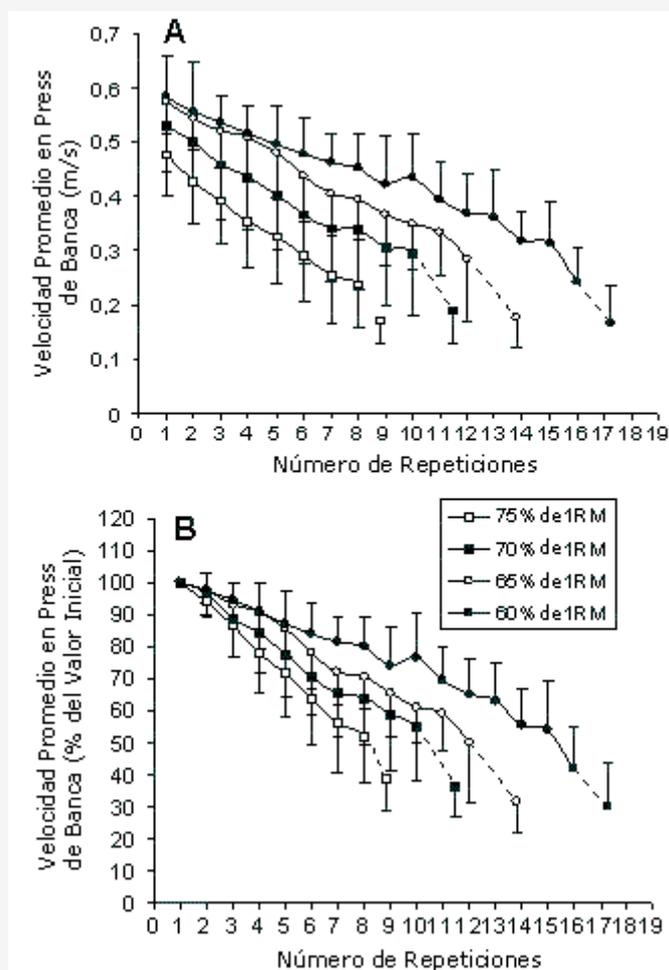
Se utilizaron métodos estadísticos convencionales para el cálculo de la media y las desviaciones estándar (SD). La disminución de la velocidad media fue comparada en términos absolutos y relativos mediante un diseño de análisis de varianza de medidas repetidas. Cuando los valores lograban una F significativa, se realizó un análisis post hoc utilizando el test de sheffé para conocer la diferencia entre las medias. Se utilizó como criterio una  $p < 0,05$  para establecer la significación estadística.

## **RESULTADOS**

### **Ejecución del Press de banca**

El valor de 1RMBP fue de  $91 \pm 17$  kg. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) en el número de repeticiones realizadas durante las series al 75% ( $8.8 \pm 2$ ), 70% ( $11.4 \pm 2$ ), 65% ( $13.8 \pm 2$ ) y 60% ( $17.25 \pm 2$ ) de 1RMBP. La velocidad media absoluta en press de banca disminuía consistentemente durante todos los porcentajes de 1RM testados. Cuando se expresó

