



Crecimiento muscular

William J. Kraemer y Barry A. Spiering

Existe una relación firme entre el tamaño de un músculo y su fuerza; en general un músculo más grande es un músculo más fuerte. El cumplimiento de un programa de entrenamiento de resistencia estimula el músculo para aumentar su tamaño mediante el aumento de la cantidad de proteínas contráctiles. Luego esta adaptación permite que se formen más puentes cruzados de actina-miosina durante la activación muscular, lo que a su vez permite que el músculo produzca más fuerza. Para apreciar en su totalidad el origen de la fuerza es preciso entender los principios básicos del crecimiento muscular, es decir, el modo en que el músculo aumenta de tamaño.

Los aumentos de tamaño del músculo se deben a varios factores, cada uno de los cuales contribuye al resultado final del crecimiento muscular. Un músculo puede crecer de dos maneras:

- Por hipertrofia, que significa aumento del tamaño de las fibras musculares individuales.
- Por hiperplasia, que significa aumento del número de fibras musculares.

La hipertrofia es el modo principal de crecimiento muscular. La existencia de hiperplasia en los seres humanos es polémica, y si sucede, es probable que su contribución al crecimiento muscular sea muy pequeña (menos del 5%). Por consiguiente, en este libro nos concentraremos en la hipertrofia.

Un método habitual para potenciar el crecimiento muscular consiste en la participación en un programa de entrenamiento de resistencia. Además de aumentar el tamaño muscular el entrenamiento de resistencia mejora la fuerza del músculo y la salud del hueso y puede mejorar el rendimiento deportivo. Los beneficios del entrenamiento de resistencia son importantes tanto para los hombres como para las mujeres porque los ayudarán a mantenerse sanos y a compensar el proceso natural de envejeci-



miento, que puede llevar a la pérdida de la masa muscular (sarcopenia) y ósea (osteoporosis) y la discapacidad posterior.

El crecimiento muscular es un proceso saludable que proporciona muchos beneficios físicos. A menudo las personas no participan en entrenamientos de resistencia porque temen que las convierta en “demasiado grandes”. Este temor infundado, más frecuente en las mujeres, puede impedirles obtener los beneficios totales de un programa de entrenamiento de fuerza. Las mujeres no sólo tienen menos fibras musculares que los hombres, sobre todo en la parte superior del cuerpo, sino que además la concentración de la principal hormona anabólica (formadora de músculo), la testosterona, es mucho menor que en los hombres. Por consiguiente, rara vez desarrollan músculos demasiado grandes (o “varoniles”) sin el uso de fármacos anabólicos. Lo típico es que con un programa de entrenamiento de resistencia bien diseñado las mujeres noten un aumento del tamaño muscular con la disminución correspondiente de grasa corporal, lo que generará reducción de las medidas del cuerpo y mejor definición de los músculos. En los hombres el aumento del tamaño muscular depende del entrenamiento y la nutrición adecuados y los límites superiores del tamaño se relacionan con la predisposición genética.

En este capítulo describiremos el crecimiento muscular en un ambiente natural. El tamaño muscular extremo, observado en los culturistas que usan fármacos anabólicos, va más allá del resultado habitual de un programa de entrenamiento de resistencia saludable para actividades deportivas o de acondicionamiento (y está fuera del alcance de este capítulo).

Fundamentos del crecimiento muscular

Dos principios esenciales constituyen la base del crecimiento muscular. Primero, el músculo debe ser estimulado para que aumente su tamaño. En este contexto, el estímulo más prolífico para el crecimiento muscular es un programa de ejercicios de resistencia bien diseñado. Segundo, el aumento del tamaño del músculo requiere energía y esta proviene de una dieta bien equilibrada que proporcione las calorías adecuadas. Si se ignoran estos principios el músculo simplemente no se adaptará. En la figura 2.1 puede observarse el paradigma básico del modo en que crece el músculo, que demuestra que las bases del crecimiento muscular consisten en un estímulo de entrenamiento de resistencia adecuado junto con una dieta nutricional sana. Como se describe con mayor detalle en el capítulo 4, el aporte nutricional es vital para el desarrollo óptimo del músculo. El organismo necesita los ladrillos básicos (hidratos de carbono, proteínas y grasas) para reparar y remodelar los músculos. Por ende, tanto los patrones dietéticos cotidianos como el ritmo de ingesta de nutrientes alrededor de la sesión de ejercicios, el sueño apropiado y un estilo de vida saludable contribuyen a la eficacia de la reparación muscular y, por consiguiente, a su crecimiento.



