

Monograph

Entrenamiento hasta el Fallo y Más Allá en Programas Convencionales de Ejercicios con Sobrecarga

Jeffrey M Willardson¹, Gabriel J Wilson² y Layne Norton²

¹*Kinesiology and Sports Studies Department, Eastern Illinois University, Charleston, Illinois.*

²*Division of Nutritional Sciences, University of Illinois, Urbana-Champaign, Illinois.*

RESUMEN

Llegar al fallo de manera intencional durante las series de ejercicios con sobrecarga es una práctica común que podría ser muy beneficiosa para estimular la hipertrofia. Sin embargo, entrenar hasta el fallo muscular de manera muy frecuente puede dar como resultado disminuciones en la concentración de reposo de testosterona y contribuir al síndrome de sobreentrenamiento. La investigación indica que la mayor efectividad se produce cuando el entrenamiento al fallo lleva a cabo consistentemente en ciclos de 6 semanas, intercalados con ciclos exclusivos de entrenamiento en los que no se llega al fallo durante periodos iguales. Los preparadores físicos deberían tener en cuenta el estado de entrenamiento y las metas de los atletas y el momento de un ciclo de entrenamiento anual para determinar si las series se llevarán a cabo hasta el fallo o finalizarán sin alcanzarlo.

Palabras Clave: fatiga, reclutamiento de unidades motoras, periodizado, hormona del crecimiento, fuerza, hipertrofia

INTRODUCCION

Durante los últimos 30 años, la gran cantidad de literatura sobre el tema del ejercicio con sobrecarga ha alcanzado enormes proporciones. La prescripción del ejercicio con sobrecarga incluye diferentes variables, tales como la acción muscular, la carga, el volumen, la selección de los ejercicios, el orden de los ejercicios, los intervalos de recuperación entre las series, la velocidad de la acción muscular y la frecuencia de las sesiones. La manera en la que están estructuradas estas variables a lo largo del tiempo determina las adaptaciones musculares específicas que se asocian con características medibles, tales como la potencia, la fuerza absoluta, la hipertrofia y la resistencia muscular localizada (2, 5).

Un fenómeno que no se estudia tan comúnmente y que puede ocurrir durante el entrenamiento con ejercicios de sobrecarga es llegar hasta el fallo al final de una serie de repeticiones. El fallo en general se produce inicialmente durante la fase concéntrica de una repetición cuando los músculos no pueden producir el torque suficiente para levantar una determinada carga, más allá de un ángulo articular crítico o punto de estancamiento (13, 23, 26). En este momento, un ayudante puede suministrarle al levantador la asistencia necesaria para progresar en el punto de estancamiento y así pueda completar la repetición; esto se conoce como repetición asistida por un compañero (Figuras 1, 2), (1, 7). No obstante, llegar al fallo durante la fase concéntrica no indica que los músculos estén fatigados al máximo. Los levantadores en general pueden generar el torque suficiente para extender una serie con la técnica de repeticiones adicionales asistidas por un compañero y de series descendentes (10) (Tabla 1 y Figura 3).

Llegar al fallo de manera intencional durante las series de ejercicios con sobrecarga es una práctica común en los entornos recreacionales y de acondicionamiento deportivo. Sin embargo, a veces el fallo puede producirse de manera involuntaria debido a la fatiga acumulada. Esta circunstancia a menudo se produce durante la última serie de un ejercicio, cuando se intenta mantener una cantidad de repeticiones prescrita. Por el contrario, durante la evaluación de la fuerza, se llega al fallo de manera intencional ya que el objetivo es realizar una repetición máxima (RM) (e.g., 6 o 10 RM) con una carga submáxima.

El entrenamiento hasta el fallo se ha estudiado con menos frecuencia en relación con otras variables prescritas y bien establecidas (e.g., intensidad y volumen, cantidad de series, rangos de repeticiones). Anecdóticamente, los beneficios de entrenar al fallo están firmemente respaldados entre los culturistas (24) y pueden ser muy aplicables para los programas orientados a la hipertrofia. La posición del Colegio Americano de Medicina del Deporte del 2009 no incluyó una discusión específica ni recomendaciones sobre la aplicación del entrenamiento hasta el fallo (2). La decisión para prescribir series de ejercicios con sobrecarga con el propósito específico de llegar al fallo puede depender de factores tales como el estado de entrenamiento, los objetivos, y el momento del ciclo de entrenamiento anual. Baechle et al. (5) recomendaron que los atletas realicen series completas de RM un día a la semana y series exclusivas para no llegar al fallo los demás días de la semana.



Figura 1. (a, b) Press de hombros con mancuerna por encima de la cabeza, con ayuda de un compañero; observar la posición correcta de las manos del ayudante sobre las muñecas del levantador.

Por lo tanto, el entrenamiento al fallo puede y debería periodizarse, al igual que otras variables prescritas y bien

establecidas (e.g., intensidad y volumen, cantidad de series, rangos de repeticiones). Los entrenadores deberían tener en cuenta los objetivos del entrenamiento y luego controlar de manera estricta la cantidad de series que se realizan hasta llegar al fallo. El propósito de este artículo será discutir las aplicaciones de la investigación existente acerca del entrenamiento hasta el fallo y sin llegar al fallo, dentro del contexto de los diferentes objetivos de entrenamiento, tales como la potencia, la fuerza máxima, la hipertrofia y la resistencia muscular localizada. Además, la utilización de técnicas tales como las series extendidas, las repeticiones asistidas por un compañero y las series descendentes se discutirán con aplicaciones basadas en la literatura científica.

