

Adaptaciones Fisiológicas al Entrenamiento de Fuerza y Potencia

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente capítulo es realizar una revisión bibliográfica de las adaptaciones fisiológicas que se producen como consecuencia del entrenamiento de fuerza y potencia. La interpretación y el análisis de algunos trabajos de investigación son muy útiles para los entrenadores y preparadores físicos ya que pueden sustentar científicamente lo que hacen todos los días en su lugar de trabajo (el campo).

Si bien se pueden desarrollar una gran variedad de adaptaciones fisiológicas nos concentraremos en algunas que son de mayor relevancia al momento de desarrollar un programa de entrenamiento.

Las principales adaptaciones fisiológicas al entrenamiento con sobrecarga son las siguientes:

- Adaptaciones neurales.
- Adaptaciones celulares.
- Adaptaciones hormonales.
- Adaptaciones esqueléticas.

Antes de abordar cada una de las diferentes adaptaciones fisiológicas, creemos conveniente desarrollar dos conceptos básicos sobre modificaciones producidas por el entrenamiento, que nos permitirán comprender ciertos aspectos importantes al momento de interpretar los trabajos de investigación.

ADAPTACIONES FISIOLÓGICAS DE ACUERDO AL TIPO DE ENTRENAMIENTO

La célula muscular posee un gran poder para adaptarse al tipo de actividad y mejorar su rendimiento. Esto quiere decir que el tipo o modalidad de entrenamiento puede producir

cambios fisiológicos muy diferentes en la célula muscular.

Según Golspink 92' existen dos formas de cambiar las características de las proteínas contráctiles (fibra muscular) y por ende la eficiencia muscular durante el rendimiento. Estos procesos son:

- 1- Interconversión de fibras.
- 2- Hipertrofia selectiva.

Estas adaptaciones celulares responden a un tipo de entrenamiento y pueden representar a un tipo de deportistas que realizan movimientos muy específicos. Ambos procesos son similares.

La interconversión de fibras se refiere al cambio transitorio de las características de la célula muscular. Esto se produce por la capacidad que tiene la fibra muscular de modificar algunas de sus propiedades bioquímicas y de sus características contráctiles. En esencia todas las fibras musculares tienen la posibilidad genética de adaptarse, solo que en nuestro cuerpo estarían especializadas. Todas las fibras musculares poseen una composición mixta de isoformas de proteínas contráctiles, pero en las fibras rápidas predominan las cadenas de miosina pesada. Esto les otorga junto a otros factores su gran capacidad de generar fuerza y potencia.

Esto quiere decir, que si realizamos constantemente entrenamiento con gestos deportivos a gran velocidad, las fibras lentas podrán desarrollar al máximo su potencial genético con el objetivo de generar movimientos en la forma más eficaz (veloz) posible. Este proceso también se puede producir en forma inversa, o sea que una fibra muscular rápida desarrolle al máximo su posibilidad de generar energía en forma aeróbica y ser más resistente a

la fatiga.

Es importante aclarar que esta condición es completamente transitoria y la célula recobrará sus características iniciales cuando cese el proceso de entrenamiento. Para el entrenador que busca el aumento constante de la potencia muscular y divide en fases sus entrenamientos (periodización), es evidente que cuando se pasa al período específico está buscando producir una interconversión de fibras, lo cual permite el aumento del rendimiento maximizando el funcionamiento de todas las fibras musculares.

La hipertrofia selectiva es un proceso básico de aumento del tamaño (diámetro transversal de la fibra) que se produce predominantemente en un tipo de fibra muscular (tipo I o tipo II). Llevado al terreno práctico esta respuesta celular se consigue de acuerdo al tipo de ejercicio realizado. Si bien se puede producir hipertrofia muscular en ambos tipos de fibras, este proceso se puede maximizar en una de ellas. Para un mejor análisis se muestran los resultados de Tesh 85' que investigó poblaciones de deportistas elite (figura 2.1).

En el gráfico apreciamos el porcentaje de fibras lentas que tienen diferentes poblaciones deportivas de elite mas un grupo control en los músculos vasto lateral y deltoides medio (representativos de miembros inferiores y superiores respectivamente). Se diferencian rápidamente las poblaciones extremas como son los kayaquistas y los maratonistas que tienen casi 70 por ciento de fibras lentas en los grupos musculares mas utilizados.

Por otro lado notamos una distribución de fibras lentas bastante similar en los sujetos control y los levantadores de pesas. Para completar la idea sobre la distribución de fibras musculares se muestra la tabla 2.1.

Ahora bien, partiendo de la base que un sujeto control y un levantador de pesas poseen casi la misma distribución de fibras en el vasto lateral externo, entonces **¿Dónde radica la diferencia de un sujeto control con el deportista de elite?**

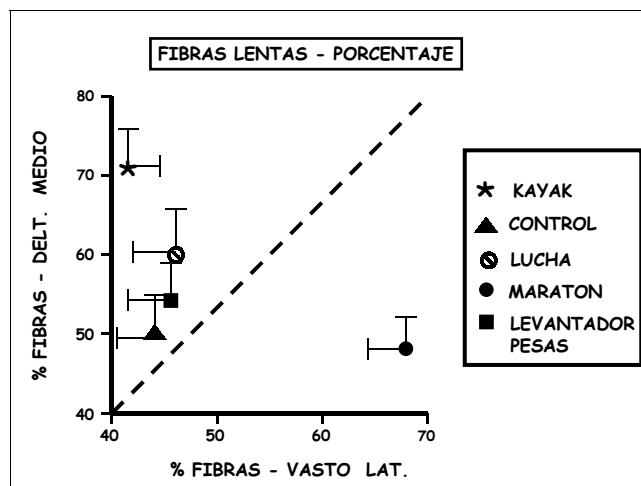


Figura 2.1

Muestra	n	Vasto lateral externo	
		% fibras lentas	% de fibras rápidas
Control	12	43	57
Kayak	9	41	59
Lucha	8	47	53
Maratón	9	67	33
Levantador de pesas	7	44	56

Tabla 2.1 - Adaptado de Tesh.

La respuesta esta en el tamaño de las fibras (hipertrofia). En la figura 2.2 se muestra el tamaño de las **fibras rápidas**. Podemos observar la gran diferencia que existe en el tamaño de las fibras rápidas entre un sujeto control (6000 µm en el deltoides y 6500 µm en el vasto) vs. el levantador de pesas (8500 µm y 9000 µm respectivamente). Esta gran diferenciación es una notable adaptación de la fibra al entrenamiento de sobrecarga de alto rendimiento.

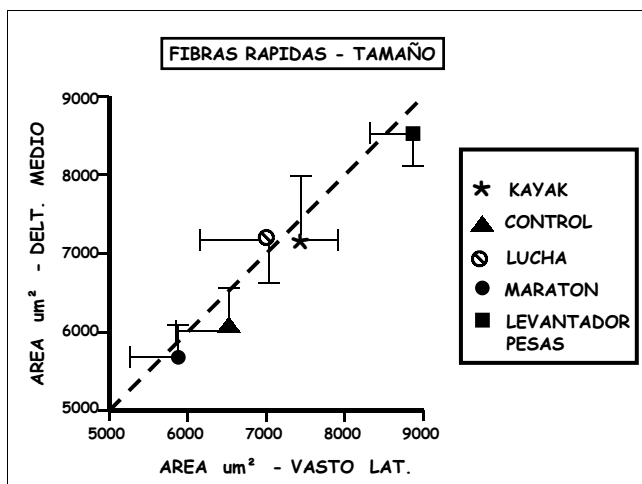


Figura 2.2

Cabe aclarar que si bien la lucha también es considerada un deporte de potencia el tamaño de las fibras rápidas de estos deportistas son menores que en la de un levantador de pesas. Esta adaptación se produce por el gesto deportivo específico que realiza cada deporte. En el levantamiento de pesas los esfuerzos son de altísima intensidad y de muy corta duración, en cambio en la lucha los esfuerzos son de menor intensidad pero deben ser mantenidos durante una mayor cantidad de tiempo.

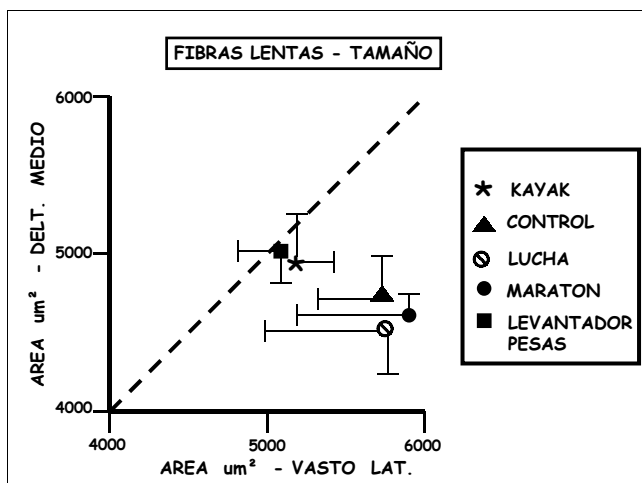


Figura 2.3

También es interesante observar el tamaño de las fibras lentas en estas poblaciones. La figura 2.3 muestra el tamaño de las mismas. Nótese que los sujetos controles tienen fibras lentas más grandes que los levantadores de pesas en el vasto lateral del muslo. Esto demuestra que la musculatura de un deportista está muy especializada debido a los gestos que utiliza en los entrenamientos diarios.

Esta especialización deja ver también que de algún modo el entrenamiento de tipo aeróbico (tipo maratón) atrofia (pérdida de tamaño) las fibras rápidas e hipertrofia las fibras lentas. Esta adaptación es llamada hipertrofia selectiva.

Resumiendo la interconversión de fibras tiene relación con el cambio en la calidad de las fibras (procesos de producción de energía) y la hipertrofia selectiva tiene relación con el aumento tamaño que desarrollan las mismas. Ambos procesos se desarrollan simultáneamente y mejoran el rendimiento deportivo.

Este concepto simboliza el principio de entrenamiento llamado especificidad.

ADAPTACIONES CELULARES AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA.

INTRODUCCIÓN

Cuando un deportista realiza ejercicios de fuerza con sobrecarga, la célula muscular responde adaptándose al stress mecánico recibido. Este stress o entrenamiento puede variar en cuanto a su volumen, intensidad, densidad, tipo de contracción, etc. y por ende la respuesta de adaptación de la célula muscular será específica al stress recibido.

Es muy importante que el preparador físico conozca profundamente las adaptaciones fisiológicas a escala celular con el objetivo de confeccionar y aplicar programas de entrenamiento adaptados a las necesidades de los diferentes tipos de deportes.

Las adaptaciones celulares están principalmente referidas a la hipertrofia e hiperplasia del tejido muscular y estos cambios son acompañados también con modificaciones en la porción no contráctil del músculo (tendones, membranas, ligamentos, etc.).

La proliferación de fibras musculares es un tema controvertido hasta la actualidad. Si bien existen investigadores que han analizado y comprobado el aumento del número de fibras musculares como respuesta al entrenamiento (Gonyea W. 77

- 80) en animales y seres humanos, otros autores (Gollnick 81' - MacDougall 86) critican los procedimientos utilizados para el recuento de fibras con los cuales se han llegado a estas conclusiones. La mayoría de los autores proponen que el número de fibras musculares es hereditario e inmodificable por entrenamiento deportivo.

