

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Efectos de períodos de reposo muy cortos en la relación de testosterona y cortisol durante ejercicios de alta resistencia en hombres

Rahman Rahimi^{a,*}, Hadi Rohani^b y Mohsen Ebrahimi^c

^aDepartamento de Educación Física y Ciencia del Deporte, Universidad de Kurdistán, Sanandaj, Irán

^bFacultad de Educación Física y Ciencia del Deporte, Universidad de Guilan, Rasht, Irán

^cDepartamento de Educación Física y Ciencia del Deporte, Universidad de Semnan, Irán

Recibido el 5 de febrero de 2011; aceptado el 28 de marzo de 2011

PALABRAS CLAVE

Ejercicio de resistencia;
Intervalo de reposo entre series;
Relación de testosterona y cortisol

Resumen La relación entre la concentración de testosterona y cortisol (relación T/C) se suele utilizar como índice del nivel de esfuerzo en la práctica de ejercicio físico. Los cambios que se producen en esta relación son los responsables de varias reacciones al ejercicio, como la hipertrofia y el aumento de fuerza. Así, el objetivo de este estudio fue explorar el efecto de 4 series de press banca y sentadillas hasta el fallo con 85% de 1 RM utilizando diferentes intervalos de reposo de 60 (P60), 90 (P90) y 120 (P120) segundos (s) sobre la relación de testosterona y cortisol en hombres entrenados en ejercicios de resistencia. Diez hombres entrenados en ejercicios de resistencia por placer (edad: 22 ± 2 años; peso: 84 ± 8 kg; altura: $178,5 \pm 8,5$; con 1 año de experiencia como mínimo en ejercicios de resistencia) realizaron protocolos de ejercicios de resistencia en sesiones aleatorias, por separado. Se extrajeron muestras de sangre antes del ejercicio (pre), inmediatamente después (post) y 30 min después del fin de la sesión (30-post) para analizar las concentraciones séricas de testosterona y cortisol. Los resultados de este estudio indicaron que la relación T/C en el intervalo P60 fue significativamente más baja en post y 30-post en comparación con la previa al ejercicio ($p \leq 0,05$). La relación T/C después del ejercicio fue significativamente más alta en P120 que en P60 y P90 ($p \leq 0,05$), pero no se observaron diferencias entre P60 y P90. Los datos indican que el período de reposo largo entre series en ejercicios de resistencia hasta el fallo obtuvo un mayor aumento de la relación T/C que el período de reposo corto. La mejora de la relación T/C mediante períodos de reposo largos entre series indica un aumento del estado anabólico hasta el ejercicio de resistencia en hombres entrenados en ejercicios de resistencia.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

*Autor para correspondencia

Correo electrónico: rahman.rahimi@yahoo.com (R. Rahimi).

KEYWORDS

Resistance exercise;
Rest interval between
set;
Testosterone to cortisol
ratio

Effects of very short rest periods on testosterone to cortisol ratio during heavy resistance exercise in men

Abstract The ratio between testosterone and cortisol concentration (Ts/Co ratio) is frequently used as an index of the stress level in exercise training. Changes in this ratio are responsible for several training responses such as hypertrophy and strength gain. So the purpose of this study was to investigate the effect of 4 sets of bench press and squat to failure with %85 of 1 RM using different rest intervals of 60 (P60), 90 (P90) and 120 (P120) second on testosterone to cortisol ratio in resistance trained men. Ten recreationally resistance-trained men (age, 22 ± 2 years; weight, 84 ± 8 kg; height, 178.5 ± 8.5 ; at least 1 year of resistance exercise [RE] experience) performed RE protocols on randomized separating session. Blood draws occurred at pre-exercise (Pre); immediately after (Post) and 30 min after the end of the session (30Post) for measurement serum testosterone and cortisol concentrations. The results of this study indicated that Ts/Co ratio in P60 trail was significantly lower at post and 30 min post compare to pre-exercise ($p \leq 0.05$). The Ts/Co ratio at post exercise was significantly higher in P120 than P60 and P90 ($p \leq 0.05$), but no difference was found between P60 and P90. The data indicate that long rest period between sets in RE to failure resulted in a greater increase in Ts/Co ratio than short rest period between sets in RE. The enhanced in Ts/Co ratio by long rest period between sets, indicating an augmented anabolic state to RE in resistance trained men.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