Figura 2.1 Paradigma del crecimiento muscular. El crecimiento muscular se fundamenta en el estímulo de ejercicio de resistencia apropiado y el adecuado aporte nutricional.



Adaptaciones neurales al entrenamiento de fuerza

Las adaptaciones neurales, junto con el aumento del tamaño muscular, son importantes para incrementar la fuerza del músculo. Durante las primeras semanas de un programa de entrenamiento de fuerza esta última aumenta de manera espectacular. Sin embargo, durante esta fase inicial se reduce un cambio muy pequeño del tamaño muscular. Este aumento temprano de la fuerza se debe sobre todo a la mejora de la función neural.

Las adaptaciones neurales que acompañan al entrenamiento de resistencia incluyen el aumento de la activación de los músculos agonistas (principales) y sinergistas, la reducción de la activación de los grupos musculares antagonistas, la mejoría de la coordinación intermuscular del grupo y la mejora de la velocidad de desarrollo de la fuerza. Por último, estos cambios mejoran la expresión de la fuerza y la potencia muscular. ■

Estímulo muscular

Examinemos brevemente la necesidad de un estímulo de entrenamiento de resistencia adecuado para el crecimiento muscular óptimo. (En el capítulo 3 se describen en detalle los tipos específicos de entrenamiento muscular.) Se requieren muchos atributos importantes para un programa de entrenamiento de resistencia bien diseñado. Por ejemplo, se deben considerar las acciones musculares (concéntricas y excéntricas; véase capítulo 1), la intensidad y el volumen del ejercicio y los intervalos de descanso entre las series y las sesiones.

La investigación llevada a cabo en la National Aeronautic Space Administration (NASA) por el laboratorio del doctor Gary Dudley a comienzos de la década de 1990 demostró la importancia de ejecutar acciones musculares concéntricas y excéntricas para aumentar el tamaño y la fuerza de los músculos (Dudley y cols., 1991; Hather y cols., 1991). En estos estudios se observó que cuando sólo se usaban acciones musculares concéntricas en el régimen de halterofilia (*weightlifting*) el trabajo debía realizarse dos veces para conseguir los mismos efectos del entrenamiento que cuando se incluían las acciones excéntricas. Está claro que las acciones excéntricas constituyen una parte importante de un programa de entrenamiento de resistencia.

Aunque se ha demostrado que varios tipos de programas de entrenamiento de resistencia inducen hipertrofia muscular, ciertos rangos de intensidad y volumen del ejercicio parecen ser óptimos. En pocas palabras, la intensidad del ejercicio denota la carga, o peso, utilizada durante un levantamiento; el volumen del ejercicio es el número de repeticiones multiplicado por el número de series. Para maximizar la hipertrofia suelen recomendarse cargas moderadas a pesadas (70 a 85% de fuerza máxima para un levantamiento dado) y volumen alto (8 a 12 repeticiones para tres o cuatro series) (Fleck y Kraemer, 2004). Los programas que usan estas intensidades y volúmenes para cada ejercicio estimulan aumentos agudos mayores en las hormonas anabólicas naturales que los regímenes con cargas mayores y volúmenes menores (es decir, programas que resaltan los aumentos de la fuerza muscular; Kraemer y cols., 1990; Kraemer y cols., 1991).



La duración del período de descanso entre cada serie de ejercicios también afecta las respuestas de los músculos al ejercicio de resistencia. Los períodos de descanso cortos (uno a dos minutos) en ejercicios de intensidad y volumen moderados a altos inducen mayores respuestas inmediatas de las hormonas anabólicas que los programas que emplean cargas muy pesadas y períodos de descanso más prolongados (tres minutos; Kraemer y cols., 1990; Kraemer y cols., 1991). Los períodos de descanso más cortos se asocian con mayor estrés metabólico (p. ej., concentraciones más elevadas de ácido láctico en sangre) y el estrés metabólico es un estímulo para la liberación de las hormonas. La respuesta hormonal es importante porque las hormonas anabólicas naturales estimulan la síntesis de proteínas del músculo y el aumento de su tamaño. Por consiguiente, se recomiendan períodos de descanso relativamente cortos (uno a dos minutos) para optimizar el aumento del tamaño muscular en el largo plazo.