En la figura 2.4 observamos el promedio del número de fibras musculares del bíceps braquial en sujetos no entrenados, fisiculturistas de nivel intermedio y fisiculturistas avanzados. Se puede ver que los desvíos estándar de los grupos no son tan grandes como para generar diferencias estadísticas. Sin embargo el tamaño de las fibras musculares de un fisiculturista es mucho mayor que en sujetos controles o que no realizan ejercicio físico. Esto nos demuestra que la diferencia de tamaño muscular se debe solo a la hipertrofia y no a la hiperplasia del tejido muscular.

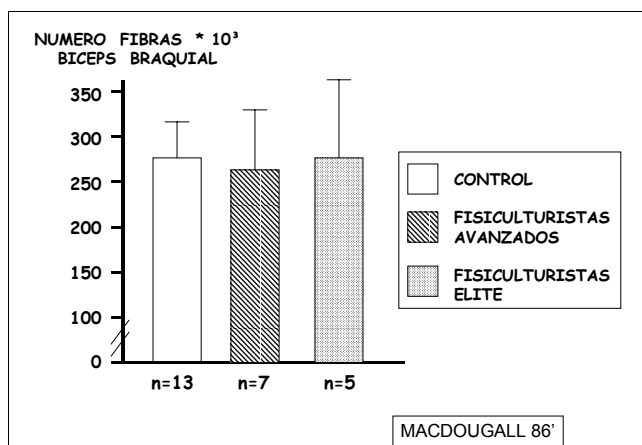


Figura 2.4

HIPERTROFIA MUSCULAR

El aumento del tamaño del diámetro transversal de las fibras se debe a un aumento de los filamentos contráctiles de actina y miosina producido por síntesis proteica. En condiciones normales el ser humano puede generar de 3 a 4 kilogramos de fuerza por centímetro cuadrado de sección cruzada de músculo sin distinción de sexo (Ikai 68'). Por lo tanto un aumento de la cantidad de filamentos incrementará la generación de fuerza.

Si nos guiamos por este concepto podríamos pensar que a mayor masa muscular mas fuerza, y

a su vez **mayor rendimiento deportivo**. La primera parte de la aseveración es cierta, a mayor tamaño de las fibras musculares se puede realizar mayor cantidad de fuerza, pero que esta condición indefectiblemente produce un aumento del rendimiento deportivo es algo que **no siempre es posible**.

No debemos olvidar todos los tipos de fuerza (ver clasificación de la fuerza - cap. 1). Por ejemplo, es cierto que a mayor masa muscular se genera mas fuerza en los ejercicios que se adaptan a la ley de Hill y que se realizan a baja velocidad como el press de banca y la sentadilla. Pero, este tipo de entrenamientos ¿tiene la capacidad de elevar el rendimiento en los otros tipos de manifestación de la fuerza como la explosiva que tiene una importancia mayor en muchos deportes?

Si esto fuera cierto y este aumento de fuerza a baja velocidad se pudiera trasladar a todos los otros tipos de fuerza (explosivo), entonces los deportes de potencia (yudo, lanzamiento de jabalina, fútbol, etc.) serían practicados por deportistas muy hipertrofiados parecidos a fisiculturistas ya que a mayor masa muscular mejor rendimiento.

Basta con una simple observación del mundo del deporte para asegurar que esto **no es cierto**. La razón es que la potencia muscular esta compuesta por la fuerza aplicada y la velocidad de ejecución. Existe una relación peso/potencia en los deportistas que no se ve beneficiada cuando la masa corporal es muy grande. De este modo podemos manifestar a priori, que un gran tamaño muscular (tipo fisiculturista) no se corresponde con un alto grado de velocidad. Este concepto será ampliado cuando se desarrollen las adaptaciones neurales al entrenamiento de fuerza.

¡Ahora bien! Ambos tipos de fibras son capaces de hipertrofiarse pero no lo hacen del mismo modo. Goldspink 92' propone que las fibras lentas disminuyen su velocidad de degradación frente a un estímulo y las fibras rápidas aumentan la síntesis de proteínas. También debemos tener en cuenta que las fibras musculares poseen una vida promedio de 7 - 15 días en el adulto o sea que son constantemente sintetizadas y degradadas.

Entonces, ¿Qué factores son importantes para el diseño de un programa de fuerza?

Es fundamental reconocer que tipos de fibras se están hipertrofiando (hipertrofia selectiva) y con que tipo de ejercicios, intensidades, repeticiones, tiempos de trabajo y tiempos de pausa se producen estas adaptaciones.

¿Por que esto es de vital importancia para el preparador físico?

Por que de acuerdo a la clasificación tradicional de fibras musculares existen tipos de fibras que producen mas potencia que otras. De este modo nos interesa encontrar la forma de maximizar la hipertrofia de las fibras de Tipo II a y b ya que son las que producen los niveles mas altos de potencia.

PROTOSCOLOS DE HIPERTROFIA

La mayoría de los autores como Kraemer, MacDougall, Newton plantean que la manera óptima de producir hipertrofia muscular es trabajando entre el 60 y el 80 % de la R.M con 3

series de 6 - 12 repeticiones para cada grupo muscular, utilizando una velocidad de contracción de lenta pero acentuada en la fase excéntrica.

Si analizamos lo propuesto por estos autores y lo comparamos con lo que se realiza en los gimnasios todos los días es bastante cierto que lo enunciado arriba funciona. Pero creemos conveniente proponer otros elementos que optimizaran este proceso.

Este enunciado general no hace referencia al tiempo de pausa que se debe realizar entre series. Esto es importante ya que la modificación del tiempo de descanso produce adaptaciones hormonales muy diferentes (ver mas adelante).

Por otro lado, el proceso de hipertrofia comienza por un rompimiento de la estructura del sarcomero o de la fibra en su totalidad para luego regenerar la estructura mas grande (adaptada por aumento de los filamentos contráctiles). Este rompimiento se produce por que los filamentos de actina están enganchados en forma asimétrica al disco Z y una tensión (stress mecánico) importante lo puede romper (ver figura 2.5).

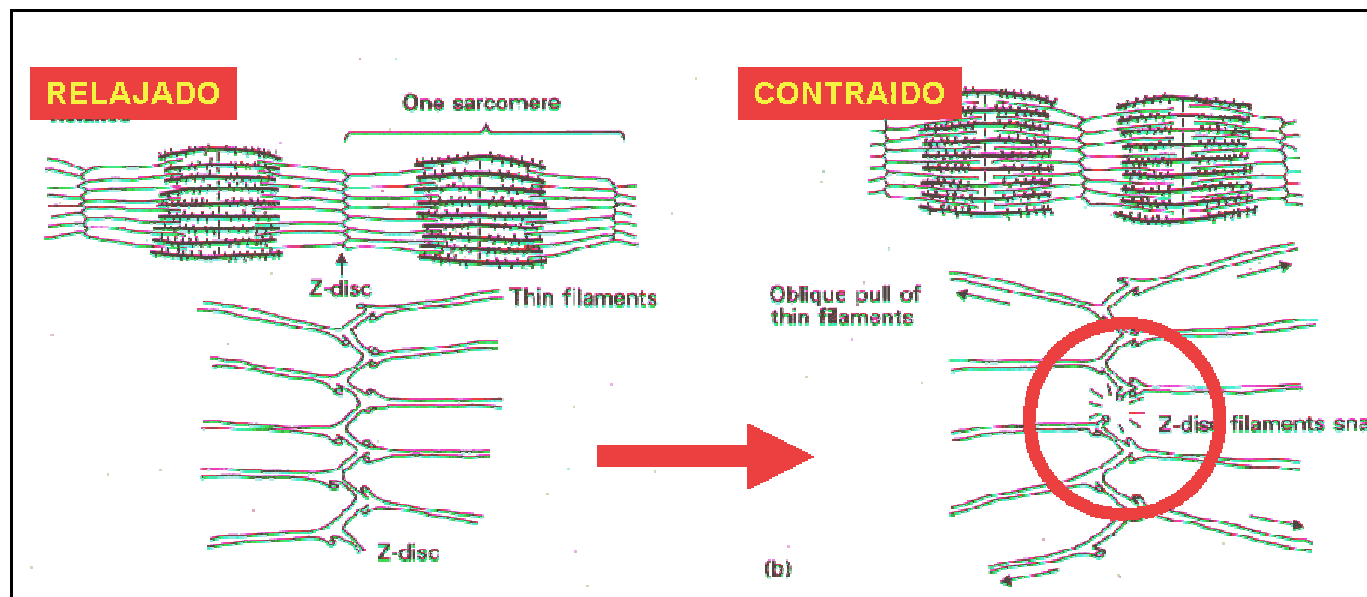


Figura 2.5

Pero este proceso no se produce en todos los sujetos de la misma forma. Gibala en el 95' y 00' comprobó que el rompimiento de la estructura miofibrilar no se produce del mismo modo en

sujetos entrenados y no entrenados. El autor tomó sujetos jóvenes sin experiencia en entrenamiento con sobrecarga. Los sujetos entrenaron en un banco inclinado realizando un curl de bíceps con

mancuernas. Pero las contracciones se realizaron de la siguiente forma. La velocidad de contracción fue lenta (2 segundos para la fase concéntrica y 2 para la excéntrica. El sujeto flexionaba el codo levantando la mancuerna (fase concéntrica) y un ayudante se la cambiaba de mano y la bajaba con el otro brazo (fase excéntrica). De esta forma cada brazo se entrenaba con la misma carga y velocidad pero solo con una fase de la contracción. Se realizaron 8 series de 8 repeticiones con el 80 % de la máxima fuerza concéntrica y con pausas de 3 minutos.

Se realizaron biopsias antes, inmediatamente después del entrenamiento y 48 horas post ejercicio. De las biopsias se evaluó que cuando en una miofibrilla había hasta 2 sarcómeros rotos en forma continuada o 2 sarcómeros de distintas miofibrillas contiguas, el daño muscular se lo consideraba focal. Si los daños incluían de 3 a 10 sarcómeros se lo consideraba daño moderado. Y si el daño excedía los 10 sarcómeros se lo consideraba daño extremo. La figura 2.6 muestra los resultados del experimento.

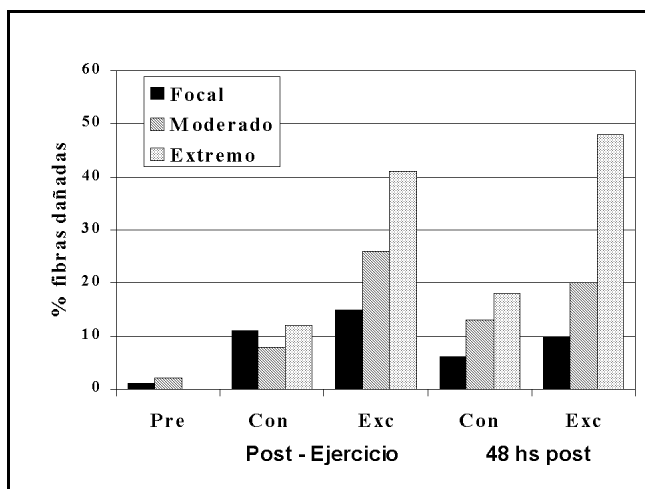


Figura 2.6

Como podemos apreciar en la figura, antes de comenzar el ejercicio existen algunos daños muy pequeños. Pero luego de realizar el trabajo de hipertrofia, se puede apreciar que gran cantidad de fibras se han dañado.

