



**Dosis del entrenamiento para la hipertrofia muscular:
Revisión bibliográfica en Kinesiología Deportiva**

Estudiante: Lic. Leandro Alberto Núñez

Tutor: Lic. Carlos Leoni

**Trabajo Final presentado para optar por el título de Especialista en
Kinesiología Deportiva**

Marzo 2021

Resumen

Dado que las incumbencias legales de los kinesiólogos incluyen el desempeño en áreas filáticas, realizando tareas de prevención de lesiones, rehabilitación, entrenamiento y aplicando y desarrollando sus conocimientos, en el siguiente trabajo se revisa y discute la evidencia científica disponible sobre la influencia de la dosis en los ejercicios de fuerza cuando el objetivo es aumentar el tamaño del músculo. La revisión abarca muchas de las variables que se pueden trabajar en el entrenamiento ya que esto cobra relevancia en diferentes etapas de una rehabilitación deportiva donde se necesite generar hipertrofia muscular. También se hace hincapié en la dosis del entrenamiento para generar adaptaciones y se incluyen las variables que se deben considerar al momento de determinar la carga de entrenamiento. Dentro de las mismas, la evidencia indica que las más relevantes son la selección de medios de entrenamiento, el orden de los ejercicios que se van a utilizar, la intensidad, el volumen, la pausa, el tiempo bajo tensión, la frecuencia (número de veces que se va a entrenar un músculo en una semana), las repeticiones en reserva (RIR) y la percepción subjetiva del esfuerzo (PSE). Si bien existe consenso en que se puede hipertrofiar utilizando diferentes intensidades, repeticiones, pausas, entre otros, la evidencia revisada indicaría que el óptimo se alcanza al trabajar entre el 60-80% del 1RM, realizando entre 6-12 repeticiones, con un tiempo bajo tensión de 3 o 4 segundos (1 segundo fase concéntrica y 2/3 fase excéntrica), pausas entre 2 y 3 minutos, con un carácter del esfuerzo cercano al máximo, de 0 a 3 repeticiones en reserva, y utilizando ejercicios multiarticulares y monoarticulares. Estos parámetros de referencia deberían individualizarse a cada sujeto en todas las rehabilitaciones deportivas, pero son criterios probados para lograr con el objetivo de la hipertrofia muscular.

Palabras claves: entrenamiento de fuerza, relación dosis respuesta, adaptaciones musculares, intensidad, carga, rango de repeticiones, volumen, área de la sección transversal del músculo, entrenamiento con pesas.

Dosis del entrenamiento para la hipertrofia muscular: una síntesis y actualización para kinesiólogos

Justificación

La Kinesiología es una profesión en la que se considera como actividad y ejercicio de la profesión del Kinesiólogo, toda acción o actividad que desarrolle y aplique la Kinesioterapia, Kinefilaxia, Fisioterapia y las actividades de Docencia e Investigación con ellas vinculadas (Cokiba, 2020). De acuerdo al artículo 14 de la Ley provincial 10392 de ejercicio profesional, se entiende por Kinefilaxia el masaje y la gimnasia higiénica y estética, los juegos, el deporte y atletismo, el entrenamiento deportivo, los exámenes kinésicos funcionales y todo tipo de movimiento metodizado con o sin aparatos y de finalidad higiénica o estética, en establecimientos públicos o privados, integrando gabinetes de Educación Física en establecimientos educativos y laborales (Cokiba, 2020). Como se cita en la ley, dentro de la kinefilaxia se incluye el entrenamiento deportivo y los movimientos con aparatos. El entrenamiento deportivo es el proceso dirigido a la consecución del máximo rendimiento en competición a través de las adaptaciones del organismo a las cargas de trabajo repetidas y organizadas en forma de carga de entrenamiento, se puede destacar que no son tareas aisladas, sino que es la suma de cargas organizadas y planificadas (Gonzales Ravé, Abella, & Navarro Valdivieso, 2014).

Considerando que los kinesiólogos pueden desempeñarse en áreas filáticas, realizando tareas de prevención de lesiones, rehabilitación, entrenamiento, conocer cómo influye la dosis en los ejercicios de fuerza en los sujetos (cuando el objetivo es aumentar el tamaño del músculo) es un aspecto donde los kinesiólogos necesitan estar actualizados.

Para planificar las etapas diferentes de una rehabilitación deportiva donde se necesite generar hipertrofia muscular es necesario, conocer todas las variables que se puedan manipular para la orientación del objetivo del entrenamiento buscado. Luego, se desprende la importancia de la dosis del entrenamiento para generar adaptaciones. Dicha dosis incluye muchas variables que se deben considerar al momento de determinar la carga de entrenamiento. Dentro de las mismas, las más utilizadas son la selección de medios de entrenamiento, el orden de los ejercicios que se van a utilizar, la intensidad, el volumen, la pausa, el tiempo bajo tensión, la frecuencia (número de veces que se va a entrenar un músculo en una semana), las repeticiones en reserva (RIR) y la percepción subjetiva del esfuerzo (PSE).

La hipertrofia es el aumento del tamaño de las fibras musculares individuales (Brown, 2008). Específicamente, la hipertrofia muscular es el aumento en el tamaño de un músculo, o su área de sección transversal atribuida a un aumento en el tamaño y/o número de miofibrillas (actina y miosina) dentro de una fibra muscular dada (NSCASpain, 2020). Durante la hipertrofia, los elementos contráctiles se agrandan y la matriz extracelular se expande para soportar el crecimiento. La hipertrofia contráctil puede ocurrir agregando sarcómeros en serie o en paralelo (Schoenfeld B. , 2010).

Resulta relevante, a largo plazo, la contribución de la hipertrofia muscular a la fuerza (Taber C, 2019). Debido a la alta correlación entre la hipertrofia y el aumento de la fuerza es que muchos deportistas necesitan hipertrofia, sobre todo en deportes que necesitan de la fuerza como el rugby, el levantamiento de pesas, el básquet, el fútbol y una lista interminable. Por lo general, los deportistas no tienen como fin aumentar la masa muscular, pero sí, mejorar el rendimiento a través de mejoras en la fuerza y, como consecuencia de buscar mejorar en dicha cualidad se genera la hipertrofia muscular. No solo en el entrenamiento deportivo es relevante, muchas lesiones deportivas cursan tiempos de recuperación largos y durante ese proceso es necesaria la hipertrofia para los músculos afectados como también para los no afectados. Esto se debe a que los deportistas tienen que retornar al deporte en buenas condiciones físicas, con fuerza, velocidad, potencia y otras cualidades, todas acordes a la exigencia de los deportes que dichos deportistas practiquen. Por ejemplo, los tiempos de recuperación para una lesión de ligamento cruzado anterior varían entre 5 y 9 meses, sin embargo, hay evidencia que indica que regresar al deporte antes de los 9 meses posteriores a la reconstrucción de dicho ligamento se asocia con un aumento en la tasa de sufrir una segunda lesión (Beischer S, 2020). Por lo tanto, en este largo periodo de recuperación es necesario lograr hipertrofia muscular no sólo en los músculos adyacentes a la zona lesionada (rodilla) sino también en los músculos de otras zonas corporales.

Parte del esfuerzo del kinesiólogo debe centrarse en la dosis del entrenamiento de la fuerza para generar hipertrofia muscular. Los ejercicios son una parte para concretar el objetivo, pero lo más importante es como dosificarlos. Haciendo una analogía, un medicamento puede ser bueno o malo, esto dependerá de la dosis que un médico estipule necesaria para un paciente con determinadas características y dicha dosis tiene que ser específica (lo mismo tiene que ocurrir con la dosis del ejercicio). Varios autores destacan los numerosos beneficios del entrenamiento de la fuerza en la prevención de lesiones (Lauersen J, 2014), (Malone S, 2019) (Case M, 2020), en la mejora del salto y la velocidad

(Cormie P, 2010), en un menor riesgo de mortalidad (García Hermoso A, 2018). Como ya se mencionó la hipertrofia es un factor clave en el aumento de la fuerza (Taber C, 2019) incluso se ha encontrado una relación de la masa muscular y la masa grasa con la mortalidad por enfermedad cardiovascular donde las personas con más mortalidad fueron las de menos músculo (Srikanthan P, 2016).

Es fundamental comprender la dosis del ejercicio de la fuerza para dichos objetivos. Sin embargo, resulta difícil determinar la dosis óptima para la consecución de la hipertrofia muscular, siendo que la misma es fundamental en las personas que se encuentran en rehabilitación deportiva o en entrenamiento deportivo. La importancia de la hipertrofia muscular tiene que ser considerada por los kinesiólogos y es necesario saber manipular todas las variables al momento de dosificar el entrenamiento o la rehabilitación deportiva para dicho fin. En concreto, esta revisión busca conocer cuáles son las variables que tenemos que manipular para que la dosis sea la óptima cuando el objetivo pretendido es la hipertrofia, siendo este un problema relevante en la kinesiólogía deportiva. El mismo será un aporte relevante para la kinesiólogía, ya que ayudará a comprender como dosificar el ejercicio para la hipertrofia. También se podrá determinar en qué grado la dosificación del ejercicio beneficia, perjudica o no influye sobre la variable bajo estudio. Se espera que el fruto de esta revisión y discusión sirva a los kinesiólogos que deseen aplicar dosis del ejercicio como herramienta en su profesión, basándose en datos e información precisa.

Planteo del problema

Las preguntas que guiaron la revisión y discusión fueron las siguientes:

- ¿Qué dosis del entrenamiento de la fuerza produce mejores resultados en la hipertrofia muscular?
- ¿Cuáles son los aspectos más relevantes a tener en cuenta al momento de dosificar con el objetivo de aumentar la masa muscular?

Objetivo General

Determinar y describir las variables del entrenamiento que optimicen la hipertrofia muscular.

Objetivos Específicos

- Describir los aspectos que generan hipertrofia muscular.
- Establecer la influencia de la dosis del entrenamiento sobre la hipertrofia muscular.
- Orientar en base a la evidencia científica disponible el proceso de dosificación del entrenamiento, ya sea para prevención o rehabilitación cuando el objetivo sea la hipertrofia.

Abordaje metodológico

La revisión bibliográfica se realizó principalmente en las bases de datos de PUBMED y en el buscador Google Académico hasta diciembre de 2020. Los términos de búsqueda utilizados fueron: “muscle hypertrophy”, “training for muscle hypertrophy”, “hypertrophy and strength”, “Hypertrophy and strength training”, “resistance training and hypertrophy”. También se examinaron las listas de referencias de los artículos escogidos. Solo se incluyeron los artículos en español o inglés. La selección final de los trabajos se realizó teniendo en cuenta las preguntas y los objetivos planteados en este trabajo.

Análisis e interpretación del material revisado

El prefijo híper denota superioridad y la palabra hipertrofia se aplica al aumento del tamaño muscular. Para entender el concepto de hipertrofia es importante describir que la longitud de una fibra es la distancia entre los extremos de la misma. Además, el área de sección transversal fisiológica se define como el área de la sección transversal que es perpendicular a la dirección de las fibras musculares, mientras que el área de sección transversal anatómica corresponde al área de sección transversal perpendicular a la línea de acción del músculo. Cuando las fibras son de dirección paralelas, como en un músculo fusiforme, suele coincidir la sección transversal fisiológica y la anatómica. Si existe mayor sección transversal es porque hay más actina y miosina y la contracción se podrá generar con mayor fuerza. Finalmente, el volumen muscular es el resultado de la sección transversal (área) multiplicado por la longitud del músculo.