Si se tiene un entrenador personal o se diseña un programa propio de entrenamiento de resistencia, cuando se intenta estimular el crecimiento muscular se deben recordar estos tres aspectos —acciones musculares, intensidad y volumen del ejercicio y duración de los períodos de descanso—. Los conceptos importantes para el diseño de



los programas de entrenamiento de resistencia se describen con más detalle en el capítulo 3.

Metabolismo muscular

Para comprender la importancia de la nutrición en el crecimiento de los músculos se deben conocer los principios fundamentales del metabolismo muscular. El adenosín trifosfato (ATP) (véase cap. 1, pp. 16 y 17) es la fuente fundamental de energía para la contracción. Sin embargo, sólo una cantidad muy pequeña de ATP puede almacenarse dentro del músculo (sólo la necesaria para abastecer cerca de dos segundos de contracción). Por consiguiente, el músculo debe metabolizar diversos sustratos (formados a partir de lo consumido en hidratos de carbono, proteínas y grasas) para regenerar ATP en forma continua.

Las vías metabólicas musculares funcionan en un continuo y varían desde las que proporcionan ATP con mucha rapidez pero con una capacidad global pequeña hasta las que producen ATP con relativa lentitud pero con una capacidad más grande. Al comienzo del ejercicio la primera vía activada es la del fosfato de creatina-ATP (FC-ATP). Cuando el ATP se degrada se elimina un grupo fosfato del FC y se lo transfiere al adenosín difosfato (ADP) para regenerar ATP. Aunque esta vía puede producir energía con mucha rapidez, su capacidad se limita a proporcionar una cantidad de ATP suficiente para cubrir cerca de seis segundos de contracción muscular (p. ej., energía suficiente para correr a máxima velocidad 37 metros [40 yardas]).

Cuando la duración del ejercicio progresa a más de seis segundos una cantidad creciente de energía deriva de la glucólisis anaerobia. *Anaerobia* significa que esta reacción puede producirse sin oxígeno; *glucólisis* significa fraccionamiento (metabolización) de la glucosa. La glucólisis anaerobia produce energía en forma rápida; sin embargo, como no participa el oxígeno se produce ácido láctico, que puede inhibir el metabolismo energético si no está regulado de manera adecuada.

El ejercicio de intensidad relativamente baja y duración prolongada se basa sobre todo en el metabolismo oxidativo, que se produce en las mitocondrias del músculo y tiene capacidad para producir mayor cantidad de ATP que las vías metabólicas anaerobias. Los sustratos para el metabolismo oxidativo pueden ser glucosa, lípidos o proteínas. Sin embargo, durante el ejercicio se oxida una cantidad muy baja de proteínas.

Las vías metabólicas están activas en todo momento en el continuo. Sin embargo, la intensidad y la duración del ejercicio determinan qué vía proporcionará la mayoría del ATP para la contracción (p. ej., en una carrera de 100 metros provendrá sobre todo de la vía FC-ATP y la glucólisis anaerobia mientras que en una maratón procederá principalmente de la oxidación de las grasas y la glucosa).

Como los músculos metabolizan glucosa, lípidos y proteínas durante el ejercicio, es importante que después de una sesión de ejercicio se ingieran los nutrientes adecuados para reponer los sustratos que utiliza el músculo y favorecer la reparación. Quizás el combustible más importante para el ejercicio continuo sea el glucógeno muscular: cuando es bajo la intensidad del ejercicio se reduce de manera notable y, por último, el ejercicio debe cesar. Además, tras el ejercicio el músculo tiene que sintetizar proteínas para reparar el daño y producir nuevas enzimas; por consiguiente, es importante consumir hidratos de carbono y proteínas suficientes.

Proceso de crecimiento muscular

El primer paso necesario para aumentar el tamaño muscular es la activación de las unidades motoras. Está claro que si un músculo específico no se estimula para que produzca fuerza no responderá y se adaptará al estímulo. Para activar una fibra muscular se debe aplicar intensidad adecuada al ejercicio.