Existen varios estudios sobre la optimización del entrenamiento en ejercicios de resistencia. Algunos de los factores investigados en estos estudios son el volumen, la intensidad, el período de reposo entre series y el orden de los ejercicios¹⁻⁴. Parece que la manipulación de estas variables del ejercicio puede influir en las reacciones hormonales y biológicas al mismo y, por lo tanto, en los resultados^{4,5}. La relación entre la concentración de testosterona y cortisol (relación T/C) se suele utilizar como índice del nivel de esfuerzo en la práctica de ejercicio físico. Los cambios que se producen en esta relación son responsables de varias reacciones al ejercicio, como la hipertrofia y el aumento de fuerza^{6,7}. Además, existen evidencias de que la relación T/C es un indicador fisiológico del sobreentrenamiento en la práctica de ejercicio de alta intensidad, pero no es suficiente para predecir el síndrome de sobreentrenamiento^{5,8,9}.

Los estudios previos señalaban que las reacciones de la testosterona y el cortisol a los ejercicios de resistencia estaban relacionadas con variables como la intensidad, el volumen, la duración, los períodos de reposo y la implicación de la masa muscular^{10,11}.

Se ha demostrado que el intervalo de reposo entre series es un factor importante que puede manipularse y que afecta al trabajo realizado en las series posteriores^{12,13}, a las reacciones metabólicas¹⁴ y hormonales¹⁵⁻¹⁷ a la práctica del ejercicio, y a la adaptación al ejercicio¹⁸⁻²⁰. Sin embargo, se desconocen las reacciones agudas del cortisol y la testosterona a distintos intervalos de reposo. Bottaro et al.¹⁵ descubrieron que no hay diferencias en las reacciones agudas del cortisol a un protocolo de ejercicios de resistencia con intervalos de reposo de 30, 60 y 120 segundos (s) en mujeres que practican ejercicio. Además, Ahtiainen et al.²¹ no encontraron diferencias significativas en los efectos agudos de intervalos de reposo cortos (2 min) ni largos (5 min) en las concentraciones séricas totales de testosterona, testosterona libre y cortisol. Sin embargo, Rahimi et al.³ han demostrado recientemente que las concentraciones séricas de testosterona eran significativamente superiores en intervalos de reposo entre series de 120 y 90 s, que en intervalos

de reposo de 60 s en hombres. Curiosamente, Buresh et al.¹⁶ demostraron que la concentración de cortisol y testosterona en intervalos de reposo cortos (1 min) era superior que en intervalos de reposo largos (2,5 min) tras una semana de práctica de ejercicio físico en hombres que no practicaban ejercicio. La relación T/C es un importante indicador del estado anabólico y catabólico, por lo tanto, es necesario conocer las reacciones al esfuerzo impuesto por diferentes intervalos de reposo entre series en ejercicios de resistencia, en hombres que practican ejercicios de resistencia. Sin embargo, ningún estudio hasta la fecha ha comparado los efectos agudos de diferentes intervalos de reposo entre series de ejercicios de resistencia sobre la relación T/C. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es determinar el efecto de intervalos de reposo entre series de 60, 90, y 120 s sobre la relación de testosterona y cortisol en hombres que practican ejercicios de resistencia, durante un protocolo de ejercicios de resistencia.

Métodos

Enfoque experimental al problema

La hipótesis de investigación principal de este estudio fue que diferentes intervalos de reposo entre series mejorarían la relación T/C. Cada sujeto participó en 3 sesiones de ejercicio aleatorias y equilibradas con 4 series de press de banca y sentadillas hasta el fallo con 85% de 1 RM, utilizando intervalos de reposo de 60, 90 y 120 s entre series, para valorar los efectos de diferentes intervalos de reposo entre series sobre la relación de testosterona y cortisol. La hipótesis del estudio se basaba en que al utilizar intervalos de reposo cortos entre series en ejercicios de resistencia hasta el fallo (máximas repeticiones por serie), la reacción endocrina debería ser mayor, junto con un esfuerzo metabólico superior (p. ej., lactato), que la que se produce con intervalos de reposo largos entre series. Así pues, la relación T/C sería inferior durante los ejercicios de resistencia con intervalos de reposo cortos entre series.