Existen 3 tipos de hipertrofia (figura 1) reportados en la literatura. La aguda o transitoria que se da por la llegada de sangre hacia el músculo que se está ejercitando, es decir un aumento del volumen plasmático temporal (por eso, algunos autores también la

describieron como hipertrofia temporal) (Jack H. Willmore, 5ta edición, pág. 89). Otro tipo de hipertrofia es la sarcoplasmática donde el aumento del volumen se debe a un aumento de las proteínas no contráctiles que se encuentran en el sarcoplasma (aparato de Golgi, mitocondrias, retículo sarcoplasmático, otros), al aumento en las reservas de glucógeno muscular, triglicéridos y como consecuencia de esto a un aumento en la cantidad de agua en la célula. Además, incluye el aumento de mionúcleos, es decir, se incluye todo lo que está en el sarcoplasma que no es miofibrilla. Por último, tenemos la hipertrofia sarcomérica o miofibrilar, la misma hace referencia al incremento en tamaño y número de los sarcómeros y las miofibrillas, producto de un aumento de las proteínas de actina y miosina, entre otras proteínas.

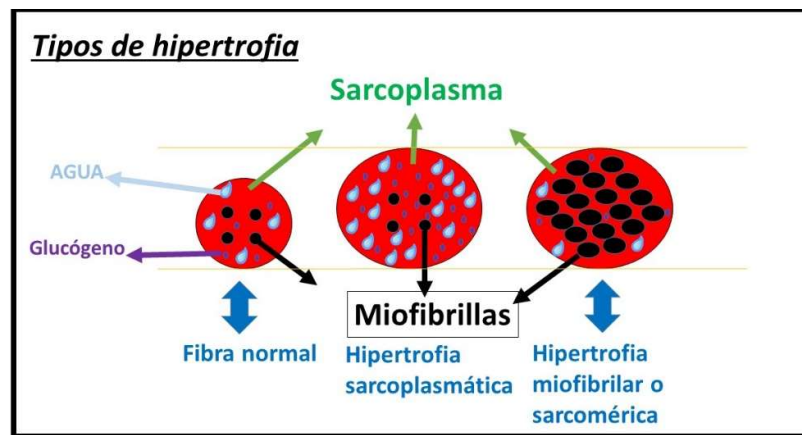


Figura 1. Tipos de hipertrofia muscular. Fuente: (Núñez, 2020).

La proporción entre miofibras y sarcoplasma se suele mantener cercana a 80% y 20% respectivamente. En un estudio de Wang y colaboradores, se encontró que, previo y posterior a un protocolo de entrenamiento de la fuerza (entrenando al 80% del 1RM, 3 series en 4 ejercicios de piernas), las miofibrillas representan el 83% del total de la fibra, el espacio intermiofibrilar alrededor del 9%, las mitocondrias un 7% y las gotas de grasa menos del 1% (ver figura 2) y estas proporciones no cambiaron pese al protocolo de entrenamiento implementado (Wang N, 1993). En otra investigación (Claassen H, 1989), donde se evaluó el efecto de seis semanas de entrenamiento de fuerza del cuádriceps en 8 hombres jóvenes sanos, se encontró un aumento de fuerza y del área de la sección transversal del músculo. Sin embargo, pese al aumento de la sección transversal del músculo, la distancia lineal entre los filamentos de miosina antes y después del entrenamiento, así como la relación de actina a filamentos de miosina no cambió con el

entrenamiento. En este estudio se vio que el ejercicio de entrenamiento de la fuerza no cambia la proporción de filamentos de actina y miosina.

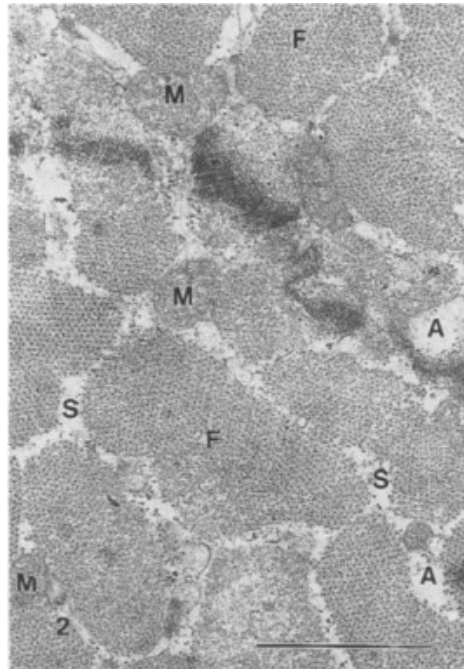


Figura 2. Fibra de tipo I de un sujeto. Se indican las mitocondrias (M), las miofibrillas (F) y los espacios interfibrilares. Fuente: (Wang N, 1993)

En contraposición a estos resultados (y lo publicado en la literatura sobre la hipertrofia sarcoplasmática), en un estudio de Haun y colaboradores se establece que la hipertrofia sarcoplasmática es en gran parte responsable de los aumentos del área de sección transversal de la fibra a corto plazo (Haun C, 2019). En la figura 3 se aprecia como la proteína de miosina del vasto lateral y la proteína de actina disminuyeron significativamente.

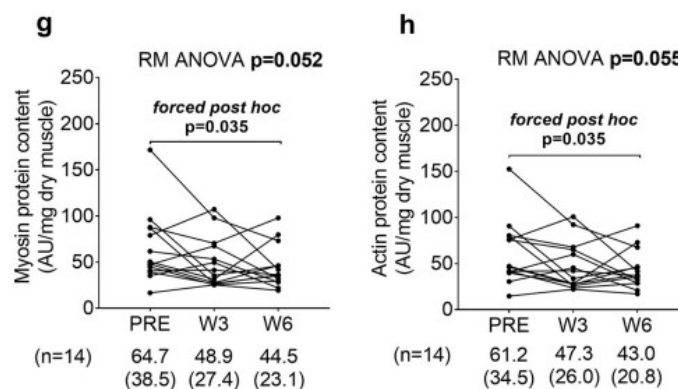


Figura 3. Las concentraciones de la proteína miosina en una biopsia del vasto lateral (panel g) y la proteína actina (panel h) disminuyeron significativamente luego de 6 semanas de entrenamiento. Fuente: (Haun C, 2019).

En sintonía con el trabajo de Haun, existe una investigación de Meijer y colaboradores donde postulan que la disminución de la tensión específica (en los culturistas comparado a deportistas de potencia y grupo control) es causada por diferencias en la densidad miofibrilar y/o modificaciones de proteínas contráctiles (Meijer J, 2015) (ver figura 4).. Una forma de diferenciar la hipertrofia sarcomérica de la sarcoplasmática es viendo la morfología física de los levantadores de potencia y los culturistas respectivamente. La evidencia sugiere que la principal diferencia entre la hipertrofia sarcoplasmática del “culturista” (bodybuilders) y la hipertrofia de los levantadores de potencia (powerlifters) se debe al tejido conectivo y al glucógeno siendo este mayor en los primeros (Schoenfeld B. , 2010).

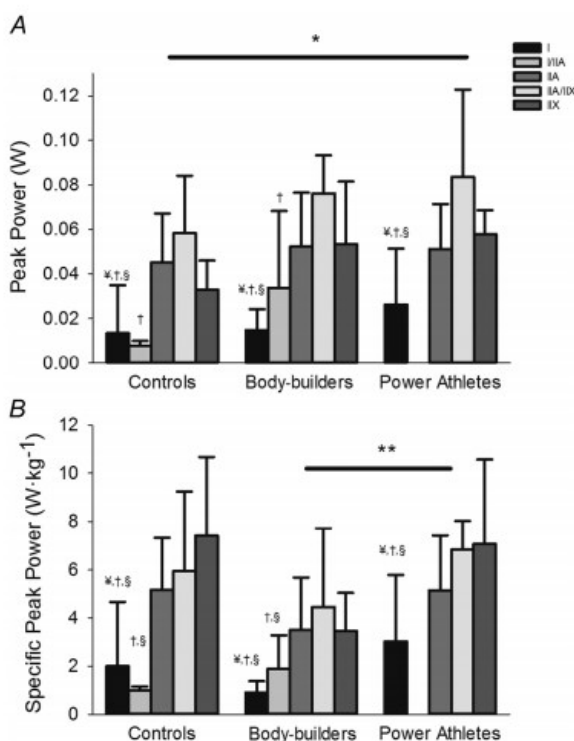


Figura 4. A) Potencia máxima (en vatios). B) potencia máxima específica (en vatios por kilogramo) de segmentos de fibras musculares desolladas del vasto lateral de sujetos de control, culturistas y atletas de potencia sin entrenamiento de fuerza. Fuente: (Meijer J, 2015)

Si se pudieran diferenciar entre diferentes tipos de hipertrofia, cabe destacar que la hipertrofia que podemos asociar con el término útil o funcional es la miofibrilar donde el aumento del tamaño y del número de las miofibrillas (como consecuencia a un aumento de la actina y miosina) genera un incremento en la sección transversal de la fibra muscular. Como resultado se puede generar más tensión y se produce un aumento de la fuerza del músculo.

Cada fibra muscular recibe su estímulo de una neurona motora. Esta neurona, denominada neurona motora somática, es una de las células nerviosas que inervan un músculo formando un haz denominado nervio motor, más las fibras musculares a las que está unida, constituye una unidad funcional llamada unidad motora. Al penetrar en el músculo esquelético, la fibra de una neurona motora somática se divide en un número variable de ramas. Las ramas neurales de algunas unidades motoras terminan sólo en unas cuantas fibras musculares, mientras que otras terminan en muchas. En consecuencia, la conducción del impulso por una unidad motora sólo puede estimular aproximadamente media docena de fibras musculares para que se contraigan a la vez, mientras que la conducción por otra unidad motora puede activar simultáneamente cien fibras o más. Este

hecho está relacionado con la función de un músculo como un todo. Como norma, cuanto menor sea el número de fibras estimuladas por la unidad motora de un músculo esquelético, más precisos serán los movimientos que ese músculo puede realizar.

Tipos de fibras musculares

Se reconocen en los mamíferos cuatro tipos de fibras musculares: fibras de tipo I que son de contracción lenta y fibras de tipo II que son de contracción rápida de las cuales existen tres subtipos: IIA, IID o IIX y IIB. En el ser humano sólo encontramos fibras de los tipos I, IIA y IIX. Se ha comprobado que las fibras que antes se clasificaban como IIB son realmente IIX (Chicharro López, 2008). Los distintos tipos y subtipos de fibras, además de presentar diferentes isoformas de miosina y velocidad de contracción, se diferencian en diversos aspectos, como su capacidad de almacenamiento de calcio, metabolismo, distribución, etc. (Chicharro López, 2008) (tabla 1).

Tabla 1. Principales características diferenciadoras de los distintos tipos de fibras musculares.

	Lentas (tipo I)	Intermedias (tipo IIA)	Rápidas (tipo IIX)
Diámetro	intermedio	grande	pequeño
Grosor de línea Z	ancho	intermedio	estrecho
Contenido de glucógeno	bajo	intermedio	alto
Resistencia a la fatiga	alta	intermedia	baja
Capilares	muchos	muchos	pocos
Contenido de mioglobina	alto	alto	baja
Velocidad de contracción	lenta	rápida	rápida
Actividad ATPasa	baja	alta	alta
Sistema energético predominante	aeróbico	combinado	anaeróbico
Motoneuronas	pequeña	grande	grande
Descarga	baja	alta	alta

Fuente: Chicharro López, Vaquero Fernández, Fisiología del ejercicio, España, Médica Panamericana, 2008, tercera edición, p. 92.