INVESTIGACION: ENTRENAMIENTO HASTA EL FALLO MUSCULAR VERSUS ENTRENAMIENTO SIN LLEGAR AL FALLO MUSCULAR

Uno de los desafíos más grandes de comparar la eficacia de los métodos de entrenamiento hasta el fallo versus aquellos en los que no se llega al fallo es la cuestión de equiparar el volumen de entrenamiento. Si se define al volumen como la carga que se levanta por serie, multiplicado por las series realizadas por ejercicio, multiplicado por las repeticiones que se completan por serie (e.g., carga para 3 series de 3 repeticiones), entonces realizar tres series al fallo darían como resultado un volumen mayor con respecto a realizar tres series con repeticiones sub-máximas si la carga y la cantidad de series son iguales. Los incrementos de fuerza podrían ser mayores con el método anterior debido al mayor volumen de entrenamiento, y no por llegar al fallo per se.

Peterson et al. (19) realizaron un meta-análisis que compara la efectividad de los métodos de entrenamiento en los cuales se llega al fallo versus aquellos en los que no se llega al fallo. Utilizando una sub-serie de estudios de meta-análisis realizados con anterioridad (18, 20), concluyeron que el método en el que no se llega al fallo era superior para incrementar la fuerza máxima. Sin embargo, un examen minucioso de las referencias de ambos meta-análisis previos (18, 20) indicó que ninguno de los estudios comparaba de manera directa los métodos de entrenamiento hasta el fallo muscular con los que no se llega al fallo muscular. Los estudios se clasificaban como entrenamientos hasta el fallo muscular o no en base a la presencia o la ausencia de la frase "*entrenamiento hasta el fallo*" en la sección métodos. Al interpretar este estudio, debería tenerse en cuenta que ninguno de los estudios (18, 20) comparó directamente los métodos de entrenamiento en los que se llega al fallo muscular versus aquellos en los que no se llega al fallo.

Por lo tanto, entrenar al fallo es una cuestión a la que debería dedicársele un análisis adicional para determinar si deben corregirse las recomendaciones actuales referentes a la relación dosis-respuesta. La investigación ha demostrado que cuando se realizaron series múltiples de press de banca y sentadilla por detrás hasta el fallo, hubo disminuciones significativas en las repeticiones realizadas durante series consecutivas con una carga absoluta (27-29). Esto ocurre aún cuando se utilizan intervalos de recuperación de 3 a 5 minutos entre las series (27, 29). Willardson y Burkett (28) sugirieron que para mantener el rendimiento durante las múltiples series de repeticiones máximas, debe disminuirse la carga de manera progresiva, incluso en levantadores altamente entrenados. No obstante, disminuir la carga de manera progresiva reduce la intensidad absoluta del entrenamiento, lo cual no es ideal cuando se entrena para mejorar la fuerza máxima. La alternativa sería un método exclusivo en el que no se llega al fallo, ya que podría permitir mantener una intensidad de entrenamiento absoluta con una mayor regularidad en las repeticiones de las múltiples series.



Figura 2. Dominadas con la ayuda de un compañero; es posible que algunos individuos no puedan realizar la fase concéntrica solos, lo que requiere de la asistencia de un compañero en la fase concéntrica durante toda la serie. En tal caso, el individuo puede realizar la fase excéntrica hasta fallo.

Sin embargo, nunca se ha establecido el momento apropiado para finalizar una serie antes de llegar al fallo. Por ejemplo, si al levantar una carga del 85% de 1RM para un ejercicio determinado se pueden realizar alrededor de 6 repeticiones, entonces ¿para optimizar las ganancias de fuerza máxima, la serie debería finalizar después de 3, 4 o 5 repeticiones? Rhea et al. (20) y Peterson et al. (18, 19) al parecer ignoraron esta cuestión en sus recomendaciones asociadas con la relación dosis-respuesta.

A fin de determinar la aplicación más apropiada de los métodos de entrenamiento en los que se llega al fallo versus aquellos en los que no se llega al fallo, debería equipararse el volumen (e idealmente el trabajo total) entre los grupos. En la revisión de la literatura, relativamente pocos estudios han analizado directamente los métodos de entrenamiento hasta el fallo versus aquellos en los que no se llega al fallo respecto de las adaptaciones musculares, equiparando todas las demás variables (6, 7, 12, 30). Las siguientes secciones proporcionarán una visión general de los estudios relevantes dentro del contexto de diferentes objetivos de entrenamiento.

Ejercicio	Número de serie	Carga (kg)	Repeticiones por serie
Curl con barra (para un levantador con 1RM de 60 kg)	1 †	30 (50% 1RM)	10
	Intervalo de descanso de 1 min.		
	2 †	40 (70% 1RM)	3
	Intervalo de descanso de 3 min.		
	3-7 ‡	50 (90% 1RM)	3
	Intervalo de descanso <30 segundos		
	8	30 (50% 1RM)	~20 o hasta el fallo

Tabla 1. Ejemplo de una sesión de entrenamiento utilizando la técnica de series descendentes para fuerza absoluta e hipertrofia. Sesión de entrenamiento en base a Goto et al. (10). †Indica series de calentamiento con repeticiones sub-máximas. ‡Puede requerir repeticiones asistidas por un compañero durante las últimas series.

