

“EFECTOS AGUDOS EN LOS NIVELES HORMONALES LOGRADOS CON DIFERENTES VOLÚMENES DE ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA”



Autor: Leandro Carbone

Carrera: Especialización en Fisiología del Ejercicio

Año: 2011

Índice

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN	3
MÉTODOS	7
<i>Acercamiento experimental al problema</i>	7
<i>Población</i>	8
<i>Procedimiento</i>	8
<i>Materiales y protocolo</i>	9
<i>Análisis estadístico</i>	10
RESULTADOS.....	11
DISCUSIÓN	19
<i>Testosterona total, libre, biodisponible y SHBG</i>	19
<i>Cortisol e índice Testosterona/Cortisol</i>	20
CONCLUSIONES.....	20
AGRADECIMIENTOS.....	22
REFERENCIAS	23

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue analizar el perfil hormonal agudo inducido por diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

En un grupo de hombres con experiencia en el entrenamiento de la fuerza mayor a 1 año (n=11; Edad= 24,82 ± 4,85 años) se realizaron trabajos de sobrecarga una vez a la semana, durante 4 semanas consecutivas, siendo la intensidad del trabajo igual al 75% de una repetición máxima (1RM).

En esta investigación se emplearon 2 ejercicios multiarticulares para estimular la respuesta aguda en los niveles hormonales. Los ejercicios que se utilizaron para el trabajo de pesas fueron, en el tren superior, el press de banca y en el tren inferior la sentadilla paralela en la máquina Smith.

El volumen de trabajo fue incrementado progresivamente en cada sesión, comenzando con 3 series de 8 repeticiones en la primera intervención hasta llegar a las 12 series de 8 repeticiones en la última. Así, el incremento fue de 3 series por semana.

Al finalizar cada intervención se tomaron muestras de sangre para su posterior análisis y comparación con la línea de base tomada previo al estudio, de tal manera que cada sujeto fuese su propio control antes, durante y al finalizar el periodo de estudio.

Por un lado, los resultados de los análisis estadísticos reflejan que no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables analizadas. Por otro lado y en base a los resultados del comportamiento de las variables a lo largo del estudio, aparentemente la respuesta aguda hormonal inducida por el ejercicio no tiene efectos claros sobre el proceso anabólico adaptativo al estímulo generado por el entrenamiento de fuerza.

INTRODUCCIÓN

El entrenamiento de la fuerza cumple un rol fundamental tanto en objetivos orientados a la salud y el fitness como en el alto rendimiento deportivo. Por esta razón, realizar un abordaje apropiado de las variables que influyen en sus manifestaciones (volumen, intensidad, etc.), así como comprender los efectos e impacto fisiológico que producen los diferentes protocolos y programas de entrenamiento de la fuerza será fundamental para optimizar la dirección de los resultados deseados.

Una de las respuestas buscadas como adaptación crónica al entrenamiento de la fuerza es la hipertrofia muscular, la cual está vinculada al estímulo de ciertas hormonas que producen un efecto anabólico (testosterona, insulina y STH). A su vez, existen hormonas (cortisol) cuyo efecto es el opuesto (catabolismo) y, por ende, el mismo irá en detrimento del objetivo deseado.

El entrenamiento de la fuerza, especialmente en principiantes, produce adaptaciones tanto funcionales como estructurales en el sistema neuromuscular. Los incrementos en la fuerza que se producen al comienzo de un programa de entrenamiento de sobrecarga son principalmente mediados por adaptaciones del tipo neural, para luego gradualmente ser contribuidos en mayor medida por adaptaciones estructurales o de hipertrofia de los músculos entrenados (Moritani y DeVries, 1979).

El incremento del área transversal de los músculos entrenados se produce por el aumento del tamaño de cada fibra muscular (MacDougall et al., 1977). En

personas altamente entrenadas con ejercicios de sobrecarga, las mejoras en la fuerza y en la hipertrofia muscular son mucho más limitadas que en principiantes o personas sin experiencia (Hakkinen, 1994). El desarrollo de la fuerza y la hipertrofia muscular también depende del tipo e intensidad de la carga de entrenamiento y del volumen del entrenamiento de la fuerza de cada individuo en un determinado momento.

El rol de la regulación hormonal es especialmente importante para la hipertrofia muscular y el desarrollo de la fuerza en atletas altamente experimentados en este tipo de esfuerzos. Se ha sugerido que el nivel de testosterona libre puede ser fundamental para el entrenamiento de la fuerza (Hakkinen et al., 1985; Kraemer et al., 1990). Los cambios en el volumen del entrenamiento de la fuerza suponen cambios en el índice testosterona/cortisol sérico total con un concomitante cambio en los niveles séricos de la hormona luteinizante. De otro modo, se ha observado que el índice testosterona/SHBG (globulina ligadora de las hormonas sexuales) correlacionó con el rendimiento de la fuerza en halterófilos de élite en un estudio realizado por Hakkinen et al. (1987).

En uno de sus estudios Hakkinen et al., (1988) reportaron cambios periódicos en la concentración de testosterona durante los periodos más intensos y prolongados de entrenamientos de fuerza. Estas observaciones apoyan la idea de que respuestas adaptativas periódicas en el balance hormonal endógeno durante el entrenamiento de la fuerza parecen tener un impacto importante en los cambios del rendimiento de esta cualidad, especialmente en atletas de fuerza.

Es posible que adaptaciones en el sistema endócrino de las personas principiantes o desentrenadas no tengan un rol fundamental en la hipertrofia muscular durante periodos cortos de entrenamiento si se los compara con periodos largos de entrenamiento (< 6 meses) en atletas de fuerza con un trasfondo de varios años de largos e intensos trabajos.

El entrenamiento de fuerza con altas cargas es bien conocido como un potente estímulo para aumentar de forma aguda las hormonas anabólicas circulantes en hombres jóvenes. Se ha sugerido que la hipertrofia muscular se debe, parcialmente, al incremento en forma aguda de las hormonas anabólicas esteroideas a nivel endógeno, las cuales podrían incrementar el número de interacciones con sus receptores induciendo cambios en el grosor muscular y en el funcionamiento neuromuscular (Kraemer et al., 1990).

Teniendo en cuenta que un solo estímulo del tipo de fuerza hipertrofia induce a incrementar las concentraciones séricas hormonales, también es posible que la

magnitud y/o duración de esta respuesta hormonal aguda pueda variar debido al entrenamiento prolongado de la fuerza. Este proceso podría deberse a la adaptación del mecanismo de producción y/o remoción del sistema endócrino (Kraemer et al., 1990). Sin embargo, solo unos pocos estudios encontraron evidencia de que la respuesta hormonal aguda pueda cambiar debido al entrenamiento prolongado de la fuerza.

En un estudio realizado por Kraemer et al. (1992) un grupo de halterófilos experimentados mostró tener una respuesta aguda mayor en los niveles de testosterona después de realizar un entrenamiento de la fuerza con pesos altos en comparación con los menos experimentados.