Sujetos

Diez varones en edad universitaria con experiencia en ejercicios de resistencia (edad, 22 ± 2 años; peso, 84 ± 8 kg; altura $178,5 \pm 8,5$; con un año de experiencia en ejercicios de resistencia como mínimo) se presentaron voluntarios para el estudio. Cada sujeto tenía, como mínimo, un año de experiencia lúdica en ejercicios de resistencia y había realizado, como mínimo, tres sesiones de ejercicios de resistencia a la semana durante los 6 meses anteriores, pero ninguno de ellos era un atleta de fuerza en competición. Los valores de 1 RM eran $105,62 \pm 18$ kg para el press de banca y $106,31 \pm 19,71$ kg para las sentadillas. Se informó a los sujetos de los riesgos experimentales y firmaron un consentimiento informado antes de la investigación. El protocolo del estudio fue revisado y aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Kurdistán. Los sujetos siguieron su dieta ordinaria, no se permitieron suplementos nutricionales y no consumieron esteroides anabólicos ni cualquier otro agente anabólico con propiedades conocidas para aumentar el rendimiento.

Diseño experimental

Los sujetos se familiarizaron con los procedimientos experimentales de las pruebas durante un día de control, aproximadamente una semana antes de tomar las mediciones reales. También se determinó la verificación de la carga de resistencia para el press de banca experimental y las sentadillas. Todos los sujetos fueron sometidos a tres pruebas de ejercicios de fuerza con diferentes intervalos de reposo entre series. Los ejercicios de fuerza duraron desde las 09.00 horas hasta las 11.00 horas y, para evitar efectos residuales y amenazas a la validez interna, cada uno de los tres protocolos fue realizado por los 10 participantes, siguiendo un orden equilibrado. Se concedió un periodo de recuperación de entre 48 a 72 h entre cada sesión de ejercicios²². Durante el día de control se obtuvieron tres muestras de sangre de cada sujeto. Una de las muestras de sangre se extrajo por la mañana, tras 12 h de ayuno y aproximadamente 8 h de sueño, para determinar la concentración sérica basal de hormonas. Se extrajeron dos muestras de sangre sin haber realizado ejercicio, a la misma hora del día en la que cada sujeto realizaría sus protocolos de carga de alta resistencia para determinar la variación normal diurna de la concentración sérica de hormonas. Durante las sesiones de ejercicio se extrajeron muestras de sangre (5 ml) de la vena antecubital y se introdujeron en tubos de ensayo Vacutainer de 10 ml para suero, en reposo (Pre); inmediatamente después (Post) y 30 min después del fin de la sesión (30Post). El diseño experimental se componía de tres protocolos de ejercicios de resistencia con 4 series de press de banca y sentadillas hasta el fallo con 85% de 1 RM, con intervalos de reposo de 60 (P60), 90 (P90) y 120 (P120) s entre series^{3,23}.

Análisis hormonal

Se extrajeron muestras de sangre (5 ml) de la fosa antecubital utilizando técnicas estándar de punción de venas. Las muestras de sangre se centrifugaron a 3.000 rpm (5.000 G) durante un mínimo de 10 min a temperatura ambiente. El suero se almacenó a -20 °C hasta la realización del análisis. Las concentraciones séricas de testosterona y cortisol se determinaron utilizando el ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas (DRG Instruments GmbH, Alemania; División internacional de DRG, S.A., Hamburgo, Alemania) y cortisol (ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas, RADIM SpA, Pomezia, Roma, Italia), respectivamente. Para eliminar la varianza entre análisis, todas las muestras de cada análisis se descongelaron y se analizaron en la misma sesión. Todas las muestras se analizaron por duplicado con un coeficiente de varianza medio inter e intra análisis