POTENCIA

Este objetivo en general es el más codiciado durante el último período de los ciclos de pretemporada y temporada cuando los atletas se esfuerzan por alcanzar su condición física pico. La capacidad para producir potencia muscular está asociada a factores tales como los niveles elevados de fuerza absoluta y la velocidad de movimiento. Para los atletas que ya tienen un alto nivel de fuerza absoluta, mantener la producción de potencia y la velocidad de movimiento durante las series de ejercicios con sobrecarga son factores clave que pueden permitirles un mayor desarrollo de la potencia. Al entrenar la potencia muscular, debería utilizarse un método de entrenamiento en el que no se llegue al fallo en la mayoría de las series. La investigación ha demostrado que realizar series al fallo puede obstaculizar el desarrollo de la potencia muscular debido a una producción de potencia aguda y una velocidad de movimiento reducidas.

Lawton et al. (16) demostraron que una serie completa de repeticiones máximas era perjudicial para la producción de potencia de repetición aguda. En este estudio, la producción de potencia por repetición se analizó durante 4 sesiones de press de banca que consistieron de lo siguiente: (a) Continua: serie completa de 6 RM hasta el fallo, (b) simples: 6 repeticiones con la carga de 6RM y un descanso de 20 segundos entre las repeticiones simples, (c) dobles: 3 series de 2 repeticiones con un descanso de 50 segundos entre grupos y (d) triples: 2 series de 3 repeticiones con un descanso de 100 segundos entre grupos. Los resultados demostraron una producción de potencia significativamente mayor para cada repetición en las condiciones simples, dobles y triples con respecto a la condición continua; esto se hizo especialmente evidente en las últimas 3 repeticiones.

Estos resultados sugieren que realizar series completas de repeticiones máximas podría no ser el método más efectivo para el entrenamiento de potencia (16). Además, debido a que varios deportes de base anaeróbica (e.g., el fútbol americano, el béisbol y el tenis) requieren de breves esfuerzos explosivos, la transferencia al rendimiento podría ser mayor dividiendo una serie tradicional de repeticiones máximas en grupos (e.g., simples a triples) con breves intervalos de recuperación (e.g., 20-100 segundos) entre los grupos de repeticiones.



Figura 3. Ejemplo de ejercicios para la utilización de la técnica de series descendentes. Esta técnica se utiliza mucho para los ejercicios que permiten que la intensidad (es decir, la carga) se disminuya con rapidez y de manera conveniente, como los ejercicios en máquina (e.g., cruces en polea) (a), ejercicios en máquina con placas (e.g., prensa de piernas inclinada) (b) y barras fijas (e.g., barras y mancuernas) que se colocan a una proximidad cercana (e.g., curl de bíceps con barra utilizando una carga fija) (c).

Mantener una velocidad de repetición elevada es otra variable clave que determina incrementos en la potencia muscular. Izquierdo et al. (11) determinaron que el mantenimiento de una elevada velocidad de repetición se logra mejor finalizando una serie bastante antes de llegar al fallo. Se analizaron las velocidades en los ejercicios de press de banca y sentadilla por detrás en series completas realizadas al 60, 65, 70 y 75% de 1RM. Los resultados demostraron que la tasa de disminución en la velocidad de repetición no fue significativamente diferente entre todos los porcentajes de 1RM analizados. Sin

embargo, se produjeron reducciones significativas en la velocidad de repetición al 34% del total de las repeticiones para el press de banca y al 48% del total de las repeticiones para la sentadilla por detrás, sin tomar en consideración la intensidad.

Estos resultados sugieren que si el objetivo es mantener una elevada velocidad de repetición (con la intención de incrementar la potencia muscular), la intención debería ser finalizar una serie bastante antes de llegar al fallo (11). Por ejemplo, al realizar series de press de banca y sentadillas por detrás explosivos con el 75% de 1RM (o aproximadamente una 10RM), las series deberían finalizar después de aproximadamente 3-5 repeticiones. La manera en que estos resultados se relacionan con otros ejercicios comúnmente prescritos (e.g., cargadas colgantes, press por encima de la cabeza y peso muerto) requiere más investigación, pero probablemente exista la misma relación. Un entrenador debería determinar de manera específica cuántas repeticiones son posibles para un ejercicio determinado y a un porcentaje de 1RM determinado y luego ajustar la cantidad de repeticiones por serie según corresponda. Los atletas podrían ser capaces de mantener velocidades más elevadas durante más repeticiones por serie para los ejercicios que enfatizan la musculatura del tren inferior (e.g., sentadilla por detrás) con respecto a la musculatura del tren superior (e.g., press de banca).

Los estudios previos (11, 16) analizaron las respuestas agudas, lo cual limita la posibilidad de realizar inferencias con respecto a las ganancias a largo plazo. Izquierdo et al. (12) llevaron a cabo uno de los pocos estudios realizados hasta la fecha que analizan los métodos de entrenamiento hasta el fallo (RF) versus aquellos en los que no se llega al fallo muscular (NRF) sobre la potencia muscular (press de banca balístico y sentadilla por detrás con el 60% de 1RM) después de 11 semanas de entrenamiento en hombres físicamente activos; también se examinaron la fuerza absoluta (press de banca y sentadilla por detrás de 1RM) y la resistencia muscular localizada (repeticiones totales de press de banca y sentadilla por detrás con el 75% de 1RM). Después de las 11 semanas iniciales, se incluyó un período pico adicional de 5 semanas durante el cual ambos grupos realizaron el mismo programa de entrenamiento de estilo balístico sin llegar al fallo diseñado para elevar al máximo la potencia. Se llevaron a cabo evaluaciones musculares y extracciones de sangre para determinar las concentraciones basales de diversas hormonas antes del inicio del entrenamiento y en intervalos regulares a lo largo del período de estudio.