Por otro lado los daños más extremos se producen en el brazo que se entrenó en forma excéntrica. Esto quiere decir que a una carga similar la fase excéntrica genera mayores daños en las fibras que la concéntrica. Esta es una de las razones por las cuales muchos sistemas de entrenamiento proponen que la fase excéntrica siempre se realice más lenta que la concéntrica. Como se genera más rompimiento hay mayor posibilidad si se presentan otras variables como la nutrición de regenerar fibras más grandes (hipertrofia). Es importante también destacar que 48 horas post ejercicio el rompimiento mantiene la tendencia y que esto serviría para estipular frecuencias de entrenamiento del mismo músculo.

Gibala repitió el trabajo con las mismas características pero esta vez utilizó a sujetos entrenados (3 años mínimos de experiencia con entrenamiento de sobrecarga). Todas las variables se mantuvieron iguales y algunos de los resultados se muestran en las figuras 2.7 y 2.8.

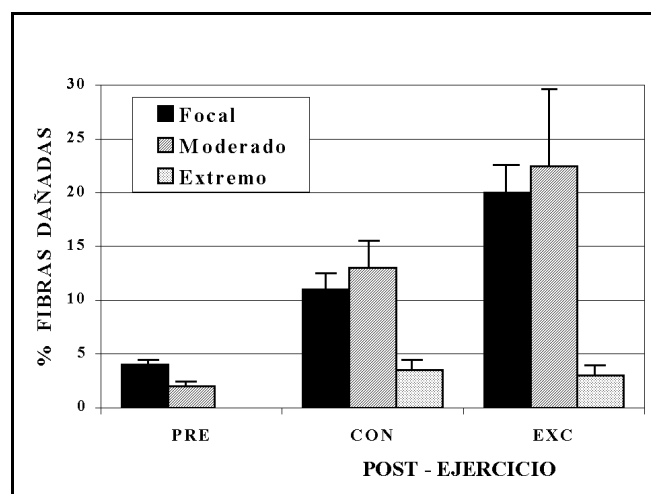


Figura 2.7

Como se puede ver en la figura 2.7 el rompimiento de fibras con el mismo protocolo de entrenamiento en sujetos que tenían buena experiencia con sobrecarga no fue el mismo. Los daños extremos fueron los más bajos en ambos tipos de brazos o sea que en este caso la fase excéntrica no fue tan efectiva para romper fibras.

Esto nos explica claramente que una intensidad del 80 % es muy alta para un principiante, pero que no lo es para un sujeto que ya tiene experiencia. Esta es una de las razones por las cuales los programas de trabajo deben diferir en

cuanto a volumen e intensidad. Es muy probable que si a los sujetos no entrenados se les pedía que realizaran solo 4 series al 70 % los daños hubieran sido menores y similares a los sujetos que tenían experiencia.

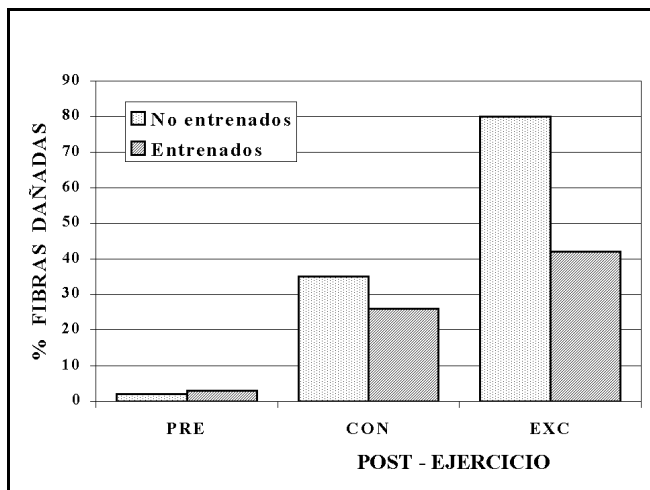


Figura 2.8

Para entender en forma más simple este concepto la figura 2.8 muestra el rompimiento total de fibras (sin discriminar el tipo) en sujetos entrenados y no entrenados. Como podemos ver el rompimiento siempre es mayor en los sujetos que no tenían experiencia. En el brazo que se entrenó en forma concéntrica el rompimiento es un 20 % mayor y en el brazo que se entrenó en forma excéntrica el daño fue casi el doble. Esto nos muestra claramente que si bien se puede recomendar intensidades promedio para el desarrollo de la hipertrofia, debemos tener muy presente el nivel inicial del entrenado.

De todos modos si analizamos otros trabajos de investigación con diferentes tipos de protocolos de entrenamiento de sobrecarga (Coleman 77'), en interacción con otras cualidades (Gettman 79') o con mujeres (Staron 91'), veremos que cuando se busca producir una máxima hipertrofia se

utilizan protocolos de entrenamientos muy similares al mencionado inicialmente. Un factor en común es una fase excéntrica acentuada de entrenamiento.

Esto permite concluir que estos tipos de entrenamientos son muy válidos para lograr tamaño muscular, pero sin importar a expensas de que tipo de fibras se logre este resultado.

HIPERTROFIA Y RENDIMIENTO MUSCULAR

Cuál es entonces la razón por la cual este tipo de entrenamiento no se aplica para conseguir máximos niveles de potencia muscular en el entrenamiento deportivo y solo se aplica en alguna parte del proceso de entrenamiento para conseguir algunas modificaciones específicas?

Parte de la respuesta puede surgir del análisis del trabajo de Hather 91' donde se menciona la importancia de las acciones excéntricas en el entrenamiento con sobrecarga para producir un óptimo nivel de hipertrofia muscular mediante un análisis de biopsias. Los resultados se muestran en la tabla 2.2.

Hather propone tres tipos de entrenamientos:

- **CON/EXC** significa que los sujetos realizan trabajos excéntricos y concéntricos para los cuádriceps.
- **CON/CON** significa que los sujetos entrenaban solo con acciones concéntricas para los grupos musculares del muslo (cuádriceps e isquiotibiales).
- **CON** que solo realizaba entrenamientos concéntricos para los cuádriceps.

PORCENTAJES DE FIBRAS MUSCULARES				
	FIBRA TIPO I	FIBRA TIPO II a	FIBRA TIPO II b	COCIENTE
GRUPO CONTROL				
PRE	45 ± 2	38 ± 2	17 ± 1	1.22
POST	39 ± 3	40 ± 2	21 ± 3	1.56
DESENT.	40 ± 2	44 ± 2	16 ± 2	1.5
GRUPO CON/EXC				
PRE	33 ± 3	44 ± 3	23 ± 2	2.03
POST	38 ± 2	62 ± 2*	0*	1.63
DESENT	34 ± 2	66 ± 2*	0*	1.94
GRUPO CON/CON				
PRE	40 ± 3	42 ± 2	18 ± 3	1.5
POST	42 ± 3	57 ± 3*	1 ± 1*	1.38
DESENT	38 ± 3	59 ± 3*	3 ± 1*	1.63
GRUPO CON				
PRE	33 ± 3	51 ± 3	16 ± 3	2.03
POST	37 ± 3	63 ± 2*	0*	1.7
DESENT	39 ± 2	58 ± 3*	3 ± 2*	1.56

Tabla 2.2 - Modificado de Hather 91' - * $p < 0.05$

La intensidad y volumen del entrenamiento utilizado fue la siguiente: 4-5 series de 6 - 12 repeticiones (RMs), 2 veces por semana, durante 19 semanas y luego 4 semanas de desentrenamiento.

Si analizamos los resultados observamos como en todos los tipos de entrenamientos, menos el grupo que no entrenó, hubo una reducción marcada del porcentaje de fibras de tipo IIb, que son las fibras más rápidas y más fuertes. Esto se produjo como consecuencia del período de entrenamiento y se mantenía luego de 4 semanas de desentrenamiento. En realidad estas fibras no desaparecen pero ocupan menos superficie respecto de las fibras tipo I y IIa ya que estas se han hipertrofiado en gran medida por su utilización (esto está relacionado con el % de carga utilizado). También las fibras de tipo IIb se interconvierten en IIa debido al volumen de trabajo utilizado. Hay que recordar que el método por el cual se clasifican las fibras es por tinción de la ATPasa.

Con todos los protocolos se generó un aumento del tamaño en ambos tipos de fibras, por lo que se consiguió sujetos más hipertrofiados (más fuertes por aumento de la sección cruzada de músculo), pero que tienen menos posibilidad de aplicar la fuerza ganada en forma veloz (ver adaptaciones neurales).

Esta aseveración se puede secundar si analizamos el cociente de relación entre fibras. En el grupo CON/EXC que utilizó el tipo de entrenamiento más tradicional, vemos que antes de comenzar el entrenamiento el cociente era de 2.03 es decir que teníamos el doble de fibras de Tipo II que Tipo I. Pero luego de 19 semanas el cociente disminuyó a 1.63, es decir que aumentó el porcentaje de fibras lentas respecto de las rápidas. Y si analizamos más detenidamente los cambios, podemos apreciar que en las fibras de Tipo II se produjo un cambio estadísticamente significativo de Tipo IIb a IIa. Expresándolo de otro modo con el tipo de entrenamiento aplicado se atrofian las fibras tipo IIb que son las que producen más potencia.

A su vez esta modificación luego de 4 semanas de desentrenamiento perdura (% Fibras Tipo IIB = 0%) lo que complica la planificación deportiva. Cuando debamos entrar en un período específico o competitivo donde los gestos deben ser muy veloces, nuestras fibras lentas estarán bien hipertrofiadas y las fibras de Tipo IIB todavía no vuelven a la situación inicial.

Esta es una de las razones por la cual no se deben realizar los periodos de adaptación anatómica (hipertrofia) imitando programas de fisiculturismo ya que se produce una hipertrofia de las fibras lentas y se atrofian las fibras rápidas (potentes IIB).

Si este resultado fisiológico no fuese cierto, el deporte de rendimiento sería solo un problema de tamaño muscular. Es obvio que estas modificaciones fueron producidas por el tipo de entrenamiento aplicado. El trabajo planteado fue con ejercicios que se adaptan a la ley de Hill y se realizó en 5 series de 6 a 12 repeticiones. Debemos recordar que este volumen de repeticiones esta en íntima relación con el % de la carga máxima. Por lo tanto cuando se realizaban series de 6 repeticiones donde el porcentaje era del 78 al 83 % y si se hacían series de 12 repeticiones el porcentaje era del 68 al 71%.

La mayoría de los trabajos aplicados en la investigación fisiológica llama a este tipo de entrenamientos de alta intensidad. En este punto es donde la fisiología del ejercicio no correlaciona con la teoría del entrenamiento ya que ningún entrenador estaría de acuerdo en llamar a estos protocolos de alta intensidad y tampoco avalaría este diseño para lograr la máxima ganancia de potencia.