Tabla 1 Concentraciones de cortisol y testosterona (media \pm DE) antes (Pre), inmediatamente después (Post) y 30 min después (30Post) en ejercicios de resistencia con 60 segundos (P60), 90 segundos (P90) y 120 segundos (P120) de intervalos de reposo entre series

| Reposo entre series | Pre | Post | 30 min Post |
|-------------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------------|
| <i>Testosterona (ng/ml)</i> | | | |
| P60 | 4,76 \pm 2,26 | 4,13 \pm 1,30 | 5,25 \pm 1,39 |
| P90 | 5,61 \pm 2,19 | 6,80 \pm 2,01 ^b | 7,18 \pm 1,59 |
| P120 | 5,03 \pm 2,21 | 7,27 \pm 1,93 ^{b,c} | 7,78 \pm 1,61 ^c |
| <i>Cortisol (ng/ml)^a</i> | | | |
| P60 | 133 \pm 18 | 255 \pm 45 ^{c,d} | 239 \pm 48 ^c |
| P90 | 152 \pm 39 | 248 \pm 51 ^{c,d} | 211 \pm 73 ^c |
| P120 | 156 \pm 52 | 176 \pm 38 | 243 \pm 111 |

^aEl parcial de estos resultados se ha publicado previamente^{3,23}.

^bDiferencia significativa con P60.

^cDiferencia significativa con pre-ejercicio.

^dDiferencia significativa con P120.

de 9,94 y 4,16% para la testosterona sérica y 6,9% y 6,2% para el cortisol sérico.

Análisis estadístico

Los datos se expresan como media \pm DE. La evaluación estadística se realizó utilizando SPSS 16.0 para Windows y se utilizaron medidas ANOVA repetidas en ambos sentidos (3 \times 3) (intervalos de reposo \times tiempo [Pre, Post, 30 min Post]) para comparar las muestras de sangre con los diferentes programas. Se utilizaron comparaciones múltiples con un intervalo de confianza, ajustado por el método Bonferroni cuando fue necesario. El análisis estadístico comparó las muestras de sangre de cada secuencia con el reposo. El nivel significativo se estableció en $p < 0,05$.

Resultados

En la tabla 1 se muestran los niveles de testosterona y cortisol (media \pm DE) antes (Pre), inmediatamente después (Post), y 30 min después (30Post) del ejercicio de resistencia con intervalos de reposo entre series de 60, 90 y 120 s. La relación T/C de los protocolos de ejercicios de resistencia puede observarse en la figura 1. La comparación de los protocolos reveló que la relación T/C en el intervalo P60 era significativamente más baja en post y 30-post que en el pre-ejercicio ($p < 0,05$). La comparación de la relación T/C entre protocolos (P60, P90, y P120) reveló que la relación T/C en el post-ejercicio era significativamente superior en P120 que en P60 y P90 ($p < 0,05$), pero no se halló ninguna diferencia entre P60 y P90 ($p > 0,05$).

Discusión

Realizar ejercicios de resistencia es la forma más efectiva de lograr un incremento profundo de la concentración de hormonas anabólicas, lo que a su vez estimula la fuerza y la hipertrofia muscular^{4,22}.

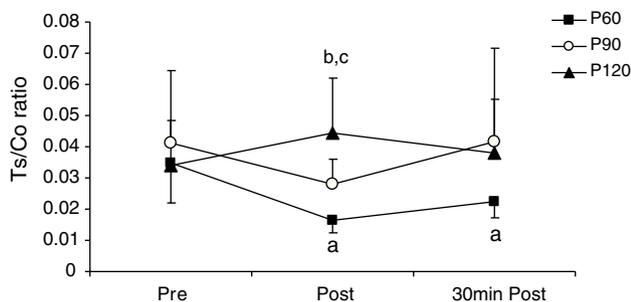


Figura 1 Relación entre testosterona y cortisol (relación T/C) (media \pm DE) antes del ejercicio (Pre), inmediatamente después (Post) y 30 min después (30 min Post) en ejercicios de resistencia con intervalos de reposo entre series de 60 segundos (P60), 90 segundos (P90), y 120 segundos (P120). ^a Diferencia significativa con pre-ejercicio ($p < 0,05$). ^b Diferencia significativa con P60. ^c Diferencia significativa con P90.