Después de las 11 semanas iniciales, los incrementos en la potencia fueron más elevados en el grupo NRF para el press de banca (20% RF, 23% NRF) y la sentadilla por detrás (26% RF; 29% NRF). Los grupos de RF y NRF demostraron porcentajes de incrementos similares en el press de banca de 1RM (incremento del 20% de ambos grupos) y la sentadilla por detrás de 1RM (19% RF; 20% NRF), pero la resistencia muscular localizada fue más elevada en el grupo RF para el press de banca (85% RF; 69% NRF). Un hallazgo clave fue que el grupo RF experimentó una disminución en la concentración de reposo del factor de crecimiento tipo insulínico 1, mientras que, el grupo NRF experimentó una disminución en la concentración de reposo de cortisol y una elevación en la concentración de testosterona sérica total de reposo. Durante el último período pico de 5 semanas, el grupo NRF continuó incrementando la potencia muscular, a pesar de que ambos grupos realizaron el mismo programa de entrenamiento de estilo balístico sin llegar al fallo. Esto puede indicar que el grupo RF se encontraba en un estado de sobreentrenamiento, según se evidenció por la reducción de la concentración de reposo del factor de crecimiento tipo insulínico 1 (12).

Los resultados de este estudio sugieren que realizar de manera regular series hasta llegar al fallo puede inhibir las ganancias de potencia, a pesar de que los resultados de fuerza absoluta son ambiguos y los resultados de la resistencia muscular localizada es mayor llegando al fallo (estos objetivos se discuten en secciones posteriores) (12). La mayor fatiga después de las sesiones que incluyen series al fallo puede interferir con otros componentes importantes de acondicionamiento, como la práctica de las habilidades específicas del deporte y el entrenamiento de los movimientos relacionados. Además, el entrenamiento al fallo realizado de manera muy frecuente puede promover el agotamiento psicológico y el síndrome de sobreentrenamiento (9), lo que podría ser especialmente perjudicial para el rendimiento durante los ciclos del último período de pre-temporada y durante la temporada.

FUERZA ABSOLUTA

El estudio mencionado de Izquierdo et al. (12) demostró ganancias similares en la fuerza en el ejercicio de press de banca y en la sentadilla por detrás tanto con el método de entrenamiento hasta el fallo como con el método de entrenamiento en el que no se llegó al fallo muscular, después de 11 semanas. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, la utilización constante de estos métodos incluye períodos considerablemente más breves y más a menudo se utiliza una combinación de métodos (Tabla 2). Dos estudios han analizado los métodos de entrenamiento hasta el fallo versus aquellos en los que no se llega al fallo, con ciclos de entrenamiento de 6 semanas para promover ganancias en la fuerza (6, 7).

Drinkwater et al (6) examinaron la eficacia de un programa de entrenamiento hasta el fallo muscular sobre la fuerza en 6 RM en el ejercicio de press de banca y sobre la producción de potencia en lanzamientos de press de banca con una carga

de 40 kg en atletas junior de elite. Luego de las evaluaciones iniciales, los participantes fueron divididos según su nivel de fuerza inicial y se los asignó a 1 de 2 grupos de entrenamiento que realizaron o 4 series de 6 repeticiones al fallo en el ejercicio de banca (grupo RF) u 8 series de 3 repeticiones sin llegar al fallo (grupo NF). A ambos grupos se les equiparó el volumen (24 repeticiones totales para cada sesión) y la intensidad relativa (85- 105% 6RM), entrenando 3 veces por semana durante 6 semanas. Durante cada sesión, el grupo RF necesitó asistencia en al menos 1 repetición, mientras que el grupo NF pudo completar todas las repeticiones sin asistencia. El grupo RF (7.3 kg.) demostró mayores incrementos en la fuerza en 6RM con respecto al grupo NF (3.6 kg.). Además, el grupo RF (40.8 W) exhibió mayores incrementos en la potencia durante los lanzamientos desde press de banca con respecto al grupo NF (25 W). Un segundo experimento estableció que el protocolo de RF inducía a una fatiga mayor, lo cual se infirió por la reducción en los valores de potencia durante los lanzamientos desde press de banca medidos inmediatamente antes y después de la serie de levantamiento (6).

Característica*	Carga	Series	Repeticiones	Intervalo de descanso
Hipertrofia	10RM	3 por ejercicio†	10‡	1 min ¶
Fuerza absoluta	6RM	6 por ejercicio†	4§	3 min

Tabla 2. Ejemplo de rutinas de hipertrofia (con series hasta el fallo) y de fuerza absoluta (con series sin llegar al fallo). †No incluye las series de entrada en calor de menor intensidad; se llevan a cabo 3 ejercicios que incluyen grupos musculares o patrones de movimiento similares (2, 5). ‡El fallo se alcanza en todas las series, y esto puede requerir la reducción de la carga en forma progresiva para realizar repeticiones constantes por serie. También puede incluir repeticiones asistidas por un compañero y series descendentes (1, 6, 7, 10). §Las series terminan aproximadamente 2 repeticiones antes de llegar al fallo (5). ¶Los ejercicios multiarticulares (e.g., sentadilla por detrás) pueden necesitar intervalos de recuperación más extensos para repeticiones constantes por serie (27-29). *Esta tabla no implica que un método para en el cual no se llega al fallo sea siempre el preferido para mejorar la fuerza absoluta ni que un método en el que se llega al fallo siempre se prefiera para la hipertrofia, sino que sólo proporciona un ejemplo de cómo podrían estructurarse las prescripciones de los ejercicios para ambos objetivos en determinados momentos.

