

Optimización del volumen y la intensidad en el desarrollo de la fuerza y potencia muscular.

Mikel Izquierdo

Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte (CEIMD). Gobierno de Navarra

Entre los objetivos del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza muscular se encuentran, por una parte, los dirigidos a la mejora de la habilidad del sistema neuromuscular para manifestar tensión muscular máxima y/o tensión muscular súbita (desarrollo de la fuerza máxima, fuerza explosiva/potencia muscular), y por otra, los encaminados a la mejora de la capacidad para mantener un determinado nivel submáximo de fuerza durante acciones musculares repetitivas o de larga duración, en un trabajo muscular estático o dinámico.

Un programa diseñado para mejorar la fuerza muscular en personas de mediana y avanzada edad deberá seguir los mismos *principios básicos de entrenamiento* que los diseñados para jóvenes o deportistas: principio de la sobrecarga, de la progresión, de la especificidad y la individualidad del entrenamiento, y el principio del desentrenamiento o reversibilidad. Así, este tipo de programa de entrenamiento deberá producir un estímulo lo suficientemente intenso, por encima del que suponen las actividades regulares de la vida diaria, como para producir la respuesta de adaptación deseada (principio de sobrecarga), pero sin llegar a producir agotamiento o esfuerzo indebido. Una vez que el organismo se adapte a este estímulo será necesario que se modifique y/o incremente para que se continúe progresando (principio de la progresión). Si las cargas de entrenamiento no se incrementan progresivamente (entrenamiento de fuerza progresivo), los músculos se adaptarán al nivel de fuerza solicitado y se mantendrán los mismos niveles de fuerza hasta que no se someta al sistema neuromuscular a un estímulo mayor. Cuando una persona deja de entrenar, se producirá la regresión de las adaptaciones conseguidas. Además, el entrenamiento de fuerza deberá ser específico para los grupos musculares más utilizados y con transferencia directa (principio de especificidad) a tareas de la vida diaria como, por ejemplo, sostener una bolsa de la compra o subir escaleras. Por último, las adaptaciones producidas por un programa de entrenamiento de fuerza serán diferentes entre las personas y vendrán determinadas por su nivel de entrenamiento previo y edad. Una persona que se encuentre en buen estado de forma necesitará un tipo de entrenamiento más exigente que aquel que sea inactivo y deba comenzar el programa de entrenamiento con un estímulo menor. En la actualidad, las recomendaciones realizadas por algunas instituciones y autores, suelen ser demasiado intensas y fatigantes y pueden inducir un aumento del riesgo de lesión y sobreentrenamiento, además de no favorecer en mayor medida el desarrollo de la fuerza y masa muscular que los efectos que pudieran surtir de utilizar intensidades inferiores. En los siguientes apartados se hará una revisión de los principales trabajos de investigación que abordan estas controversias y se presentarán algunas recomendaciones para la prescripción del entrenamiento de fuerza en deportistas que se inician (principiantes), en personas de mediana y avanzada edad que lo realizan para minimizar los efectos del envejecimiento sobre el sistema neuromuscular o en aquellas disciplinas deportivas con unas necesidades bajas o medias de fuerza (p.ej. tenis, natación, balonmano, baloncesto o gimnasia rítmica).

COMPONENTES DEL ENTRENAMIENTO PARA EL DESARROLLO DE LA FUERZA

Diversos estudios han mostrado que la realización de un entrenamiento sistemático de la fuerza máxima se acompaña de incrementos significativos en la producción de fuerza, independientemente de la edad y el sexo, siempre y cuando la intensidad y duración del periodo de entrenamiento sean suficientes. Cualquier entrenamiento de fuerza tendrá el objetivo de mejorar una o varias de las siguientes expresiones de fuerza y velocidad: fuerza máxima, fuerza explosiva o máxima potencia. Otras variables relacionadas con el rendimiento, como la velocidad de carrera, velocidad de lanzamiento o el salto, también estarán influenciadas por este tipo de entrenamiento.

Se sabe que diferentes combinaciones de las variables que componen el entrenamiento, como por ejemplo el número de repeticiones por serie, número de series y descanso entre series, originan diferentes respuestas fisiológicas. De manera general, todos los programas de entrenamiento inducen ciertas mejoras de la fuerza máxima, hipertrofia o potencia muscular. Sin embargo, determinadas combinaciones tendrán un especial énfasis de adaptación en unas o en otras manifestaciones de la fuerza. Por ejemplo, en el trabajo realizado por Kraemer y col. (1990) se observó que 3 series de 10 repeticiones máximas (10RM) con 1 minuto de descanso entre series aumentaba significativamente la concentración de lactato y la hormona del crecimiento en comparación con la realización de 3 series a una intensidad de 5RM con 3 minutos de descanso. Por tanto, según estos estudios parece evidente que si el objetivo del entrenamiento es desarrollar la capacidad de tolerar la acidez y aumentar la hipertrofia muscular, este tipo de diseño de entrenamiento será el más efectivo.

Una de las controversias en el entrenamiento de fuerza se deriva del volumen de entrenamiento utilizado. Los estudios experimentales parecen indicar que no se puede aceptar que cuanto más volumen se pueda realizar mejor será el resultado. Esta controversia se ha centrado en el debate relacionado con la utilización de una o más series por ejercicio. Existen propuestas que indican que los programas que utilizan una serie por ejercicio obtienen incrementos de parecida magnitud que aquellos que utilizan múltiples series, mientras otros han mostrado que los programas que utilizan múltiples series obtienen incrementos superiores. Las discrepancias en los resultados pueden venir explicadas por las distintas características de los sujetos a los que se les somete al entrenamiento de la fuerza. Esto significa que es probable que las personas principiantes respondan de manera favorable a una o múltiples series por ejercicio, especialmente durante las semanas iniciales de entrenamiento, mientras que en las personas entrenadas los programas que utilizan múltiples series sean los que proporcionan mejoras superiores en el desarrollo de la fuerza.

La efectividad y resultado de un entrenamiento para el desarrollo de la fuerza depende de la aplicación de una carga adecuada, es decir, de factores como la intensidad, volumen de entrenamiento (series x repeticiones), frecuencia y tipología de los ejercicios recomendados (isocinético/resistencia variable/isoinercial), períodos de recuperación entre las series y la frecuencia de entrenamiento. En los siguientes apartados se especificarán estas características para el desarrollo de la fuerza máxima con la influencia de tipo neural o hipertrófica y el desarrollo de la potencia muscular.

Intensidad

La *intensidad* de un estímulo es el grado de esfuerzo que exige un ejercicio, y en el entrenamiento con cargas viene representado por el peso que se utiliza en términos absolutos o relativos, así como por el número máximo de repeticiones que se pueden realizar con un determinado peso. En función del número de repeticiones que se pueden realizar con una carga determinada hasta la fatiga se producen diferentes efectos sobre la fuerza. Clásicamente se ha comentado que el desarrollo de la fuerza máxima se consigue más eficazmente con cargas elevadas y pocas repeticiones (desde 4RM-10RM), mientras que si se reduce la resistencia y se aumenta el número de repeticiones (12RM-20RM) se favorecerá el desarrollo de la resistencia muscular. A efectos prácticos, el porcentaje de la fuerza dinámica máxima (% de 1RM) correspondiente al peso con el que se podrían efectuar un máximo de 8 a 12 repeticiones se encuentra, aproximadamente, entre el 70-80 %. La zona de 15 a 20 repeticiones corresponde a un 50-60 % de 1RM.