Los ejercicios de resistencia hipertróficos de alta intensidad, al realizarse en múltiples series (3-5 series en cada ejercicio), con intervalos de reposo cortos (60-120 s) y muchas repeticiones (8-12 repeticiones) causan reacciones hormonales agudas²⁴⁻²⁶. La cantidad o el tiempo de las reacciones hormonales agudas tras la realización de ejercicios de resistencia puede tener relación con la ganancia de fuerza muscular e hipertrofia^{2,27}. El papel de las reacciones hormonales agudas es muy importante, ya que las hormonas anabólicas como la testosterona incrementarán la síntesis de proteínas en las células musculares²⁸.

El intervalo de reposo entre series en ejercicios de resistencia tiene una importancia especial, y se define como el periodo de tiempo entre el fin de una serie de entrenamiento y el inicio de la siguiente serie para que la condición corporal del individuo alcance la postura fisiológica antes de la actividad. La cantidad de reposo entre series afecta al metabolismo, a la función cardiovascular, a la reacción hormonal y al número de repeticiones en las series posteriores^{1,4,22,29,30}.

El objetivo de este estudio es comparar la influencia de los intervalos de reposo sobre la relación T/C en hombres entrenados en ejercicios de resistencia. Esta relación T/C suele utilizarse como método para investigar el índice de adaptación y/o esfuerzo. Nuestros datos demostraron que intervalos de reposo de 120 s causan incrementos significativos de la testosterona en comparación con el cortisol, inmediatamente después de realizar ejercicios de resistencia. La relación T/C inmediatamente después de realizar ejercicios de resistencia era significativamente más elevada en P120 que en P60 y P90. Sin embargo, la diferencia entre intervalos no es significativa 30 min después de realizar el ejercicio. Por otra parte, la relación T/C en P60 se redujo de manera significativa inmediatamente después del ejercicio de resistencia y se mantuvo así hasta 30 min después del ejercicio, pero no sucedió lo mismo en P90 y P120.

Estos resultados indican que la condición metabólica inducida por el ejercicio de resistencia con intervalos de reposo entre series de 120 s favorece el anabolismo de proteínas^{8,9}. Inmediatamente después, pero no mucho después, del ejercicio de resistencia, los participantes presentaron un incremento significativo en esta relación, hecho que se explica principalmente por un incremento de la concentración de testosterona superior a la de cortisol. Así pues, el nivel de testosterona creció de forma significativa en el post-ejercicio con intervalos de reposo de 120 s y permaneció en un nivel alto tras 30 min de recuperación. Sin embargo, no cambió de forma significativa en P60 y P90 tras el ejercicio. Por otra parte, nuestros datos revelaron que el nivel de cortisol tras intervalos de reposo cortos (de 60

y 90 s) aumentó tras el ejercicio de resistencia, pero no con intervalos de 120 s. Estas conclusiones coinciden con las de Kraemer et al.^{17,26}, que mostró que el ejercicio de resistencia de alta intensidad (5 RM) con grupos musculares grandes e intervalos de reposo de 3 min entre series eleva las concentraciones de testosterona.

Además, la secreción de cortisol responde de forma muy rápida a varias fuerzas (p. ej., ejercicio, hipoglucemia, cirugía, etc.), por lo general en minutos. La importancia de la reacción del cortisol al ejercicio de resistencia está relacionada con los efectos catabólicos sobre el músculo esquelético. Como resultado, el cortisol ha sido la hormona catabólica más frecuentemente analizada tras realizar ejercicios de resistencia²⁵. Gotschalk et al.³¹ informaron de que 3 series de ejercicios de resistencia tuvieron como resultado un mayor incremento de cortisol, en comparación con una única serie. En este estudio, los intervalos de reposo entre series afectaron a las concentraciones séricas de cortisol y se observaron mayores valores en las concentraciones de cortisol en ejercicios de resistencia con intervalos de reposo entre series cortos (60-90 s) que con intervalos de reposo entre series largos, lo que coincide con los estudios previos^{21,25}. Se ha demostrado que intervalos de reposo más cortos están relacionados con una reacción de cortisol superior tras realizar ejercicios de resistencia. Sin embargo, en contra de nuestras conclusiones, Bottaro et al.¹⁵ informaron de que las concentraciones de cortisol no eran diferentes en tres protocolos de ejercicios de resistencia con intervalos de reposo entre series de 30, 60 y 120 s. Los mecanismos responsables de incrementar las concentraciones de cortisol en los ejercicios de resistencia pueden ser resultado del esfuerzo fisiológico y psicológico³². Así, niveles superiores de cortisol en sangre durante los ejercicios de resistencia con periodos de reposo de 60 y 90 s comparados con protocolos de 120 s pueden ser el resultado de un incremento del esfuerzo fisiológico como reacción a intervalos de reposo cortos.