Factores que explican la hipertrofia muscular

Los factores que explican el aumento del tamaño del músculo (hipertrofia) son variados. A continuación, se describen los más relevantes mencionados y discutidos en la literatura consultada.

- El aumento del tamaño (Lüthi J, 1986) y número de las miofibrillas (Goldspink, 1985) (ver figuras 5 y 6 respectivamente).

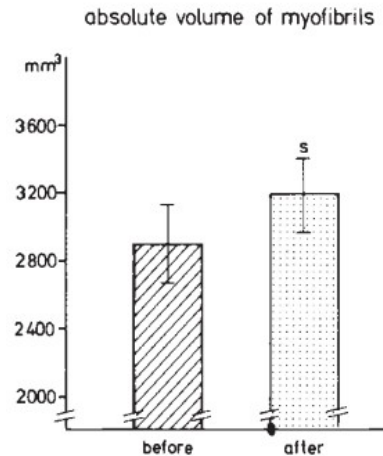


Figura 5. Volumen absoluto de miofibrillas en un corte de vasto lateral de 1 mm de espesor antes y después de 6 semanas de entrenamiento de fuerza. Fuente: (Lüthi J, 1986)

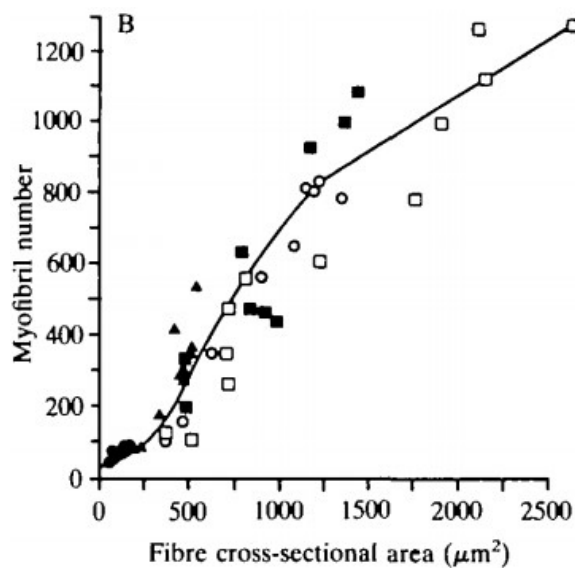


Figura 6. Aumento del número de miofibrillas por fibra durante el crecimiento. Fuente: (Goldspink, 1985).

- El desarrollo del tejido conjuntivo, que se encuentra interpuesto entre las fibras musculares y grupos de fibras, así como rodeando completamente al músculo y también acompaña el crecimiento de las fibras incrementando su tamaño. Esto se verifica, ya que luego de un proceso de entrenamiento que genera hipertrofia muscular, el tejido conjuntivo sigue representando el mismo porcentaje del tamaño del músculo que el que tenía previo al proceso de hipertrofia muscular (MacDougall J, Muscle Fiber Number in Biceps Brachii in Bodybuilders and Control Subjects, 1984). El porcentaje que representa es de aproximadamente un 13%.

- El aumento en la vascularización del músculo. Se ve reflejado en una mayor cantidad de capilares por fibra muscular (Schantz, 1982). Es importante resaltar que, si bien hay un aumento en la cantidad de capilares, el mismo, no es proporcional con el aumento del tamaño del músculo. Por lo tanto, si medimos por sección de área podría interpretarse que hay una menor cantidad de capilares porque luego de un proceso de hipertrofia, el aumento del tamaño de la fibra muscular es mayor al aumento del número de capilares.

- El aumento de tamaño de las fibras. En una revisión de Adams y Bamman, se estima que las fibras de tipo II tienden a hipertrofiar aproximadamente un 50% más que las de tipo I (Adams G, 2012). El proceso inverso, la inmovilización o incluso el aumento de la edad sin realizar entrenamiento o actividad física (personas sedentarias), produce como consecuencia una hipotrofia, o lo que es lo mismo, una pérdida en el tamaño de las fibras musculares. En este caso, las que más tamaño pierden son también las fibras de contracción rápida.

- Con relación al aumento del número de fibras musculares (o hiperplasia) no hay evidencias claras que sostengan esta posibilidad. De todos modos, si hubiera un aumento del número de fibras musculares el mismo sería en poca cantidad. Las diferencias encontradas en la cantidad de fibras musculares de diferentes deportistas probablemente estén más vinculadas a un componente genético que al factor de entrenamiento y adaptaciones. Esto se vio reflejado en la investigación de MacDougall y colaboradores, donde los números de fibra muscular se estimaron en el bíceps braquial en 5 culturistas masculinos de élite, 7 culturistas de nivel intermedio y 13 controles de la misma edad (figura 7). Encontraron un amplio rango interindividual para el número de fibras en el bíceps (172085 - 418884), pero a pesar de las grandes diferencias en el tamaño muscular, ambos grupos culturistas no tenían diferencias significativas en la cantidad de fibras musculares con el grupo de control (no entrenados). Los autores concluyen que en los humanos, el entrenamiento de fuerza pesado dirigido a lograr el tamaño máximo en el músculo esquelético no resulta en un aumento en el número de fibras (MacDougall J,

Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects., 1984). Si dicha hiperplasia existiese, la misma explicaría una proporción pequeña (5%) del aumento del tamaño muscular (Brown, 2008). En una investigación de Sjöström y colaboradores se estudiaron, mediante autopsia, los músculos tibiales anteriores izquierdo y derecho de siete hombres diestros, jóvenes, previamente sanos (edad media 23 años) con microscopio óptico. Se determinó el área de la sección transversal del músculo y el número total de fibras, el tamaño medio de la fibra y la proporción de los diferentes tipos de fibra (tipo I y tipo II) en cada sección transversal del músculo. El análisis mostró que el área de la sección transversal del músculo izquierdo era significativamente mayor y el número total de fibras era significativamente mayor que para el músculo derecho. No hubo diferencias significativas para el tamaño medio de fibra o la proporción de los dos tipos de fibra. Los resultados implican que las demandas diarias asimétricas de bajo nivel a largo plazo en los músculos de la pierna izquierda y derecha en las personas diestras proporcionan suficientes estímulos para inducir un agrandamiento de los músculos en el lado izquierdo y, que esta ampliación se debe a un aumento en el número de fibras musculares (hiperplasia de fibra) (Sjöström M, 1991). Si bien no se pueden extraer muchas conclusiones de dicho estudio, los resultados mostraron que la musculatura de la pierna derecha (dominante) tenía: un menor número de fibras musculares, un tamaño de la fibra (en promedio) levemente mayor y un área de sección transversal muscular menor. En estudios con animales se puede concluir que existe dicho aumento del número de fibras, por ejemplo, en ratas, se diseñó un aparato de entrenamiento que induce a estos animales a realizar sentadillas. El entrenamiento de sentadillas se componía de ejercicios de alta intensidad, corta duración y sobrecarga gradual. Se observaron algunas fibras divididas en el grupo de sentadillas. Al final de las 12 semanas de ambos tipos de entrenamiento el número de fibras en los músculos plantar del grupo de sentadillas fue mayor en un 14% que en los grupos control y un grupo que hacía sprint (Tamaki T, 1992). En otro estudio, se midió el efecto del levantamiento de pesas en el músculo flexor radial del carpo. Seis gatos flexionaban la muñeca derecha contra el aumento de la resistencia durante un promedio de 101 semanas (la izquierda fue utilizada como control). Al final del entrenamiento, los gatos estaban realizando levantamientos de "un brazo" con un promedio del 57% de su peso corporal. Hubo un 11% más de peso muscular y 9% más fibras en los músculos ejercitados de la extremidad derecha que en la izquierda. Este estudio respalda que el ejercicio prolongado de levantamiento de pesas aumenta significativamente el número total de fibras musculares (Gonyea W, 1986). En humanos no hay evidencia contundente al respecto pero sabemos que hay una gran variación en el

número de fibras por músculo, como se observó en el vasto lateral del cuádriceps que puede variar entre 181000 y 903000 fibras (Lexell J, 1988).

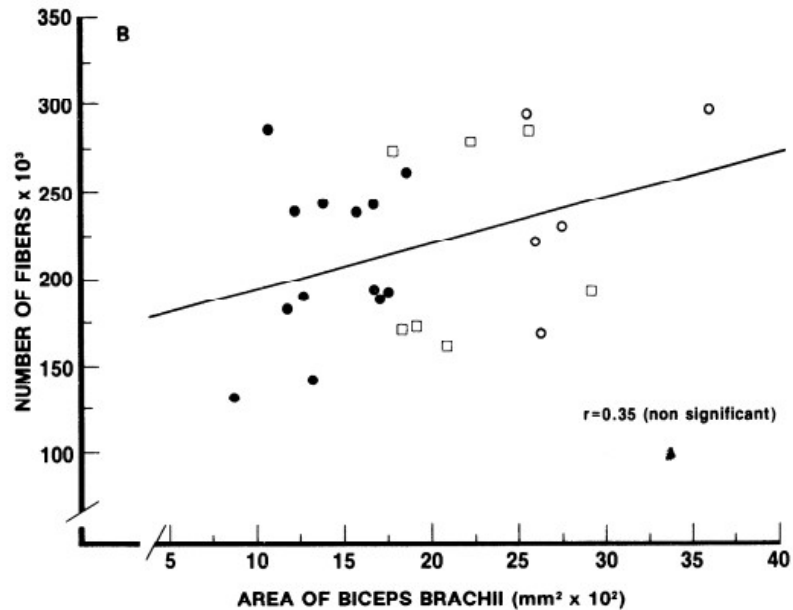


Figura 7. Número de fibras y área de sección del bíceps braquial. Círculo relleno: sujetos no entrenados. Círculos sin rellenar: culturistas elite. Cuadrados sin rellenar: culturistas nivel intermedio. Fuente: (MacDougall J, Muscle Fiber Number in Biceps Brachii in Bodybuilders and Control Subjects, 1984).

- El sarcómero es la unidad anatómica y funcional del músculo esquelético. Está limitado por dos líneas Z y está compuesto por actina y miosina que son dos proteínas. La contracción del músculo reside en el deslizamiento de los miofilamentos finos de actina sobre los miofilamentos de miosina (miofilamentos gruesos). Es evidente que el número de sarcómeros aumentan como adaptación al entrenamiento. El problema radica en aumentar la cantidad de sarcómeros en serie o aumentarlos en paralelo. Para hacerlo gráfico podría decirse que en serie representa uno al lado del otro y en paralelo uno arriba del otro. Como consecuencia de aumentar los sarcómeros en serie la fibra muscular se alarga más y esto es un factor importante para la velocidad y para aumentar el rango articular de forma activa, de forma dinámica. Al aumentar los sarcómeros a lo largo, el sujeto que entrena puede elongar más la fibra muscular y con menos riesgo de una distensión. Esto probablemente se logre con trabajos de fuerza con mucho componente excéntrico, con altos niveles de velocidad de ejecución y con ejercicios que acentúan los

niveles de fuerza en ángulos más abiertos de las diferentes articulaciones (“ROM aumentados”). Otra alternativa es el ejercicio excéntrico (en diferentes intensidades) que ha mostrado aumentar la longitud de los fascículos musculares. Esto es muy valioso para prevenir las lesiones musculares como lo son las distensiones o desgarros. Recordemos el concepto de velocidad, se define como la distancia sobre el tiempo. Si aumentamos la distancia que se puede acortar la fibra muscular en el mismo tiempo se va a mejorar dicha cualidad. Situados unos detrás de otros determinan la longitud de la fibra. A mayor número de sarcómeros en serie mayor es la velocidad con que la fibra se puede contraer. Parte de los fundamentos radican en investigaciones que evaluaron las inmovilizaciones en posición de estiramiento y encontraron como resultado un aumento de los sarcómeros en serie luego de dicha posición. El aumento del número de sarcómeros en paralelo genera una hipertrofia en la que se gana masa muscular. Se ha estudiado en ratas que, al entrenar en una cinta de correr inclinada, tenían un recuento de sarcómeros más bajo en serie que aquellas ratas que descendían (cuando la cinta de correr estaba declinada). Esto sugiere que las acciones repetidas excéntricas conducen a un mayor número de sarcómeros en serie, mientras que el ejercicio que consiste únicamente en contracciones concéntricas resulta en una disminución seriada en la longitud de los sarcómeros (Schoenfeld B. , 2010). El agregado de sarcómeros en serie y en paralelos, ambos, pueden generar hipertrofia (ver figura 8) (Franchi M, 2017).