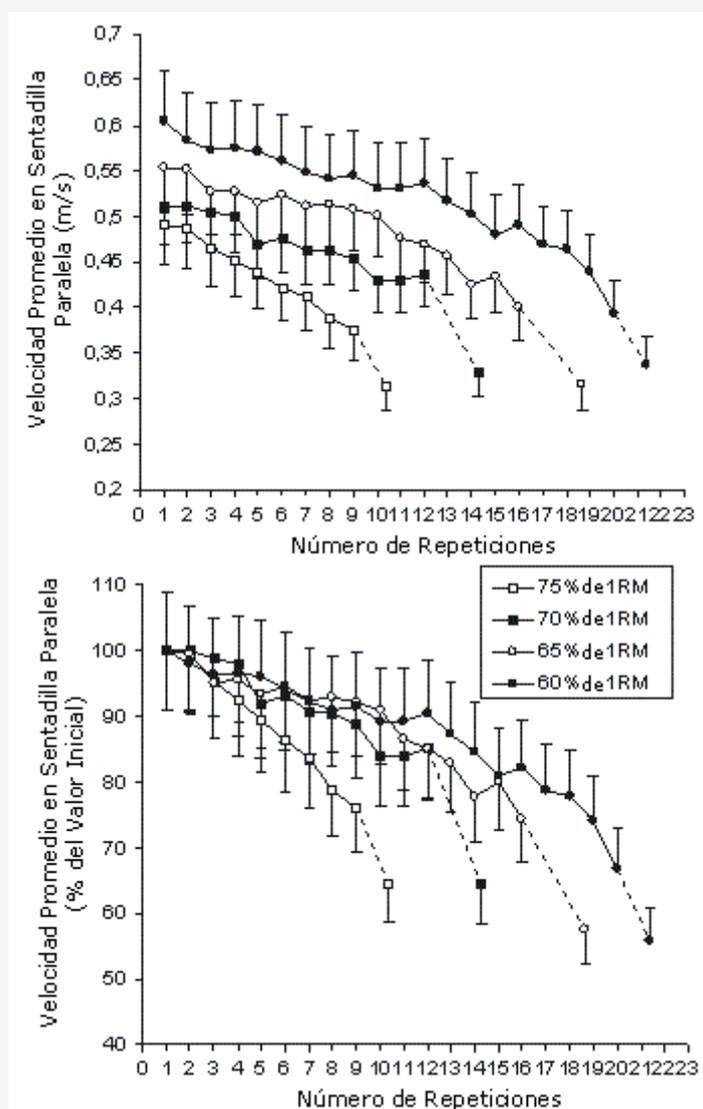
como porcentaje de la velocidad media lograda en las 2 primeras repeticiones, se observó una disminución significativa ( $p < 0.005-0.001$ ) en la velocidad media relativa en las repeticiones 3,4,5 y 7 durante las series realizadas al 75%, 70%, 65% y 60% de 1RM respectivamente (Figura 1b). La repetición en la que se daba una disminución significativa respecto a la velocidad inicial relativa se correspondió con el 34%, 35%, 36%, y 40% del número total de repeticiones logradas al 75%, 70%, 65% y 60% 1RM respectivamente. La velocidad media lograda en la última repetición en las series al 75% ( $0.17 \pm 0.04$  m/s), 70% ( $0.18 \pm 0.05$  m/s), 65% ( $0.18 \pm 0.05$  m/s), y 60% ( $0.17 \pm 0.06$  m/s) de 1RMBP no fue significativamente diferente y se correspondió con un rango del 30% al 38% de la velocidad media lograda en las dos primeras repeticiones. La velocidad media conseguida con la intensidad de una repetición máxima (1RM) fue similar ( $0.15 \pm 0.03$  m/s) a la lograda en la última repetición con todas las intensidades testadas en la acción del press de banca. Para una determinada intensidad en un rango desde el 60% al 75% de 1RM, las curvas de la disminución de la velocidad media relativa de cada repetición (expresada como porcentaje del valor inicial) y el número relativo de repeticiones realizadas (expresada como el porcentaje del número total de repeticiones realizadas), siguieron el mismo patrón (Figura 3a). La ecuación para predecir la disminución de la velocidad media (AV) a partir del porcentaje del número de repeticiones relativas realizadas (PR) entre las intensidades del 60% al 75% de 1RM fue  $-0.0032PR^2 - 0.331PR + 102.47$  (el  $r^2$  explicó el 83% de la varianza, con un SEE del 0.09).