Nuestros datos revelaron que intervalos de reposo cortos (P60) causaban una reducción significativa en la relación T/C tras ejercicios de resistencia para que sus valores, inmediatamente después y 30 min tras el ejercicio, fueran significativamente inferiores que en el momento basal. Esto se debe a un incremento de las concentraciones de cortisol inducido por el ejercicio, superior a la concentración de testosterona en el intervalo P60. Viru y Viru⁵ ponen de relieve que este cambio es claramente un indicador del sobreesfuerzo pero no del sobreentrenamiento. La reducción en la relación T/C tras el ejercicio puesta de relieve en P60 sugiere que este estímulo supuso una sobrecarga puntual intensa para el organismo.

Este estudio tiene ciertas limitaciones que garantizan la discusión. En primer lugar, las muestras hormonales no se ajustaron a los cambios de la hemoconcentración que posiblemente tuvieron lugar en algún punto, como resultado del ejercicio de resistencia. Por lo tanto, se recomienda que los próximos estudios evalúen el cambio plasmático para ajustar las concentraciones hormonales. En segundo lugar, estas conclusiones son específicas para el protocolo de ejercicios de resistencia hasta el fallo que se realizó. Es necesario realizar investigaciones adicionales para determinar si estas conclusiones pueden generalizarse al protocolo de ejercicios de resistencia no hasta el fallo.

Aplicaciones prácticas

En resumen, estos datos indican que los ejercicios de resistencia con periodos de reposo cortos (60 y 90 s) causaron un incremento en las concentraciones séricas de cortisol superior al resultado de testosterona en la relación T/C, lo que sugiere que prevalecen los procesos catabólicos. Por el contrario, intervalos de reposo largos (120 s) entre series en ejercicios de resistencia tienen como resultado relaciones T/C más altas de