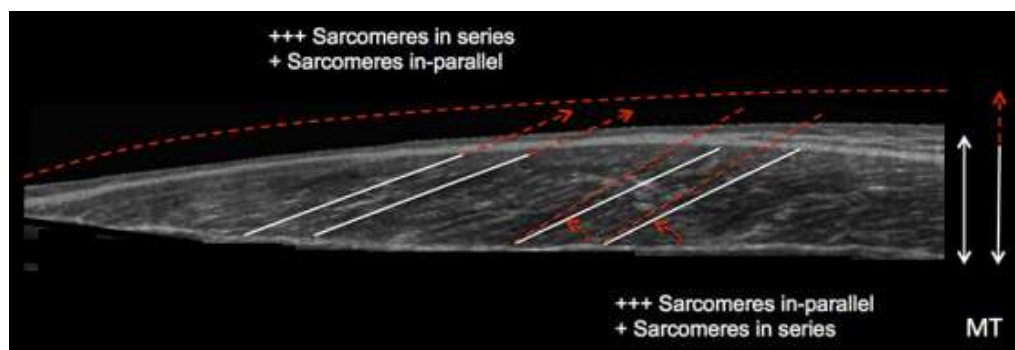


Figura 8. Diagrama esquemático que ilustra los distintos patrones hipertroáficos específicos de contracción en respuesta al excéntrico frente al concéntrico en el vasto lateral humano (imagen obtenida mediante el uso de la técnica de ultrasonido de campo de visión extendido). Se puede alcanzar un aumento similar en el espesor muscular mediante una adición preferencial de sarcómeros en paralelo (que generalmente ocurren después de entrenamiento de la fuerza concéntrico) o mediante una adición preferencial de sarcómeros en serie (que generalmente ocurren después de entrenamiento de la fuerza excéntrico). Las líneas blancas resaltan el

escenario inicial previo al entrenamiento, mientras que las líneas punteadas rojas representan un estado hipertrófico posterior al entrenamiento. Fuente: (Franchi M, 2017).

Dosis del entrenamiento para la hipertrofia muscular

Las variables necesarias a trabajar en el entrenamiento para conformar la dosis cuando el objetivo es la hipertrofia son: la intensidad, el volumen, la frecuencia, la pausa, el tipo de contracción, el tiempo bajo tensión, el rango de movimiento, el orden de los ejercicios, las repeticiones en reserva (RIR), el carácter del esfuerzo (CE), la percepción subjetiva del esfuerzo y la elección de los medios de entrenamiento. A continuación, se desarrollan los principales aspectos de cada una.

Intensidad

La intensidad constituye una variable esencial y concreta que marca la orientación del entrenamiento. La misma necesita ser cuantificada de forma objetiva para reflejar el grado de estrés muscular producido en cada esfuerzo. La intensidad de los ejercicios de fuerza ha sido asociada con el porcentaje de peso utilizado (Naclerio, 2011). También se la ha definido como 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 (Izquierdo, y otros, 2008).

La evidencia actual indica que se puede hipertrofiar con todas las intensidades del 1 RM (una repetición máxima). En una revisión científica (meta-análisis) se comparó entrenar con bajas cargas (menores al 60% del 1RM) y altas cargas (mayores al 60% del 1RM), entrenamientos de más de 6 semanas, todos los sujetos gozaban de buena salud y entrenaban al fallo muscular. El principal hallazgo fue que las ganancias en la fuerza del 1RM fueron significativamente mayores en los que entrenaron con alta carga (mayores al 60% del 1 RM). Por otra parte, los cambios en las medidas de hipertrofia muscular fueron similares al entrenar con altas cargas y bajas. Los resultados indican que los beneficios de la fuerza máxima se obtienen del uso de cargas pesadas, mientras que la hipertrofia muscular se puede lograr igualmente en un espectro de rangos de carga (Schoenfeld Brad G. J., 2017).

En una publicación reciente (Lasevicius T S. B., 2019) investigaron los efectos de entrenar la fuerza durante 8 semanas (dos sesiones por semana) con cargas bajas y altas realizadas llegando al fallo muscular o sin llegar, en la fuerza muscular y la hipertrofia.

La muestra fueron 25 hombres no entrenados pero activos. Cada miembro inferior se asignó a 1 de 4 protocolos unilaterales de extensión de rodilla: grupo de repeticiones al fallo con baja carga (30% del 1RM, llamado: LL-RF hacían unas 34 repeticiones); grupo de repeticiones al fallo con alta carga (80% del 1RM, llamado: HL-RF hacían unas 12 repeticiones); grupo de repeticiones sin ir al fallo con baja carga (30% del 1RM llamado: LL-RNF hacían unas 19 repeticiones); y el grupo de repeticiones sin ir al fallo con alta carga (80% del 1RM, llamado HL-RNF hacían unas 7 repeticiones). En todas las condiciones se realizaron 3 series con el volumen total de entrenamiento igualado entre las condiciones (series x repeticiones x kilogramos). Se evaluaron la fuerza muscular (1RM) y el área transversal del cuádriceps (CSA) antes y después de la intervención. Los resultados mostraron que los cambios del 1RM fueron significativamente mayores para HL-RF (33.8%) y HL-RNF (33.4%) en la prueba posterior en comparación con los protocolos LL-RF y LL -RNF (17.7% y 15.8% respectivamente). Con respecto a los resultados en hipertrofia el CSA del Cuádriceps aumentó significativamente para HL-RF (8.1%), HL-RNF (7.7%) y LL-RF (7.8%), mientras que no se observaron cambios significativos en el LL-RNF (2,8%). Los autores concluyen que cuando se entrena con cargas bajas, el entrenamiento con un alto nivel de esfuerzo (llegando al fallo) parece tener mayor importancia en las mejoras de masa muscular. Mientras que, para el entrenamiento de alta carga, ir al fallo muscular no promueve ningún beneficio adicional. Además, las ganancias de fuerza muscular son superiores cuando se usan cargas más pesadas (Lasevicius T S. B., 2019).

En otro estudio (Lasevicius T U. C., 2018) se investigaron los efectos de diferentes intensidades del entrenamiento de la fuerza (RT) sobre el efecto en la fuerza máxima (medida en 1RM) y el área de la sección transversal del músculo (CSA) en la flexión del codo y el press de pierna. Se trabajó sobre treinta hombres voluntarios para participar en un programa de RT, realizado dos veces por semana durante 12 semanas. Los participantes eran recreacionalmente activos sin experiencia en RT. El estudio empleó un diseño en el que una pierna y brazo entrenaron al 20% de 1RM (G20) y a la extremidad contralateral se le asignó aleatoriamente una de las tres condiciones siguientes: 40% (G40); 60% (G60) y 80% del 1RM (G80). El G20 comenzó las sesiones de RT con tres series al fallo. Después del entrenamiento con G20, el número de series se ajustó para las otras condiciones de la extremidad contralateral con volumen igualado. La CSA y 1RM se evaluaron antes, después de las 6 semanas y después de las 12 semanas. Los resultados indican que hubo un efecto positivo para CSA para el vasto lateral (8.9%, 20.5%, 20.4% y 19. 5% respectivamente para los porcentajes de 1RM) y flexores del codo (11.4%,

25.3%, 25.1% y 25%) en G20, G40, G60 y G80, respectivamente. G80 mostró CSA más alto que G20 para el vasto lateral (19.5% vs. 8.9%) y flexores del codo (25% vs. 11.4%) a las 12 semanas. La magnitud del aumento de la fuerza máxima fue mayor en G60 y G80. En conclusión, cuando las intensidades bajas a altas de RT se realizaron con un volumen igualado, todas las intensidades fueron efectivas para aumentar la fuerza muscular y el tamaño. Sin embargo, el 20% de 1RM fue subóptimo y solo la intensidad de RT más alta (80% de 1RM) se mostró superior para aumentar la fuerza y el CSA en comparación con las bajas intensidades.

De acuerdo al estudio recién descripto, el grupo que entrenaba al 20% del 1RM fue claramente el que menos mejoró su sección transversal (hipertrofia). El grupo que entrenó al 80% del 1RM fue el que más mejoró la fuerza máxima junto con el grupo 60%. En conclusión, las intensidades que van del 20% al 80% de 1RM son efectivas para aumentar la fuerza muscular y la hipertrofia en hombres sin experiencia en RT. Sin embargo, la intensidad del entrenamiento de la fuerza más baja (20% 1RM) fue la que menos mejoró la sección transversal y la fuerza máxima (ver figuras 9 y 10). Con respecto a las ganancias de fuerza, durante las 6 semanas iniciales de entrenamiento, todas las intensidades estudiadas pueden producir aumentos en el 1RM. No obstante, si el objetivo principal es maximizar las ganancias de fuerza durante el entrenamiento a largo plazo, es necesario emplear intensidades de entrenamiento más altas ya que las mismas mejoraron más la fuerza máxima (esto se vio en el grupo 60% y 80%). Si bien se mejora en todas las zonas de entrenamiento de la fuerza, algunas serán más óptimas para un objetivo y otras para otro. Según este estudio, parece que el límite para hipertrofiar estaría entre el 30% o 40% del 1RM y si se quiere ganar fuerza hay que entrenar con porcentajes mayores. Sin embargo, esto depende, y se ve modificado, con el nivel de entrenamiento de los sujetos y de algunas variables más. Otro aspecto a tener en cuenta es que este estudio se realizó con personas sin experiencia en el entrenamiento de pesas, probablemente sea el motivo que explique que con cargas o intensidades bajas se logren muchos beneficios para la fuerza y la hipertrofia. Si la población es entrenada se hace necesario incrementar las intensidades para obtener mejores resultados.

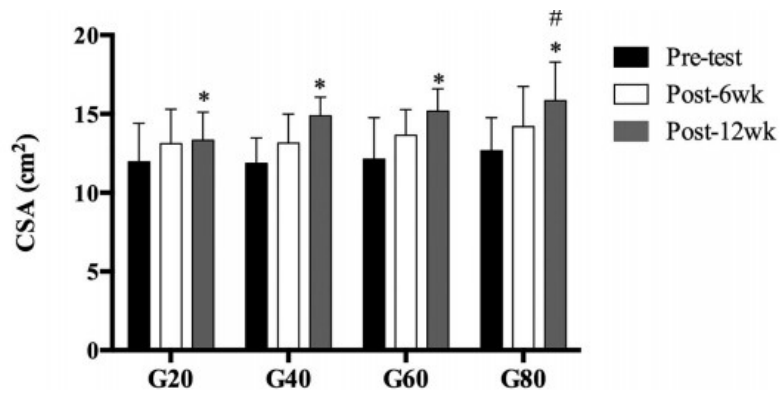


Figura 9. Valores del área de la sección transversal del músculo del flexor del codo desde antes de la prueba hasta después de las 6 semanas y después de las 12 semanas para las condiciones G20, G40, G60 y G80 (media $\pm$ DE). * Diferencia significativa con la prueba previa ($p < .05$). # Significativamente mayor que el grupo G20 después de las 12 semanas. Fuente: (Lasevicius T U. C., 2018).