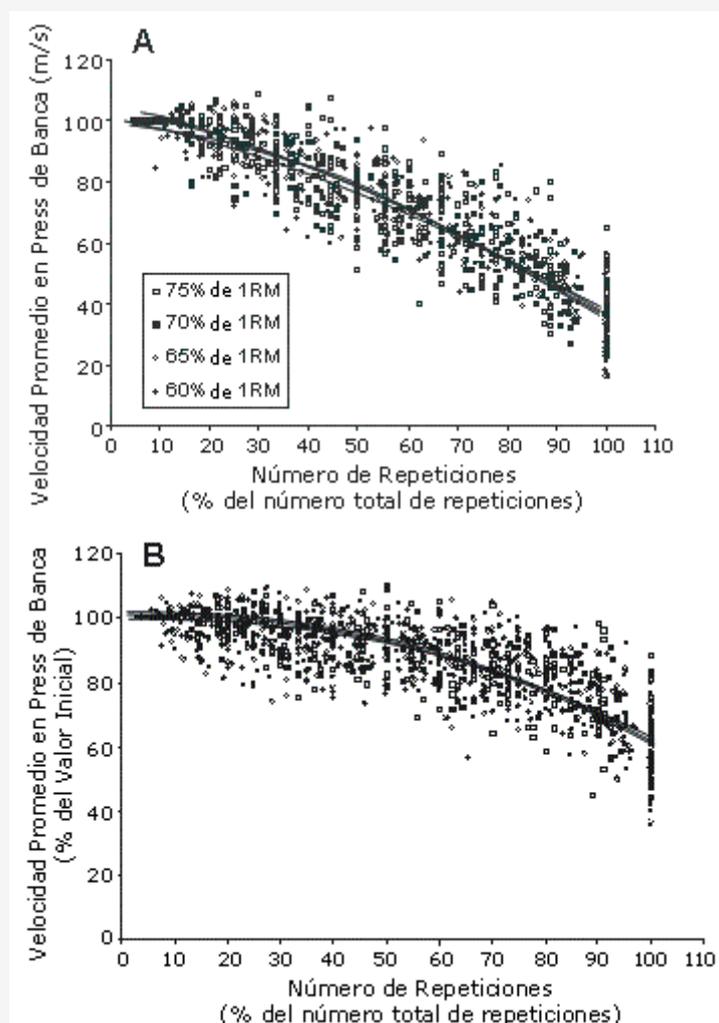
**Figura 1a y 1b.** Media de los cambios en la velocidad en press banca durante el curso de series aisladas submáximas de repeticiones hasta el fallo con diferentes porcentajes de 1 RM (60,65,70 y 75%) en acciones de press banca.. Los valores de la velocidad de press banca están expresados como valores absolutos(a) y como porcentaje de velocidad de la primera repetición (b).ver texto para disminuciones significativas en al media de la velocidad de repetición entre cargas (Modificado de IZQUIERDO M, GONZÁLEZ-BADILLO JJ, HÄKKINEN K, IBÁÑEZ J, KRAEMER WJ, ALTADILL A, ESLAVA J, GOROSTIAGA EM. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. International Journal of Sports Medicine. 27: 718-724)

## Ejecución de la Sentadilla Paralela

El valor de  $1RM_{HS}$  fue de  $200 \pm 20$  kg. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) en el número de repeticiones realizadas durante las series al 75% ( $10.4 \pm 1$ ), 70% ( $14.2 \pm 2$ ), 65% ( $18.8 \pm$ ) y 60% ( $21.5 \pm 2$ ) de  $1RM_{HS}$ . La velocidad media absoluta en sentadilla paralela disminuía consistentemente durante todos los porcentajes de 1 RM testados. Cuando se expresó como porcentaje de la velocidad media lograda en las 2 primeras repeticiones, se observó una disminución significativa ( $p < 0.005-0.001$ ) en la velocidad media relativa en las repeticiones 5,9,11 y 15 durante las series realizadas al 75%, 70%, 65% y 60% de 1RM respectivamente (Figura 2b). La repetición en la que se daba una disminución significativa respecto a la velocidad inicial relativa se correspondió con el 48%, 63%, 59%, y 70% del número total de repeticiones logradas al 75%, 70%, 65% y 60% 1RM respectivamente. La velocidad media lograda en la última repetición en las series al 75% ( $0.31 \pm 0.05$  m/s), 70% ( $0.32 \pm 0.07$  m/s), 65% ( $0.31 \pm 0.06$  m/s), y 60% ( $0.33 \pm 0.07$  m/s) de  $1RM_{HS}$  no fue significativamente diferente y se correspondió con un rango del 55% al 64% de la velocidad media lograda en las dos primeras repeticiones. La velocidad media conseguida con la intensidad de una repetición máxima (1RM) fue similar ( $0.27 \pm 0.02$  m/s) a la lograda en la última repetición con todas las intensidades testadas en la acción del sentadilla paralela. Para una determinada intensidad en un rango desde el 60% al 75% de 1RM, las curvas de la disminución de la velocidad media relativa de cada repetición (expresada como porcentaje del valor inicial) y el número relativo de repeticiones realizadas (expresada como el porcentaje del número total de repeticiones realizadas), siguieron el mismo patrón (Figura 3b). La ecuación para predecir la disminución de la velocidad media (AV) a partir del porcentaje del número de repeticiones relativas realizadas (PR) entre las intensidades del 60% al 75% de 1RM fue  $-0.0044PR^2 + 0.1218PR + 96.758$  (el  $r^2$  explicó el 63% de la varianza, con un SEE del 0.09).