Según algunos autores e instituciones, un programa de entrenamiento recomendado tanto para la población adulta sana como con fines rehabilitadores utilizará intensidades moderadas (8-12RM), mientras que intensidades inferiores (10/12RM hasta 15RM) serán aconsejables para personas con riesgo de accidente cardiovascular o grupos de sujetos de edad avanzada y carácter más frágil (ACSM 1990, 1998a, 1998b; Kraemer y Ratames, 2004). Sin embargo, desde nuestro punto de vista, la realización de repeticiones hasta el fallo con estas intensidades pueden suponer un excesivo, e innecesario esfuerzo, además de ser perjudiciales para la salud y el rendimiento, no sólo para estos grupos de poblaciones especiales (p.ej envejecimiento, obesidad, diabetes), sino también para la mayoría de los deportistas. Por otro lado, existe poca evidencia que muestre el efecto superior de estas intensidades sobre otras más inferiores (p.ej. 20RM-30RM) en personas previamente no entrenadas o en deportes con necesidades medias de fuerza. En un reciente estudio de revisión publicado por Rhea y col, 2003 se concluye, después de analizar 140 trabajos publicados en la literatura científica, que en personas no entrenadas los mayores efectos sobre la fuerza se producen con una intensidad media del 60% de 1RM o aproximadamente 12-15 RM (**Figura 1**). Sin embargo en personas entrenadas, una intensidad media de 80% u 8RM, parece ser la que produce más ganancias en el desarrollo de la fuerza. Esta diferencia puede estar relacionada con la capacidad del sistema neuromuscular de una persona entrenada de recuperarse, y, sobre todo, con la necesidad de utilizar cargas más elevadas para conseguir nuevas adaptaciones. Esto, por tanto, es indicativo de la necesidad de incrementar la carga progresivamente para mejorar el rendimiento.

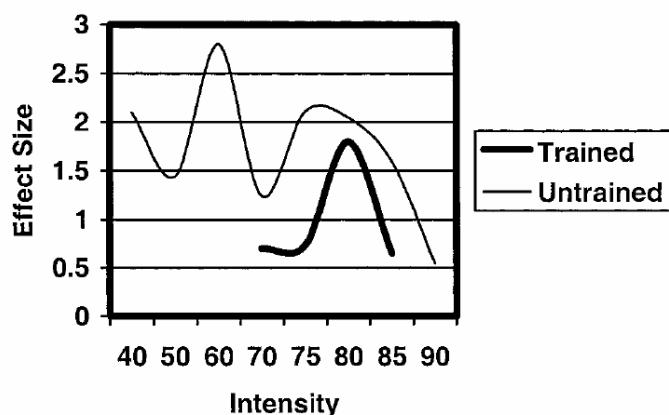


Figura 1. Curva dosis-respuesta de la intensidad (Modificado de Rhea, M.R., B.A. Alvar, L.N. Burkett and S.D. Ball. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. Med. Sci. Sport Exerc. 35: 456-464. 2003)

Clásicamente, los programas para el desarrollo de la hipertrofia muscular han utilizado cargas desde moderadas hasta elevadas, con un alto volumen de entrenamiento. Estos programas han mostrado que pueden producir una elevada concentración de testosterona y hormona del crecimiento en comparación con programas que han utilizado cargas elevadas, poco volumen y períodos largos de recuperación (>3 minutos). Para personas que se inician o aquellos que realizan entrenamiento de fuerza de nivel medio, se recomienda intensidades moderadas (70-85% de 1RM), 8-12 repeticiones por serie (hasta el fallo), y 1-3 series por ejercicio. Para deportistas avanzados, se recomienda que se utilice unas intensidades del 70%-100% de 1RM (hasta el fallo), 1-12 repeticiones por serie, y 3-6 series por ejercicios. Asimismo, se recomienda que el entrenamiento se realice de manera periodizada, es decir, la mayor parte a intensidades de 6-12RM y una menor proporción a 1-6RM. Sin embargo, como se comentará posteriormente, la realización de repeticiones hasta el fallo con estas intensidades puede suponer un excesivo e innecesario estímulo, además de poder llegar a ser perjudicial desde el punto de vista de la salud, la prevención de lesiones y el sobreentrenamiento.

Además del tanto por ciento de la repetición máxima (RM), otros de los criterios para definir con precisión la intensidad y, por tanto, conocer su efecto, es analizar otros factores como por ejemplo: la relación entre las repeticiones por serie realizadas y las repeticiones por serie realizable, así como la velocidad y potencia de ejecución y la densidad (González-Badillo y Gorostiaga 1995, González-Badillo y Ribas 2002).

Dosificación de la intensidad a partir de la relación entre las repeticiones por serie realizadas y las realizables (rep/ser)

Cuando se emplean la relación entre las repeticiones por serie realizadas y las realizable (rep/ser) como forma de expresar la intensidad, lo que se programa es la realización de un número concreto de rep/ser sin determinar ni sujetarse a ningún peso ni a ningún porcentaje de 1RM. En este caso, para definir correctamente la intensidad, también sería importante conocer el número de repeticiones realizable, es decir, definir lo que se ha llamado, el *carácter del esfuerzo* para estas rep/ser (González-Badillo y Ribas 2002). El carácter del esfuerzo, vendría definido por la relación entre las repeticiones por serie realizadas y las realizable. Por ejemplo, si dos sujetos realizan las mismas rep/ser en el ejercicio de media sentadilla, pero resulta que uno realiza 6 pudiendo hacer 6, es decir con un carácter del esfuerzo máximo, y el otro realiza 6 pudiendo realizar 10, estaría haciendo dos entrenamiento completamente diferentes. Los efectos del primero se orientarán al desarrollo de la fuerza y la hipertrofia, mientras que el segundo tendría como efecto una menor incidencia sobre la fuerza máxima (aunque no en todos los casos), algo más sobre la potencia y bastante menos sobre la hipertrofia. Ésta es una manera práctica de programar la intensidad de entrenamiento y que es profusamente explicada por González-Badillo y Ribas (2002).

La creencia más generalizada, especialmente en la literatura científica americana, es que para mejorar la fuerza máxima hay que realizar repeticiones por serie hasta el fallo, que es lo que hemos indicado como propuesta de algunas instituciones y autores unas líneas más arriba en la introducción de este apartado sobre la “intensidad”, cuando se habla de 8/10/12 RM. Sin embargo, diferentes estudios muestran que realizar repeticiones hasta el fallo no es necesario y puede incluso producir sobreentrenamiento y lesiones por sobrecarga. Según González-Badillo y Ribas (2002) las series con carácter del esfuerzo máximo no son necesarias en la mayoría de los deportes. Si se llegan a usar, lo cual sería útil en muy pocas especialidades, las repeticiones por

serie no deberían ser más de 3, y además debería realizarse con muy poca frecuencia. Las especialidades deportivas cuyas exigencias de fuerza no son muy elevadas no necesitan sobrepasar un carácter del esfuerzo superior a 4 rep/serie realizadas sobre 6-7 realizables. En cuanto a lo recomendado para deportistas principiantes en el entrenamiento de fuerza o cuando el entrenamiento de fuerza se realiza para minimizar los efectos del envejecimiento sobre el sistema neuromuscular tanto en la población adulta sana como con fines rehabilitadores se recomienda comenzar con un carácter del esfuerzo de 8-10 rep/serie realizadas sobre 20RM o más y no sobrepasar un carácter del esfuerzo de 4-6 rep/serie realizadas sobre 15RM. La propuesta realizada por algunas instituciones para deportistas principiantes o para grupos de población especiales desde el punto de vista de la salud (p.ej. envejecimiento, diabetes, obesidad) basada en recomendar intensidades superiores y/o un carácter del esfuerzo máximo (p.ej. 10 rep/serie sobre 10 repeticiones realizables) pueden ser excesivas y contraproducentes con la mejora el rendimiento y la obtención de beneficios la mejora de la salud y calidad de vida

Dosificación de la intensidad a partir de la velocidad y potencia de ejecución.