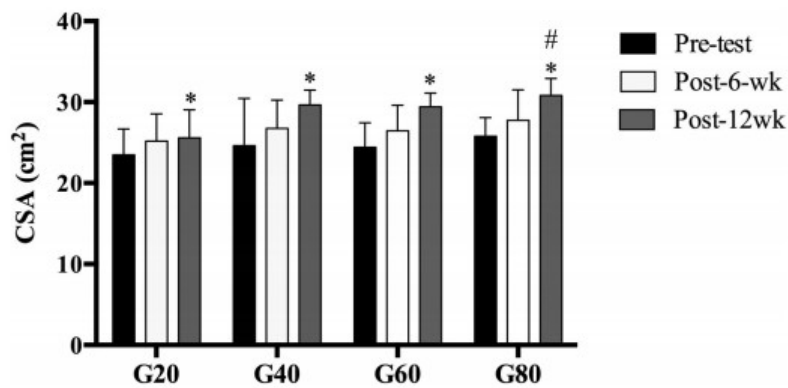


Figura 10. Valores del área de la sección transversal del músculo vasto lateral desde antes de la prueba hasta después de las 6 semanas y después de las 12 semanas para las condiciones G20, G40, G60 y G80 (media $\pm$ DE). * Diferencia significativa con la prueba previa ($p < .05$). # Significativamente mayor que el grupo G20 después de las 12 semanas ($p < .05$). Fuente: (Lasevicius T U. C., 2018).

En línea con los estudios anteriores, en otro meta análisis (Rhea M, 2003) diferenciaron las ganancias de fuerza en individuos sin entrenamiento (aquellos con menos de 1 año de entrenamiento constante) y encontraron que experimentan ganancias máximas con una intensidad media de entrenamiento del 60% de su 1 RM o aproximadamente 12 RM. En individuos entrenados, una intensidad media del 80% del 1 RM u 8 RM provoca el mayor aumento de fuerza (ver figura 11) (Rhea M, 2003). En otra revisión (Wernbom M, 2007) los resultados respaldan las recomendaciones típicas con

niveles de intensidad de 70 a 85% del máximo cuando se entrena para hipertrofia muscular, pero también muestran que es posible una hipertrofia marcada tanto con cargas altas como con bajas. Además, los autores dividen la intensidad recomendada para la hipertrofia, en principiantes e intermedios, 50% del 1RM y 75–80% del 1RM respectivamente (Wernbom M, 2007).

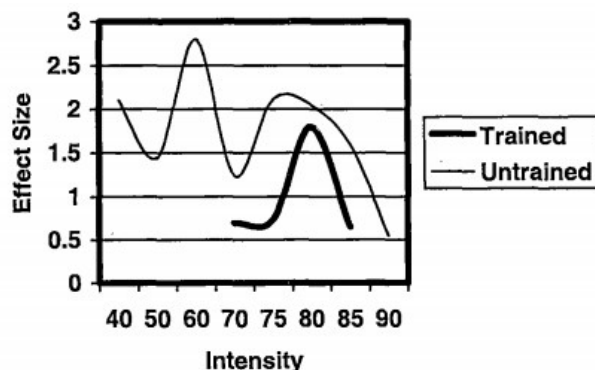


Figura 11. Curvas dosis-respuesta para intensidad. Fuente: (Rhea M, 2003).

Volumen

El volumen del entrenamiento es una medida de la cantidad total de ejercicio efectuado. Se expresa en función del número de repeticiones, los kilogramos totales levantados o la duración de la sesión o el período de entrenamiento (Izquierdo, y otros, 2008). En el campo del entrenamiento de la fuerza, la forma más utilizada para cuantificar el volumen consiste en sumar la cantidad total de kg que se ha movilizado en uno o varios entrenamientos. Este valor se calcula multiplicando las series por las repeticiones por los pesos utilizados en cada ejercicio. El volumen resultante constituye un valor absoluto que refleja la capacidad de un deportista y permite compararlos con otros (Naclerio, 2011).

En otra investigación de (Schoenfeld C. K., 2019), se compararon las adaptaciones musculares que producen diferentes cantidades de series. Treinta y cuatro hombres sanos entrenados en fuerza (experiencia de aproximadamente 4,4 años) fueron asignados aleatoriamente a uno de tres grupos experimentales: un grupo de bajo volumen que realizaba una serie por ejercicio por sesión de entrenamiento ($n = 11$), un grupo de volumen moderado que realizaba tres series por ejercicio por sesión de entrenamiento ($n = 12$), y un grupo de alto volumen que realizaba cinco series por ejercicio por sesión de entrenamiento ($n = 11$). Realizaron tres sesiones semanales en días no consecutivos durante 8 semanas. Las series fueron entre 8 y 12 repeticiones llegando al fallo. Una

cadencia de 1 segundo para la fase concéntrica y 2 segundos para la excéntrica. Los sujetos tuvieron 90 segundos de descanso entre series y 120 segundos entre ejercicios. Si los participantes podían realizar más de 12 repeticiones se incrementaba la carga y si realizaba menos de 8 se disminuía. El protocolo de fuerza consistió en siete ejercicios por sesión dirigidos a los principales grupos musculares del cuerpo. Los siete ejercicios realizados fueron: press de banco plano con barra, prensa militar con barra, tirones al pecho por delante agarre abierto, remo en polea, sentadilla con barra en la espalda, prensa de pierna en máquina y extensiones a una pierna de cuádriceps sentado. La fuerza muscular se evaluó con una prueba de repetición máxima (RM) para la sentadilla y el press de banco plano con barra. Mientras que la resistencia muscular de la parte superior del cuerpo se evaluó utilizando el 50% del 1RM con el ejercicio de press en banco plano realizado hasta el fallo. La hipertrofia muscular se evaluó mediante ecografía para los flexores del codo, los extensores del codo, muslo medial y el muslo lateral. Los resultados mostraron aumentos significativos entre la pre intervención y la pos intervención en la fuerza y la resistencia en todos los grupos, sin diferencias significativas entre los grupos. Alternativamente, si bien todos los grupos aumentaron el tamaño muscular, en la mayoría de los sitios medidos desde la pre intervención hasta la pos intervención, se observaron aumentos significativos que favorecen las condiciones de mayor volumen para los flexores del codo, el muslo medio y el muslo lateral. Los autores concluyen que los individuos entrenados en fuerza pueden lograr aumentos marcados en la fuerza y la resistencia con solo tres sesiones semanales de 13 minutos durante un período de 8 semanas, y estas ganancias son similares a las logradas con un compromiso de tiempo sustancialmente mayor. En cuanto a la hipertrofia muscular sigue una relación dosis-respuesta, con ganancias cada vez mayores con mayores volúmenes de entrenamiento. En este estudio se puede ver cómo mejorar la fuerza máxima no requiere de tanto volumen, pero para hipertrofiar el volumen es más importante.

Otro estudio (Schoenfeld, Peterson, Ratamess, Contreras, & Sonmez, 2014), en el que diecisiete hombres jóvenes fueron asignados al azar a un grupo de entrenamiento de fuerza orientado a la hipertrofia, realizaron 3 series de 10 repeticiones máximas (10RM), con un descanso de 90 segundos (típico entrenamiento de “hipertrofia”) y otro grupo de entrenamiento de la fuerza que realizó 7 series de 3RM con 3 minutos de descanso (típico de “fuerza máxima”). Después de 8 semanas, no se observaron diferencias significativas en el grosor muscular de los bíceps braquiales entre ambos grupos, se igualó el volumen y se obtuvieron similares ganancias de masa muscular. Parte de las conclusiones de los autores establecen que este estudio demostró que el entrenamiento característico del

culturismo como el de levantamiento de pesas pesado (fuerza) promueven aumentos similares en el tamaño muscular. Los estudios establecen que para la hipertrofia muscular es importante igualar el volumen total de entrenamiento. Es decir, a igual volumen se obtienen similares ganancias de hipertrofia muscular (figura 12).

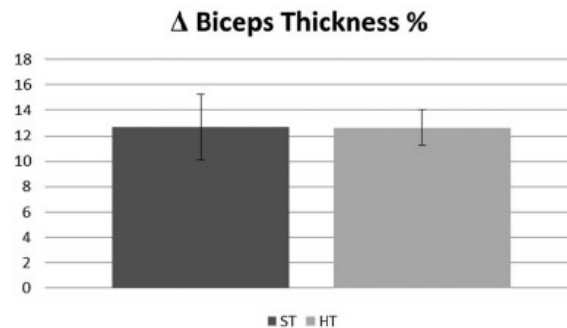


Figura 12. Representación gráfica del cambio en el grosor del músculo del bíceps braquial antes y después de la intervención para ST (entrenamiento típico de fuerza) y HT (entrenamiento típico de hipertrofia). Fuente: (Schoenfeld, Peterson, Ratamess, Contreras, & Sonmez, 2014).

En la revisión de (Wernbom M, 2007) se establece, como se mencionó previamente, que la intensidad recomendada para la hipertrofia, en principiantes e intermedios es del 50% del 1RM y 75–80% del 1RM respectivamente. Además, recomiendan para los principiantes realizar entre 1 y 4 series por grupo muscular y entre 8 y 14 repeticiones. Mientras que para los intermedios recomiendan realizar entre 8 y 10 repeticiones al fallo o cercano a este e ir progresando en las series por grupo muscular de 1 a 6.

Número de series y frecuencia

Con referencia al número de series óptimas, en base a los resultados de una revisión con meta análisis (Schoenfeld Brad O. D., 2016), parece que al menos 10 series semanales por grupo muscular son necesarias para maximizar los aumentos en la masa muscular. Incluso puede que exista un umbral para el volumen más allá del cual las adaptaciones hipertróficas se estabilizan y quizás incluso retroceden debido al sobreentrenamiento. Al referirse a la frecuencia, lo más común es establecerla en un período de tiempo determinado (microciclo, mesociclo, macrociclo). Comúnmente se establece el número de veces que se va a estimular un grupo muscular en una semana (normalmente considerado microciclo). Algunos estudios refieren que esta frecuencia óptima por grupo muscular está entre 2 y 3 (figura 13) (Wernbom M, 2007). En otro meta análisis y revisión

sistemática (Schoenfeld B, 2016) se concluye que al comparar los estudios que investigaron el entrenamiento de grupos musculares entre 1 y 3 días por semana sobre una base equivalente de volumen, la evidencia actual indica que las frecuencias de entrenamiento dos veces por semana promueven resultados hipertróficos superiores a una vez por semana. De esta manera, se puede inferir que los principales grupos musculares deben entrenarse al menos dos veces por semana para maximizar el crecimiento muscular. En el mismo meta análisis se resalta la necesidad de evaluar y determinar si entrenar un grupo muscular tres veces por semana es superior a un protocolo de dos veces por semana.

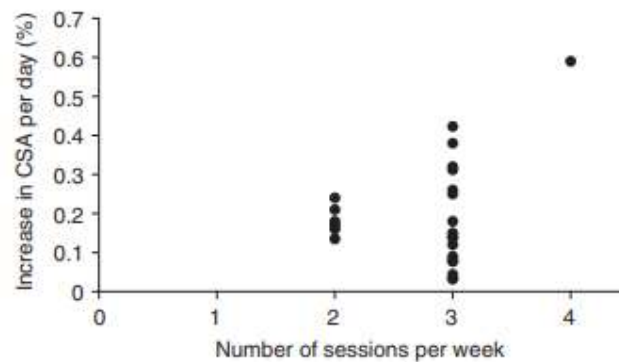


Figura 13. Frecuencia de entrenamiento vs porcentaje de aumento en el área transversal (CSA) por día de los flexores del codo durante el entrenamiento de resistencia externo dinámico (número de grupos de estudio = 24). Fuente: (Wernbom M, 2007).