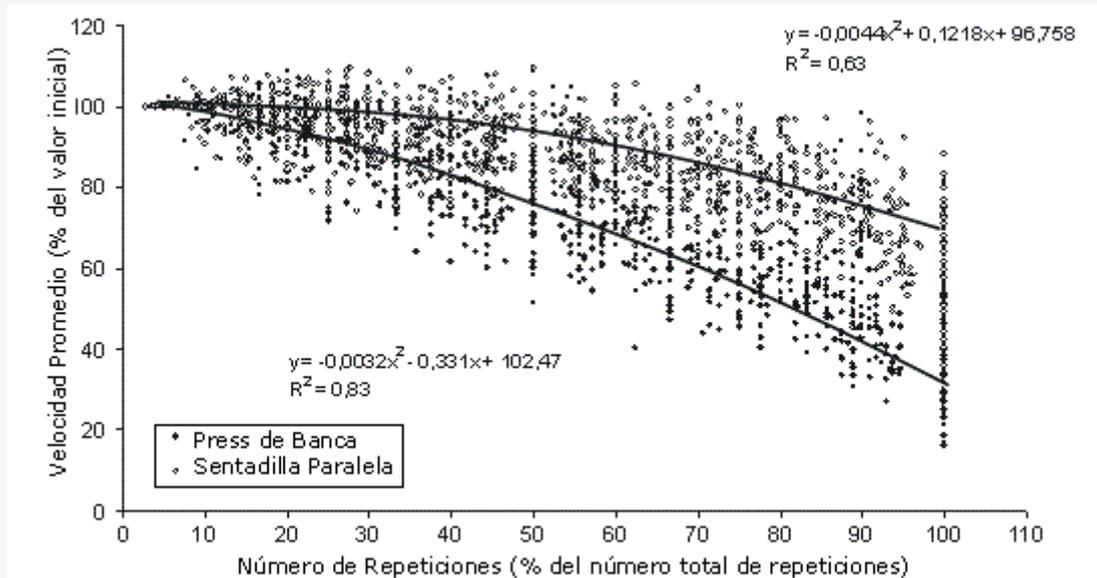
**Figura 2a y 2b.** Media de los cambios en la velocidad en sentadilla paralela durante el curso de series aisladas submáximas de repeticiones hasta el fallo con diferentes porcentajes de 1 RM (60,65,70 y 75%) en acciones de sentadilla paralela. Los valores de la velocidad de sentadilla paralela están expresados como valores absolutos(a) y como porcentaje de velocidad de la primera repetición (b).ver texto para disminuciones significativas en al media de la velocidad de repetición entre cargas. (Modificado de IZQUIERDO M,



**Figura 3a y 3b.** Relación entre la velocidad media lograda en cada repetición y el número de repeticiones logradas con los diferentes porcentajes de 1 RM en las acciones de press de banca (a) y de sentadilla paralela (b). (Modificado de IZQUIERDO M, GONZÁLEZ-BADILLO JJ, HÄKKINEN K, IBÁÑEZ J, KRAEMER WJ, ALTADILL A, ESLAVA J, GOROSTIAGA EM. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *International Journal of Sports Medicine*. 27: 718-724)

### Comparación de la Ejecución entre el Press de Banca y la Sentadilla Paralela

La velocidad media lograda en cada repetición (expresada como porcentaje del valor inicial) y el número relativo de repeticiones realizadas (expresada como porcentaje del número total repeticiones realizadas) para cada repetición disminuyó más rápido en la ejecución del press de banca que en el de la sentadilla paralela (Figura 4). Para un mismo porcentaje de 1RM el número de repeticiones realizadas fue significativamente mayor ( $p < 0.001$ ) en la acción de la sentadilla paralela que en el del press de banca. La velocidad media lograda en la última repetición en las series al 75%, 70%, 65% y 60% de 1RM fue significativamente mayor en la sentadilla paralela ( $0.32 \pm 0.06$  m/s) que en el press de banca ( $0.17 \pm 0.06$  m/s). Las disminuciones significativas observadas en la velocidad media relativa fueron observadas a un mayor porcentaje del número total de repeticiones realizadas en la sentadilla paralela (48-69%) que en las acciones del press de banca (34-40%) (Figuras 1b y 2b).