La velocidad de ejecución también es un elemento determinante de la intensidad debido a que tanto las exigencias neuromusculares como los efectos del entrenamiento dependen en gran medida de la propia velocidad de ejecución. Cuando entrenamos con pesos superiores al 70% de 1RM y realizamos más de una repetición por serie, cada repetición se realizará a una velocidad y una potencia diferente. En algunos casos, las únicas repeticiones que sirven para cumplir el objetivo de entrenamiento son las primeras de la serie, por ejemplo, cuando se quiera mejorar la velocidad o la máxima potencia, mientras que en otros casos serán las últimas repeticiones con las que se consigue el objetivo, por ejemplo, si se busca la mejora de la fuerza acompañada de un aumento de la masa muscular. La velocidad de ejecución tiene una gran influencia sobre el reclutamiento de las unidades motoras, pues incluso con cargas tan pequeñas como el 30-40% del máximo, todas las unidades motoras de un músculo se pueden reclutar si la velocidad es la máxima posible (Enoka, 2002), pero con la particularidad del reclutamiento selectivo de las fibras rápidas. Cuanto mayor sea la velocidad ante una resistencia, mayor será la intensidad, y esto tiene influencia sobre el entrenamiento. Por ello, lo importante en la velocidad como factor de intensidad es que sea la máxima posible o casi la máxima posible para la resistencia que se desplaza (González-Badillo y Ribas 2002).

La velocidad también contribuye a definir un buen indicador de la intensidad como es la potencia (potencia= fuerza·velocidad). Cuanta mayor sea la velocidad de desplazamiento de una resistencia, mayor potencia se desarrollará y por tanto, la intensidad será mayor. Una característica importante de la curva fuerza-velocidad es que el área bajo la curva indica la potencia muscular. Si el entrenamiento es capaz de desviar la curva hacia la derecha y arriba, ciertamente aumentara el área bajo la curva y, por tanto, la potencia. Conociendo la potencia necesaria para la ejecución de un ejercicio o una serie de ellos, la curva fuerza-velocidad nos proporcionará un índice aproximado a las condiciones óptimas para obtener el máximo rendimiento deportivo.

La potencia se puede calcular tan sencillamente hallando el producto de la fuerza y la velocidad, pero en realidad como la fuerza no es constante ni la velocidad tampoco, tendríamos que integrar ambas variables para obtener datos más fiables. Con respecto a la potencia, hace ya algunos años se comprobó de manera experimental, con fibras de zorro aisladas, que el pico de máxima potencia se conseguía con el 30% de la fuerza isométrica máxima y a velocidades próximas al 30% de la máxima velocidad absoluta. Asimismo, en un estudio también clásico realizado por Kaneko y col. (1983) se observó que la carga óptima para mejorar la potencia en acciones de flexión de codo se correspondía con el 30% de la fuerza isométrica máxima. En la misma línea,

un estudio reciente pone de manifiesto que cuando se realizan acciones musculares con la extremidad superior y se analiza la curva de potencia, el pico de máxima potencia se obtiene con cargas entre el 30%-45% de 1RM y velocidades próximas al 30% de la máxima velocidad absoluta (Izquierdo y col, 2002). Sin embargo, cuando se realizan con la extremidad inferior la máxima potencia se consigue con resistencias comprendida entre el 60% y 70% de 1RM (Figura 2). Estos resultados sugieren la necesidad de determinar la carga óptima entendida como la resistencia frente a la cual se alcanza los valores más elevados de potencia en un movimiento determinado, que generalmente implica a múltiples músculos y articulaciones. Por tanto, la carga óptima con la que se produce la máxima potencia debe determinarse en función del grupo muscular implicado para la cual se diseñe un programa de entrenamiento (**Figura 3**).

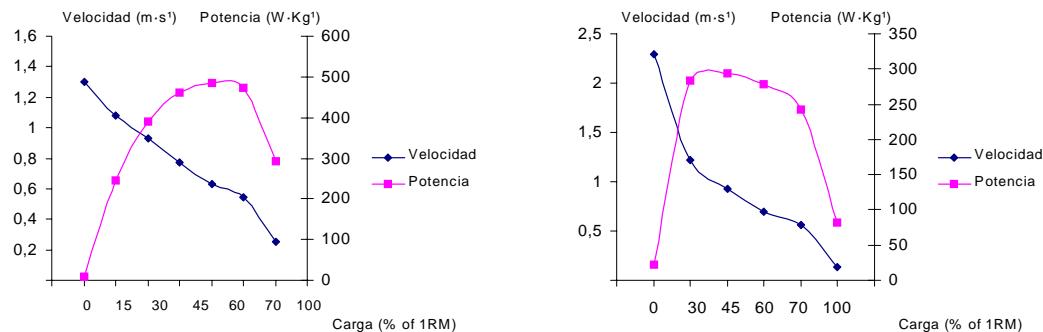


Figura 2. Curvas fuerza-velocidad y fuerza-potencia para acciones musculares concéntricas en el test de sentadilla completa (parte izquierda) y el test de “press de banca” (parte derecha) (Modificado de Izquierdo M, Häkkinen K, González-Badillo JJ, Ibañez J, Gorostiaga E (2002) Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremity muscles in athletes from different sports events. Eur J Appl Physiol 87:264-271).

En esta línea, también se ha observado recientemente que la carga con la que se alcanza la máxima potencia durante acciones que utilizaban la musculatura de la extremidad inferior (ejercicio de sentadilla) y superior (ejercicio de pectoral en banca) también varía en función de la disciplina deportiva que se realice. En un grupo de jugadores de balonmano (HP), corredores de medio fondo (MDR) y en un grupo control de estudiantes universitarios (C) la máxima potencia en el ejercicio de sentadilla se alcanza con una carga del 60% de 1RM, mientras que en el grupo de halterófilos (WL) y ciclistas de ruta lo consiguen con la carga del 45% de 1RM. Por otro lado la máxima potencia para la extremidad superior se produce con una carga del 30% para WL y HP y con una carga del 45% para RC, MDR y C. Además la velocidad que se asocia a la máxima potencia en las extremidades inferiores fue menor ($\approx 0.75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) que la de la extremidad superior ($\approx 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (figura 3). Desde el punto de vista práctico estos resultados sugieren que cuando se el objetivo del entrenamiento sea desarrollar la máxima potencia habrá que hacerlo a distintos porcentajes de la fuerza máxima según los tipos de ejercicios y el tipo de deportistas involucrados (Izquierdo y col. 2002)