Este es un tipo de entrenamiento muy efectivo para la ganancia de tamaño muscular si no tomamos en cuenta las consecuencias sobre la producción de potencia. Sería un entrenamiento "tipo" para personas que deben aumentar la masa muscular **sin importar que tipo de fibra se estén hipertrofiando**.

El análisis realizado en este trabajo nos hace realizarnos la siguiente pregunta:

¿Se puede a través del entrenamiento con sobrecarga hipertrofiar al máximo las fibras rápidas, ya que son las que producen el éxito deportivo?

La respuesta es afirmativa. Existen ejercicios con sobrecarga que nos permiten reclutar predominantemente las fibras rápidas y de este modo no lograr una hipertrofia indeseable en las fibras lentas o una atrofia de las fibras de Tipo IIB. Se deben encontrar ejercicios que produzcan **hipertrofia selectiva de las fibras rápidas**. Estos movimientos están representados por los ejercicios Derivados del Levantamiento de Pesas y los balístico - explosivos.

Una investigación que muestra muy claramente este tipo de adaptación es el realizado por Häkkinen 88'. El autor realizó evaluaciones de laboratorio a la selección de Levantamiento de Pesas de Finlandia durante dos años, pero sin modificar el entrenamiento que realizaban. Este punto es muy interesante ya que comprueba modificaciones fisiológicas generadas por el programa de entrenamiento propuesto por el entrenador sin modificaciones externas. Se observó que el tamaño del muslo se incrementó significativamente y que se debió a una hipertrofia selectiva de las fibras rápidas. Ver figura 2.9.

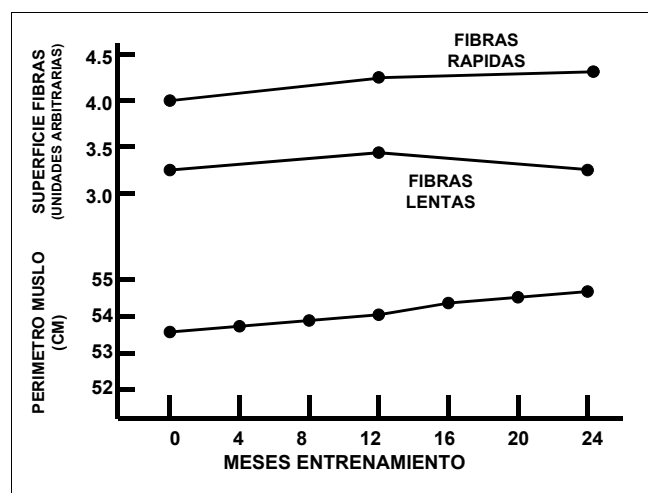


Figura 2.9

Como observamos el tamaño del muslo se incrementó y esto se observa mientras las fibras lentas disminuyen su tamaño y las fibras rápidas lo incrementan. Es importante remarcar que el rendimiento promedio en el equipo se incrementó

7.5 kilogramos en el total olímpico en dos años. Esto evidencia un aumento en la calidad de la masa muscular.

ADAPTACIONES NEURALES AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

Las adaptaciones neurales se definen como los cambios en el sistema nervioso generados por el entrenamiento de fuerza. Las adaptaciones neurales son quizás una de las más importantes al momento de ganar fuerza, sobre todo durante los primeros meses de entrenamiento. Es importante para el entrenador saber como los diferentes ejercicios e intensidades producen adaptaciones del sistema nervioso que es el encargado de iniciar las contracciones musculares.

Las principales adaptaciones neurales son:

- Aumento del reclutamiento de fibras musculares. (Coordinación intramuscular).
- Aumento de la frecuencia de los estímulos nerviosos. (Frecuencia de disparo de las motoneuronas).

La fuerza que producen los músculos se puede graduar a través de estos dos procesos. Es posible generar mayor cantidad de fuerza si aumenta la cantidad de unidades motoras reclutadas (mejora la activación del agonista). Esto se produce como una adaptación a necesidades de fuerza mayores (altas intensidades). Un programa de sobrecarga incrementa las intensidades en forma progresiva y por lo tanto cada vez se necesita generar mas fuerza para desplazar las cargas. Obviamente a medida que se necesita una mayor cantidad de fuerza se reclutan unidades motoras de alto umbral (Henneman 74').

Por otro lado las motoneuronas pueden generar la contracción muscular a diferentes frecuencias de disparo. La frecuencia de disparo es la cantidad de impulsos nerviosos que la célula nerviosa emite por segundo (Herz). Las motoneuronas disparan a un promedio de entre 10 - 60 impulsos por segundo. Si disparan con mayor frecuencia es posible generar una mayor tensión.

En resumen el incremento de la activación de un músculo se produce como resultado de un mayor reclutamiento de unidades motoras y por incremento de la frecuencia de disparo de las mismas.

Los estudios electromiográficos son los más utilizados para la comprobación de las adaptaciones neurales. Este tipo de estudio puede cuantificar la actividad eléctrica de las unidades motoras y traducirlas por medio de una electromiografía integrada a un gráfico de fácil interpretación relacionando las variables de fuerza y tiempo (figura 2.10 y 2.11).

En la figura 2.10 se pueden apreciar dos curvas, una que representa la situación inicial y otra luego de un período de entrenamiento. En este caso observamos que los valores de la fuerza se han incrementado en forma considerable, pero que el tiempo en el cual se consigue el máximo valor de fuerza es muy similar. Esto muestra claramente que el programa de sobrecarga utilizado incluyó ejercicios que se adaptan a la Ley de Hill por lo que aumentó claramente la fuerza máxima.

VELOCIDAD DE DESARROLLO DE LA FUERZA.

La interpretación de los primeros milisegundos de la curva fuerza - tiempo se denomina **velocidad de desarrollo de la fuerza**. Este análisis puede mostrar que independientemente de que la fuerza máxima no se incremente para un tiempo dado, la misma se logra conseguir antes. Esta modificación es muy importante en el deporte, ya que muchas veces no es necesario adquirir mas fuerza, pero si lo es aplicarla antes.

En la figura 2.11 el comportamiento de la curva luego del entrenamiento es diferente a la figura 2.10. En este caso el incremento de la fuerza es muy pequeño pero este máximo se logra en un tiempo considerablemente menor. Esta es una respuesta muy buscada en el deporte. Un caso muy claro puede ser un deporte de combate. Por ejemplo en el judo se compite por categoría de peso corporal y aumentar la fuerza a expensas de aumentar el peso corporal es un objetivo erróneo. Por lo tanto debemos pensar en la forma de

incrementar la fuerza y su velocidad de desarrollo, sin producir una gran hipertrofia muscular ya que sino se corre el riesgo de sobrepasar el límite de peso de la categoría.

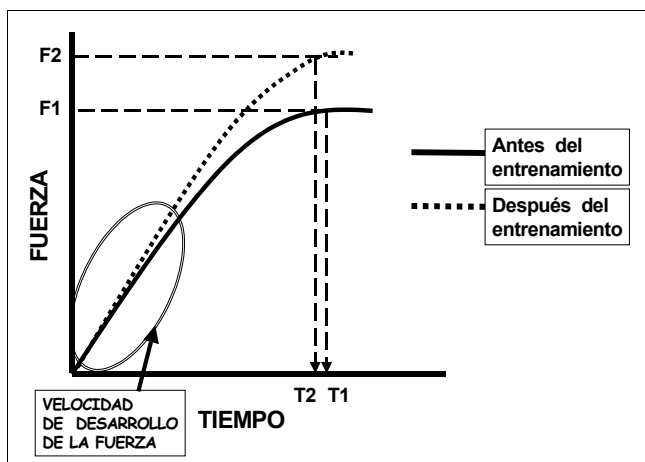


Figura 2.10

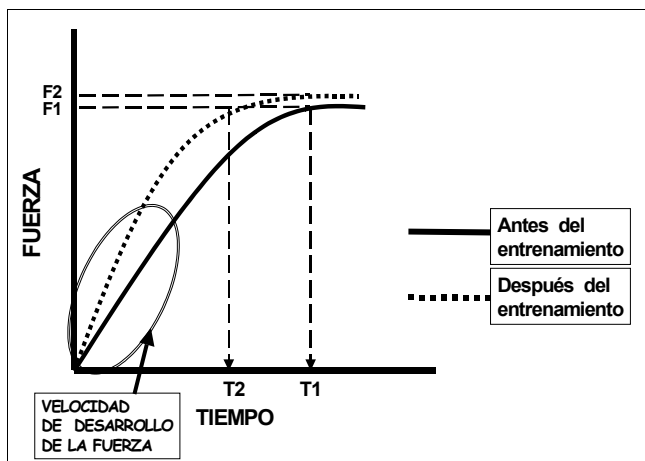


Figura 2.11

Una de las virtudes de los estudios electromiográficos es que se pueden realizar durante contracciones estáticas, dinámicas, isocinéticas o explosivas. A través de esta metodología es posible monitorear las modificaciones que generan los procesos de entrenamiento y si fuese necesario modificar los mismos, para obtener mejores resultados.

Uno de los trabajos más importantes para comprobar este tipo de modificaciones fue realizado por Häkkinen 85'. Se aplicaron dos tipos de entrenamientos diferentes, uno con ejercicios de saltabilidad y otro con ejercicios de sobrecarga (sentadilla). Ambos entrenamientos tenían como objetivo el desarrollo de la potencia

en los miembros inferiores. La figura 2.12 muestra los resultados.

Como podemos ver, si se entrena solo con saltos la fuerza máxima isométrica mejora solo un 11 %, pero logra el máximo de fuerza un 24 % de tiempo antes (mayor velocidad de desarrollo de la fuerza). En cambio si entreno con pesas se mejora considerablemente la fuerza máxima isométrica 27 %, pero no se logra generarla con mayor rapidez (solo un 0.4% antes).

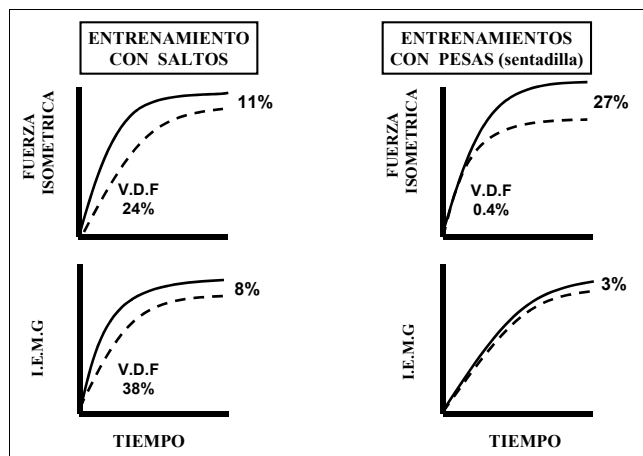


Figura 2.12

Por otro lado la electromiografía integrada nos muestra que si entrenamos con saltos aumenta el reclutamiento de fibras en un 8 % y además se logra en un 38 % de tiempo menos. En cambio si realizamos entrenamientos con pesas solo se incrementa un 3 % el reclutamiento y la velocidad de desarrollo de la fuerza no sufre ninguna modificación.