La respuesta aguda elevada de la testosterona al entrenamiento de fuerza ha sido reportada por Kraemer et al. (1998) aunque estudios previos no encontraron cambios significativos en dicha respuesta aguda y sí una elevada correlación con entrenamientos de la fuerza a largo plazo (Craig et al., 1989; Hickson et al., 1994; McCall et al., 1999).

El entrenamiento de la fuerza orientado a la hipertrofia ha demostrado incrementar de forma aguda los niveles séricos de testosterona, cortisol, globulina ligadora de hormonas sexuales y lactato (Kraemer et al., 1990; Kraemer et al., 2002; Kraemer y Ratamess 2005; Linnamo et al., 2005; McCall et al., 1999).

La literatura previa mostró que el entrenamiento de la fuerza con elevados volúmenes y periodos de descanso relativamente cortos incrementa la respuesta hormonal y posiblemente la hipertrofia muscular (Kraemer et al., 2002), aunque muchos estudios no controlaron el volumen de trabajo al investigar los efectos de otras variables con los protocolos sobre la respuesta hormonal aguda al entrenamiento de la fuerza (Goto et al., 2005; Kraemer et al., 1990; Smilios et al., 2003).

Se cree que la carga mecánica es el mayor estímulo para la hipertrofia ocasionada por el entrenamiento de la fuerza (McDonagh y Davies, 1984). Los cambios hormonales que generan un ambiente anabólico parecen estar asociados a contribuir en las adaptaciones al entrenamiento de la fuerza (Kraemer, 1994).

Si bien la respuesta hormonal aguda parece tener un respaldo considerable en la literatura científica, principalmente como parte del proceso hipertrófico, algunos autores han cuestionado su rol (Loenneke et al., 2011; Phillips, 2009) fundamentalmente especulando que la elevación de las hormonas post ejercicio cumpliría un propósito mayormente metabólico y de movilización en reservas

energéticas más que promoviendo el anabolismo muscular (West and Phillips, 2010).

Las concentraciones séricas de la hormona de crecimiento, testosterona y cortisol mostraron un incremento durante el estímulo de fuerza y permanecieron elevadas en un promedio de media hora luego de diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza (Kraemer et al., 1990, 1993). Incrementos en los niveles de hormona de crecimiento y cortisol fueron observados en ambos géneros, aunque el aumento observado en las concentraciones de testosterona en las mujeres no fue significativo (Weiss et al., 1983; Kraemer et al., 1991, 1993).

Protocolos de entrenamiento de la fuerza con una moderada intensidad (10 repeticiones máximas, 10RM), alto volumen (3 series de 10 repeticiones por ejercicio) y cortos descansos (1 minuto) mostraron ser los más eficaces a la hora de elevar las concentraciones séricas de hormona de crecimiento y cortisol (Kraemer, 1994).

La respuesta de la testosterona fue observada en similares protocolos, aunque también se incrementó en protocolos con mayores intensidades (5-RM), menores volúmenes (3 series de 5 repeticiones por ejercicio) y pausas más extensas (3 minutos).

Dos meta-análisis publicados recientemente indicaron que un programa de entrenamiento de la fuerza de múltiples series está asociado con mayores ganancias en la fuerza (Krieger J.W., 2009) e hipertrofia muscular (Krieger J.W., 2010), tanto en individuos entrenados como desentrenados. Sin embargo, un apropiado manejo del volumen de trabajo es necesario para obtener el resultado deseado para cualquier atleta en las diferentes etapas de la temporada (Peterson, Rhea y Alvar, 2004.).

Existen pocas publicaciones que han investigado el óptimo volumen para desarrollar la fuerza máxima maximorum (1RM) en individuos desentrenados (McBride, J.M., et al., 2003; Munn, J., et al., 2005; Candow, D.G. y Burke, D.G. 2007; Humburg, et al., 2007;.), moderadamente entrenados (Kramer et al., 1997; Ostrowski et al., 1997; Hass et al., 2000; Schlumberger et al., 2001; Rhea et al., 2002; Kemmler et al., 2004; Branderburg, J. y Docherty, D.T., 2006;.) o altamente entrenados (González-Badillo et al., 2005).

Dos trabajos analizaron los efectos del volumen de entrenamiento sobre los valores de fuerza y potencia. En el año 1997, Ostrowski et al., examinaron los efectos de tres volúmenes diferentes de entrenamiento de la fuerza durante un programa de 10 semanas sobre el tamaño de las fibras musculares, fuerza

máxima maximorum, potencia pico y niveles hormonales en individuos moderadamente entrenados. Encontró que los 3 programas eran igualmente efectivos incrementando la fuerza máxima maximorum, la hipertrofia muscular y la potencia pico del tren superior, sin embargo no fue significativo el incremento de la potencia pico, medida a través del test de salto vertical, como así tampoco las variaciones hormonales.

Por otro lado, Naclerio et al. (2004) analizaron el efecto de 3 volúmenes de entrenamiento de la fuerza diferentes durante 6 semanas, trabajando sobre la fuerza máxima maximorum y la potencia promedio en deportistas sin previa experiencia en el entrenamiento de la fuerza. En todos los grupos hubo mejoras en los valores de fuerza máxima para el tren superior, aunque solo fueron significativas las ganancias de fuerza máxima del tren inferior en el grupo que realizó mayor volumen. En cuanto a la potencia promedio, el grupo de volumen bajo mostró mayores mejoras.

No es de nuestro conocimiento que se hayan realizado estudios previos analizando de forma aguda la respuesta hormonal a los volúmenes de entrenamiento de la fuerza propuestos en individuos con moderada experiencia en el entrenamiento de la fuerza. Por lo tanto, el propósito del presente estudio es comparar los efectos agudos de 4 volúmenes de entrenamiento de la fuerza a una controlada intensidad sobre los valores séricos de testosterona, cortisol y sobre el índice testosterona/cortisol en individuos con experiencia de al menos 1 año de entrenamiento de la fuerza usando cargas externas tradicionales.

MÉTODOS

Acercamiento experimental al problema

Este estudio fue diseñado para examinar los efectos agudos hormonales de cuatro volúmenes de entrenamiento de la fuerza diferentes, con una intensidad controlada de la fuerza máxima (75%RM) en individuos sanos con una experiencia en el entrenamiento de la fuerza mayor a un año.

Antes de las intervenciones fue evaluada la fuerza máxima maximorum de cada participante del estudio a través del test de 1RM, tanto en el ejercicio de press de banca como en el de sentadilla. Luego de las evaluaciones cada sujeto fue sometido al proceso de entrenamiento atravesando los 4 protocolos de volúmenes diferentes para el entrenamiento de la fuerza, siendo incrementado el volumen de trabajo semanalmente en 3 series más por semana:

- 1- Volumen bajo: 3 series de 8 repeticiones por grupo muscular.
- 2- Volumen medio: 6 series de 8 repeticiones por grupo muscular.
- 3- Volumen alto: 9 series de 8 repeticiones por grupo muscular.
- 4- Volumen excesivo: 12 series de 8 repeticiones por grupo muscular.