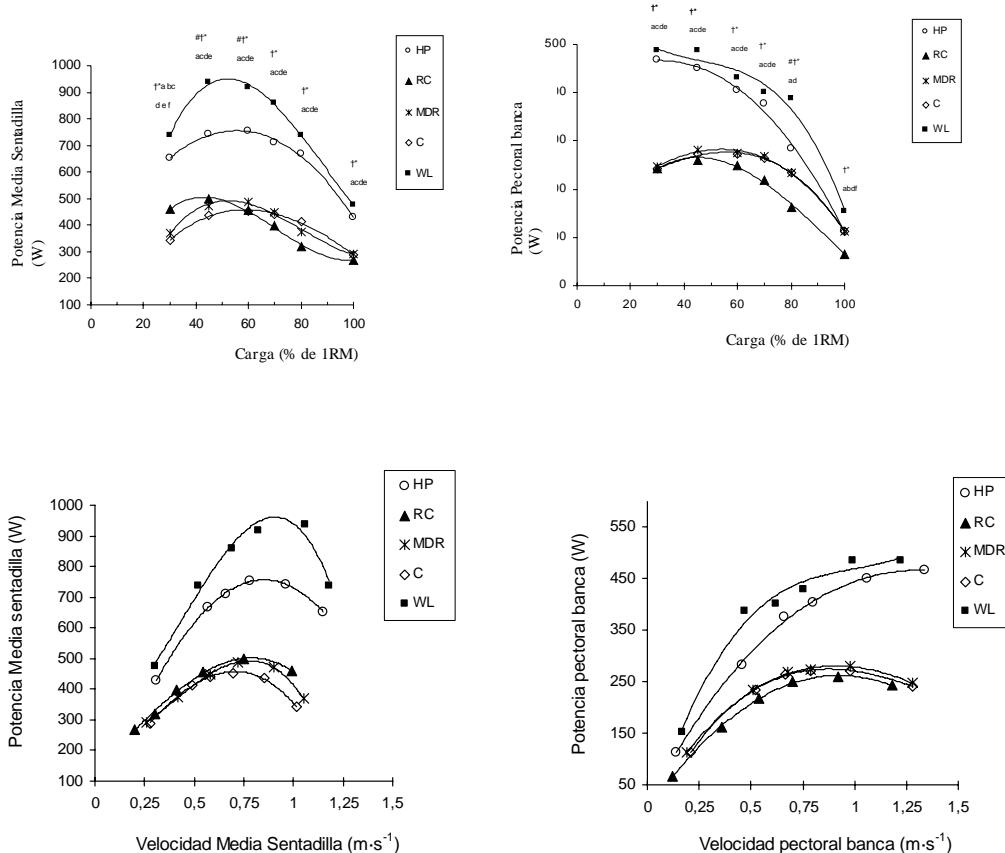


Figura 3. Curva carga-potencia en la acción de media sentadilla y pectoral en banca en halterófilos (WL), jugadores de balonmano (HP), medio fondistas (MDR), ciclistas de ruta (RC) y controles (C). [†] y ^{*} denota diferencia significativa ($p<0.05$) comparado con RC. ^{a,b} y ^c denota diferencia significativa ($p<0.05$) comparado con MDR. ^{d,e} y ^f denota diferencia significativa ($p<0.05$) comparado con C. [#] denota diferencia significativa ($p<0.05$) comparado con HP. Valores son Media \pm SD. (Modificado de Izquierdo M, Häkkinen K, González-Badillo JJ, Ibañez J, Gorostiaga E (2002) Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremity muscles in athletes from different sports events. Eur J Appl Physiol 87:264-271).

La pérdida de velocidad no sólo influye cuando se produce durante la realización de una serie, sino que también lo hace cuando se produce dentro de una misma repetición. En un estudio realizado por Newton y col. (1996) se observó que cuando hacemos un ejercicio con peso (pectoral de banca, en este caso), al final del movimiento la velocidad tiende a cero, es decir, necesariamente se produce una fase de desaceleración, que es más pronunciada cuanto menor es el porcentaje de 1RM con el que se entrena. Entonces, parece evidente sugerir que si se reduce esta fase de pérdida de velocidad, los efectos serán más positivos. La máxima reducción se conseguirá si el ejercicio se realiza lanzando la resistencia (normalmente, la barra) en lugar de fijarla en las manos al final del movimiento. En la **figura 4** se puede observar cómo la diferencia entre lanzar la barra o realizar el ejercicio de manera concéntrica, se traduce en un aumento de la velocidad y de la potencia. Asimismo, se observó que durante el ejercicio de lanzamiento se aumentaba la actividad electromiográfica de los músculos implicados. Por tanto, como se puede observar, la velocidad de ejecución incide en la intensidad de los ejercicios y determina la dirección de sus efectos. Por ello, González y Ribas, 2002, sugieren que no solo es necesario conocer y aplicar la intensidad (% o rep/ser), sino que hay que cuidar también la forma de ejecución (**figura 4**).

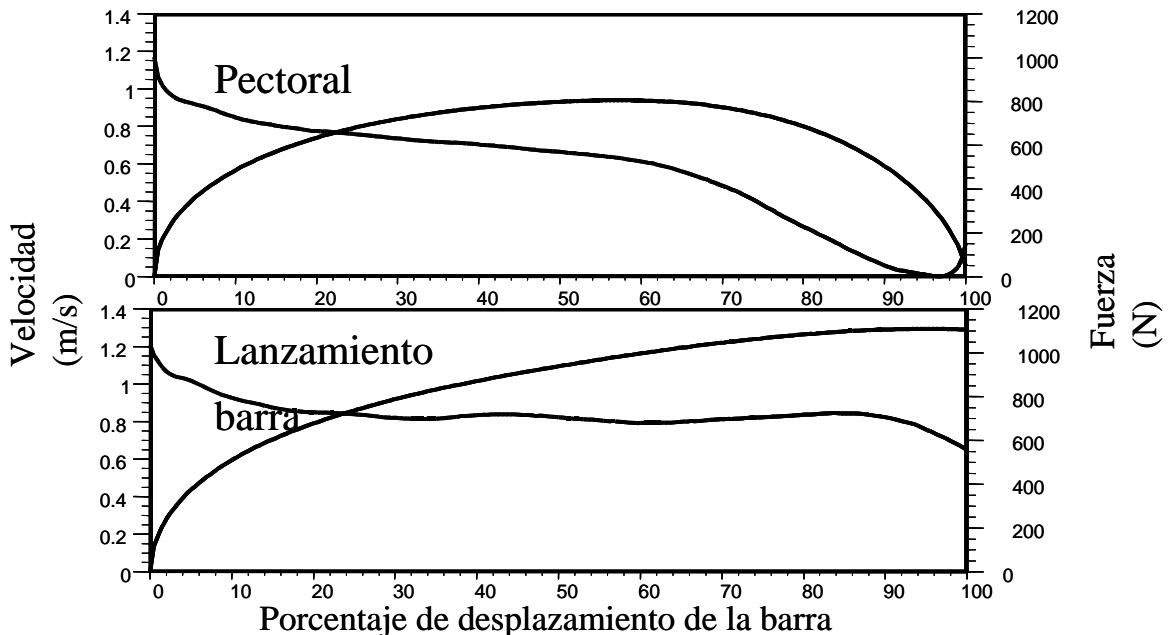


Figura 4. Velocidad y fuerza del movimiento a través de todo el recorrido de la barra según la forma de ejecución: pectoral normal en banca o barra lanzada a la máxima velocidad (Modificado de Newton RU, Kraemer WJ, Häkkinen K, Humphries BJ, Murphy AJ (1996) Kinematics, kinetics and muscle activation during explosive upper body movements. J Appl Biomech 12:31-43).