Como se explicó en el capítulo 1, la activación de unidades motoras sigue el *principio del tamaño*. Se puede ver un ejemplo simple de este principio y de su papel en el crecimiento muscular si se compara el entrenamiento de tolerancia, que de modo típico se basa en el empleo de ejercicios de baja intensidad y alto volumen, con el entrenamiento de fuerza, que suele basarse en el uso de ejercicios de alta intensidad y bajo volumen. El entrenamiento de resistencia es un estímulo más prolífico para el crecimiento de la fibra muscular que el entrenamiento de tolerancia porque el ejercicio de resistencia proporciona el estímulo de alta intensidad necesario para reclutar fibras de tipo II (movimiento rápido), que pueden aumentar más su tamaño que las fibras de tipo I. En otros términos, para estimular el desarrollo de los músculos estos tienen que ser activados y para activar las unidades motoras necesarias debe usarse una carga relativamente pesada.





Con la activación las fibras musculares producen fuerza, la que en última instancia permite el movimiento del cuerpo humano. Como se explicó en el capítulo 1, si el músculo produce más fuerza que la resistencia que está intentando mover esta se denomina acción *concéntrica* (acortamiento) del músculo; si la resistencia es mayor que la fuerza que crea el músculo, este ejecuta una acción muscular *excéntrica* (alargamiento) (véase p. 24).

La producción de fuerza muscular envía una gran cantidad de señales a todos los sistemas orgánicos del cuerpo. A su vez, estos sistemas sostienen la capacidad de producir fuerza del músculo y contribuyen a su recuperación y su crecimiento. Por ejemplo, el sistema cardiovascular bombea sangre para proporcionar oxígeno y nutrientes y para eliminar los productos de desecho, el sistema endocrino produce hormonas que ayudan a la producción de fuerza (p. ej., la *adrenalina*, también conocida como epinefrina) y otras que estimulan el crecimiento muscular (p. ej., testosterona, hormona del crecimiento y factores de crecimiento de tipo insulina) y el sistema inmunitario proporciona señales que ayudan a coordinar el proceso de reparación tisular. En las secciones siguientes analizaremos de modo más específico las respuestas de los sistemas hormonal e inmunitario a la activación del músculo y el entrenamiento de resistencia y examinaremos la forma en que estas respuestas activan a las células satélite para producir el crecimiento muscular.

Respuesta hormonal a la contracción del músculo

Como se mencionó antes, el sistema endocrino libera hormonas durante la producción de fuerza muscular y después de ella. Las hormonas como la adrenalina ayudan a que los músculos produzcan fuerza. Otras hormonas del organismo, como la testosterona, la hormona del crecimiento y el factor de crecimiento de tipo insulina (IGF-I), estimulan la síntesis muscular de proteínas mediante el envío de señales al músculo para que se regenere y crezca. El ejercicio de resistencia natural (es decir, sin el uso de fármacos) aumenta la concentración de hormonas anabólicas (que estimulan el crecimiento muscular) en sangre durante el ejercicio y alrededor de una hora después de él, lo que permite que el cuerpo reconstruya y agregue músculo durante ese tiempo.

La testosterona, que se produce sobre todo en los testículos en los hombres y en las glándulas suprarrenales en las mujeres, se secreta en la sangre durante el ejercicio de resistencia y hasta una hora después. Para alcanzar el músculo que está realizando la actividad la testosterona atraviesa la membrana del músculo para dirigirse al interior de la célula muscular y unirse a uno de los muchos receptores específicos para testosterona (conocidos como *receptores androgénicos*). No se sabe si hay diferencias entre los hombres y las mujeres en cuanto al número de estos receptores o si el número de receptores cambia con el entrenamiento. Una vez que se produce la unión la testosterona envía una señal al núcleo de la célula para que aumente la síntesis de proteínas (es decir, forme proteínas nuevas) y esto provoca el aumento de tamaño de la célula.

La producción de fuerza muscular también estimula la liberación de hormona del crecimiento (GH) a partir de la hipófisis (una glándula pequeña ubicada dentro del cerebro). La hormona circula a través del torrente sanguíneo y estimula la producción del factor de crecimiento de tipo insulina (IGF-I) en el hígado y en los músculos. El IGF-I puede unirse luego a un receptor en la membrana externa de la célula muscular y enviar una “señal” al núcleo de la célula para que aumente la producción de proteínas.