Las 4 tipos de intervenciones fueron realizadas con una intensidad del 75% de la fuerza máxima maximorum evaluada y una pausa de 3 minutos entre cada serie. Cada individuo realizó las 4 intervenciones con 1 semana de separación entre ellas, siendo su propio sujeto control.

Las muestras de sangre se tomaron antes de realizar la sesión de evaluaciones y 5 minutos después de realizada cada intervención.

Población

Los participantes de este estudio fueron 11 individuos masculinos, sanos, de $24,82 \pm 4,85$ años, con más de un año de experiencia en el entrenamiento de la fuerza bajo cargas externas.

Procedimiento

Evaluaciones

Antes de realizar las intervenciones fueron tomadas medidas de peso corporal y talla en una balanza y un tallímetro estandarizados de acuerdo a los métodos descritos por Ross y Marfel-Jones (1982), como así también muestras de sangre para determinar valores plasmáticos de cortisol, testosterona total, testosterona libre, testosterona biodisponible y proteína ligadora de hormonas sexuales.

El índice de masa corporal (IMC) fue calculado usando el peso corporal y la talla (kg/m^2). A su vez, cada sujeto realizó un test de 1RM adaptado de Sale (1991), Fleck y Kraemer (1997) tanto en el ejercicio de press de banca como en sentadilla, luego de una entrada en calor estandarizada.

El protocolo para valorar 1 RM consistió en 2 series de 10 repeticiones con el 60% de 1RM estimado, con una pausa de 2 minutos, seguido por 2 series entre el 70% y el 80% de 1RM estimado a la máxima velocidad posible con una pausa de 3 minutos; luego 2 series de 2 repeticiones con el 90% de 1RM estimado con una pausa de 5 minutos y luego los intentos para lograr 1RM, los cuales nunca fueron más de 3, siempre con 5 minutos de pausa en caso de no lograrlo. Una vez que se consiguió realizar 1RM se efectuó otra serie para corroborar posterior a una pausa de 5 minutos.

Las muestras de los sujetos fueron obtenidas en tubo seco con gel. Se separó el suero y se lo conservó a -20° C hasta su procesamiento.

A todos los sujetos se les midió Cortisol plasmático y Testosterona total (ToT) con el método quimio luminiscente Access II de Beckman Coulter, Proteína Transportadora de Esteroides Sexuales (SHBG) con el método quimioluminiscente IMMULITE 1000 (Siemens) y Testosterona Biodisponible a través del método de cálculo, utilizando la ecuación de Vermeulen (J Clin Endocrinol Metab. 1999 Oct; 84(10):3666-72), a partir de los datos obtenidos de la medición de ToT y SHBG.

Criterio de selección

Antes de comenzar el estudio cada participante firmó un documento asegurando no haber usado ninguna droga para optimizar el rendimiento, ya sea anabólicos esteroides, hormona de crecimiento o cualquier precursor hormonal o cualquier otra ayuda farmacológica que afecte la masa muscular; no haber usado en las 8 semanas antes de empezar el estudio o usar actualmente creatina, HMB, termogénicos, polvos proteicos o cualquier otro suplemento nutricional; haber participado de programas de entrenamiento de la fuerza en una sala de musculación durante el último año antes de empezar el estudio y no modificar hábitos alimenticios, horas de sueño y estilo de vida durante el tiempo que se lleve a cabo el estudio.

Materiales y protocolo

El peso corporal sumado a los kilos movilizados fueron utilizados para calcular 1 RM en sentadilla y los porcentajes sub máximos.

El ejercicio de press plano fue realizado con barras olímpicas y discos correspondientes a la marca TecnoGym. En este ejercicio, los sujetos debían mantener contacto con el banco en todo momento y realizar cada repetición con la técnica adecuada.

La sentadilla fue realizada en una maquina Smith. Para estandarizar la técnica del ejercicio se le pidió a los sujetos que mantuvieran un ancho de hombros de separación de piernas y que descendieran hasta que los muslos quedaran paralelos al piso.

Las muestras de los sujetos fueron obtenidas en tubo seco con gel mediante extracción con jeringa. Los sujetos permanecieron tranquilamente en posición sentados durante 15 minutos con posterioridad al entrenamiento, luego de los cuales se procedió a realizar las extracciones. El suero fue separado y conservado a -20° C hasta su procesamiento.

Las intervenciones con los diferentes volúmenes fueron realizadas con los mismos ejercicios seleccionados en la evaluación de 1RM.

Posteriormente, los sujetos fueron asignados a pasar por cada uno de los 4 protocolos de intervención:

- 1- Primera semana: *Volumen bajo*; 3 series de 8 repeticiones al 75% de 1RM en sentadilla y press de banca.
- 2- Segunda semana: *Volumen medio*; 6 series de 8 repeticiones al 75% de 1RM en sentadilla y press de banca.
- 3- Tercera semana: *Volumen alto*; 9 series de 8 repeticiones al 75% de 1RM en sentadilla y press de banca.
- 4- Cuarta semana: *Volumen excesivo*; 12 series de 8 repeticiones al 75% de 1RM en sentadilla y press de banca.

A efectos de supervisar adecuadamente no se realizaron intervenciones con más de 2 sujetos a la vez. Las pausas fueron de 3 minutos entre cada serie y cuando alguno de los sujetos no alcanzó el número designado de repeticiones por serie fue aceptada una pausa adicional de 30 segundos hasta completar el total de repeticiones estipuladas.

Para cuantificar el volumen de cada intervención se utilizó un índice determinado por el producto de las repeticiones x series x porcentaje de 1RM por ejercicio y por grupo muscular.

Las muestras de sangre se tomaron antes de realizar la sesión de evaluaciones y 15 minutos con posterioridad a cada intervención.

Análisis estadístico

Todos los datos están presentados como Medidas de \pm DS. Este estudio fue realizado con muestras repetidas de cada sujeto. El efecto de las concentraciones hormonales fue analizado con un modelo ANOVA 1 x 5 (Sujetos x Hormonas). Todos los análisis de ANOVA fueron ajustados para muestras de diferentes tamaños. Se realizaron análisis Post Hoc con el procedimiento de la menor diferencia significativa de Fisher. La utilización de estadística paramétrica para todas las variables endócrinas dependientes fue respaldada por la falta de

significancia estadística de Kolmogorov-Smirnov, como para el test de homogeneidad entre varianzas de Bartlett. El nivel de significación se estableció en una $p < 0.05$ para todos los análisis.

RESULTADOS

Las características de la muestra son presentadas en la *Tabla 1*.

Los valores medios para las variables hormonales son presentados en la *Tabla 2*.

Los resultados para la testosterona total (Figura 1), cortisol (Figura 2), SHBG (Globulina ligadora de las hormonas sexuales) (Figura 3), Testosterona libre (Figura 4), testosterona biodisponible (Figura 5), y el índice Testosterona/cortisol (Figura 6), están ilustrados en sus respectivas figuras.

No se encontraron diferencias significativas en ninguna de las hormonas analizadas y tampoco en el ratio testosterona/cortisol en función del volumen de entrenamiento.

Tabla 1. Características medias de los sujetos de la muestra.