En la medida que se realizan repeticiones hasta el agotamiento con un determinado peso (% de 1RM), la velocidad de ejecución se reduce debido a la aparición de la fatiga (Izquierdo y cols. 2006a). De manera general, se puede observar una reducción no intencional de la velocidad con el aumento del número de repeticiones (**Figura 5A**). Sin embargo, no hay muchos estudios que hayan analizado el efecto de diferentes cargas de entrenamiento y el número de repeticiones sobre la pérdida de velocidad. En un reciente estudio realizado en el Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte del Gobierno de Navarra se ha observado que cuando se realizan repeticiones hasta el agotamiento con diferentes pesos (% de 1RM), la forma clásica de la curva de pérdida de la velocidad de ejecución (expresada como porcentaje de la alcanzada en la primera repetición) y el número de repeticiones realizadas (expresadas en porcentaje del número total de repeticiones realizadas) es similar cuando se realiza con diferentes porcentajes de una repetición máxima (60%, 65%, 70% y 75% de 1RM) (**Figura 5B**). Este es un interesante resultado que permite por primera vez conocer que independientemente de la intensidad que se utilice, la reducción de la velocidad comienza a ser significativa cuando se realiza el 30% del número de repeticiones realizable. Este umbral de velocidad corresponde aproximadamente con un 89% de la velocidad máxima de ejecución que se puede realizar en las primeras repeticiones. Esto implica que para las diferentes intensidades examinadas y con el propósito de garantizar una elevada velocidad de ejecución del ejercicio, el número de repeticiones realizadas no deberá exceder el 30% del número posible de repeticiones realizables hasta el agotamiento con una determinada intensidad (Izquierdo y cols. 2006a).

En resumen, la potencia máxima es el óptimo producto de la fuerza y la velocidad, es decir, la situación en la que se obtiene el máximo rendimiento muscular. Por tanto, para la mejora de la potencia hay que buscar también la mejora de la fuerza. Cuando la resistencia a vencer es ligera, la fuerza máxima tiene poca importancia en la producción de potencia, pero su influencia aumenta a medida que se incrementa la resistencia. El entrenamiento con los porcentajes con los que se alcanza la máxima potencia en cualquier ejercicio parece ser el estímulo más adecuado para mejorar la potencia. Pero no en todos los ejercicios se alcanza la máxima potencia con los

mismos porcentajes. Asimismo, también hay que tener en cuenta que la mejora de la potencia también tiene un componente de fuerza importante. No podemos olvidar que la potencia es el producto de la fuerza y la velocidad. Por esta razón, aunque diferentes estudios, indican que la mejora de la potencia de un ejercicio se estimula y mejora en mayor medida cuando se entrena con la resistencia que permite alcanzar el máximo valor de potencia, la utilización exclusiva de estas resistencias probablemente no ofrecería los mejores resultados de manera permanente. Parece que para mejorar la potencia máxima, la vía que tiene más posibilidades es la mejora de la fuerza (González-Badillo y Ribas 2002).

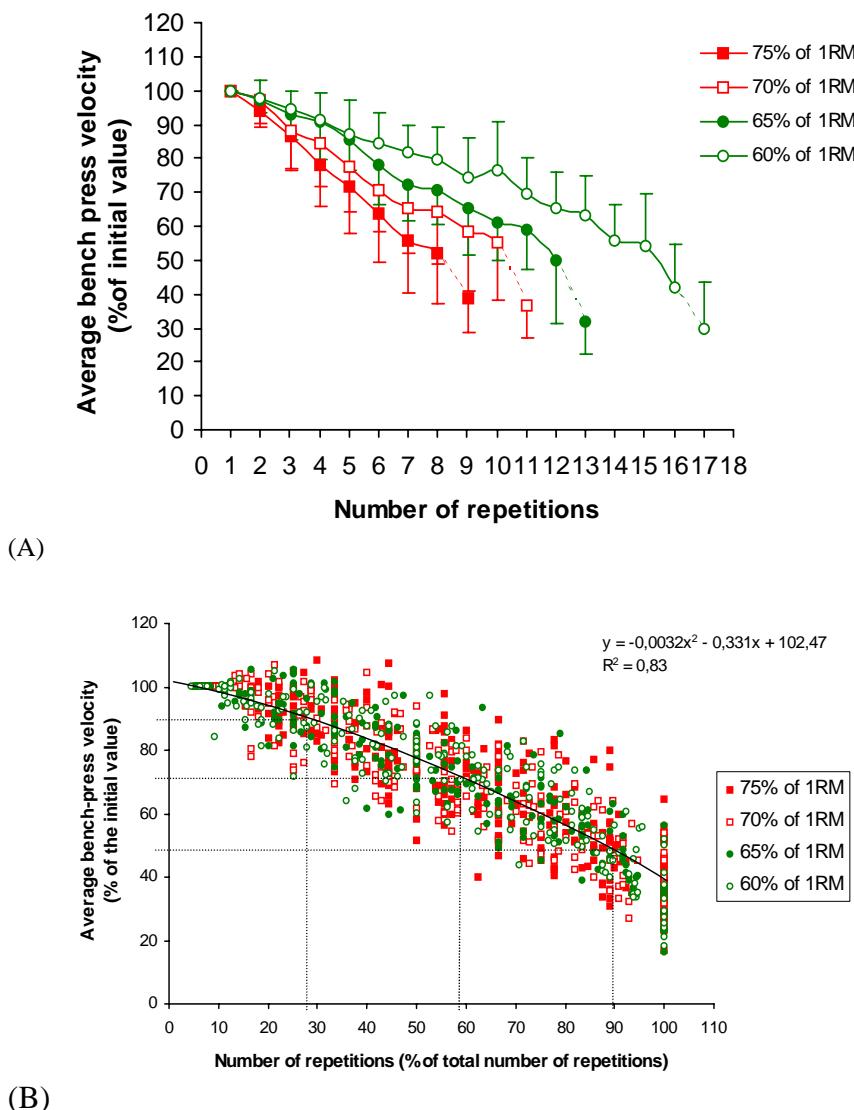


Figura 5. A) Cambios en la velocidad media de ejecución durante la realización de repeticiones hasta el agotamiento con diferentes porcentajes de 1RM (60, 65, 70, y 75%). Valores de velocidad expresados como porcentaje de la velocidad de ejecución alcanzada en la primera repetición. B) Relación entre la velocidad de ejecución alcanzada durante cada repetición (expresada en porcentaje de la alcanzada en la primera repetición) y el número de repeticiones realizadas (expresado en porcentaje del número total de repeticiones realizadas hasta el agotamiento) con diferentes porcentajes de 1RM (Modificado de Izquierdo M, González-Badillo JJ, Häkkinen K, Ibañez J, Kraemer WJ, Altadill A, Eslava J, Gorostiaga EM. (2006a). 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).