Los resultados de este estudio sugieren que para los levantadores entrenados, podría prescribirse el entrenamiento hasta el fallo sólo en la última serie de un ejercicio determinado o en series de ejercicios que comprendan grupos musculares o patrones de movimiento similares. Esta estrategia no es nada novedosa en la prescripción de ejercicios con sobrecarga, en éstos la llegada al fallo en la última serie se ha practicado durante décadas. No obstante, al limitar la cantidad de series al fallo, se disminuye el riesgo del sobreentrenamiento y los entrenadores pueden abordar de manera efectiva otros objetivos de entrenamiento de forma concomitante durante la misma práctica. Por ejemplo, comenzar una sesión de práctica alternando las series de alta intensidad para no llegar al fallo con ejercicios pliométricos para el desarrollo de la potencia y luego finalizar la sesión con series completas de repeticiones máximas para la fuerza absoluta o el desarrollo de hipertrofia.

La repetición asistida por un compañero es una técnica común que permite repeticiones adicionales más allá de llegar inicialmente al fallo concéntrico. De modo anecdótico, ésta es una técnica muy popular (Figuras 1, 2); siempre que un individuo cuente con un ayudante, es probable que realice al menos una repetición asistida por un compañero para progresar en el punto de estancamiento. No obstante, la investigación ha indicado que realizar una cantidad mayor de repeticiones asistidas por un compañero no es necesariamente mejor para incrementar la fuerza (7).

Drinkwater et al (7) dividieron a un grupo de levantadores entrenados en 3 grupos que realizaron el ejercicio de press de banca de la siguiente forma: (a) 4 series de 6 repeticiones (4 × 6), (b) 8 series de 3 repeticiones (8 × 3) y (c) 12 series de 3 repeticiones (12 × 3). Cada grupo llevó a cabo su respectivo protocolo 3 veces por semana durante 6 semanas. La intensidad de cada serie varió del 90 al 100% de la carga en 6RM. Cada protocolo se diseñó para generar una cantidad diferente de repeticiones forzadas por sesión de entrenamiento ($[4 \times 6]$ y $[12 \times 3] > [8 \times 3]$), y el volumen de trabajo se monitoreó utilizando encoders ópticos. Antes y después de la intervención se evaluó la fuerza en el ejercicio de press de banca (3 y 6RM) y la producción de potencia en lanzamientos desde press de banca (promedio y pico).

Todos los grupos mostraron incrementos significativos en la fuerza en el ejercicio de press de banca y en la potencia durante los lanzamientos desde press de banca, sin diferencias significativas entre los grupos (7). Los grupos que realizaron 4 × 6 y 12 × 3 promediaron una cantidad significativamente mayor de repeticiones forzadas (4.1 ± 2.6 y 3.1 ± 3.5) por sesión de entrenamiento con respecto al grupo de 8 × 3 (1.2 ± 1.8). El grupo de 12 × 3 logró un volumen de entrenamiento promedio significativamente mayor ($26,591 \pm 3,020$ J) por sesión con respecto a los grupos de 4 × 6 y 8 × 3 ($15,871 \pm 1,985$ y $16,655 \pm 2,502$ J). Los resultados de este estudio sugieren que ni el incremento de la cantidad de repeticiones forzadas ni el incremento del volumen de entrenamiento es más efectivo para incrementar la fuerza. Por lo tanto, los entrenadores no deberían sobre-prescribir las repeticiones forzadas, pero sí monitorear de cerca a los atletas

para que la cantidad de repeticiones forzadas no se vuelva excesiva.

HIPERTROFIA

Numerosos mecanismos (e.g., factores de hipoxia y radicales libres) han estado implicados en la promoción de la hipertrofia inducida por el ejercicio (3, 4, 8, 25). Sin embargo, dentro del contexto de los métodos de entrenamiento hasta el fallo versus el entrenamiento sin llegar al fallo, un mecanismo que se ha comparado de manera específica es la secreción aguda de la hormona de crecimiento. Esta respuesta hormonal tiene una correlación positiva con los niveles de lactato en sangre, siendo indicio del énfasis en la glucólisis anaeróbica para la producción de trifosfato de adenosina (ATP) (1, 10, 14, 15, 17, 21). Estas respuestas fisiológicas se mencionan especialmente cuando se realizan series de repeticiones moderadas (e.g., 8-12RM) junto con intervalos de descanso más breves entre las series (e.g., 30 segundos para 2 minutos).

Realizar series al fallo con una carga de intensidad moderada (e.g, 8-12RM) induce a diferentes respuestas fisiológicas en comparación con realizar series al fallo con una carga de intensidad mayor (e.g, 4-6RM). Cuando se tiene en cuenta la realización de series múltiples, la glucólisis anaeróbica es la vía principal para la producción de ATP con la carga de intensidad moderada, y el sistema de ATP-PCr es la vía principal para la producción de ATP con la carga de intensidad mayor (21). Las repeticiones mayores por serie y el estrés metabólico asociados con las series de intensidad moderada realizadas hasta llegar al fallo podrían ser factores clave que estimulan una mayor secreción aguda de la hormona de crecimiento y por lo tanto contribuyen a la hipertrofia.