Pausa entre series

Al referirnos a la pausa entre series, las investigaciones indican que lo importante es descansar lo suficiente como para poder recuperarnos. Si el objetivo es la hipertrofia, y a diferencia de lo que se creía hace unos años (principios del 2000), donde se incitaba a descansar poco (cercano a 30 segundos o 1 minuto por respuestas agudas hormonales que hoy sabemos no son las más determinantes de dicha hipertrofia), se recomienda descansar más para poder realizar un mayor volumen de entrenamiento de calidad. Con respecto al rol de las hormonas, en un estudio (West D, 2010) cuyo objetivo fue determinar si las elevaciones inducidas por el ejercicio de fuerza en las hormonas endógenas mejoran la fuerza muscular y la hipertrofia con el entrenamiento, 12 hombres jóvenes sanos (21,8 años) entrenaron los flexores del codo de forma independiente durante 15 semanas en días separados y en diferentes entornos hormonales. En una condición de entrenamiento, los participantes realizaron ejercicios de flexión de brazos aislados diseñados para mantener las concentraciones de hormonas basales (hormona baja, LH); en la otra

condición de entrenamiento, los participantes realizaron un ejercicio de brazo idéntico al de la condición de LH seguido inmediatamente por un gran volumen de ejercicio de resistencia en las piernas para provocar un gran aumento de hormonas endógenas (hormona alta, HH). No hubo elevación de la hormona del crecimiento (GH) sérica, factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-1) o testosterona después del protocolo de LH, pero fueron significativas las elevaciones en estas hormonas inmediatamente, 15 y 30 minutos después del protocolo HH. El área de la sección transversal del músculo aumentó en un 12% en LH y un 10% en HH sin diferencias entre las condiciones (figura 14). La fuerza aumentó en ambos brazos, pero el aumento no fue diferente entre las condiciones de LH y HH. Los autores concluyen que la exposición del músculo a elevaciones agudas inducidas por el ejercicio en las hormonas anabólicas endógenas no mejora ni la hipertrofia muscular ni la fuerza con el entrenamiento de fuerza en hombres jóvenes.

Esto va en concordancia con la investigación de Schoenfeld y colaboradores donde establece, en las aplicaciones prácticas, que períodos de descanso más largos promueven mayores aumentos en la fuerza muscular y la hipertrofia. En dicho estudio compararon pausas de 1 minuto versus 3 minutos encontrando mayores beneficios con 3 minutos de pausa (Schoenfeld, y otros, 2016). Los períodos de descanso más largos pueden permitir la realización de un mayor número de repeticiones y el mantenimiento de una mayor intensidad y volumen de entrenamiento, y por lo tanto pueden permitir una mayor activación muscular por serie (Schoenfeld, y otros, 2016).

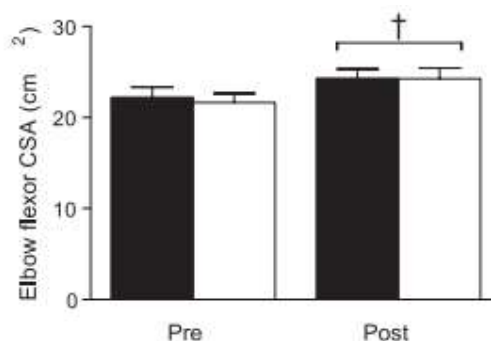


Figura 14. Área de sección transversal del flexor de codo (CSA) antes y después del entrenamiento en LH (condiciones hormonales bajas barras sin rellenar) y HH (condiciones hormonales altas, barras negras). Fuente: (West D, 2010).

Las pausas para permitir la realización de un alto volumen deberían ser de 2 minutos entre series o 3 minutos, pero no de 1 minuto ya que el volumen realizado sería

significativamente menor (Kassiano W, 2020). Por otra parte, pese a trabajar con el mismo porcentaje del RM no va a ser la misma pausa la que corresponde para un ejercicio multiarticular que uno monoarticular. Si en ambos ejercicios se llega al fallo muscular, el multiarticular va a demandar una mayor recuperación.

Tipo de contracción muscular

Otro de los aspectos que suele traer dudas al momento de dosificar el ejercicio es el tipo de contracción muscular seleccionada cuando el objetivo es la hipertrofia muscular. La discusión se centra entre el tipo de contracción concéntrica y excéntrica. Ambos modos de contracción pueden promover una hipertrofia muscular significativa. De todos modos, el entrenamiento solo excéntrico ha demostrado tener una pequeña ventaja sobre el entrenamiento solo concéntrico para promover una respuesta hipertrófica. Esto se vio reflejado (figura 15) en la revisión sistemática con meta análisis antes mencionada (Schoenfeld O. D., 2017).

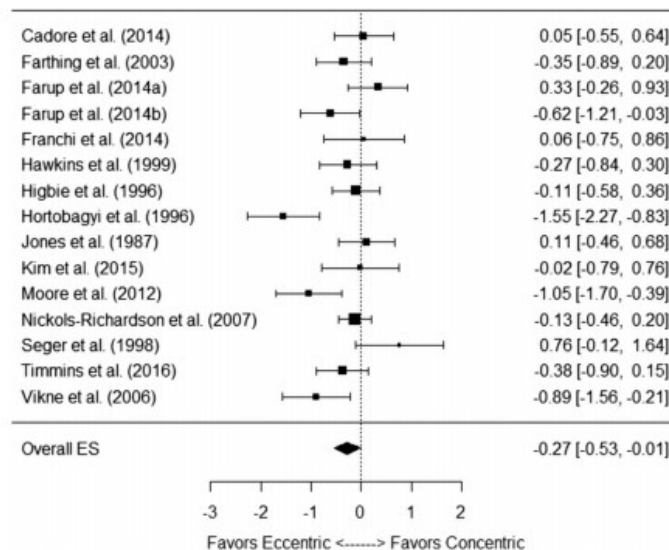


Figura 15. Diagrama de los estudios que comparan los cambios en la hipertrofia muscular en el entrenamiento concéntrico versus excéntrico. Fuente: (Schoenfeld O. D., 2017).

Tiempo bajo tensión

Cuando el objetivo es la hipertrofia muscular, tenemos que maximizar todas las variables que faciliten dicho objetivo. Por eso es importante conocer el tiempo bajo tensión, conocido por sus siglas en inglés como TUT (*time under tension*), que hace referencia a la duración total de una repetición contemplando las distintas fases de la

misma (concéntrica, excéntrica y si hubiera isométrica). En un meta análisis (Schoenfeld Brad O. D., 2015) se concluye que la evidencia indica que los resultados hipertróficos son similares cuando se entrena con duraciones de repetición que van desde 0,5 a 8 s hasta la falla muscular concéntrica. Los resultados sugieren que el entrenamiento con duraciones voluntariamente muy lentas (10 segundos por repetición) es inferior desde el punto de vista de la hipertrofia. Es muy importante recordar que el volumen total realizado es fundamental al momento de inducir adaptaciones de hipertrofia, y es por eso, que si el TUT es muy largo, debido a la fatiga generada, estemos limitando la cantidad de repeticiones a un número menor.

Rango de movimiento

Otra variable de interés para la hipertrofia es el rango de movimiento que debemos realizar en la ejecución de diferentes ejercicios. Es frecuente ver entrenamientos realizados con rango de movimiento parcial y rango de movimiento completo. Aunque se puede mejorar el grosor muscular (hipertrofia) con rangos completos y parciales, al realizar rango completo las ganancias son levemente mayores (figura 16) (Pinto R, 2012). En concordancia con esto, una investigación publicada por McMahon y colaboradores, donde uno de los objetivos era identificar las diferencias entre el entrenamiento en un rango de movimiento (ROM) más largo (LR) en comparación con un rango de movimiento (ROM) más corto (SR) se encontraron mayores beneficios en el área de sección transversal (hipertrofia) en el grupo que entrenó con LR (McMahon G, 2014).

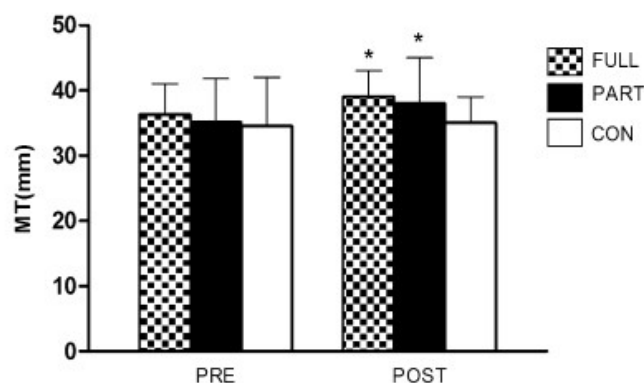


Figura 16. Resultados de las mediciones del grosor muscular (MT) antes y después de 10 semanas de entrenamiento. * Superior a la línea de base (p, 0,05); FULL = grupo de rango de movimiento completo; PART = grupo de rango de movimiento parcial; CON = grupo de control. Fuente: (Pinto R, 2012).

Orden de los ejercicios

En cuanto al orden de los ejercicios los mayores beneficios se obtienen de los ejercicios que se realizan al inicio de la sesión del entrenamiento si los comparamos con los ejercicios que se realizan al final. Esto quiere decir que el orden de los mismos va a depender del objetivo del entrenamiento o de la rehabilitación. La recomendación es realizar primero los ejercicios que trabajen aquellos grupos musculares donde se quiera enfocar la ganancia de masa muscular y de fuerza. El orden del ejercicio puede ser particularmente importante para mejorar la fuerza durante el entrenamiento de la fuerza. Si un ejercicio es importante para los objetivos del entrenamiento de un programa, debe colocarse al comienzo de la sesión de entrenamiento, ya sea un ejercicio de grupo muscular grande o pequeño (Roberto Simão , Juliano Spinetti , Belmiro F., 2010). En función de los resultados en la mejora de fuerza y del aumento de tamaño del músculo, la evidencia indica que los ejercicios que son particularmente importantes para los objetivos deben ubicarse al comienzo de la sesión. Además, no se debería en los primeros ejercicios entrenar al fallo o muy cerca de este para evitar que la fatiga generada impida que el resto del entrenamiento sea con calidad o reduzca el volumen de la sesión. Siempre depende del objetivo, dicho volumen es importante en la hipertrofia y es menos importante en la fuerza máxima.