Volumen de entrenamiento

El *volumen de entrenamiento* es una medida de la cantidad total de ejercicio efectuado. Se expresa en función del número de repeticiones, kilogramos totales levantados, o duración de la sesión o período de entrenamiento. Clásicamente, los programas de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza recomiendan realizar tres series de 6-12 repeticiones, durante 3 días a la semana. Sin embargo, se desconoce cuál es el volumen óptimo de entrenamiento para personas entrenadas o sin experiencia en el entrenamiento de fuerza (aquellas con menos de 1 año de entrenamiento).

Una de las controversias en el entrenamiento de fuerza deriva del volumen de entrenamiento utilizado. Los estudios experimentales parecen indicar que no se puede aceptar que cuanto más volumen se pueda realizar mejor será el resultado. Esta controversia se ha centrado en el debate sobre el número de series que proporciona mejores resultados o cuál es el número mínimo de series que es suficiente para mejorar el rendimiento. Unos estudios sostienen que utilizando una serie por ejercicio se obtienen incrementos de parecida magnitud que utilizando múltiples series, mientras otros han mostrado que los programas que utilizan múltiples series obtienen incrementos superiores. Estos datos sugieren que personas principiantes responden de manera favorable a una o múltiples series por ejercicio, especialmente durante las semanas iniciales de entrenamiento. Mientras que en personas entrenadas los programas que utilizan múltiples series son los que consiguen mejoras superiores en el desarrollo de la fuerza.

La mayoría de los trabajos de investigación en personas que previamente no habían entrenado fuerza muestran que durante los primeros 3-4 meses de entrenamiento de fuerza, los programas que utilizan una serie por ejercicio, obtienen incrementos de parecida magnitud que aquellos que utilizan múltiples series. Por ello, tradicionalmente se ha recomendado utilizar una sola serie por ejercicio durante los primeros 6 meses de entrenamiento en personas mayores previamente inactivas. Este tipo de programas necesitan menos tiempo para su realización y producen beneficios similares sobre la salud y el estado de forma en personas mayores previamente inactivas. Sin embargo, en un reciente estudio utilizando las técnicas de meta-análisis para analizar 140 trabajos de investigación se observó que tanto las personas entrenadas como las no-entrenadas conseguían los mayores aumentos (hasta el doble de los efectos de utilizar una serie), con una media de 4 series por grupo muscular (Rhea y col, 2003) (**Figura 6**). Estos resultados parecen poner de manifiesto que las personas poco entrenadas pueden obtener importantes mejoras de la fuerza realizando desde el mínimo (1 serie) hasta el máximo (4 series) número de series por ejercicio. Si esto es así, lo más razonable es que en las primeras etapas del entrenamiento se emplee el mínimo estímulo que sea rentable, y, por tanto, lo recomendable es que se empiece con una o dos series por ejercicio para progresar a medio o largo plazo hasta las cuatro series.

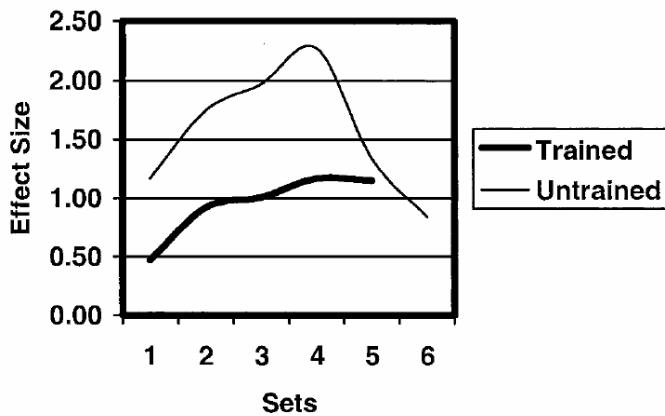


Figura 6. Curva dosis-respuesta de la volumen (Modificado de Rhea, M.R., B.A. Alvar, L.N. Burkett and S.D. Ball. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med. Sci. Sport Exerc.* 35: 456-464. 2003)

Sin embargo, en sujetos entrenados especialistas en entrenamiento de fuerza se ha observado que el máximo volumen realizable no proporciona los mejores resultados. En un reciente estudio realizado con el objetivo de examinar durante 10 semanas los efectos de diferentes volúmenes de entrenamiento de fuerza [volumen bajo (1923 repeticiones), volumen moderado (2481 repeticiones) y volumen alto (3030 repeticiones)] utilizando los mismo ejercicios e intensidades relativas, pero diferente numero de series y repeticiones con cada intensidad relativa en los movimientos de arrancada, dos tiempos y sentadilla se observó que un grupo de halterófilos de categoría junior optimizaba sus máximos resultados cuando utilizaban el volumen moderado, que suponía el 85% del máximo volumen que podían tolerar. Asimismo, es importante destacar, que a diferencia de lo que cabría esperar, el grupo que utilizó un volumen elevado de entrenamiento obtuvo similares o incluso inferiores mejoras que las observadas en el grupo que utilizó un volumen bajo de entrenamiento. Estas observaciones tienen una gran importancia práctica para el diseño individual del volumen de entrenamiento y contradicen la teoría generalmente aceptada de que mayores volúmenes de entrenamiento de fuerza pueden producir superiores ganancias de fuerza que volúmenes moderados. (González-Badillo y col. 2005) (Figura 7)

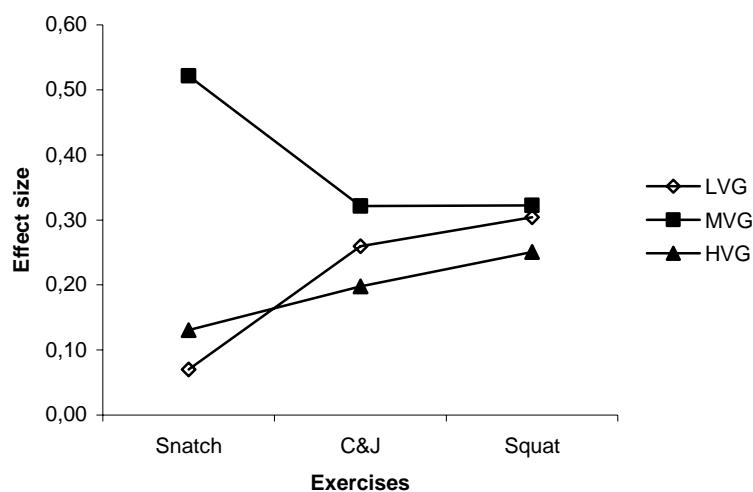


Figura 7. Tamaño del efecto para los movimientos halterófilos de arrancada, dos tiempos y sentadilla después de un programa de 10 semanas de entrenamiento de fuerza realizado con diferentes volúmenes de entrenamiento [LVG; volumen bajo (1923 repeticiones), volumen moderado; MVG (2481 repeticiones) y volumen alto; HVG (3030 repeticiones)], pero con la misma intensidad media y máxima relativas. (Modificado de González-Badillo JJ, Gorostiaga EM, Arellano R, Izquierdo M. (2005). Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 19(3): 689-697)

En esta línea, una vez identificado el volumen óptimo de entrenamiento, se realizó otro estudio durante 10 semanas de entrenamiento, con el objetivo de examinar el efecto de realizar los mismos ejercicios y el mismo volumen óptimo (expresado como número total de repeticiones realizadas con una carga igual o superior al 60% de 1RM), pero esta vez realizándose con tres volúmenes idénticos y tres valores de intensidad media y máxima relativas diferentes. El número de repeticiones con cargas comprendidas entre el 90 y el 100% de 1RM fue el siguiente: volumen bajo; LVG (46 repeticiones), volumen moderado; MVG (93 repeticiones), y volumen alto; HVG (184) repeticiones. En este estudio se observó que levantadores de pesas de categoría júnior pueden optimizar la ganancia de fuerza después de participar en 10 semanas de entrenamiento realizando un 50% del máximo número de repeticiones que pueden tolerar con intensidades superiores al 90% de 1RM. (González-Badillo y col. 2006).