Linnamo et al. (17) demostraron la importancia de las series de repeticiones máximas para estimular una mayor secreción aguda de la hormona de crecimiento. En este estudio se realizaron cinco series consecutivas de abdominales, press de banca y prensa de pierna con períodos de recuperación de 2 minutos entre las series. Esta secuencia de ejercicios se repitió bajo los siguientes 3 esquemas de carga: (a) fuerte: 10RM cada serie (i.e., fallo), (b) explosiva: 10 repeticiones en cada serie con el 70% de 10RM (es decir, sin llegar al fallo, se levanta la carga de manera explosiva) y (c) sub-máxima: 10 repeticiones en cada serie con el 70% de 10RM (es decir, sin llegar al fallo, se levanta la carga a un ritmo constante). Los resultados indicaron elevaciones significativamente mayores en la hormona de crecimiento y el lactato en sangre inmediatamente después de una sesión fuerte con respecto a las sesiones explosiva y sub-máxima. Los resultados de este estudio sugieren que la combinación de una carga pesada (e.g, 10 RM) hasta el fallo puede proporcionar un estímulo superior para la secreción de la hormona de crecimiento en comparación con una carga sub-máxima (e.g, RM de <10) sin llegar al fallo.

Con respecto a la hipertrofia, la ventaja potencial asociada al entrenamiento hasta llegar al fallo podría ser un mayor reclutamiento de las unidades motoras de umbral más bajo, guarda relación con mayores repeticiones por serie (22). Durante una serie fuerte habitual (e.g, 1RM de >60%) de ejercicios con sobrecarga, inicialmente se recluta una determinada cantidad de unidades motoras de umbral más elevado (e.g, de contracción rápida tipo IIa y tipo IIx) para satisfacer las exigencias de fuerza precisas para levantar una carga determinada. Cuando las unidades motoras de umbral más elevado se fatigan, se reclutan las unidades motoras de umbral más bajo (de contracción lenta tipo I) de manera asincrónica para mantener las exigencias de fuerza precisas para las repeticiones continuas. Finalmente, la fatiga de las unidades motoras aumenta al grado de que la producción de fuerza no es suficiente para levantar una carga determinada más allá de un ángulo articular crítico o del punto de estancamiento; a esto en general se lo considera el punto en el cual se ha alcanzado inicialmente el fallo.

No obstante, cuando se llega inicialmente al fallo durante la fase concéntrica, los músculos aún no están fatigados al máximo. En general los levantadores pueden mantener la fuerza suficiente para realizar repeticiones adicionales con la utilización de las repeticiones asistidas por un compañero y las series descendentes. Existen estudios limitados que han analizado respuestas agudas con la utilización de las repeticiones asistidas por un compañero y las series descendentes, a pesar de la popularidad de los programas de entrenamiento orientados a la hipertrofia (24). Para el propósito de esta discusión, las repeticiones asistidas por un compañero y las series forzadas se considerarán sinónimos.

Ahtiainen et al. (1) analizaron la secreción aguda de la hormona de crecimiento y la actividad muscular después de un protocolo de repeticiones máximas (MR) en comparación con un protocolo de repeticiones de fuerza (FR) con trabajo equivalente. Cada protocolo incluyó 4 series de 12 repeticiones para los ejercicios de prensa de pierna y 2 series de 12 repeticiones para los ejercicios de sentadilla y extensiones de rodilla con un período de recuperación de 2 minutos entre las series y un período de recuperación de 4 minutos entre los ejercicios. El trabajo entre los protocolos fue equiparado debido a que el protocolo FR utilizó una carga 15% mayor, que exigió la utilización de repeticiones forzadas para completar las 12 repeticiones requeridas en todas las series. La asistencia exacta determinada se midió con placas de fuerza y dinamómetros.

El protocolo FR provocó un incremento significativamente mayor en los niveles de la hormona de crecimiento inmediatamente después y a los 15 y 30 minutos posteriores a la sesión (1). Sin embargo, la actividad muscular, calculada con acciones musculares isométricas máximas, fue significativamente más baja en las 24 horas posteriores a la sesión para el protocolo de FR y permaneció disminuida durante 72 horas. Los resultados de este estudio sugieren que cuando se utilizan repeticiones de fuerza, es posible que sea necesaria una frecuencia de entrenamiento más baja a fin de permitir la recuperación suficiente entre las sesiones para los mismos ejercicios o grupos musculares.

El método de series descendentes es otra técnica habitual que se utiliza para estimular la hipertrofia. Esta técnica habitualmente se utiliza después de una serie con una carga pesada (e.g, 1 RM al 90%); cuando el sujeto está por llegar al fallo, la carga se reduce de inmediato (e.g, un intervalo de descanso <30 segundos) y luego se realizan repeticiones adicionales con una carga más liviana hasta llegar al fallo (Figura 3 y Tabla 1). Goto et al. (10) compararon la secreción aguda de la hormona de crecimiento luego de diferentes disminuciones de carga utilizando la técnica de series descendentes. A una sesión habitual con altas cargas que consistió de 5 series al 90% de 1RM, con períodos de recuperación de 3 minutos entre las series, le siguió una serie adicional (un intervalo de descanso de aproximadamente 30 segundos) realizada al 90, 70, o 50 de 1RM.

Los resultados demostraron que la secreción aguda de la hormona de crecimiento fue significativamente mayor cuando se redujo la carga al 50% de 1RM con respecto al 70%, o se mantuvo constante al 90% de 1RM. No obstante, una limitación de este estudio fue que el volumen de la sesión (carga en 3 series de 3 repeticiones) no se equiparó entre los grupos. Por lo tanto, aún continúa siendo un interrogante si los resultados fueron debido a la utilización de la técnica de series descendentes o al mayor volumen completado (10). Deberían realizarse más investigaciones que aborden esta cuestión.