**Figura 4.** Relación entre la velocidad media lograda en cada repetición y el número de repeticiones realizadas con los diferentes porcentajes de 1RM, durante la ejecución de los ejercicios de press de banca y sentadilla paralela. (Modificado de IZQUIERDO M, GONZÁLEZ-BADILLO JJ, HÄKKINEN K, IBÁÑEZ J, KRAEMER WJ, ALTADILL A, ESLAVA J, GOROSTIAGA EM. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *International Journal of Sports Medicine*. 27: 718-724).

## DISCUSION

Un aspecto novedoso de este estudio fue examinar el impacto que tiene diferentes cargas de entrenamiento (pesos) sobre la disminución de la velocidad de ejecución durante series de repeticiones hasta el agotamiento realizadas a alta intensidad en acciones musculares del tren superior y del tren inferior. De acuerdo con estudios previos, se observó que durante una serie de repeticiones hasta el agotamiento la velocidad de cada repetición disminuía [13,15], por lo que a medida que aumentaba la fatiga de manera progresiva la ejecución de las repeticiones se hacía más dificultosa. Uno de los resultados más importantes en este estudio fue que, para una misma acción muscular (press de banca o sentadilla paralela), el patrón de la disminución de la velocidad media relativa lograda en cada repetición (expresada como porcentaje del valor inicial) y del número relativo de repeticiones realizadas (expresado como porcentaje del número total de repeticiones realizadas) fue el mismo con todos los porcentajes de 1RM testados. Sin embargo, la velocidad media relativa disminuyó en mayor proporción en la ejecución del *press* de banca que en la sentadilla paralela. Conceptualmente, esto indicaría que para cargas entre un rango del 60% al 75% de 1RM, uno puede predecir el patrón de disminución de la velocidad para un ejercicio, así como un umbral de repetición mínimo que asegure ejecuciones a la máxima velocidad.

Cuando se realizaron repeticiones a diferentes intensidades, se observó un patrón diferente de disminución de velocidad en la velocidad media relativa entre acciones musculares del tren superior y del tren inferior. En todas las intensidades testadas, la velocidad media por repetición disminuyó en mayor proporción en la ejecución del *press* de banca que en la sentadilla paralela, de tal manera que en la ejecución del *press* de banca la disminución significativa observada en la velocidad media por repetición (expresada como porcentaje de la velocidad media lograda en la repetición inicial) ocurrió cerca del 34% del número total de repeticiones realizadas, en tanto que en la sentadilla paralela ocurrió sobre el 48%. Además, fue interesante observar como la velocidad lograda durante la última repetición ejecutada durante las series realizadas al 75 %, 70 %, 65 % y 60 % de 1RM fue significativamente más alta en la realización del sentadilla paralela que en la del *press* de banca.

En lo que los autores de este trabajo pueden conocer, apenas hay estudios que hayan examinado el patrón de la disminución en la intensidad relativa entre las acciones de la extremidad superior y la inferior. Esto puede ser explicado en parte por las diferencias en la fase decelerativa entre la ejecución de movimientos de la extremidad superior e inferior. La fase decelerativa es una parte importante de la ejecución, caracterizada por una reducción de la velocidad de la barra debido a la deceleración intencionada del ejecutante [11, 14]. Durante el *press* de banca, con una carga del 45% de 1RM, se ha observado como la fase decelerativa es más corta (40% del tiempo de la acción concéntrica) [14] en comparación con