Este tipo de trabajos nos permite adoptar criterios para el desarrollo de planes de entrenamiento. Por ejemplo, si a través de una batería de test comprobamos que un deportista es lento para el promedio de desplazamiento en su deporte, pero tiene los niveles de fuerza promedio, propondremos una mayor cantidad de gestos explosivos que de ejercicios con sobrecarga a baja velocidad. Esto permitirá que se mejore la velocidad de desarrollo de la fuerza. Por el contrario si observamos que un deportista tiene poca fuerza, invertiremos el proceso.

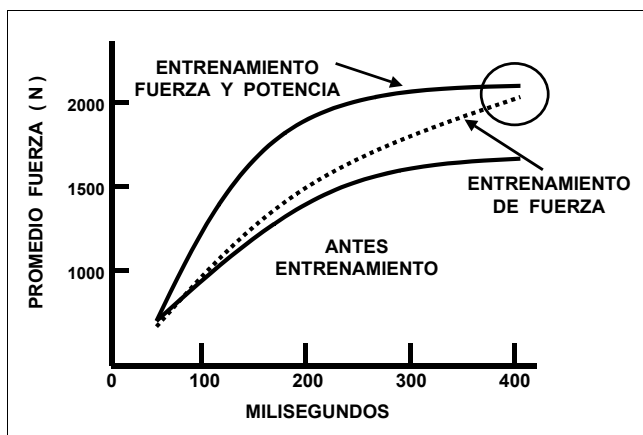


Figura 2.13

Fleck 87' resume gráficamente que sucede con la relación fuerza - tiempo cuando se entrena con programas bien diferenciados. Ver figura 2.13.

Como podemos observar en la figura Fleck muestra diferentes adaptaciones fisiológicas de acuerdo al tipo de entrenamiento planteado. Si utilizamos un programa solo con ejercicios de fuerza tradicional (se adaptan a la ley de Hill), con altas intensidades se aumenta en gran medida la fuerza máxima, pero se incrementa muy poco la velocidad de desarrollo de la fuerza.

Obsérvese de todos modos que como resultado de este entrenamiento a los 400 mseg. se realiza muchísima más fuerza que antes del entrenamiento. Esto quiere decir que se ha aumentado la potencia. Pero si utilizamos un programa combinado de ejercicios de fuerza y de potencia (derivados del levantamiento de pesas y ejercicios balísticos) se logra un incremento importante tanto en la fuerza máxima como en la velocidad de desarrollo de la fuerza. Esta es una combinación de las adaptaciones que son más importantes para incrementar el rendimiento deportivo.

Es una problemática de la teoría del entrenamiento saber graduar la cantidad de ejercicios de fuerza y de ejercicios de potencia, como también en que momento del entrenamiento se deben aplicar.

EJERCICIOS PLIOMETRICOS.

Frecuentemente los preparadores físicos de diferentes deportes proponen la ejecución de ejercicios pliométricos como parte de su programa de entrenamiento. Ya sean estos para el tren superior o para el inferior.

Este tipo de ejercicios no deben ser tomados a la ligera ya que para poder ejecutar estos entrenamientos se debe contar con una preparación física previa muy elevada. Sin esta preparación, este tipo de ejercicios se pueden convertir en un factor de riesgo para producir lesiones. La posibilidad de pasar a ser un ejercicio lesionante esta fundamentada en el trabajo de Schmidtbleicher 82' donde demostró que existe un efecto contrario a la contracción muscular masiva (pliometría) en sujetos no entrenados (figura 2.14).

Schmidtbleicher evaluó la respuesta electromiográfica del músculo gemelo durante un salto pliométrico desde una altura de caída de 1.1 metros en sujetos entrenados (saltadores) y no entrenados. La respuesta de la musculatura al hacer contacto con el suelo es completamente diferente ya que en los sujetos no entrenados se produce un proceso de inhibición (poca actividad eléctrica). Esto quiere decir que si no se registra gran actividad eléctrica hay **pocas unidades motoras reclutadas o en funcionamiento**. En el caso de los saltadores entrenados responden con una elevada actividad eléctrica llamada **facilitación** (gran cantidad de reclutamiento de fibras).

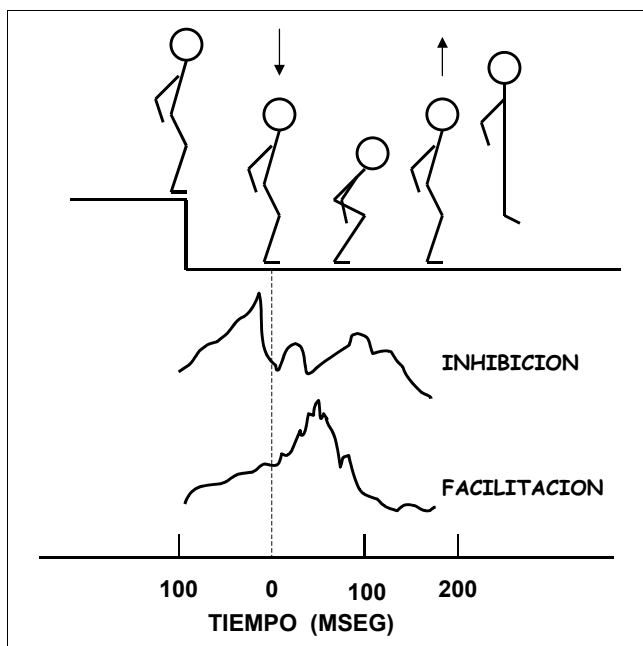


Figura 2.14

Por lo tanto el proceso de entrenamiento con ejercicios pliométricos es beneficioso y produce adaptaciones neurales positivas solo cuando los sujetos están entrenados.

No es aconsejable aplicar los ejercicios pliométricos en deportistas principiantes o en niños en edad de crecimiento rápido. La razón principal es que, si en un impacto de caída tan fuerte no hay una gran cantidad de unidades motoras activadas, la tensión será amortiguada principalmente con la **estructura ósea y articular**. Esto incrementa muchísimo el riesgo de lesión, que en forma general no se produce por un stress violento (durante el entrenamiento) sino que se llega por sobreuso (sumatoria de microtraumatismos). Este tema se analizará con mayor detenimiento en el capítulo de gestos explosivos.

ADAPTACIONES HORMONALES AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA.

El sistema endocrino responde al entrenamiento de sobrecarga de forma muy sensible. Es reconocido ampliamente que realizar ejercicios de fuerza produce una modificación de las hormonas circulantes en sangre (testosterona, cortisol, insulina, etc). También está comprobado la adaptación del sistema neuroendocrino como

resultado del entrenamiento de fuerza a largo plazo (Hakkinen 89').

Las hormonas analizadas más importantes son la testosterona y la hormona de crecimiento como representantes de los procesos anabólicos, y el cortisol representando a los procesos catabólicos.

La hormona de crecimiento es secretada en forma pulsátil y está relacionada con el crecimiento del tejido muscular y de muchos otros. Algunas de sus funciones más importantes son:

- Incrementar la síntesis proteica.
- Incrementar el transporte de aminoácidos a través de la membrana celular.
- Estimular los cartílagos de crecimiento.
- Aumentar la síntesis de colágeno.
- Aumentar la retención de nitrógeno, fósforo, sodio y potasio.

La testosterona está relacionada con el desarrollo de la fuerza, con la estimulación del tejido muscular y con la modificación del sistema nervioso (Kelly 85' - Bleish 84'). Es probable que la testosterona incremente la cantidad de neurotransmisores e influya en la estructura proteica de la placa mioneural.

Por su parte el cortisol es considerado una hormona catabólica ya que inhibe la síntesis de proteínas (Florini 87'). Por otro lado tiene su efecto más importante sobre las fibras musculares rápidas, que son fundamentales para el desarrollo de la potencia muscular.

La modificación hormonal frente al entrenamiento de fuerza es una respuesta única comparada con otros tipos de ejercicios (aeróbico, flexibilidad, etc.) y tiene acción sobre los cambios en el tamaño de la célula (hipertrofia) y sobre los caminos de recuperación y remodelación de los tejidos luego del entrenamiento. Los procesos de recuperación se vuelven muy importantes sobre todo cuando las acciones excéntricas se acentúan durante el entrenamiento (Clarkson 88').

El proceso de adaptación general fue resumido por Kraemer 90' y se muestra en la figura 2.15.

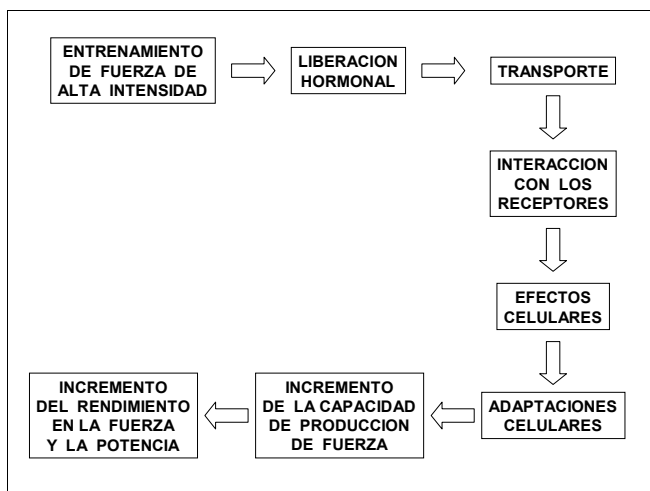


Figura 2.15

Cuando se realiza una sesión aguda de entrenamiento de la fuerza, se produce una fuerte liberación de hormonas a la sangre. Esto permite que interactúen con los receptores celulares específicos. De este modo el entrenamiento de sobrecarga parece ser naturalmente anabólico y favorece los procesos de reparación y de remodelación de tejidos.

Las modificaciones hormonales varían de acuerdo a la intensidad, al volumen y al tiempo de pausa utilizado durante el entrenamiento. Un estudio de Kraemer 90' demostró que si se modifican las variables antes mencionadas, la liberación de testosterona y de hormona de crecimiento varían en forma considerable.

El autor también analizó la acumulación de ácido láctico aunque no sea una hormona debido a que el mismo también sufre variaciones con este tipo de modificaciones y que este metabolito tiene gran importancia en la fatiga muscular. El protocolo de investigación utilizado por Kraemer se muestra en la figura 2.16.

El trabajo fue realizado con sujetos que tenían como mínimo dos años de experiencia con sobrecarga pero que no participaban en competencias de ningún tipo. Como observamos en la figura 2.16 se tomaron dos entrenamientos básicos que son utilizados por los entrenadores con diferentes objetivos. El entrenamiento de 10 repeticiones máximas con un minuto de pausa es el típico entrenamiento para lograr hipertrofia muscular y el de 5 repeticiones máximas con 3 minutos de pausa es el más utilizado para ganar

fuerza. A partir de estos trabajos el autor aumenta o disminuye la intensidad, el volumen y el tiempo de pausa.