Sujetos	Edad	Peso (kg)	Talla (cm)	1RM Sentadilla(kg)	1RM Press Plano (kg)
ED	31	105	182	220	107,5
EP	21	78	180	120	55
NP	18	85	175	170	65
LC	27	59	161	172,5	70
MG	25	82	181	185	77,5
IF	22	110	195	210	95
PN	29	63	162	132,5	62,5
MR	30	69	175	127,5	57,5
JM	20	72	178	145	60
HG	23	78	183	157,5	65
LS	27	75	172	142,5	57,5
MEDIA	24,82	79,64	176,73	162,05	70,23
DS	4,33	15,81	9,61	32,99	16,82

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Concentraciones hormonales en función de las distintas intervenciones

		T Total (nMol/l)	Cortisol (uMol/l)	SHBG (nMol/l)	T Libre (nMol/l)	T Bio (nMol/l)	T/C
LINEA DE BASE	Media	19,10	0,32	24,10	0,45	10,45	1,40
	DE	5,61	0,06	5,83	0,09	2,22	0,32
VOLUMEN BAJO	Media	19,91	0,38	26,17	0,48	11,36	1,30
	DE	4,85	0,07	6,19	0,10	2,38	0,29
VOLUMEN MEDIO	Media	20,74	0,38	24,34	0,53	12,32	1,42
	DE	5,98	0,08	6,19	0,14	3,25	0,42
VOLUMEN ALTO	Media	20,65	0,37	22,92	0,52	12,28	1,44
	DE	7,28	0,05	7,49	0,17	3,94	0,50
VOLUMEN EXCESIVO	Media	20,65	0,40	23,33	0,53	12,49	1,35
	DE	7,02	0,06	6,08	0,18	4,17	0,41

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Concentraciones de testosterona a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

TABLA DE RESUMEN DEL ANOVA				
Origen variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	f-ratio
Suma cuad. Total	1951.677	54	36.142	
Suma cuad. Factor	21.820	4	5.455	0.141
Suma cuad. Residual	1929.857	50	38.597	

Observación: La F de Fisher de 4,50 para un alpha de 0,05 es de 2.557. Como 2.557 es > 0.141 podemos decir que no hay diferencias significativas de testosterona a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Concentraciones de cortisol a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

TABLA DE RESUMEN DEL ANOVA				
Origen variación	suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	f-ratio
Suma cuad. Total	0.239	54	0.004	
Suma cuad. Factor	0.034	4	0.008	2.037
Suma cuad. Residual	0.206	50	0.004	

Observación: La F de Fisher de 4,50 para un alpha de 0,05 es de 2.557. Como 2.557 es > 2.037 podemos decir que no hay diferencias significativas de testosterona a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Concentraciones de SHBG a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

TABLA DE RESUMEN DEL ANOVA				
Origen variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	f-ratio
Suma cuad. Total	2050.448	54	37.971	
Suma cuad. Factor	69.478	4	17.369	0.426
Suma cuad. Residual	2038.727	50	40.775	

Observación: La F de Fisher de 4,50 para un alpha de 0,05 es de 2.557. Como 2.557 es > 0.426 podemos decir que no hay diferencias significativas de testosterona a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Concentraciones de testosterona libre a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

TABLA DE RESUMEN DEL ANOVA				
Origen variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	f-ratio
Suma cuad. Total	1.037	54	0.019	
Suma cuad. Factor	0.061	4	0.015	0.785
Suma cuad. Residual	0.975	50	0.020	

Observación: La F de Fisher de 4;50 para un alpha de 0,05 es de 2.557. Como 2.557 es > 0.785 podemos decir que no hay diferencias significativas de testosterona a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Concentraciones de testosterona biodisponible a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

TABLA DE RESUMEN DEL ANOVA				
Origen variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	f-ratio
Suma cuad. Total	573.730	54	10.625	
Suma cuad. Factor	33.188	4	8.297	0.767
Suma cuad. Residual	540.542	50	10.811	

Observación: La F de Fisher de 4;50 para un alpha de 0,05 es de 2.557. Como 2.557 es > 0.767 podemos decir que no hay diferencias significativas de testosterona a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

Fuente: Elaboración propia.

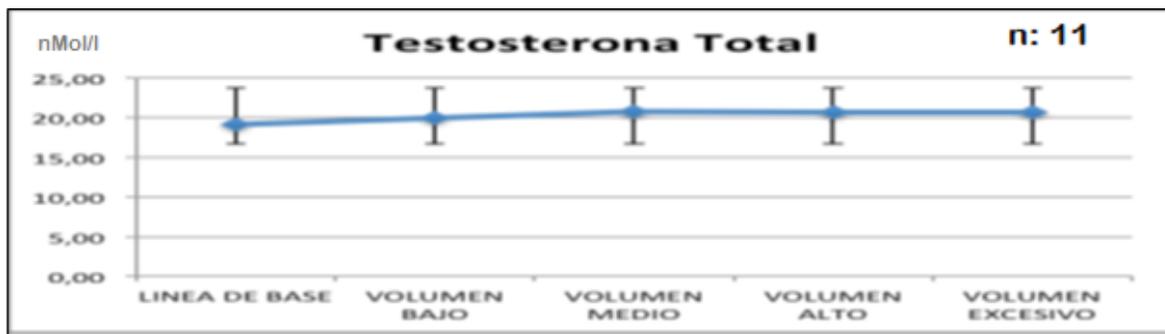
Tabla 8. Concentraciones de la relación testosterona/cortisol a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

TABLA DE RESUMEN DEL ANOVA				
Origen variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	f-ratio
Suma cuad. Total	7.920	54	0.147	
Suma cuad. Factor	0.140	4	0.035	0.226
Suma cuad. Residual	7.779	50	0.156	

Observación: La F de Fisher de 4;50 para un alpha de 0,05 es de 2.557. Como 2.557 es > 0.226 podemos decir que no hay diferencias significativas de testosterona a diferentes volúmenes de entrenamiento de la fuerza.

Fuente: Elaboración propia.

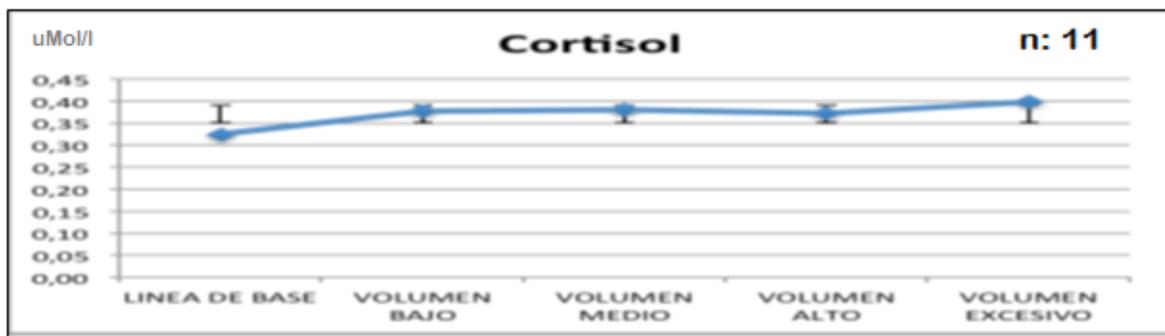
Figura 1. Respuesta de la testosterona total a los distintos volúmenes de entrenamiento de la fuerza.