¿Necesitamos hacer entrenamientos que utilicen repeticiones hasta el agotamiento?

La creencia más generalizada, especialmente en la literatura científica Americana, es que para mejorar la fuerza máxima hay que realizar repeticiones por serie hasta el fallo. Sin embargo, diferentes estudios que muestran que realizar repeticiones hasta el fallo no es necesario y puede incluso producir sobreentrenamiento y lesiones por sobrecarga. Según González-Badillo y Ribas (2002) las series con carácter del esfuerzo máximo no son necesarias en la mayoría de los deportes. Si se llegan a usar, lo cual sería útil en muy pocas especialidades, las repeticiones por serie no deberían ser más de 3, y además debería realizarse con muy poca frecuencia. Las especialidades deportivas cuyas exigencias de fuerza no son muy elevadas no necesitan sobrepasar un carácter del esfuerzo superior a 4 rep/serie realizadas sobre 6-7 realizables.

En un reciente estudio (Izquierdo y col. 2006b), se comparó la eficacia que tenía un programa clásico de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza y la potencia muscular con un programa de entrenamiento de similar intensidad y volumen pero que producía un menor grado de fatiga. Los resultados, muestran que durante las 16 semanas de entrenamiento que duró este estudio, los dos tipos de programas mejoraron de manera similar la fuerza máxima de los brazos (23%) y de las piernas (22%), la potencia muscular de los brazos (27%) y la resistencia muscular (66%). Sin embargo el programa de entrenamiento que requería un menor nivel de fatiga, fue superior en la mejora de potencia muscular observada en las piernas (34%), en comparación con las producidas por el programa clásico de entrenamiento (26%). Además se observó, que el programa de entrenamiento que producía un mayor nivel de fatiga, estaba asociado con unas concentraciones superiores de hormonas relacionadas con el cansancio muscular (figura 8). Estos resultados contrastan con la creencia más generalizada, que para mejorar la fuerza muscular es necesario realizar sesiones de entrenamiento que produzcan un gran nivel de cansancio muscular, realizando series de repeticiones hasta el agotamiento. Los resultados muestran, en un grupo de deportistas de alto nivel, los efectos positivos que tiene realizar un programa de entrenamiento que no nos lleve hasta el agotamiento muscular, para el óptimo desarrollo de la fuerza y potencia muscular (Izquierdo y col. 2006b). Esta filosofía de entrenamiento permitirá conseguir superiores ganancias de cualidades como la fuerza y la potencia muscular, al mismo tiempo que evitará un estancamiento en la mejora de estas cualidades y lesiones por sobrecarga. Aspectos de gran importancia, a tener en cuenta, en el alto rendimiento deportivo.

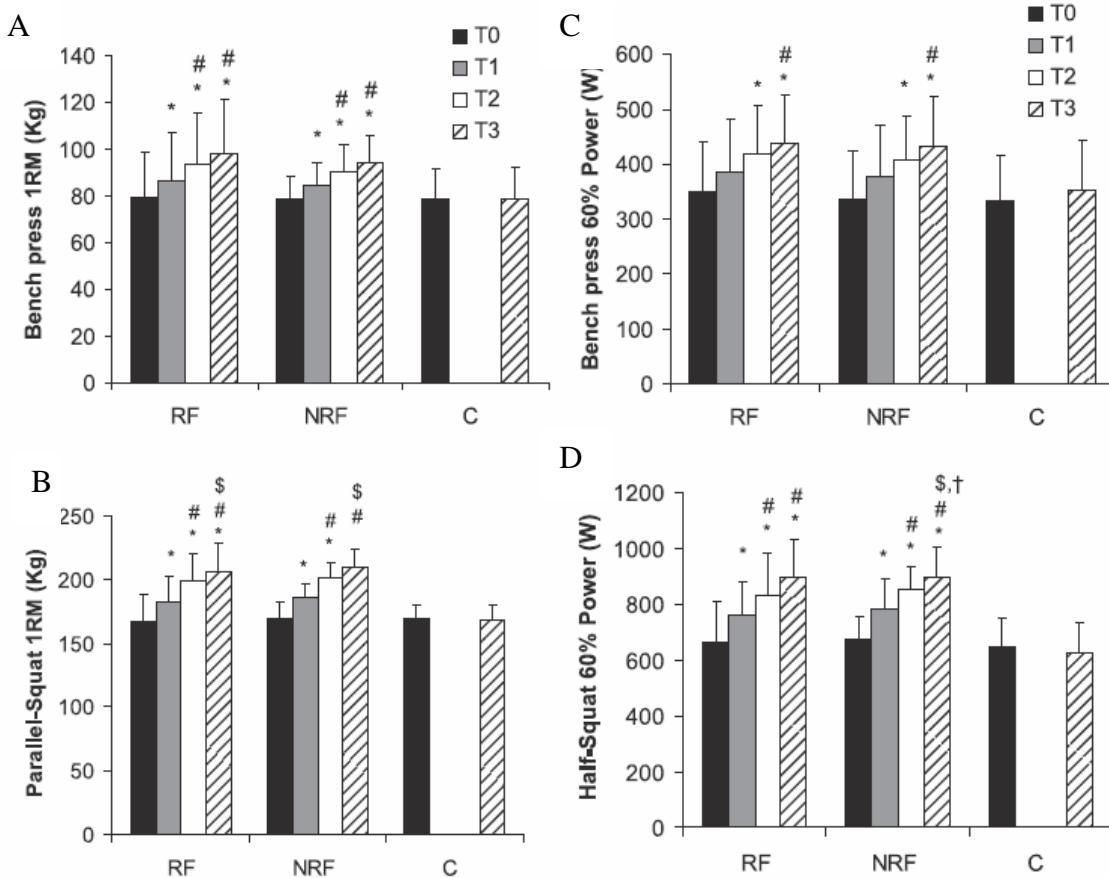


Figura 8. Fuerza máxima y potencia muscular durante los ejercicios de pectoral en banca (a y c) y media sentadilla (b y d), respectivamente, durante el periodo experimental. * $p<0.05$ Con respecto a T0. # $p<0.05$ con respecto a T1. \$ $p<0.05$ con respecto a T2. NRF – grupo de no repeticiones hasta el fallo, RF - grupo de repeticiones hasta el fallo, C – grupo control. (Modificado de Izquierdo M, Ibañez J, González-Badillo JJ, Häkkinen K, Ratamess NA, Kraemer WJ, French DN, Eslava J, Altadill A, Asiaín X, Gorostiaga EM. (2006b). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength and muscle power gains. Journal of Applied Physiology. May;100(5):1647-56.)