acciones más lentas cuando se utilizan cargas altas en el mismo tipo de ejercicio (51.7% del tiempo de la acción concéntrica con una carga del 81% de 1RM) [4]. Además, Newton y colaboradores [14] también observaron que en el press de banca con una carga del 45% de 1RM implicaba una mayor fase decelerativa (40% del movimiento) que en una acción de press de banca con lanzamiento (4% del tiempo de la acción concéntrica). También se ha sugerido que al tratar de realizar un movimiento con gran potencia y maximizar la velocidad de la barra, el sujeto reduce la duración de la fase decelerativa [4, 14]. En este estudio, fue interesante observar qué la duración de la fase decelerativa cuando se realizaban repeticiones a alta velocidad con peso libre a diferentes intensidades (60% a 75% de 1RM) en el ejercicio de la sentadilla paralela fue mayor que la observada en el ejercicio de press de banca. De tal manera que, en la sentadilla paralela la carga no puede ser acelerada al máximo durante todo el rango de movimiento tanto como en el press de banca. Esto sugiere que, en la sentadilla paralela, la menor duración de la fase de esfuerzo concéntrico logrado durante cada repetición puede inducir a una menor intensidad relativa por repetición y por consiguiente explicaría que la velocidad media decreciese en menor proporción en la realización de la sentadilla paralela que en el press de banca.

En este trabajo, también se examinó la diferencia en la forma de la curva de potencia y velocidad a diferentes intensidades entre el press de banca y la sentadilla paralela. Así, se observó que la velocidad a la que se logra la máxima potencia en la extremidad inferior fue menor ( $\sim 0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) que la de la extremidad superior ( $\sim 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) [9]. Una posible explicación del diferente patrón de disminución de la velocidad media entre las acciones de la extremidad superior y de la inferior al realizar repeticiones hasta el agotamiento a diferentes intensidades, puede estar asociada con diferencias entre las extremidades en la fuerza máxima, en el área de sección transversal del músculo, en la distribución de los tipos de fibra [12], o a diferencias en la arquitectura muscular (longitud y ángulo de pennación), así como a la función muscular de acuerdo con la posición articular y la geometría de las articulaciones y las palancas mecánicas [5] entre el miembro superior y del inferior. También, es probable que la relación entre las repeticiones y la velocidad de ejecución pueda variar entre diferentes grupos musculares, por ejemplo, en relación a la distribución de las fibras musculares y/o características biomecánicas de las cadenas cinéticas abiertas y cerradas de las extremidades superiores e inferiores.

Finalmente, otra posible explicación que podría aclarar las diferencias observadas en el patrón de disminución de la velocidad media entre las acciones del press de banca y de la sentadilla paralela cuando se realizan repeticiones hasta el fallo con diferentes intensidades, puede estar relacionada con las diferencias en la coordinación y el control postural, así como el número y tamaño de los grupos musculares responsables de las acciones para la extremidad superior y la inferior. Recientemente se ha observado que el tiempo para el fallo en una tarea (tiempo que puede mantenerse una tarea) puede estar influenciado por la cantidad de actividad que se requiere en los músculos accesorios para conseguir la posición requerida [8]. Así, la mayor velocidad de disminución de la velocidad media de los músculos de la extremidad superior al realizar repeticiones hasta el fallo también puede tener relación con el menor requerimiento de coordinación y de control postural, así como de la menor cantidad de músculo involucrado en la acción del press de banca. Hasta que punto las diferencias en el patrón de disminución de la velocidad podría también observarse durante una acción de la extremidad inferior mucho más controlada y que requiera una menor coordinación muscular involucrando grupos musculares más pequeño (por ejemplo desde la posición de extensión de piernas) necesita ser estudiado. Hoeger y colaboradores [7] también demostraron que cuanto menor porcentaje de masa muscular involucrada mayor será el número de repeticiones para un mismo porcentaje de carga. Sin embargo, estos resultados estaban afectados por la cantidad de masa muscular utilizada en el ejercicio, necesitando los grupos musculares más grandes mayores porcentajes de carga para solicitar valores inferiores de RM. Los hallazgos en este estudio indican que para un mismo porcentaje de 1RM no siempre se consiguen el mismo número de repeticiones al realizar diferentes alzadas. Es más, también se debería tener en consideración que uno podría hacer sentadilla con más peso al realizar la sentadilla paralela (los muslos paralelos al suelo) que si las realizara con el rango de movimiento completo [13], así que los sujetos podrán levantar más peso con los protocolos al 60-75% que con los protocolos de sentadilla completa. Esta observación puede sugerir también que el número de repeticiones realizadas hasta el agotamiento, así como el tiempo hasta el inicio del fallo del ejercicio (el cual es mayor para la sentadilla paralela) puede estar ligeramente sobreestimado ya que solo se utilizó una parte del rango de movimiento.