Observación: Los valores son medias \pm DS.

Fuente: Elaboración propia.

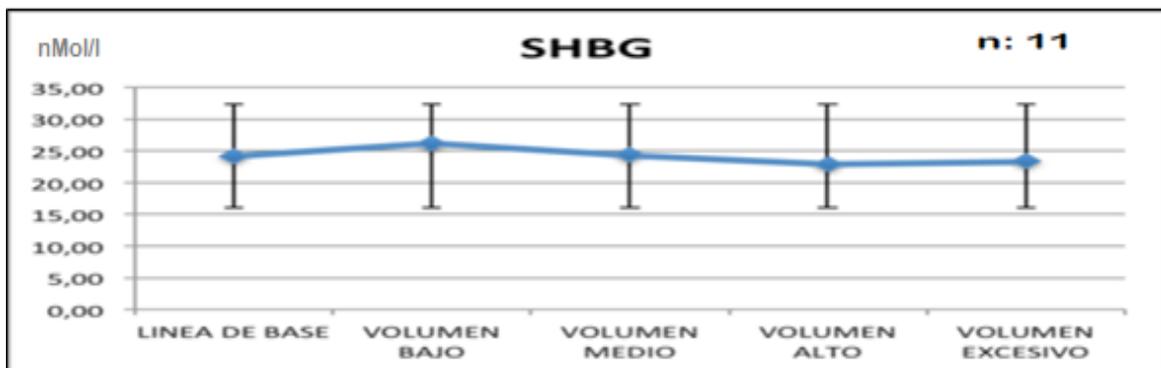
Figura 2. Respuesta del cortisol a los distintos volúmenes de entrenamiento de la fuerza.



Observación: Los valores son medias \pm DS.

Fuente: Elaboración propia.

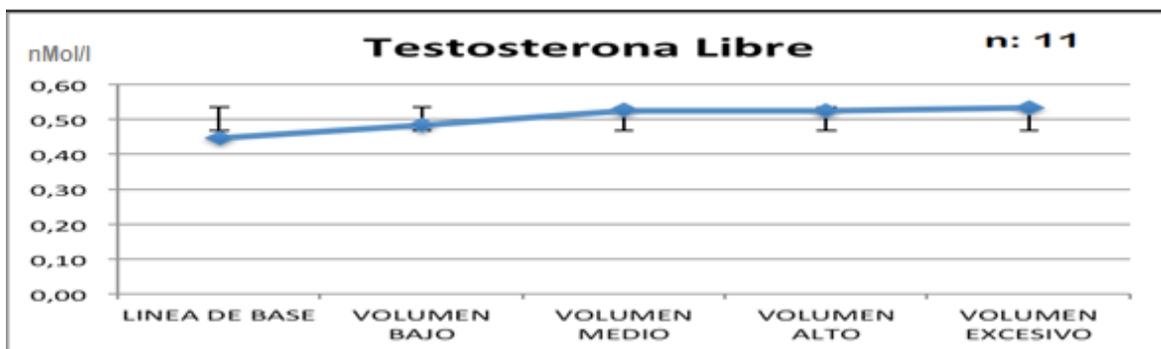
Figura 3. Respuesta de la proteína ligada a las hormonas esteróideas y a los distintos volúmenes de entrenamiento de la fuerza.



Observación: Los valores son medias \pm DS.

Fuente: Elaboración propia.

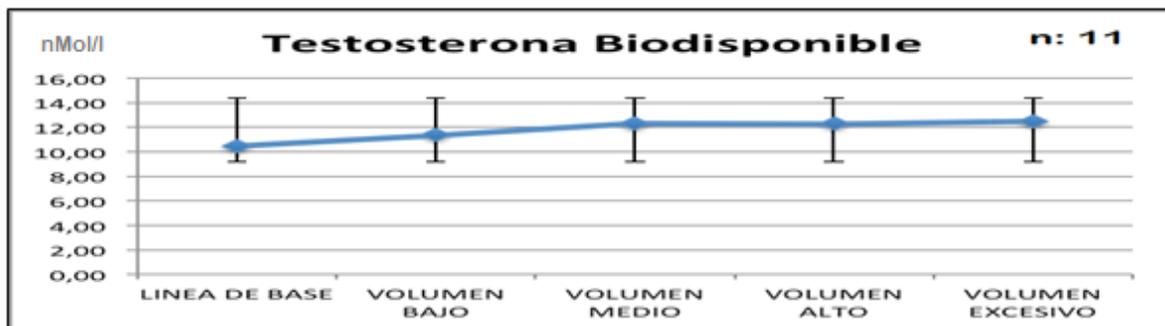
Figura 4. Respuesta de la Testosterona libre a los distintos volúmenes de entrenamiento de la fuerza.



Observación: Los valores son medias \pm DS.

Fuente: Elaboración propia.

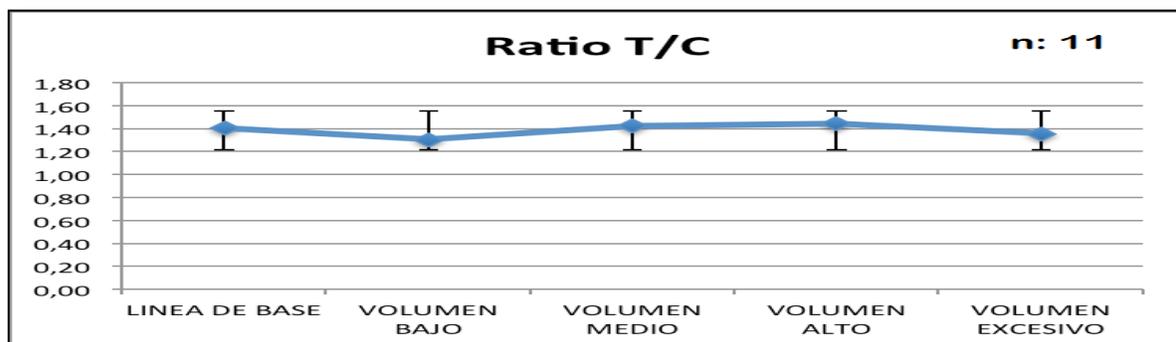
Figura 5. Respuesta de la Testosterona biodisponible a los distintos volúmenes de entrenamiento de la fuerza.



Observación: Los valores son medias \pm DS.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Respuesta del Ratio Testosterona/cortisol a los distintos volúmenes de entrenamiento de la fuerza.