Los resultados de estos estudios (1, 10) indican cierto respaldo científico positivo respecto la práctica respaldada anecdóticamente de repeticiones asistidas por un compañero y series descendentes. Estas técnicas parecen aumentar la secreción aguda de la hormona de crecimiento y pueden dar como resultado mayores ganancias en la hipertrofia. No obstante, es necesario que se realicen más investigaciones longitudinales a fin de validar el vínculo entre las secreciones agudas de las hormonas anabólicas y la hipertrofia. Además, la prescripción exagerada de series al fallo puede dar como resultado una disminución en los niveles de testosterona en reposo y en el incremento de la concentración de reposo de cortisol, lo cual es contraproducente para la hipertrofia (9, 12).

RESISTENCIA MUSCULAR LOCALIZADA

La resistencia muscular localizada es un objetivo importante para los deportes que requieren esfuerzos repetidos durante largos períodos (e.g, la carrera de distancia, el ciclismo y el esquí a campo traviesa) (2, 5). Según la definición de resistencia muscular localizada (es decir, la capacidad para mantener acciones musculares sub-máximas repetidas), podría suponerse que las series de repeticiones hasta el fallo serían un método de entrenamiento ideal para este objetivo. De hecho, el estudio mencionado de Izquierdo et al. (12) demostró que un método de repeticiones hasta el fallo dio como resultado mayores ganancias en la resistencia muscular localizada (e.g, número de repeticiones en el ejercicio de press de banca con el 75% de 1RM) después de 11 semanas. Sin embargo, Willardson et al. (30) demostraron resultados contradictorios al comparar los efectos de los métodos de entrenamiento hasta el fallo (F) versus aquellos en los que no se llega al fallo (NF) con intensidad y volumen equiparados, sobre la resistencia muscular del tren inferior en hombres entrenados.

Cada participante realizó una sesión de entrenamiento por semana para el tren inferior durante 6 semanas que incluyó ejercicios de sentadilla, flexiones de rodilla y extensiones de rodilla (30). Los participantes del grupo F realizaron 3 series de 13-15 repeticiones hasta el fallo, mientras que los participantes del grupo NF realizaron 4 series de 10-12 repeticiones sin llegar al fallo en ninguna serie. La serie adicional que realizó el grupo NF para cada ejercicio permitió que se equiparara el volumen entre los grupos. Antes y después de la intervención, ambos grupos realizaron un test de resistencia muscular, durante la cual se evaluó el trabajo concéntrico en 3 series de sentadillas por detrás y extensiones y flexiones de rodilla. El trabajo concéntrico se evaluó utilizando una carga de 15 RM para cada ejercicio (medido antes de la intervención), multiplicada por la distancia que se levantó la carga (más la masa muscular) por repetición, multiplicada por las repeticiones máximas durante 3 series para cada ejercicio.

Ambos grupos demostraron incrementos significativos en el trabajo total durante el test post-intervención, sin diferencias significativas entre los grupos (30). Estos resultados sugieren que si la intensidad y el volumen son equivalentes, los métodos de entrenamiento hasta el fallo y en los que no se llega al fallo, darán como resultado ganancias similares en la resistencia muscular del tren inferior. Debe tenerse en cuenta que en el estudio de Izquierdo et al. (12), a pesar de las ganancias significativamente mayores en las repeticiones en press de banca con el método de entrenamiento hasta el fallo,

las repeticiones de sentadilla por detrás fueron similares con ambos métodos, lo cual fue similar a lo observado en el estudio de Willardson et al. (30). Por lo tanto, al parecer el método de repeticiones hasta el fallo podría ser superior para la resistencia del tren superior. Por el contrario, cuando se entrena la resistencia del tren inferior, el volumen total (carga de 3 series de 3 repeticiones) podría ser más importante con respecto a si las series se realizan al fallo o no.

CONCLUSION

Llegar al fallo de manera intencional durante las series de ejercicios con sobrecarga es una práctica común en los entornos recreacionales y de acondicionamiento deportivo, a pesar de que relativamente pocos estudios han comparado de manera directa los métodos de entrenamiento hasta el fallo versus aquellos en los que no se llega al fallo muscular. De modo anecdótico, los beneficios están firmemente respaldados entre los culturistas. La investigación indica que el entrenamiento al fallo y más allá con repeticiones asistidas y series descendentes podría ser muy beneficioso para los programas de entrenamiento orientados a la hipertrofia debido a mayores secreciones agudas de la hormona de crecimiento.

No obstante, es necesario que se realicen más investigaciones longitudinales que comparen específicamente los métodos de entrenamiento hasta el fallo versus aquellos en los que no se llega al fallo, a fin de validar el vínculo entre el incremento agudo en la concentración de las hormonas anabólicas y la hipertrofia. El entrenamiento hasta el fallo realizado de modo demasiado frecuente puede dar como resultado niveles más bajos de testosterona en reposo y el incremento de la concentración de cortisol en reposo, lo cual es contraproducente para la hipertrofia. Por lo tanto, el entrenamiento al fallo puede y debería periodizarse, al igual que otras variables prescritas y bien establecidas (e.g, la intensidad, el volumen-cantidad de series, el rango de repeticiones).

Los levantadores entrenados pueden tolerar series hasta el fallo con mayor frecuencia que los levantadores no entrenados. La investigación actual indica que la realización de series hasta el fallo puede brindar mayores ganancias en la fuerza absoluta, la hipertrofia y la resistencia muscular localizada cuando se practica de manera consistente durante ciclos de 6 semanas, intercalados con ciclos exclusivos en los cuales no se llega al fallo muscular, que tengan la misma duración. Cuando el objetivo es la producción de potencia, debería desaconsejarse el entrenamiento al fallo y los entrenadores deberían tener en cuenta el estado de entrenamiento y las metas de los atletas, y el momento del ciclo de entrenamiento anual para determinar si las series se llevarán a cabo hasta el fallo o finalizarán sin llegar al mismo.