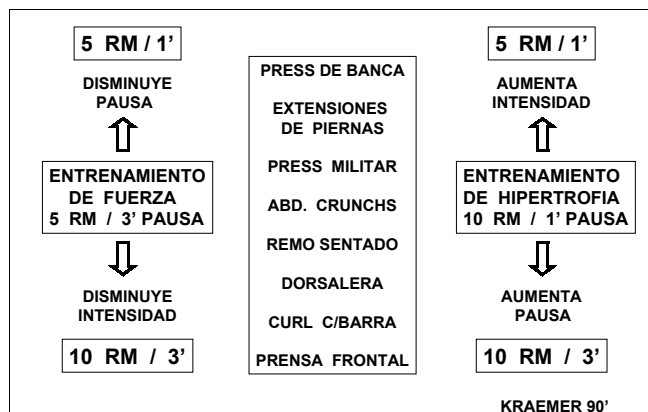


Figura 2.16

Se realizaron 8 ejercicios de sobrecarga y se midió la concentración de testosterona, hormona de crecimiento y de ácido láctico antes, durante, y 0, 5, 15, 30, 60, 90 y 120 minutos post ejercicio. Los resultados de las modificaciones en la testosterona, la hormona de crecimiento y la acumulación de lactato se muestran en las siguientes figuras. Las figuras 2.17, 2.18 y 2.19 representan las modificaciones como resultado del entrenamiento de fuerza y las figuras 2.20, 2.21 y 2.22 como resultado de un entrenamiento de hipertrofia.

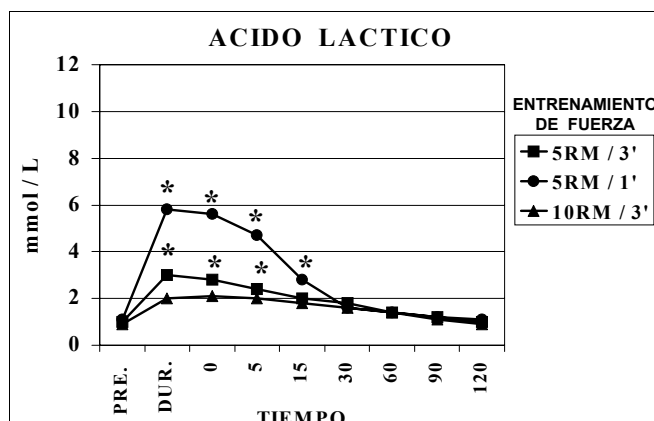


Figura 2.17

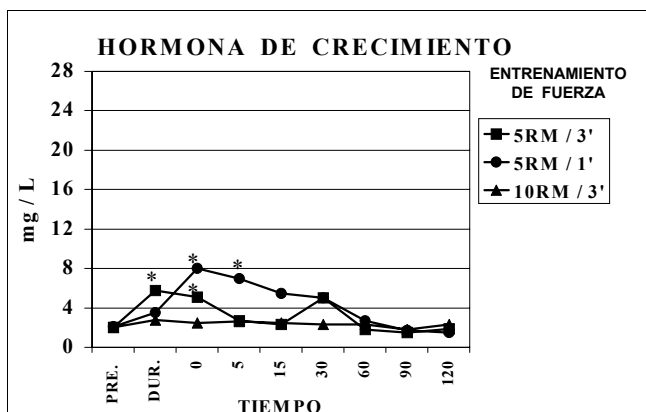


Figura 2.18

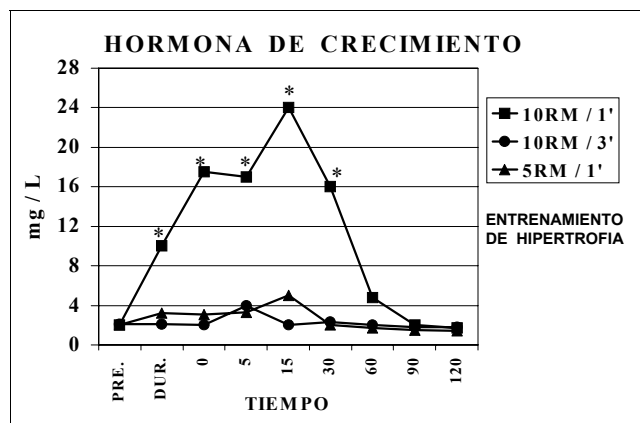


Figura 2.21

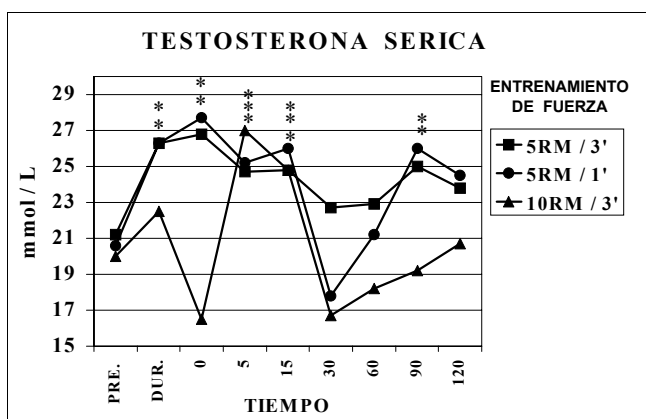


Figura 2.19

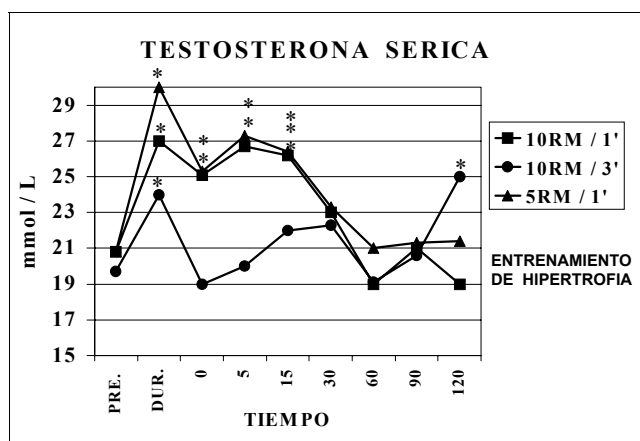


Figura 2.22

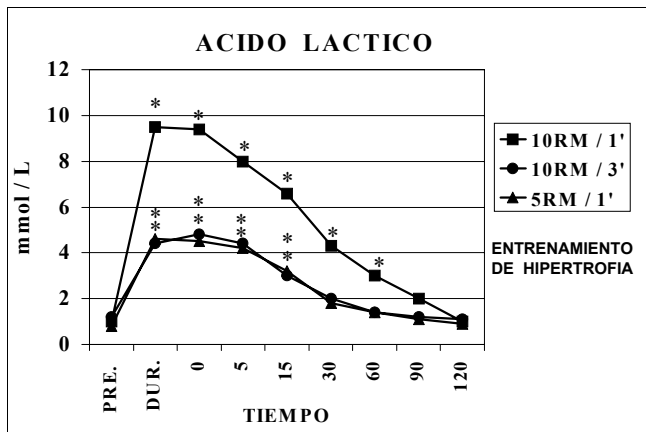


Figura 2.20

Analizando la respuesta hormonal a un típico entrenamiento de fuerza (5 R.Ms con 3' pausa) podemos observar que la acumulación de lactato en sangre luego de realizar 4 ejercicios es baja (solo 3 mMol/l) y que la hormona de crecimiento sigue un patrón similar, solo se eleva un poco (6 µg/l). En ambos casos luego de que termina el entrenamiento, la acumulación en sangre comienza a disminuir hasta alcanzar los valores de reposo. Por su lado la testosterona muestra un aumento importante durante la ejecución del entrenamiento y se mantiene bastante elevada postejercicio.

En cambio cuando se mantiene la intensidad (5 R.Ms) pero se disminuye la pausa a 1 minuto, podemos observar que el lactato y la hormona de crecimiento se elevan por sobre los valores del entrenamiento tipo (5 R.Ms / 3' pausa). Por otro lado cuando la intensidad baja (10 R.Ms) y la pausa se mantiene en 3 minutos los valores se caen y casi no se diferencian de los de reposo. En cuanto a la testosterona, la disminución de la pausa no produce grandes modificaciones,

aunque la disminución de la intensidad genera una respuesta demasiado variable y no concluyente.

Si pasamos a analizar las modificaciones que genera un entrenamiento tipo de hipertrofia (10 R.Ms con 1 min. de pausa) encontramos resultados bastante diferentes. Por un lado el lactato y la hormona de crecimiento se elevan en forma muy importante durante el ejercicio. En el postejercicio el lactato disminuye y vuelve a los niveles de reposo a los 90 minutos. En cambio la hormona de crecimiento se eleva durante el postejercicio alcanzando su máxima expresión a los 15 minutos.

Es importante destacar que durante el entrenamiento típico de hipertrofia la

acumulación de lactato casi se duplica respecto del entrenamiento de fuerza. Por su lado la hormona de crecimiento se triplica en sus valores más altos.

Cuando se incrementa la intensidad (5 R.Ms) o se aumenta la pausa el lactato y la hormona de crecimiento disminuyen considerablemente, mientras que la testosterona tiene un comportamiento similar a la serie de entrenamiento de fuerza.

Kraemer resumió las modificaciones hormonales que producen los diferentes tipos de entrenamiento sumando la cantidad de hormona acumulada durante todas las tomas y los resultados se muestran en las figuras 2.23 y 2.24.