Observación: Los valores son medias \pm DS.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Testosterona total, libre, biodisponible y SHBG

Aunque la literatura afirma que la testosterona muestra incrementos marcados (Kraemer y Ratamess, 2005) de forma aguda ante estímulos de entrenamiento de la fuerza, principalmente del tipo orientado a la hipertrofia con intensidades moderadas (60-80% 1RM) y pausas cortas (60-90 segundos entre series) y especialmente con volúmenes mayores a los empleados en entrenamientos de alta intensidad y orientados a la fuerza máxima, en el presente estudio se comprobó que a pesar de haber expuesto a los sujetos a volúmenes diferentes y progresivamente mayores de entrenamiento de la fuerza con intensidades moderadas y pausas cortas no se produjeron cambios significativos en los valores séricos de testosterona total en ninguna de las intervenciones.

Se ha hipotetizado que la testosterona libre es más sensible que la total al estrés producido por el ejercicio y por ende podría ser más sensible a los cambios en el volumen de entrenamiento (Fry et al., 1992) como así también se ha demostrado que programas de entrenamiento de la fuerza producen un incremento en las concentraciones de testosterona libre (Alén et al., 1988; Hakkinen et al., 1991) mientras que los incrementos en el volumen podrían resultar en una atenuación de la testosterona libre en reposo (Hakkinen et al., 1991, 1993, 1987). De manera contraria a lo expuesto por la literatura, el presente estudio no mostró cambios significativos en las concentraciones de testosterona libre como respuesta aguda a ninguno de los protocolos de intervención utilizados.

No se observaron cambios en los valores de testosterona biodisponible, la cual es una fracción de la testosterona total clasificada como testosterona libre. Esto indica que los cambios en las proteínas fijadoras de testosterona, tales como albúmina y más precisamente la globulina fijadora de hormonas sexuales (SHBG), simplemente reflejaron el comportamiento de la testosterona total circulante. Se ha sugerido que el posible incremento en la testosterona libre ocurre en el ejercicio hasta el agotamiento o fallo muscular para compensar la teórica reducción en la concentración de testosterona total (Adlecreutz et al., 1986). Debido a que la testosterona no unida es una fracción de la testosterona total que está disponible para la actividad biológica en los receptores blanco, este podría ser un método efectivo para mantener la actividad biológica de dicha hormona a pesar de una reducción de su concentración total (Kraemer, 1992). Este hipotético mecanismo adaptativo, sin embargo, no fue evidente en el presente trabajo. El hecho de no haberse visto un cambio en el porcentaje de testosterona biodisponible no fue un

suceso inesperado, ya que la asociación constante de la SHBG no se modifica en forma aguda con el ejercicio (Fahrner y Hackney, 1998).

Cortisol e índice Testosterona/Cortisol

La acción catabólica del cortisol ha sido descrita por la literatura científica y la misma ha sido reportada como un posible efecto agudo en detrimento de la acción anabólica del entrenamiento de la fuerza (Alén, Hakkinen y Komi, 1988). Aunque no se ha podido demostrar de forma concluyente el papel endócrino sobre el rendimiento y principalmente sobre síndromes tales como el de sobreentrenamiento inminente y concurrente (Adlecretuz et al., 1986; Barron et al., 1985; Lehmann et al., 1991), sí se ha reportado un incremento de los valores séricos de la misma ante incrementos en los volúmenes de entrenamiento de la fuerza (Fry et al., 1992; Hakkinen et al., 1991; Hakkinen et al., 1987). El protocolo de incremento progresivo en el volumen de entrenamiento utilizado en el presente estudio y tomado de Naclerio (2004) ha mostrado un comportamiento no lineal en los valores de fuerza, viéndose un incremento progresivo que alcanzó un pico pero luego no generó mejoras a pesar del incremento en el volumen e incluso mostrando un detrimento (Naclerio, 2004). En el presente estudio no se observaron cambios significativos en ninguna de las intervenciones realizadas a pesar del incremento en el volumen de trabajo.

Se ha sugerido que el índice testosterona/cortisol podría ser un marcador del sobreentrenamiento (Hakkinen et al., 1987). El índice testosterona/cortisol inducido por el ejercicio de sobrecarga comúnmente disminuye post ejercicio (Fry et al., 1991, 1992). Por otro lado, si el volumen de entrenamiento de la fuerza es incrementado, el índice testosterona total/cortisol inducido por el ejercicio va a disminuir (Fry et al., 1991; Hakkinen et al., 1991; Hakkinen et al., 1987) aunque se ha reportado que este patrón puede ser revertido con el entrenamiento a largo plazo y con la exposición previa a elevados volúmenes de entrenamiento (Fry et al., 1991).

En este estudio no se observaron cambios en el índice testosterona/cortisol inducido por el ejercicio a pesar el aumento progresivo en el volumen de entrenamiento de la fuerza.

CONCLUSIONES

Las concentraciones hormonales analizadas en este estudio no sufrieron modificaciones significativas inducidas por el protocolo seleccionado.

Durante la realización de este estudio, dos trabajos más fueron publicados llegando a conclusiones similares al presente en cuanto a la poca relevancia de los cambios hormonales en agudo producidos por el entrenamiento de la fuerza tanto para las ganancias de fuerza como en la síntesis de proteínas e hipertrofia (West y Phillips, 2012; Schoenfeld, 2013).

Cabe destacar que, si bien este estudio no encontró una respuesta hormonal aguda inducida por el entrenamiento de la fuerza y que por ende descarta su papel anabólico en agudo, es probable que dicha respuesta previamente documentada cumpla un propósito principalmente metabólico o energético, descartando el papel adjudicado a esta respuesta hormonal en la síntesis de proteínas.

También es probable que los cambios hormonales a nivel crónico cumplan otro rol y sean más sensibles a los procesos de entrenamiento en su totalidad (intensidades, volúmenes, descansos, alimentación, stress).

Otro punto importante es la posibilidad de pensar basándonos en la literatura acerca de deportistas de mayor nivel y de más experiencia que tengan respuestas diferentes.

Creemos que son necesarias futuras investigaciones con muestras más amplias, posiblemente con mujeres y/o atletas de nivel profesional o incluso con más años de experiencia.

Agregar que podría ser viable hacer 2 mediciones una inmediata y otro post 45 min ya que el comportamiento hormonal podría ser diferente

AGRADECIMIENTOS

El autor extiende su aprecio a la Lic. Patricia Otero por su ayuda en la recolección de datos y análisis de las muestras, a Pablo Navarro por la ayuda en el análisis estadístico, al PhD. Rodrigo Merlo tanto por su apoyo y asesoramiento metodológico como por su ayuda en la realización de este trabajo y al PhD. Fernando Naclerio por su desinteresado consejo y asesoramiento académico para el presente trabajo.