REFERENCIAS

1. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Kraemer WJ, and Hakkinen H (2003). Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs. maximum repetitions multiple resistance exercises. *Int J Sports Med* 24: 410-418
2. American College of Sports Medicine (2009). Position stand on progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 687-708
3. Anderson J (2000). A role for nitric oxide in muscle repair: nitric oxide-mediated activation of muscle satellite cells. *Mol Biol Cell* 11: 1859-1874
4. Baar K and Esser K (1999). Phosphorylation of p70 (S6k) correlates with increased skeletal muscle mass following resistance exercise. *Am J Physiol Cell Physiol* 276: C120-C127
5. Baechle TR, Earle RW, and Wathen D (2008). Resistance training. In: Essentials of Strength Training and Conditioning. *Beachle TR and Earle RW, eds. Champaign, IL: Human Kinetics pp. 381-412.*
6. Drinkwater EJ, Lawton TW, Lindsell RP, Pyne DB, Hunt PH, and McKenna MJ (2005). Training leading to repetition failure enhances bench press strength increases in elite junior athletes. *J Strength Cond Res* 19: 382-388
7. Drinkwater EJ, Lawton TW, McKenna MJ, Lindsell RP, Hunt PH, and Pyne DB (2007). Increased number of forced repetitions does not enhance strength development with resistance training. *J Strength Cond Res* 21: 841-847
8. Febbraio M and Pedersen B (2002). Muscle derived interleukin-6: mechanisms for activation and possible biological roles. *FASEB J* 16: 1335-1347
9. Fry AC and Kraemer WJ (1997). Resistance exercise overtraining and overreaching. Neuroendocrine responses. *Sports Med* 23: 106-129
10. Izquierdo M, Ibanez J, Gonzalez-Badillo JJ, Hakkinen K, Ratamess NA, Kraemer WJ, French DN, Eslava J, Altadill A, Asiain X, and Gorostiaga EM (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength and muscle power increases. *J Appl Physiol* 100: 1647-1656
11. Jacobson B (1981). Reach failure to gain success. *Nat Strength Coaches Assoc J* 3: 24-25
12. Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziadosz JE, Mello R, Frykman P, McCurry D, and Fleck SJ (1990). Hormonal and growth factor responses to high intensity resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* 69: 1442-1450

13. Kraemer WJ, Noble BJ, Clark MJ, and Culver BW (1987). Physiologic responses to high intensity-resistance exercise with very short rest periods. *Int J Sports Med* 8: 247-252
14. Lawton TW, Cronin JB, and Lindsell RP (2006). Effect of interrepetition rest intervals on weight training repetition power output. *J Strength Cond Res* 20: 172-176
15. Linnamo V, Pakarinen A, Komi PV, Kraemer WJ, and Hakkinen K (2005). Acute hormonal responses to submaximal and maximal high intensity resistance and explosive exercise in men and women. *J Strength Cond Res* 19: 566-571
16. Peterson MD, Rhea MR, and Alvar BA (2004). Maximizing strength development in athletes: A meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res* 18: 377-382
17. Peterson MD, Rhea MR, and Alvar BA (2005). Applications of the dose-response for muscular strength development: A review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *J Strength Cond Res* 19: 950-958
18. Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, and Ball SD (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 35: 456-464
19. Robergs RA, Ghiasvand F, and Parker D (2004). Biochemistry of exercise induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 287: R502-R516
20. Sale DG (1987). Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc Sport Sci Rev* 15: 95-151
21. Stone MH, Chandler J, Conley MS, Kramer JB, and Stone ME (1996). Training to muscular failure: Is it necessary. *Strength and Cond* 18: 44-48
22. Schwarzenegger A (1998). The New Encyclopedia of Modern Bodybuilding. *New York, NY: Fireside p. 137*
23. Tatsumi R, Hattori A, Ikeuchi Y, Anderson J, and Allen R (2002). Release of hepatocyte growth factor from mechanically stretched skeletal muscle satellite cells and role of pH and nitric oxide. *Mol Biol Cell* 13: 2909-2918
24. Willardson JM (2007). Brief review: The application of training-to-failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. *J Strength Cond Res* 21: 628-631
25. Willardson JM and Burkett LN (2005). A comparison of 3 different rest intervals on the exercise volume completed during a workout. *J Strength Cond Res* 19: 23-26
26. Willardson JM and Burkett LN (2006). The effect of rest interval length on the sustainability of squat and bench press repetitions. *J Strength Cond Res* 20: 396-399
27. Willardson JM and Burkett LN (2006). The effect of rest interval length on bench press performance with heavy versus light loads. *J Strength Cond Res* 20: 400-403
28. Willardson JM, Emmett J, Oliver JA, and Bressel E (2008). Effect of short-term failure versus non-failure training on lower body muscular endurance. *Int J Sports Physiol Performance* 3: 279-293
29. Izquierdo M, Gonzalez-Badillo JJ, Hakkinen K, Ibanez J, Kraemer WJ, Altadill A, Eslava J, and 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. *Int. J Sports Med* 27: 718-724
30. Goto K, Sato K, and Takamatsu K (2003). A single set of low intensity resistance exercise immediately following high intensity resistance exercise stimulates growth hormone secretion in men. *J Sports Med Phys Fit* 43: 243-249

Cita Original

Jeffrey M. Willardson, Layne Norton and Gabriel Wilson. Training to Failure and Beyond in Mainstream Resistance Exercise Programs. *Strength & Conditioning Journal*, 32(3):21-29 (2010).