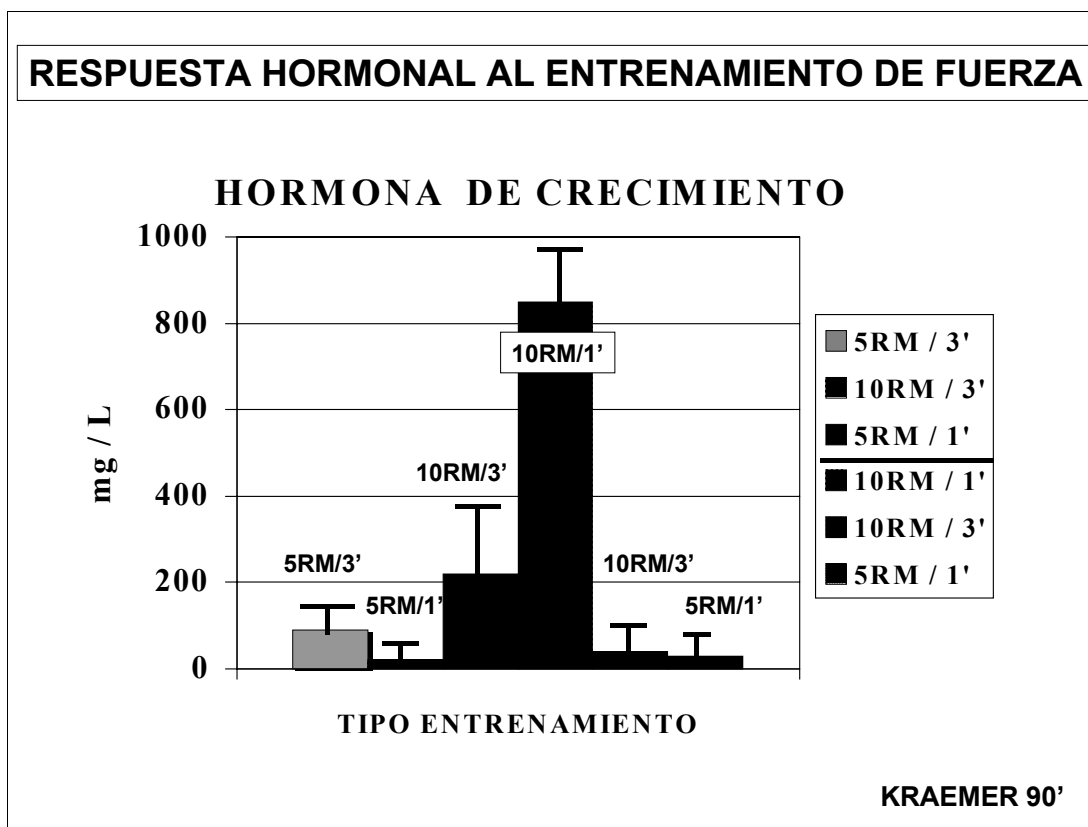


Figura 2.23

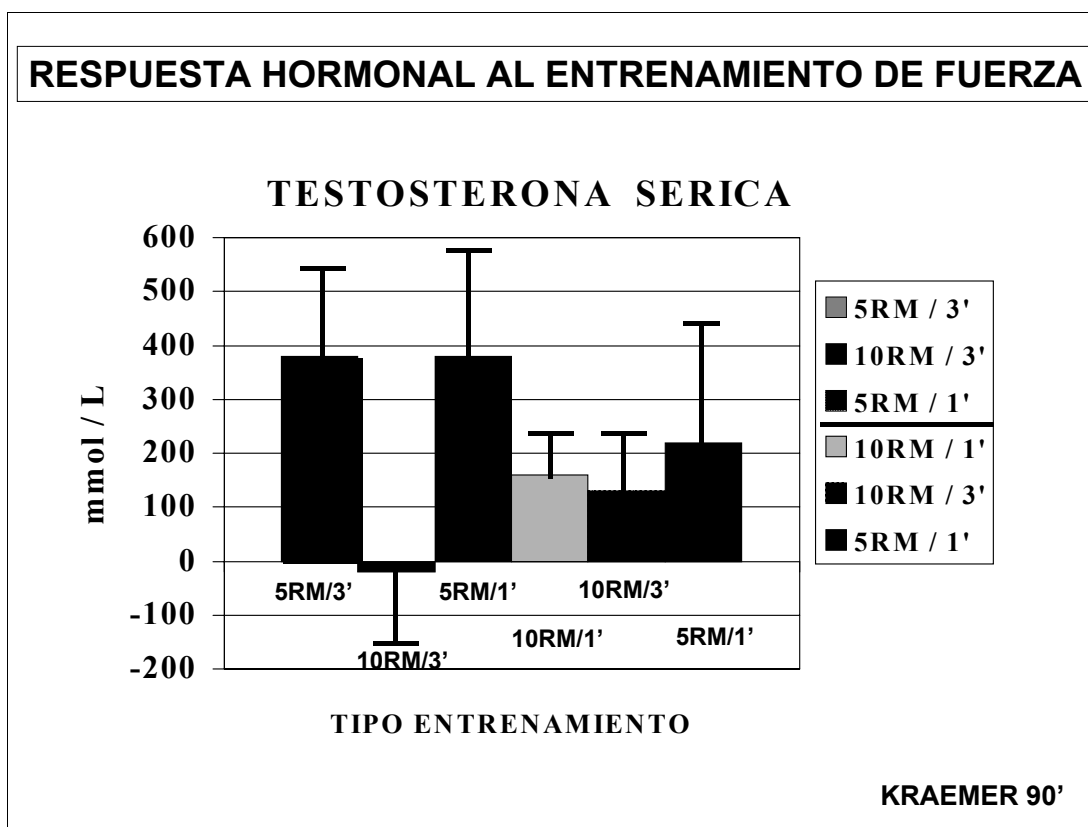


Figura 2.24

Como podemos observar en la figura 2.23 el protocolo de entrenamiento que logra acumular mas hormona de crecimiento es el típico entrenamiento de hipertrofia (10 R.Ms / 1 min. de pausa), pero cuando se modifica alguna de las variables del protocolo como puede ser la intensidad, la pausa o el volumen siempre se produce una disminución considerable de la hormona acumulada en sangre.

Cabe aclarar que este protocolo triplica a los otros, por lo que no debe existir duda al aplicarlo si el objetivo es el desarrollo de la masa muscular ya esta variable sumada a la intensidad previamente analizada generará el ambiente optimo para la hipertrofia.

En cuanto a la testosterona se observa algo similar (figura 2.24). Los protocolos que logran acumular mas hormona son los que utilizan intensidades altas (5 R.Ms), independientemente de la pausa utilizada (1 o 3 minutos). Cuando la intensidad se disminuye (10 R.Ms) desciende la acumulación de hormona, también independientemente de la pausa utilizada.

A modo de ejemplo se podría relacionar las modificaciones encontradas por Kraemer con los programas típicos que representan a algunos deportes. Ver la tabla 2.3.

Este resumen de las modificaciones hormonales nos podría orientar fundamentalmente para establecer los tiempos de pausas y sus consecuencias en el proceso de entrenamiento deportivo.

	Fisiculturistas	Levantadores de pesas
Hormona de crecimiento	↑ ↑	↗
Testosterona	↗	↑ ↑
Acido láctico	↑	↗

Tabla 2.3

Observamos que un entrenamiento típico de levantamiento de pesas donde se realizan siempre muy pocas repeticiones, acumula poca hormona de crecimiento y genera muy poca acumulación de lactato. Estas condiciones serían óptimas para entrenamientos con sobrecarga que tengan como objetivo incrementar los niveles de fuerza y

potencia muscular, sin incrementar el peso total del deportista por aumento del peso muscular. A la vez este tipo de entrenamiento con sobrecarga permite ser combinado con otros tipos de entrenamientos ya que no se acumula lactato en forma importante. Por ejemplo se le podría sumar un entrenamiento aeróbico.

Por lo tanto una sesión de entrenamiento con pesas se podría realizar previamente a un entrenamiento técnico táctico del deporte específico o a un entrenamiento con orientación aeróbica.

Por el contrario, un entrenamiento de tipo fisicoculturista desarrollará en forma considerable la masa muscular si se aplica durante un tiempo. También como se pudo observar en los resultados del trabajo de Kraemer este tipo de entrenamiento genera una lactacidemia altísima, comparable a un entrenamiento de tipo anaeróbico láctido en campo (12 - 13 mmol/l).

Estas condiciones no son favorables para combinar con ningún otro tipo de entrenamiento ya que estos niveles de lactacidemia generan fatiga e incoordinación muscular.

ADAPTACIONES ESQUELÉTICAS AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

El tejido óseo es considerado como un tejido conectivo, que se mineraliza y aporta una estructura de soporte rígida en el ser humano. El término de rígido no significa que sea un tejido inerte y resquebrajadizo sino que por el contrario tiene la capacidad de responder a las fuerzas que actúan sobre él y adaptarse a los diferentes tipos de ejercicio. Posee una amplia capacidad de crecer y regenerarse si es que se producen daños. Aproximadamente entre el 10-20 % de la masa corporal corresponde al tejido óseo (Martin 84')

El ejercicio físico produce fuerzas mecánicas que causan deformaciones en la estructura ósea. Estas fuerzas pueden ser de flexión lateral, de compresión, de torsión o fuerzas producidas por la contracción muscular. Para un estudio más profundo sobre la formación y desarrollo de la

masa ósea recomendamos al lector consultar los trabajos de Martin, Bailey y Ferreti.

Martin propone que una mujer promedio tiene un contenido mineral óseo de aproximadamente 2.200 grs. en donde aproximadamente el 32 % es calcio elemental. El componente mineral (cristales de hidroxapatita de calcio) le proporciona al hueso su dureza. La resistencia a la deformación bajo la acción de una carga es la propiedad física más importante del hueso (Albright 87).

Si bien uno de los aspectos más importantes respecto de la masa esquelética esta en relación con una patología como la osteoporosis, el interés de este apartado es mostrar las adaptaciones óseas como respuesta al entrenamiento deportivo con sobrecarga.

Las variables más sobresalientes a considerar son el contenido mineral óseo total, la densidad mineral ósea y la velocidad o pico de adquisición de masa ósea.

Frecuentemente a sido demostrada la capacidad del ejercicio físico como un estímulo válido para la mejorar la tasa de remodelación ósea y de esta manera desarrollar un esqueleto saludable y capaz de soportar las arduas exigencias del deporte de rendimiento tanto en niños, adultos o durante la vejez (Grimston 92' - Snow - Harter 92' - Treuth 94').

Pero es necesario discriminar que tipos de ejercicios o actividades físicas poseen la capacidad de mejorar el estado de la masa ósea. Hay estudios de gran relevancia sobre la influencia del entrenamiento en la masa esquelética. Un ejemplo es el trabajo realizado por Conroy 93' donde muestra los valores de la densidad mineral en levantadores de pesas adolescentes y otro es de Teegarden 96' donde analizó en mujeres la influencia de la actividad física previa (escolar, universitaria y del tiempo libre) con la densidad mineral ósea.

El estudio de Conroy analizó la densidad mineral ósea en 25 levantadores de pesas adolescentes de elite (17.4 ± 1.4 años) que tenían un mínimo de 3 años consecutivos de entrenamiento previo al

estudio y se los comparó con otro grupo de la misma edad que no realizaba deporte. También se expreso la densidad mineral ósea como un porcentaje de los valores promedio para adultos.

La tabla 2.4 muestra los resultados obtenidos por Comroy:

Lugar anatómico	Densidad mineral ósea (gr/cm ²)		% Respecto de valores promedio para adultos y para el grupo control
	Levanta-dores de pesas	Controles	
Vértebra Lumbar 4	1.41 ± 0.20 *&	1.06 ± 0.21	113 % 133 %
Cuello fémur	1.30 ± 0.15 *&	1.05 ± 0.12	131 % 124 %
Trocánter	1.05 ± 0.13 *	0.89 ± 0.12	Sin datos 118 %
Triángulo Ward	1.26 ± 0.20 *	0.99 ± 0.16	Sin datos 127 %

Tabla 2.4

* $p < 0.05$ respecto de los controles.

& $p < 0.05$ respecto de los adultos.

Es importante observar que los valores de densidad ósea en los adolescentes que levantan pesas son muy superiores a los valores de los sujetos control de la misma edad en un promedio de casi 30 % y de los valores de adultos en casi un 20 %. Es obvio que estas adaptaciones se manifiestan como un resultado de la aplicación constante de sobrecarga y representan cifras **imposibles** de alcanzar con otro tipo de estímulo de actividad física. Para poder interpretar correctamente los resultados se deben considerar los tipos de ejercicios que se utilizan en este deporte (sentadillas, arranque, tirones, etc.), ya que en todos se aplica una gran cantidad de masa muscular y se utilizan pesos absolutos importantes. Por ejemplo la sentadilla se entrena con una fuerza relativa de 1.5 - 1.8.

Cabe recalcar que la correlación encontrada entre los sitios anatómicos analizados por Comroy y el total olímpico (suma de arranque y envión) es buena (0.75 para las vértebras lumbares).

Los levantadores de pesas en estas edades utilizan cargas importantes (70 - 90 % de 1 R.M), pero también el volumen de entrenamiento semanal es

elevado (4 - 5 veces por semana). Esto refleja la cantidad y la calidad del tiempo al cual esta sometida la estructura ósea.