REFERENCIAS

1. Adlercreutz, H., M. Härkönen, K. Kuoppasalmi, H. Näveri, I. Huhtaniemi, H. Tikkanen, K. Remes, A. Dessypris, and J. Karvonen. Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *Int. J. Sports Med.* 7, Suppl.: 27-28, 1986.
2. Ahtiainen, JP, Pakarinen, A, Alen, M, Kraemer, WJ, and Hakkinen, K. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89: 555-563, 2003.
3. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Kraemer WJ, Hakkinen K. Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs. maximum repetitions multiple resistance exercises. *Int J Sports Med* 24:410–418, 2003.
4. Ahtiainen, JP, Hulmi, JJ, Kraemer, WJ, Lehti, M, Nyman, K, Selanne, H, Alen, M, Pakarinen, A, Komulainen, J, Kovanen, V, Mero, AA, and Hakkinen, K. Heavy resistance exercise training and skeletal muscle androgen receptor expression in younger and older men. *Steroids* 76: 183-192, 2011.
5. Alén, M., A. Pakarinen, K. Häkkinen, and P. V. Komi. Responses of serum androgenic-anabolic and catabolic hormones to prolonged strength training. *Int. J. Sports Med.* 9: 229-233, 1988.
6. Barron, J. L., T. D. Noakes, W. Levy, C. Smith, and R. P. Millar. Hypothalamic dysfunction in overtrained athletes. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 60: 803-806, 1985.
7. Bhasin, S, Woodhouse, L, and Storer, TW. Proof of the effect of testosterone on skeletal muscle. *J. Endocrinol.* 170: 27-38, 2001.
8. Brandenberger, G., and M. Follenius. Influence of timing and intensity of muscular exercise on temporal patterns of plasma cortisol levels. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 40: 845-849, 1974.
9. Branderburg, J and Docherty, DT. The effect of training volume on the acute response and adaptation to resistance training. *Int J Sports physiol and Performance* 1: 108-121, 2006.
10. Busso, T., K. Häkkinen, A. Pakarinen, H. Kauhanen, P. V. Komi, and J. R. Lacour. Hormonal adaptations and modeled responses in elite weightlifters during 6 weeks of training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64: 381-386, 1992.
11. Candow, DG and Burke, DG. Effect of Short-Term Equal-Volume Resistance Training With Different Workout Frequency on Muscle Mass 22 and Strength in Untrained Men and Women. *J Strength Cond Res* 21: 204-207, 2007.
12. Craig BW, Brown R, and Everhart J. Effects of progressive resistance training on growth hormone and testosterone levels in young and elderly subjects. *Mech Ageing Dev* 49:159–169, 1989.

13. Crewther B, Keogh J, Cronin J, Cook C. Possible stimuli for strength and power adaptation: acute hormonal responses. *Sports Med* 36:215–238, 2006.
14. Cumming DC, Brunsting LA III, Strich , Ries AL, Rebar RW. Reproductive hormone increases in response to acute exercise in men. *Med Sci Sports Exerc* 18:369–373, 1986.
15. Fahrner, C. L., and A. C. Hackney. Effects of endurance exercise on free testosterone concentration and the binding affinity of sex hormone binding globulin (SHBG). *Int. J. Sports Med.* 19: 12-15, 1998.
16. Farrell, P. A. Adrenocorticotrophic hormone and exercise. In: *Exercise Endocrinology*, edited by K. Fotherby, and S. B. Pal. New York: de Gruyter, p. 139-156, 1985.
17. Fry, A. C., T. A. Aro, J. A. Bauer, and W. J. Kraemer. A kinematic comparison of three barbell squat variations and a squat simulating machine. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 5: 162, 1991.
18. Fry, A. C., W. J. Kraemer, M. H. Stone, B. J. Warren, S. J. Fleck, J. T. Kearney, and S. E. Gordon. Endocrine responses to over-reaching before and after one year of weightlifting training. *Can. J. Appl. Physiol.* 19: 400- 410, 1994.
19. Fry, A. C., W. J. Kraemer, M. H. Stone, B. Warren, J. T. Kearney, S. J. Fleck, and C. A. Weseman. The effect of amino acid supplementation on testosterone, cortisol, and growth hormone responses to one week of intensive weightlifting. *Int. J. Sport Nutr.* 3: 306-322, 1992.
20. González-Badillo, JJ, Gorostiaga, EM, arellano, R and Izquierdo, M. Moderate resistance training volume produces more favourable strength gains than high or low volume during a short-term training cycle. *J Strength Cond Res* 19: 669-697, 2005.
21. Goto K, Ishii N, Kizuka T, Takamatsu K. The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Med Sci Sports Exerc* 37:955–963, 2005.
22. Gotshalk LA, Loebel CC, Nindl BC, Putukian M, Sebastianelli WJ, Newton RU, Hakkinen , Kraemer WJ. Hormonal response of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Can J Appl Physiol* 22:244–255, 1997.
23. Häkkinen K, Pakarinen A, Alen M, Komi PV. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *Eur J Appl Physiol* 53:287–293, 1985.
24. Häkkinen, K., K. L. Keskinen, M. Alén, P. V. Komi, and H. Kauhanen. Serum hormone concentrations during prolonged training in elite endurance-trained and strength-trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59:233-238, 1989.
25. Häkkinen, K., and A. Pakarinen. Serum hormones in male strength athletes during intensive short-term strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 63: 194-199, 1991.

26. Häkkinen, K., and A. Pakarinen. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J. Appl. Physiol.* 74: 882-887, 1993.
22. Häkkinen, K., A. Pakarinen, M. Alén, H. Kauhanen, and P. V. Komi. Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weightlifters. *Int. J. Sports Med.* 8, Suppl.: 61-65, 1987.
27. Häkkinen, K., A. Pakarinen, M. Alén, H. Kauhanen, and P.V. Komi. Daily hormonal and neuromuscular responses to intensive strength training in 1 week. *Int. J. Sports Med.* 9: 422-428, 1988.
28. Häkkinen, K., A. Pakarinen, M. Alén, H. Kauhanen, and P.V. Komi. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J. Appl. Physiol.* 65: 2406-2412, 1988.
29. Häkkinen K. Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining and immobilization *Crit Rev Phys Rehabil Med* 63:161–198, 1994.
30. Häkkinen, K, Pakarinen, A, Kraemer, WJ, Newton, RU, and Alen, M. Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 55: B95-105, 2000.
31. Häkkinen, K, Pakarinen, A, Kraemer, WJ, Hakkinen, A, Valkeinen, H, and Alen, M. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *J. Appl. Physiol.* 91:569-580, 2001.
32. Hickson RC, Hidaka K, Foster C, Falduto MT, Chatterton RT Jr. Successive time-courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J Appl Physiol* 76:663–670, 1994.
33. Izquierdo, M, Ibañez, J, González-Badillo, JJ, Häkkinen, K, Ratamess, NA, Kraemer, WJ, French, DN, Eslava, J, Altadill, A, Asiain, X, and Gorostiaga, EM. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* 100: 1647-1656, 2006.
34. Jezova, D., and M. Vigas. Testosterone response to exercise during blockade and stimulation of adrenergic receptors in man. *Horm. Res.* 15: 141-147, 1981.
35. Kraemer, W. J. Hormonal mechanisms related to the expression of muscular strength and power. In: *Strength and Power in Sport*, edited by P. V. Komi. London: Blackwell Scientific, p. 64-76, 1994.
36. Kraemer, W. J., A. C. Fry, B. J. Warren, M. H. Stone, S. J. Fleck, J. T. Kearney, B. P. Conroy, C. M. Maresh, C. A. Weseman, N. T. Triplett, and S. E. Gordon. Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. *Int. J. Sports Med.* 13: 103-109, 1992.