Repeticiones en reserva

Otra variable a considerar cuando el objetivo es la hipertrofia muscular es el RIR (del inglés: *repetitions in reserve*) o repeticiones en reserva que son las repeticiones que quedan por hacer hasta llegar al fallo una vez que termina una serie. El fallo es cuando se trabaja con un carácter del esfuerzo máximo, es decir, es realizar el máximo de las repeticiones posibles y “fallar” sin poder continuar con el ejercicio. Trabajar en RIR 2 quiere decir que si se hacen 8 repeticiones y se termina la serie todavía podía realizarse dos repeticiones más. RIR 0 no es necesariamente ir al fallo, porque ir al fallo incluye “fallar en el intento”. RIR 0 sería que no se puede hacer una repetición más, pero puede no haber “fallado” (se termina la serie antes de fallar). Esta estrategia es una herramienta de gran utilidad debido a que, por ejemplo, si se presentan dificultades para evaluar el 1RM a 10 personas de un equipo deportivo o predecir su RM con un test indirecto, se puede enseñar a los deportistas a trabajar con RIR 2 escogiendo una mancuerna o barra con la que hagan 8 repeticiones de 10 posibles y de esa manera, van a estar todos trabajando en una misma intensidad relativa lo cual es una ventaja. Sumado a que el 1RM se modifica por muchos factores como la fatiga acumulada, el estrés laboral, la falta de

sueño, entre otros. Otra ventaja es que este método lo podemos aplicar en ejercicios monoarticulares y multiarticulares. No sería correcto evaluar el 1RM en todos los ejercicios (no tiene sentido y el riesgo de lesión aumenta innecesariamente). El RIR no nos indica el volumen, debido a que no es lo mismo un RIR 5 sobre 15 repeticiones posibles que, sobre 7 repeticiones posibles, en el segundo caso sólo estaríamos haciendo 2 repeticiones.

Carácter del esfuerzo

De forma similar, existe una variable relacionada con la anterior y es el carácter del esfuerzo (CE) que viene determinado por la relación entre el número de repeticiones realizadas por serie con respecto a las máximas realizables o posibles de realizar en ese mismo ejercicio, con el mismo peso y en ese mismo momento (García-Orea, 2013). El carácter del esfuerzo podrá ser máximo o submáximo y este se puede dividir en alto, medio o ligero. Badillo y colaboradores relacionaron el carácter del esfuerzo con la pérdida de velocidad en la serie. Cuando el CE es alto o muy alto habrá una pérdida mayor al 25-30% de la velocidad máxima para esa carga y se dejará por hacer entre 2 y 4 repeticiones. Por último, con un CE máximo la pérdida es de un 50-70% y se realiza el máximo de repeticiones por serie (Badillo Gonzales Jose. Sanchez Medina Luis, 2017).

Por lo tanto, la evidencia indicaría que entrenar más cerca del fallo sería conveniente cuando el objetivo es la hipertrofia. Pareja Blanco y colaboradores encontraron que pérdidas de un 40% de la velocidad máxima para una carga obtuvo mayores beneficios que la pérdida de hasta un 20%. Aunque ambos casos aumentaron el área de sección transversal medio de las fibras y el volumen total del músculo cuádriceps, el entrenamiento con pérdida de velocidad de repetición de un 40% provocó una mayor hipertrofia del vasto lateral e intermedio que el grupo que perdía un 20% (Pareja-Blanco, 2016). Hallazgos similares, se encontraron en varios estudios más, donde parece que la mayor pérdida de velocidad de la serie, asociado inevitablemente a un mayor volumen (por aumento del número de repeticiones) genera mayores beneficios en la hipertrofia muscular (Pareja Blanco A. S., 2020), (Pareja Blanco A. C., 2020). Paralelamente, existen trabajos de investigación que avalan, con referencia a mayores beneficios en potencia y fuerza, la ejecución de los ejercicios a alta velocidad siempre y cuando se igualen los volúmenes. Un caso es el estudio de (Mohamad NI, 2012) donde se equiparó el volumen de entrenamiento (la relación entre series, repeticiones y % del RM) y se obtuvieron esos resultados ya mencionados. Lo interesante de esto no radica solamente en algo que parece evidente, como es la mayor mejora de la potencia si la velocidad de ejecución es rápida

comparado a lento, sino que también aumenta el tiempo bajo tensión y “quizás” las adaptaciones de hipertrofia. De todos modos, la hipertrofia no fue evaluada en este estudio, pero es un estudio indicativo de que la fase concéntrica debe realizarse a alta o a la máxima velocidad posible.

La velocidad también puede ser importante en otros aspectos. Las predicciones por medio de fórmulas indirectas de la repetición máxima (1RM) tienen un gran margen de error y, este es mayor cuanto más nos alejamos del 1RM e inducen más fatiga que la propia medición del 1RM y la carga mecánica probablemente sea mayor, ya que la última repetición se realiza a velocidades similares a la del 1RM (sumado a las repeticiones realizadas previamente). Incluso, la 1RM puede variar todos los días hasta un más-menos 14% (modelo hipotético de (Shattock, 2018)) y su medición, mediante un test, lleva mucho tiempo e induce a la fatiga. Por lo tanto, no se puede realizar todos los días el test de la 1RM ya que eso afectaría gravemente el entrenamiento. La 1RM se puede ver afectado por mal sueño, factores nutricionales, fatiga acumulada de días previos, estrés, etc.

En un meta análisis de Davies y colaboradores se concluye que se pueden lograr aumentos similares en la fuerza muscular con el entrenamiento al fallo o sin llegar al fallo. El entrenamiento sin ir al fallo resultó en un aumento de fuerza levemente mayor que el entrenamiento al fallo. Se observó en estudios con y sin volumen controlado (Davies T, 2016). Gracias al uso de las diferentes tecnologías (ej. encoders) se sabe que existe una velocidad diferente para cada porcentaje de la RM, que se modifica en función del ejercicio. Por ejemplo, la 1RM del press de banco plano se alcanza a una velocidad de 0,18-0,19 m/seg. Esta velocidad se calcula de la fase de aceleración o también llamada propulsiva o de la potencia promedio de la fase concéntrica. En un estudio de García-Ramos y colaboradores se encontró que la velocidad media es igual de fiable que la velocidad media propulsiva (García-Ramos A, 2018).

Percepción del esfuerzo

El control de los esfuerzos o de la intensidad lo podemos lograr a partir de la percepción subjetiva del esfuerzo (figura 17). Después de realizar un esfuerzo (ejercicio), luego de la primera o de la segunda repetición, se puede preguntar: ¿cómo sentiste la carga o el esfuerzo? Se muestra una tabla y la persona contesta en base a su percepción en la escala numérica. La percepción del esfuerzo se expresa en palabras de fácil comprensión, como pueden ser: “sentí poco”, “creo que podía hacer muchas repeticiones

más”, “lo sentí muy pesado”, “muy fácil”, “fácil”, “difícil”, “muy difícil”, etc. Utilizando este criterio o similares, se han elaborado escalas de percepción subjetiva del esfuerzo. A medida que aumenta la intensidad en los ejercicios de musculación, es decir el porcentaje de 1 RM, aumenta la percepción del esfuerzo. Por otra parte, el incremento de la fatiga, el cansancio, también van a aumentar dicha percepción. Entre las investigaciones que han validado y utilizado este tipo de escalas se pueden mencionar (Robertson R G. F., 2003), (Robertson R G. F., 2008), (Kristen M, 2009).

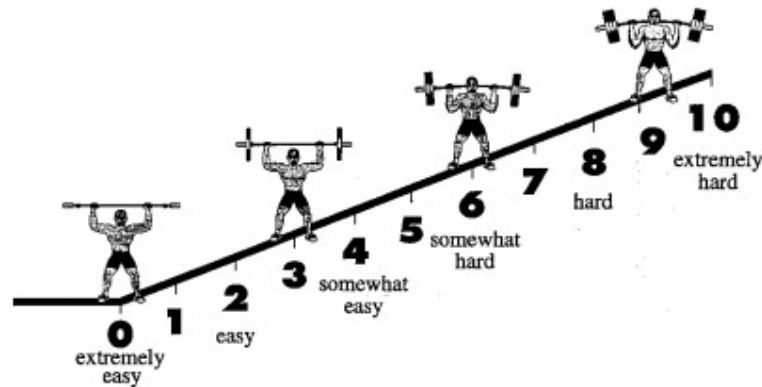


Figura 17. Escala de esfuerzo percibido del ejercicio de fuerza. Fuente: (Robertson R G. F., 2003).

Elección de los medios de entrenamiento

En cuanto a los medios de entrenamiento, aunque las pesas libres y las máquinas de levantamiento de pesas son los modos más frecuentes de entrenamiento de la fuerza, los resultados de una revisión sistemática indican que la sobrecarga excéntrica inducidos por dispositivos de volante (dispositivos isoinerciales) y realizados a alta intensidad están asociados con mayores mejoras de hipertrofia muscular en sujetos sanos y bien entrenados (Maroto Izquierdo, 2017). Existen muchos medios de entrenamiento como las máquinas isocinéticas, la estimulación vibratoria, la electroestimulación neuromuscular, las estructuras elásticas, la restricción del flujo sanguíneo durante el entrenamiento de pesas. En la actualidad, la mayoría de los estudios se refieren a los medios gravitacionales con la utilización de barras, mancuernas, discos, siendo estos los materiales de más fácil acceso, uso y donde el control de las variables de dosificación está ampliamente estudiado.

Síntesis del material relevado

En base al material revisado, la dosis del entrenamiento se puede modificar con el fin de determinar qué variables y cuáles características se necesitan para obtener los mayores beneficios con el objetivo de aumentar la masa muscular. Las variables para optimizar el entrenamiento y la dosis se resumen en la tabla 2. Se reflejan los parámetros más específicos para determinar la dosis del entrenamiento orientada a la hipertrofia muscular.

Tabla 2. Variables que orientan el entrenamiento para la hipertrofia muscular.

Variables para dosificar	Hipertrofia
Intensidad (% de RM)	Principalmente 60-80 , pero se puede entre 30-100 o más.
Repeticiones	Cualquier rango, pero el 60-75% del trabajo tiene que ser entre 6 a 12 repeticiones, y 25-40% de las repeticiones entre 1-6 o 12-15 y hasta 30 repeticiones.
Velocidad	Fase concéntrica máxima y excéntrica controlada. Ejemplo: 1seg concéntrica/entre 2-4seg excéntrica. Rango de la velocidad media propulsiva (concéntrica) entre 0,1 y 0,9m/s .
% de pérdida de velocidad (con referencia de la máxima para la carga)	40% o más en series cercanas al fallo. Recomendación: Normalmente realizar más de la mitad de las repeticiones posibles, con un carácter del esfuerzo alto o cercano al máximo.
Pausas entre series	2-3min
Pausa entre repeticiones (para una misma serie)	Puede ser una opción para aumentar el número de repeticiones totales.
Percepción del esfuerzo	Principalmente entre 4-7 (al principio) y 4-10 (al final).
Carácter del esfuerzo	Normalmente máximo o cercano a este. También puede ser alto y menos frecuente medio.
RIR	0-3 (más cerca de 3 genera menos fatiga).
TUT tiempo bajo tensión	Menos de 6 segundos entre ambas fases, pero puede hasta 8 segundos (concéntrica y excéntrica). Ejemplo: 1seg concéntrico, 3/4seg excéntrico.
Repeticiones por sesión x músculo	40-70
Frecuencia de trabajo de un músculo por semana	2 a 3 veces
Volumen semanal x Músculo (repeticiones)	80-210 repeticiones por semana

Series x semana x Músculo	8 a 21
Tipo de ejercicio preferente a utilizar	Multiarticular-Monoarticular

Además, en la tabla 3 se sintetizan las principales adaptaciones, efectos y aplicaciones relacionadas con la hipertrofia.

Tabla 3. Principales adaptaciones y aplicaciones vinculadas con la hipertrofia.

	Hipertrofia
Principales adaptaciones y efectos	Se genera aumento de: - tamaño de las fibras musculares - número y tamaño de las miofibrillas - los sarcómeros en paralelo (aumento de la sección transversal) - tejido conectivo, vascularización y capilares - las vías de señalización - aumento de los mionúcleos y su capacidad de mejorar la síntesis proteica - el número de ribosomas - probablemente aumento de células satélite Tendencia a conversión de fibras tipo IIx a IIa. Incremento de las reservas de glucógeno, agua y triglicéridos en el músculo. Máxima producción de lactato. Hipertrofia significativa de fibras tipo I y IIa. Efecto agudo de aumento de la hormona de crecimiento, lactato y testosterona. Mayor estrés metabólico.
Principales aplicaciones	Fases intermedias en rehabilitación. Estética. Deportes de equipo o individuales que necesitan ciertos niveles de hipertrofia. Mejoras de fuerza en principiantes e intermedios.