El trabajo de Teegarden demuestra la importancia de realizar actividad física sobre todo en edades tempranas. Estos hallazgos son corroborados por Grimston 92' en su trabajo con niños. Uno de los aspectos más relevantes de estos estudios es su relación con los hallazgos de Bailey 97' sobre la relación entre la edad y la adquisición de mineral óseo. El autor comprueba que en niños y niñas el **35 % del mineral óseo total (CMO)** se deposita en los huesos durante un período de 4 años en la segunda década de vida. Y que esto está relacionado principalmente con el pico de máxima velocidad de crecimiento - PHV (ver figura 2.25).

Esta es una de las razones por la cual es de suma importancia que los niños en edad de crecimiento rápido realicen entrenamientos con sobrecarga, de manera tal que puedan obtener una buena estructura ósea. Este objetivo es de suma importancia para el deporte de rendimiento y también para la salud.

En el análisis de los diferentes ejercicios con el objetivo de observar cambios en la masa esquelética se reconocen dos tipos de actividades. Las actividades que transportan el peso corporal (weight bearing activities) y las actividades que no poseen esta característica (nonweight bearing activities). Las primeras están representadas por los aterrizajes de cualquier tipo de movimiento como correr, saltar, etc. y también se las denomina **cargas de impacto**. Estos movimientos generan contra el piso una carga externa al peso corporal que representa de 3 a 10 veces su magnitud.

Este tipo de actividades se reconocen como las más beneficiosas para la salud esquelética ya que logran que se desarrolle una densidad mineral ósea mayor a las de otras actividades. Este concepto se deriva de trabajo como los de Comroy arriba mencionado.

Las otras actividades generan contracciones musculares pero sin contrarrestar la gravedad o sin soportar las caídas, como la natación, andar en

bicicleta y se las denomina **cargas activas** ya que si bien son contracciones musculares, estas no generan cargas mecánicas (deformaciones) elevadas en la masa ósea. Estos tipos de ejercicios han sido cuestionados como beneficiosas para la salud esquelética cuando se practican como única actividad y con una frecuencia y volumen elevados (McCulloh 92').

En la figura 2.25 podemos observar la relación entre la cantidad de contenido óseo total y el pico de velocidad de crecimiento. En los dos años anteriores y dos años posteriores se adquiere el 36 % del total, lo que demuestra la importancia de estimular esta adquisición durante estas edades con el objetivo de prevenir la osteoporosis y también desarrollar un esqueleto capaz de soportar los exigentes entrenamientos del alto rendimiento competitivo en los años venideros.

También es importante observar que antes del pico máximo de crecimiento se obtiene el 60 % del contenido óseo total, pero también se adquiere el 90 % de la talla total del adulto. **Esto demuestra la importancia no solo de adquirir una buena cantidad de mineral sino una alta densidad para soportar ese aumento vertiginoso en el crecimiento lineal de los huesos.**

Este concepto es corroborado por el trabajo de Grimston. El mismo analizó niños realizando actividades que soportaban el peso corporal y otros que hacían actividades que no cumplían con esta característica. Se encontró que los niños que utilizaban cargas de impacto tenían mayor densidad mineral en las vértebras lumbares.

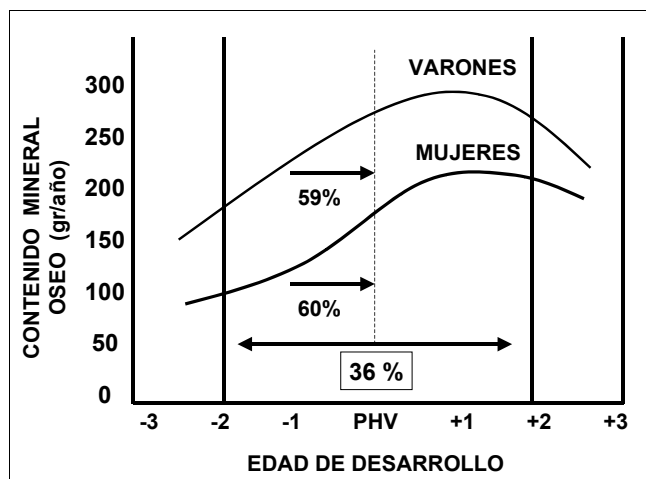


Figura 2.25

Como sabemos el entrenamiento de sobrecarga tiene una ventaja sobre otro tipo de actividades para el desarrollo de la masa esquelética, por lo que se recomienda la utilización de ejercicios de fuerza con sobrecarga para maximizar este proceso. Esta característica estaría relacionada con la teoría del mecanostato de Frost 91', que propone que los huesos deben recibir una deformación (strain) o intensidad mínima para poder remodelarse y desarrollarse, y es probable que algunas actividades físicas no tengan por sí solas esta característica.

CONCLUSION

El análisis de las adaptaciones fisiológicas revisadas en este capítulo tiene como objetivo orientar a los entrenadores en cuanto a las potenciales modificaciones que se pueden producir como resultado de la aplicación de entrenamientos con sobrecarga. Es obvio que no se realizó una revisión extensa sino que se puntualizó sobre los aspectos más importantes y relevantes en deportistas.

BIBLIOGRAFIA

1. Albright. Bone: structural organization and remodelling dynamics. The scientific basis of orthopaedics. pp 161-68.
2. Bailey D. 1997. Estudio pediátrico de adquisición de mineral óseo durante los años de desarrollo en Saskatchewan.

- International journal of sport medicine. Vol. 18. s191-s194.
- Bleish W, Lunie N, Nottebohm F. 1984. Modification of synapses in androgen-sensitive muscle. *Journal of Neuroscience*. 4:786-792.
 - Clarkson P, Tremblay L. 1988. Exercise - induced muscle damage, repair and adaptations in humans. *Journal of applied physiology*. 65. 1-6.
 - Conroy BP, Kraemer J, Maresh C, Fleck S, Stone M, Fry A, Miller P, Dalsky G. 1993. Bone mineral density in elite junior olympic weightlifters. *Medicine and science in sport and exercise*. Vol 25, n° 10, 1103 - 1109.
 - Consensus development conference: diagnosis, prophylaxis and treatment of osteoporosis. *American Journal of Medicine*, 1991, 303, pp 107-110.
 - Coleman AE. 1977. Nautilus vs Universal gym strength training in adult males. *American Corrective Therapy Journal*. 31: 103-07.
 - Fleck S, Kraemer W. 1987. Designing resistance training programs. *Human Kinetics*.
 - Florini J. 1987. Hormonal control of muscle growth. *Muscle Nerve*. 10:577-598.
 - Frost H. 1991. A new direction for the osteoporosis research: and review and proposal. *Bone*. 12: 249-437.
 - Gettman LR, Ayres JJ, Pollock ML, Durstine JC, Grantham W. 1979. Physiological effects on adult men of circuit strength training and jogging. *Archives of physiological medicine and rehabilitation*. 60: 115-120.
 - Gibala M, Interisano A, Tarnopolsky M, Roy B, MacDonald J, Yarashki K, MacDougall D. 2000. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 78. 656-661.
 - Gonyea W, Erickson G.C, Bonde-Peterson F. 1977. Skeletal muscle fiber splitting induced by weight lifting exercise in cats. *Acta Physiologica Scandinavica*. 99, pp 105-9.
 - Gonyea W. 1980. Role of exercise in inducing increases in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*. 48, pp 421-6.
 - Goldspink G. 1992. Strength and power in sport. Edited by Paavo Komi. Cap. Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. *Human Kinetics Publishers*.
 - Grimston SA, Hanley DA. 1992. Bone mineral density in children is related to mechanical loading regime. *Medicine and science in sport and exercise*. Sup25 s45.
 - Häkkinen K, Alen M, Komi P. 1985. Changes in isometric force and relaxation time, electromyographic and muscle fiber during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*. 125 - 573-85.
 - Häkkinen K, Prarainen A, Alen M, Kauhanen H, Komi P. 1988. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training into two years. *Journal of Applied Physiology*. 65 (6): 2406 - 2412.
 - Häkkinen K. 1989. Neuromuscular and hormonal adaptation during strength and power training. *Journal of sports medicine and physical fitness*. 29:9-24.
 - Hather B.M, Tesh P.A, Buchanan P, Dudley G.A. 1991. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*. 143, pp 177 - 185.
 - Henneman E, Clamann H, Gillies J, Skinner D. Rank order of motoneurons within a pool: law of combination. *Journal of Neurophysiology*. 37:1338-1349, 1974.
 - Henneman E., Somjen J.A., Carpenter D.O. (1965) "Functional significance of cell size in spinal motoneurons". *Journal of Neurophysiology* 28, 560-80.
 - Ikai M., Fukunaga T. 1968. Calculations of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *arbeitphysiologie*. 26, pp 26.
 - Kelly A, Lyongs B, Gambky B, Robinstein N. 1985. Influence of testosterone on contractile proteins of the guinea pigs temporalis muscle. *Adv. Exp. Med. Bio*. 182:155-168.

25. Kraemer W, Marchitelli L, McCurry D, Mello R, Dziados J, Harman E, Frykman P, Gordon S, Fleck S. 1990. Hormonal and growth factor response to heavy resistance exercise. *Journal of applied physiology*. 69:1442-1450.
26. MacDougall J.D. 1986. Adaptability of muscle to strength training - a cellular approach. *Biochemistry of exercise VI*. Vol. 16, pp 501. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
27. Martin A, Bailey D, McKay A, Whiting S. 1997. Acumulación de mineral óseo y de calcio durante la pubertad. *Journal of clinical nutrition*. 66: 611-615.
28. Martin A. "An anatomical basis for assessing body composition: Evidence from 25 dissections" . Burnaby, B C. Canada: Simon Fraser University. PhD tesis.
29. McCulloh R, Bailey D, Whalen R, Houston S, Faulkner R, Craven R. 1992. Bone density and bone mineral content of adolescent soccer athletes and competitive swimmers. *Pediatric exercise science*. 4: 319-330.
30. Staron RS, Leonardi MJ, Kaparondo DL, Malicky ES, Falkel JE, Hagerman FC, Hikida RS. 1991. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy resistance -
trained women after detraining and retraining. *Journal of Applied Physiology*. 70:631-40
31. Smith J.L, Betts B., Edgerton V.R., Zernicke R.F. (1980) " Rapid ankle extension during paw shakes: selective recruitment on fast ankle extension". *Journal of Neurophysiology*. 57, 311-24.
32. Snow - Harter C, Boustein B, Lewis D, Carter D, Marcus R. 1992. Effects of resistance and endurance exercise on bone mineral status of young women: a randomized exercise intervention trial. *Journal of bone mineral research*. 7:761-769.
33. Tesh P., Karlsson J. 1985. Muscle fiber types and size in trained and untrained muscles of elites athletes. *Journal of Applied Physiology*. 59 (6), pp 1716-1720.
34. Tesh P. 1987. Acute and long term metabolic changes consequent to heavy resistance exercise. *Medicine and Science in Sport and Exercise*. 26, pp 67-87.
35. Treuth M, Ryan S, Pratley E, Rubin A, Miller P, Nicklas J, Sorkin J, Harman S, Goldberg P, Hurley F. 1994. Effects of strength training on total and regional body composition in older men. *Journal of applied physiology*. 77(2) - 614-620.