Velocidad de la acción muscular

Anteriormente se ha comentado con más detalle que la velocidad de ejecución también es un elemento determinante de la intensidad debido a que tanto las exigencias neuromusculares como los efectos del entrenamiento dependen en gran medida de la propia velocidad de ejecución (**Figuras 2-5**). La velocidad de ejecución de la acción muscular también afecta las respuestas metabólicas, neurales y cardiovasculares a un ejercicio de entrenamiento de fuerza. La velocidad de ejecución tiene una gran influencia sobre el reclutamiento de las unidades motoras, pues incluso con cargas del 30-40% del máximo todas las unidades motoras de un músculo se pueden reclutar si la velocidad es la máxima posible, pero con la particularidad que la participación de fibras rápidas es preponderante, pues su frecuencia de estímulo es mayor que la de las fibras lentas (González-Badillo y Ribas 2002).

De manera general se recomienda que en personas no entrenadas se utilicen velocidades bajas (1-2 s concéntrico: 1-2 segundos excéntrico) y moderadas (2-3 s concéntrico: 2-3 s excéntrico). En entrenamientos de fuerza de nivel medio, se recomienda velocidades moderadas de ejecución. En

personas entrenadas, se recomienda para maximizar la mejora de la fuerza que se utilice un *continuum* de velocidades desde no intencionadamente bajas (velocidad utilizada durante repeticiones con cargas de alta intensidad en las que la carga o la fatiga limitan la velocidad de movimiento), hasta velocidades elevadas.

Cuando el objetivo de entrenamiento es la mejora de la potencia, tanto el número de repeticiones por serie como el carácter del esfuerzo deberían mantenerse mientras que la potencia no baje un porcentaje determinado. Por otra parte, la velocidad siempre será la máxima posible en todos los casos. Es decir, se recomienda que se alcance la máxima velocidad posible ante cada carga.

En resumen, las recomendaciones realizadas en la actualidad por algunas instituciones y autores en el ámbito del entrenamiento de fuerza y potencia muscular, se alejan de la realidad. Este tipo de recomendaciones suelen ser demasiado intensas y fatigantes y pueden inducir un aumento del riesgo de lesión y sobreentrenamiento, además de no favorecer en mayor medida el desarrollo de la fuerza y masa muscular que los efectos que pudieran surtir de utilizar intensidades inferiores. La creencia más generalizada, especialmente en la literatura científica americana, es que para mejorar la fuerza máxima hay que realizar repeticiones por serie hasta el fallo (p.ej. 8/10/12 RM) Sin embargo, diferentes estudios muestran que realizar repeticiones hasta el fallo no es necesario y puede incluso producir sobreentrenamiento y lesiones por sobrecarga. Las series con carácter del esfuerzo máximo no son necesarias en la mayoría de los deportes. Si se llegan a usar, lo cual sería útil en muy pocas especialidades, las repeticiones por serie no deberían ser más de 3, y además debería realizarse con muy poca frecuencia. Las especialidades deportivas cuyas exigencias de fuerza no son muy elevadas no necesitan sobrepasar un carácter del esfuerzo superior a 4 rep/serie realizadas sobre 6-7 realizables.

En cuanto a lo recomendado para deportistas principiantes en el entrenamiento de fuerza o cuando el entrenamiento de fuerza se realiza para minimizar los efectos del envejecimiento sobre el sistema neuromuscular tanto en la población adulta sana como con fines rehabilitadores se recomienda comenzar con un carácter del esfuerzo de 8-10 rep/serie realizadas sobre 20RM o más y no sobrepasar un carácter del esfuerzo de 4-6 rep/serie realizadas sobre 15RM. La propuesta realizada por algunas instituciones para deportistas principiantes o para grupos de población especiales desde el punto de vista de la salud (p.ej. envejecimiento, diabetes, obesidad) basada en recomendar intensidades superiores y/o un carácter del esfuerzo máximo (p.ej. 10 rep/serie sobre 10 repeticiones realizables) pueden ser excesivas y contraproducentes para la mejora del rendimiento y la obtención de beneficios en la mejora de la salud y calidad de vida

BIBLIOGRAFIA

- ACSM (1990) Position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 22: 265- 274.
- ACSM (1998a) Position Stand on Exercise and physical Activity for older Adults. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 30 (6) 992-1008.
- ACSM (1998b) Position Stand on the Recommended Quantity and Quality of Exercise for developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness, and Flexibility in Healthy Adults. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 30 (6) 975-991.

- Enoka RM (2002). *Neuromechanics of human movement, 3^a edición. Ed. Human Kinetics. USA*
- González-Badillo JJ Ribas JJ. (2002) Programación del entrenamiento de fuerza. Ed Inde Publicaciones. Barcelona
- González JJ, Gorostiaga E (1995) Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo. INDE. Barcelona.
- González-Badillo JJ, Gorostiaga EM, Arellano R, Izquierdo M. (2005). Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes. *J Strength Cond Res.* 19(3): 689-697
- González-Badillo JJ, Izquierdo M, Gorostiaga EM. (2006). Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in competitive weightlifters. *J Strength Cond Res.* 20 (1): 73-81.
- Izquierdo M, Häkkinen K, González-Badillo JJ, Ibañez J, Gorostiaga E (2002) *Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremity muscles in athletes from different sports events.* Eur J Appl Physiol 87:264-271
- Izquierdo M, Ibáñez J Häkkinen K, Kraemer WJ, Ruesta M, Gorostiaga E. (2003) *Maximal strength and power, muscle mass, endurance and serum hormones in weightlifters and road-cyclists.* J Sport Sci. 22:465-478, 2004
- Izquierdo M, Ibáñez J, Häkkinen K, Kraemer WJ, Larrión JL, Gorostiaga EM. (2004). Once weekly resistance training and once weekly endurance training enhances neuromuscular and cardiovascular performance in older men. *Med Sci Sports Exer.* 36(3): 435-443.
- Izquierdo M, González-Badillo JJ, Häkkinen K, Ibáñez J, Kraemer WJ, Altadill A, Eslava J, Gorostiaga EM. (2006a). 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.
- Izquierdo M, Ibáñez J, González-Badillo JJ, Häkkinen K, Ratamess NA, Kraemer WJ, French DN, Eslava J, Altadill A, Asiaín X, Gorostiaga EM. (2006b). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength and muscle power gains. *Journal of Applied Physiology.* May;100(5):1647-56.
- Izquierdo M (2007). Biomecánica y sistema neuromuscular en la Actividad física y el Deporte. Editorial Médica Panamericana, Madrid
- Kaneko M, Fuchimoto T, Toji H, Suei K (1983) Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand J Sports Sci* 5: 50-55.
- Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R, Frykman P, Mccurry D y Fleck S. (1990) Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J App. Physiol* 69 (4): 1442-1450.

- Kraemer WJ, Ratamess NA (2004) Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription *Med Sci Sports Exerc* 4:674-688.
- Newton RU, Kraemer WJ, Häkkinen K, Humphries BJ, Murphy AJ (1996) Kinematics, kinetics and muscle activation during explosive upper body movements. *J Appl Biomech* 12:31-43.
- Rhea, M.R., B.A. Alvar, L.N. Burkett and S.D. Ball. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med. Sci. Sport Exerc.* 35: 456-464. 2003
- Robinson JM, Stone MH, Johnson, RL, Penland CM, Warren BJ. and Lewis RD. Effects of different weight training exercise/rest intervals on strength, power, and high intensity exercise endurance. *J Strength Cond Res.* 9(4):216–221. 1995.