37. Kraemer, W. J., L. Marchitelli, S. E. Gordon, E. A. Harman, J. E. Dziados, R. Mello, P. N. Frykman, D. McCurry, and S. J. Fleck. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J. Appl. Physiol.* 69: 1442-1450, 1990.
38. Kraemer, WJ, and Ratamess, NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med.* 35: 339-361, 2005.
39. Kraemer WJ, Hakkinen K, Newton RU, McCormick M, Nindl BC, Volek JS, Gotshalk LA, Fleck SJ, Campbell WW, Gordon SE, Farrell PA, Evans WJ .Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in younger and older men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 77:206–211,1998.
40. Kraemer WJ, Loebel CC, Volek JS, Ratamess NA, Newton RU, Wickham RB, Gotshalk LA, Duncan ND, Mazzetti SA, Gomez AL, Rubin MR, Nindl BC, Hakkinen K . The effect of heavy resistance exercise on the circadian rhythm of salivary testosterone in men. *Eur J Appl Physiol* 84:13–18, 2001.
42. Kraemer RR, Hollander DB, Reeves GV, Francois M, Ramadan ZG, Meeker B, Tryniecki JL, Hebert EP, Castracane VD. Similar hormonal responses to concentric and eccentric muscle actions using relative loading. *Eur J Appl Physiol* 96:551–55, 2006.
43. Kraemer, WJ, Dunn-Lewis, C, Comstock, BA, Thomas, GA, Clark, JE, and Nindl, BC. Growth hormone, exercise, and athletic performance: a continued evolution of complexity. *Curr. Sports Med. Rep.* 9: 242-252, 2010.
44. Kraemer, W. J., B. Noble, B. Culver, and R. V. Lewis. Changes in plasma proenkephalin peptide F and catecholamine levels during graded exercise in men. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 82: 6349-6351, 1985.
45. Kraemer, W. J., J. F. Patton, H. G. Knuttgen, C. J. Hannan, T. Kettler, S. E. Gordon, J. E. Dziados, A. C. Fry, P. N. Frykman, and E. A. Harman. Effects of high-intensity cycle exercise on sympathoadrenal-medullary response patterns. *J. Appl. Physiol.* 70: 8-14, 1991.
46. Lehmann, M., H. Dickhuth, G. Gendrisch, W. Lazar, M. Thum, R. Kaminski, J. F. Aramendi, E. Peterke, W. Wieland, and J. Keul. Training-overtraining. A prospective, experimental study with experienced middle- and long-distance runners. *Int. J. Sports Med.* 12: 444-452, 1991.
47. Linnamo V, Pakarinen A, Komi PV, Kraemer WJ, Hakkinen K. Acute hormonal responses to submaximal and maximal heavy resistance and explosive exercises in men and women. *J Strength Cond Res* 19:566–571, 2005.
48. MacDougall JD, Ward GR, Sale DG, Sutton JR. Bio- chemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J Appl Physiol* 43:700–703, 1997.

49. McBride, JM, Blaak, JB, and Triplett-McBride, T. Effect of resistance exercise volume and complexity on EMG, strength, and regional body composition. *Eur J Appl Physiol* 90: 626–632, 2003.
50. McCall, GE, Byrnes, WC, Fleck, SJ, Dickinson, A, and Kraemer, WJ. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can. J. Appl. Physiol.* 24: 96-107, 1999.
51. McCaulley, GO, McBride, JM, Cormie, P, Hudson, MB, Nuzzo, JL, Quindry, JC, and Travis Triplett, N. Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 105: 695-704, 2009.
52. Munn, J, Herbert, RD, Hancock, MJ, and Gandevia, SC. Resistance Training for Strength: Effect of Number of Sets and Contraction Speed. *Med Sci Sports Exerc* 37: 1622–1626, 2005.
53. Naclerio F, Faigenbaum AD, Larumbe-Zabala E, Ratamess N. Effects of different resistance training volumes on strength and power in team sport athletes. *J Strength Cond Res.*27(7):1832-40, 2012.
54. Naclerio, F, Colado, JC, Rhea, MR, and Triplett, NT. The influence of strength and power on muscle endurance test performance. *J Strength Cond Res* 23: 1483-1488, 2009.
55. Ostrowski, KJ, Wilson, GJ, Weatherby, R, Murphy, PW, and Lyttle, AD. The effect of weight training volume on hormonal Output and muscular Size and function. *J Strength Cond Res* 11: 148-154, 1997.
56. Peterson, MD, Rhea, MR, and Alvar, BA. Maximizing strength development in athletes: A meta-analysis to determine the dose response relationship. *J Strength Cond Res* 18: 377-382, 2004.
57. Phillips, SM. Physiologic and molecular bases of muscle hypertrophy and atrophy: impact of resistance exercise on human skeletal muscle (protein and exercise dose effects). *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 34: 403-410, 2009.
58. Ratamess NA, Kraemer WJ, Volek JS, Maresh CM, VanHeest JL, Sharman MJ, Rubin MR, French DN, Vescovi JD, Silvestre R, HatWeld DL, Fleck SJ, Deschenes MR. Androgen receptor content following heavy resistance exercise in men. *J Steroid Bio- chem Mol Biol* 93:35–42, 2005.
59. Schoenfeld, BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J. Strength Cond Res.* 24: 2857-2872, 2010.
60. Schoenfeld, BJ. Postexercise hypertrophic adaptations: a reexamination of the hormone hypothesis and its applicability to resistance training program design. *J Strength Cond Res.* 27 (6), 1720-1730, 2013.
61. Smilios I, Piliandis T, Karamouzis M, Tokmakidis SP. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sports Exerc* 35:644–654. 2003.

62. Schwab, R., G. O. Johnson, T. J. Housh, J. E. Kinder, and J. P. Weir. Acute effects of different intensities of weight lifting on serum testosterone. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: 1381-1385, 1994.
63. Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Gordon SE, Falkel JE, Hagerman FC, Hikida RS. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 76:1247–1255, 1994.
64. Urhausen, A., H. H. W. Gabriel, and W. Kindermann. Impaired pituitary hormonal response to exhaustive exercise in overtrained endurance athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30: 407-414, 1998.
65. West DW, Burd NA, Tang JE, Moore DR, Staples AW, Holwerda AM, Baker SK, Phillips SM. Elevations in ostensibly anabolic hormones with resistance exercise enhance neither training-induced muscle hypertrophy nor strength of the elbow flexors. *J Appl Physiol* 108:60–67, 2009.
66. West DW, Phillips SM. Associations of exercise-induced hormone profiles and gains in strength and hypertrophy in a large cohort after weight training. *Eur J Appl Physiol* 112: 2693–2702. 2012.
67. West, DW, Kujbida, GW, Moore, DR, Atherton, P, Burd, NA, Padzik, JP, De Lisio, M, Tang, JE, Parise, G, Rennie, MJ, Baker, SK, and Phillips, SM. Resistance exercise-induced increases in putative anabolic hormones do not enhance muscle protein synthesis or intracellular signalling in young men. *J. Physiol.* 587: 5239-5247, 2009.