Otro de los interesantes resultados obtenidos en el presente estudio fue que la velocidad media alcanzada en la última repetición realizada con las diferentes intensidades (60%, 65%, 70% y 75% de 1RM) y la lograda con el 1RM fue similar para la misma acción muscular. Esta particularidad sugiere que para lograr una repetición individual con éxito a lo largo de una serie de repeticiones hasta el fallo es necesario un umbral mínimo de velocidad, así como de aplicación de fuerza para las diferentes intensidades (%1RM). Estas observaciones pueden tener una importante relevancia práctica a la hora de optimizar el control de la intensidad relativa del entrenamiento respecto a las diferentes cargas y el número de repeticiones óptimo.

En resumen, los presentes resultados sugieren la existencia de un patrón consistente y similar de reducción de la velocidad de repeticiones realizadas a la máxima velocidad voluntaria de ejecución con todos los porcentajes de 1RM testados tanto en las acciones musculares de la extremidad superior como de la extremidad inferior. Para todas las intensidades examinadas, la reducción de la velocidad de movimiento en la acción del press de banca fue significativa en un porcentaje

cercano a un tercio (34%) del total de las repeticiones realizadas, mientras que en la sentadilla paralela se dio la cerca de la mitad (48%). Con el propósito de garantizar la máxima velocidad de entrenamiento y evitar la disminución de la velocidad de repetición se puede concluir que, para el rango de intensidades examinadas en el presente estudio, el número de repeticiones a realizar por serie no debería exceder un tercio y un medio del número de repeticiones realizables hasta el fallo, para las acciones del press de banca y la sentadilla paralela respectivamente. Este umbral de velocidad máxima se corresponde con aproximadamente una disminución del 13% y 8% de la velocidad lograda en la primera repetición para las acciones musculares en el press de banca y la sentadilla paralela respectivamente. Los presentes resultados pueden ser utilizados en la evaluación del número óptimo de repeticiones necesarias para asegurar el mantenimiento óptimo de la máxima velocidad de ejecución con diferentes porcentajes de fuerza máxima

### Notas al Pie

Este trabajo fue realizado en parte gracias a una beca de investigación del Consejo Superior de Deportes. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España (Expediente 01/EPB10/03).

## REFERENCIAS

---

1. Behm DG and Sale DG (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Med*; 15:374-388
2. Cronin J, McNair PJ, Marshall RN (2001). Velocity specificity, combination training and sport specific tasks. *J Sci Med Sport*; 4:168-78
3. Cronin JB, McNair PJ, Marshall RN (2002). Is velocity-specific strength training important in improving functional performance?. *J Sports Med Phys Fitness*; 42(3):267-73
4. Elliott BC, Wilson GJ, Kerr GK (1989). A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Med Sci Sports Exerc*; 21:450-462
5. Hill AV (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc R Soc Lond [Biol]* 1938; 126, 136-195
6. Hoeger WWK, Hopkins DR, Barette SL, Hale DF (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. *J Strength Cond Res*; 2: 47-54
7. Hunter SK, Duchateau J, Enoka RM (2004). Muscle fatigue and the mechanisms of task failure. *Exerc Sport Sci Rev*; 32(2):44-9. Review
8. Kanehisa H, Miyashita M (1983). Specificity of velocity in strength training. *J Appl Physiol*; 52: 104-106
9. Kraemer WJ, Ratamess NA (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*; 4:674-688
10. Mookerjee S and Ratamess NA (1999). Comparison of strength differences and joint action durations between full and partial range-of-motion bench press exercise. *J Strength Cond Res*; 13:76-81
11. Pasquet B, Carpentier A, Duchateau J, Hainaut K (2000). Muscle fatigue during concentric and eccentric contractions. *Muscle Nerve*; 23(11):1727-35
12. Tidow G (1995). Muscular adaptations induced by training and de-training. A review of biopsy studies. *New Stud Athl (IAAF)*; 10:47-56
13. Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*; 25(11): 1279-1286

### Cita Original

Izquierdo M., González-Badillo J.J., Häkkinen K., Ibañez J., Kraemer W.J., Altadill A., Eslava J., Gorostiaga E.M. (2006) Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *International Journal of Sports Medicine*; 27 (9) 718-724