Conclusiones

Cuando el objetivo es la hipertrofia muscular, se puede lograr un entrenamiento óptimo adecuando ciertos aspectos y las variables que definen la dosis del mismo. La intensidad, el volumen total, la pausa entre series y la cercanía al fallo muscular pueden jugar un papel fundamental para lograr la hipertrofia muscular. Si bien existe consenso en que se puede hipertrofiar utilizando diferentes intensidades, repeticiones, pausas, etc., la evidencia revisada indicaría que el óptimo se alcanza al trabajar entre el 60-80% del 1RM, realizando entre 6-12 repeticiones, con un tiempo bajo tensión de 3 o 4 segundos (1 segundo fase concéntrica y 2/3 fase excéntrica), pausas entre 2 y 3 minutos, con un carácter del esfuerzo cercano al máximo, de 0 a 3 repeticiones en reserva, y utilizando ejercicios multiarticulares y monoarticulares. Estos parámetros de referencia deberían individualizarse a cada sujeto en todas las rehabilitaciones deportivas, pero son criterios probados para lograr con el objetivo de la hipertrofia muscular.

Bibliografía

- Adams G, B. M. (2012). Characterization and regulation of mechanical loading-induced compensatory muscle hypertrophy. *Compr Physiol*.
- Badillo Gonzales Jose. Sanchez Medina Luis, P. B. (2017). *La velocidad de ejecución como referencia para la programación, control y evaluación del entrenamiento de la fuerza*. Ergotech.
- Badillo Gonzáles, J. J., Sanchez Medina, L., Pareja Blanco, F., & Rodriguez Rosell, D. (2017). *La velocidad de ejecución como referencia para la programación, control y evaluación del entrenamiento de la fuerza*. ERGOTECH Consulting, S.L.
- Balsalobre C, G. R.-R. (2017). Load–velocity profiling in the military press exercise: Effects of gender and training. *International Journal of Sports Science & Coaching*.
- Beischer S, G. L. (2020). Young Athletes Who Return to Sport Before 9 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Have a Rate of New Injury 7 Times That of Those Who Delay Return. *J Orthop Sports Phys Ther*.
- Brown. (2008). Entrenamiento de la fuerza. En B. Lee, *Entrenamiento de la fuerza*. Medica panamericana.
- Case M, K. D. (2020). Barbell Squat Relative Strength as an Identifier for Lower Extremity Injury in Collegiate Athletes. *J Strength Cond Res*.
- Chicharro López, V. F. (2008). *Fisiología del ejercicio*. Médica Panamericana tercera edición.
- Claassen H, G. C. (1989). Muscle filament spacing and short-term heavy-resistance exercise in humans. *J Physiol*.
- Cokiba. (5 de junio de 2020). *cokiba*. Obtenido de Cokiba: <https://autogestion.cokiba.org.ar/web/?q=node/95>
- (s.f.). Obtenido de <https://autogestion.cokiba.org.ar/web/?q=node/95>
- Cormie P, M. M. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc*.
- Davies T, O. R. (2016). Effect of Training Leading to Repetition Failure on Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*.
- Dorrell H, S. F. (2020). Comparison of Velocity-Based and Traditional Percentage-Based Loading Methods on Maximal Strength and Power Adaptations. *J Strength Cond Res*.
- Franchi M, R. N. (2017). Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Front. Physiol*.
- García Hermoso A, C. R. (2018). Muscular Strength as a Predictor of All-Cause Mortality in an Apparently Healthy Population: A Systematic Review and Meta-

Analysis of Data From Approximately 2 Million Men and Women. *Arch Phys Med Rehabil.* .

García-Orea, G. P. (31 de Mayo de 2013). *G-SE*. Obtenido de <https://g-se.com/caracter-del-esfuerzo-entrenamiento-de-la-fuerza-bp-W57cfb26e64032>

García-Ramos A, P.-M. P.-C. (2018). Mean Velocity vs. Mean Propulsive Velocity vs. Peak Velocity: Which Variable Determines Bench Press Relative Load With Higher Reliability? *J Strength Cond Res.* .

Goldspink. (1985). Malleability of the Motor System: A Comparative Approach. *J Exp Biol.*

Gonyea W, S. D. (1986). Exercise induced increases in muscle fiber number. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*

Gonzales Ravé, J. M., Abella, C., & Navarro Valdivieso, F. (2014). *Entrenamiento Deportivo Teoría y prácticas*. MEDICA panamericana.

Haun C, V. C. (2019). Muscle fiber hypertrophy in response to 6 weeks of high-volume resistance training in trained young men is largely attributed to sarcoplasmic hypertrophy. *PLoS One.*

Izquierdo, M., Gonzales, B., Ibañez, J., Hakkinen, Kraemer, Ratamess, & Gorostiaga. (2008). *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Medica Panamericana.

Jack H. Willmore, D. L. (5ta edición). Introducción a la fisiología del esfuerzo y del deporte. En D. L. Jack H. Willmore, *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (pág. 18). Paidotribo.

Kassiano W, M. A. (2020). Does rest interval between sets affect resistance training volume, density, and rating of perceived exertion when adopting the crescent pyramid system in young women? *J Sports Med Phys Fitness.*

Kristen M, L. A. (2009). Selection of resistance exercise intensity using. *Perceptual and Motor Skills.*

Lasevicius T, S. B. (2019). Muscle Failure Promotes Greater Muscle Hypertrophy in Low-Load but Not in High-Load Resistance Training. *J Strength Cond Res.*

Lasevicius T, U. C. (2018). Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. *Eur J Sport Sci.*

Lauersen J, B. D. (2014). The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med.*

Lexell J, T. C. (1988). What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci.*

Lüthi J, H. H. (1986). Structural Changes in Skeletal Muscle Tissue With Heavy-Resistance Exercise. *Int J Sports Med.*

- MacDougall J, S. D. (1984). Muscle Fiber Number in Biceps Brachii in Bodybuilders and Control Subjects. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*.
- MacDougall J, S. D. (1984). Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*.
- Malone S, H. B. (2019). Can the workload-injury relationship be moderated by improved strength, speed and repeated-sprint qualities? *J Sci Med Sport*.
- Maroto Izquierdo, G. L. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport*.
- McMahon G, M. C. (2014). Impact of range of motion during ecologically valid resistance training protocols on muscle size, subcutaneous fat, and strength. *J Strength Cond Res*.
- Meijer J, J. R. (2015). Single muscle fibre contractile properties differ between bodybuilders, power athletes and control subjects. *Exp Physiol*.
- Mohamad NI, C. J. (2012). Difference in kinematics and kinetics between high- and low-velocity resistance loading equated by volume: implications for hypertrophy training. *J Strength Cond Res*.
- Naclerio, F. (2011). *Entrenamiento deportivo. Fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes*. Médica panamericana.
- NSCASpain. (5 de junio de 2020). *nscaspain*. Obtenido de nscaspain: [https://www.nscaspain.com/blog/hipertrofia-muscular-mitos-y-consejos#:~:text=La%20hipertrofia%20muscular%20\(conocida%20simplemente,de%20una%20fibra%20muscular%20dada](https://www.nscaspain.com/blog/hipertrofia-muscular-mitos-y-consejos#:~:text=La%20hipertrofia%20muscular%20(conocida%20simplemente,de%20una%20fibra%20muscular%20dada).
- Núñez, L. A. (2020). *Todo lo que tenés que saber de la fuerza para el deporte, el fitness y la rehabilitación*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Librofutbol.
- Pareja Blanco, A. C. (2020). Effects of velocity loss in the bench press exercise on strength gains, neuromuscular adaptations and muscle hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports*.
- Pareja Blanco, A. S. (2020). Velocity Loss as a Critical Variable Determining the Adaptations to Strength Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*.
- Pareja-Blanco, R.-R. S.-M.-M.-C.-G.-A.-S.-B. (2016). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sports*.
- Pinto R, G. N. (2012). Effect of range of motion on muscle strength and thickness. *J Strength Cond Res*.
- Rhea M, A. B. (2003). A Meta-Analysis to Determine the Dose Response for Strength Development. *Med Sci Sports Exerc*.
- Roberto Simão , Juliano Spinetti , Belmiro F. (2010). Influence of Exercise Order on Maximum Strength and Muscle Thickness in Untrained Men. *J Sports Sci Med*.

- Robertson R, G. F. (2003). Concurrent Validation of the OMNI Perceived Exertion Scale For Resistance Exercise. *Med Sci. Sport Exerc*, 35, 333-341.
- Robertson R, G. F. (2008). One repetition maximum prediction models for children using OMNI RPE Scale. *J. Strength Cond. Res.*.
- Schantz. (1982). Capillary Supply in Hypertrophied Human Skeletal Muscle. *Acta Physiol Scand*.
- Schoenfeld B, O. D. (2016). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*.
- Schoenfeld Brad, G. J. (2017). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res*.
- Schoenfeld Brad, O. D. (2015). Effect of Repetition Duration During Resistance Training on Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*.
- Schoenfeld Brad, O. D. (2016). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and metaanalysis. *Journal of Sports Sciences*.
- Schoenfeld, B. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*.
- Schoenfeld, B. J., Pope, Z. K., Benik, F. M., Hester, G. M., Sellers, J., Nooner, J. L., . . . Krieger, J. W. (2016). Longer Interset Rest Periods Enhance Muscle Strength and Hypertrophy in Resistance-Trained Men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*.
- Schoenfeld, C. K. (2019). Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. *Med Sci Sports Exerc*.
- Schoenfeld, O. D. (2017). Hypertrophic Effects of Concentric vs. Eccentric Muscle Actions: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res*.
- Schoenfeld, Peterson, Ratamess, Contreras, & Sonmez. (2014). Effects of different volume-equated resistance training loading strategies on muscular adaptations in well-trained men. *J Strength Cond Res*.
- Shattock, K. (2018). *A comparison of velocity based training versus Rate of Perceived Exertion / Repetitions in Reserve based intensity methodology on measures of strength, power & speed in mens senior rugby union*.
- Sjöström M, L. J. (1991). Evidence of fibre hyperplasia in human skeletal muscles from healthy young men? A left-right comparison of the fibre number in whole anterior tibialis muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*.
- Srikanthan P, H. T. (2016). Relation of Muscle Mass and Fat Mass to Cardiovascular Disease Mortality. *Am J Cardiol*.
- Taber C, V. A. (2019). Exercise-Induced Myofibrillar Hypertrophy is a Contributory Cause of Gains in Muscle Strength. *Sports Medicine*.

- Tamaki T, U. S. (1992). A weight-lifting exercise model for inducing hypertrophy in the hindlimb muscles of rats. *Med Sci Sports Exerc.* .
- Wang N, H. R. (1993). Muscle fiber types of women after resistance training quantitative ultrastructure and enzyme activity . *European Journal of Physiology.*
- Wernbom M, A. J. (2007). The Influence of Frequency, Intensity, Volume and Mode of Strength Training on Whole Muscle Cross-Sectional Area in Humans. *Sports Med.*
- West D, B. N. (2010). Elevations in ostensibly anabolic hormones with resistance exercise enhance neither training-induced muscle hypertrophy nor strength of the elbow flexors. *J Appl Physiol (1985).* .