bido a un incremento superior en los valores de testosterona que en los de cortisol tras el ejercicio. Esto puede deberse a un mayor volumen de ejercicio y un esfuerzo fisiológico inferior en ejercicios de resistencia con 120 s de reposo entre series frente a un volumen inferior y un mayor esfuerzo con períodos de reposo de 60 y 90 s entre series. Por lo tanto, se recomienda que los períodos de reposo largos entre series en ejercicios de resistencia se utilicen para producir un entorno anabólico para ganar masa muscular y fuerza.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Kraemer WJ, Noble BJ, Clark MJ, Culver BW. Physiologic responses to heavy resistance exercise with very short rest periods. *Int J Sports Med.* 1987;8:247-52.
2. Kraemer WJ. Endocrine responses and adaptations to strength training. En: Komi PV, editor. *Strength and Power in Sport.* Oxford; Boston: Blackwell Scientific Publications; 1992. p. 191-304.
3. Rahimi R, Qaderi M, Faraji H, Boroujerdi SS. Effects of very short rest periods on hormonal responses to resistance exercise in men. *J Strength Cond Res.* 2010;24:1851-9.
4. Spiering BA, Kraemer WJ, Anderson JM, Armstrong LE, Nindl BC, Volek JS, et al. Resistance exercise biology, manipulation of resistance exercise program variables determines the responses of cellular and molecular signaling pathways. *Sports Med.* 2008;38:527-40.
5. Viru A, Viru M. Assessing changes in adaptivity for optimizing training strategies. En: Viru A, Viru M, editors. *Biochemical monitoring of sport training.* Champaign: Human Kinetics; 2001. p. 193-220.
6. Uchida MC, Bacurau RFP, Navarro F, Pontes Jr FL, Tessuti VD, Moreau RL, et al. Alteration of testosterone: cortisol ratio induced by resistance training in women. *Rev Bras Med Esporte.* 2004;10:169-72.
7. Volek JS, Kraemer WJ, Bush JA, Incledon T, Boetes M. Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *J Appl Physiol.* 1997;82:49-54.
8. Keizer HA. Neuroendocrine aspects of overtraining. En: Kreider RB, Fry AC, O'Toole ML, editors. *Overtraining in sport.* Champaign: Human Kinetics; 1998. p. 145-67.
9. Urhausen A, Gabriel H, Kinderman W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med.* 1995;20:351-76.
10. Fry AC, Kraemer WJ, Stone MH, Warren BJ, Fleck SJ, Kearney JT, et al. Endocrine responses to overreaching before and after 1 year of weightlifting. *Can J Appl Physiol.* 1994;19:400-10.
11. Kraemer WJ. Endocrine responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exer.* 1988;20 Suppl 5:S152-7.
12. Humberto M, Simão R, Moreira LM, de Souza RA, de Souza JAA, de Salles BF, et al. Effect of rest interval length on the volume completed during upper body resistance exercise. *J Sports Sci Med.* 2009;8:388-92.
13. Kraemer WJ. A series of studies? The physiological basis for strength training in American football: Fact over philosophy. *J Strength Cond Res.* 1997;11:131-42.
14. Ratamess RA, Falvo MJ, Mangine GT, Hoffman JR, Faigenbaum AD, Kang J. The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2007;100:1-17.
15. Bottaro M, Martins B, Gentil P, Wagner D. Effects of rest duration between sets of resistance training on acute hormonal responses in trained women. *J Sci Med Sport.* 2009;12:73-8.
16. Buresh R, Berg K, French J. The effect of resistive exercise rest interval on hormonal response, strength, and hypertrophy with training. *J Strength Cond Res.* 2009;23:62-71.
17. Kraemer WJ, Marchitelli LJ, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R, et al. Hormonal and growth factor responses to heavy-resistance exercise protocols. *J Appl Physiol.* 1990;69:1442-50.
18. Gentil P, Bottaro M, Oliveira E, Veloso J, Amorim N, Saiuri A, et al. Chronic effects of different between-set rest durations on muscle strength in nonresistance trained young men. *J Strength Cond Res.* 2010;24:37-42.
19. Pincivero MD, Lephart SM, Karunakara RG. Effects of rest interval on isokinetic strength and functional performance after short term high intensity training. *Br J Sports Med.* 1997;31:229-34.
20. Robinson JM, Stone MH, Johnson RL, Penland CM, Warren BJ, Lewis RD. Effects of different weight training exercise/rest intervals on strength, power, and high intensity exercise endurance. *J Strength Cond Res.* 1995;9:216-21.
21. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Alen M, Kraemer WJ, Häkkinen K. Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: influence on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. *J Strength Cond Res.* 2005;19:572-82.
22. Boroujerdi SS, Rahimi R. Acute GH and IGF-I responses to short vs. long rest period between sets during forced repetitions resistance training system. *South African J Res Sport, Phy Ed Rec.* 2008;30:31-8.
23. Rahimi R, Ghaderi M, Mirzaei B, Faraji H. Acute IGF-1, cortisol and creatine kinase responses to very short rest intervals between sets during resistance exercise to failure in men. *World Appl Sci J.* 2010;8:1287-93.
24. Häkkinen K, Pakarinen A. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy resistance exercise protocols in male strength athletes. *J Appl Physiol.* 1993;74:882-7.
25. Kraemer WJ, Fleck SJ, Dziados JE, Harman EA, Marchitelli LJ, Gordon SE, et al. Changes in hormonal concentrations after different heavy resistance exercise protocols in women. *J Appl Physiol.* 1993;75:594-604.
26. Kraemer WJ, Gopdon SE, Fleck SJ, Marchitelli LJ, Mello R, Dziados JE, et al. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy-resistance exercise males and females. *Int J Sports Med.* 1991;12:228-35.
27. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Alen M, Kraemer WJ, Häkkinen K. Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs. maximum repetitions multiple resistance exercises. *Int J Sports Med.* 2003;24:410-8.
28. Ferrando AA, Tipton KD, Dolye D, Phillips SM, Cortiella J, Wolfe RR. Testosterone injection stimulates net protein synthesis but not tissue amion acid transport. *Am J Physiol.* 1998;275:E2864-71.
29. Rahimi R. Effect of different rest intervals on the exercise volume completed during squat bouts. *J Sports Sci Med.* 2005;4:361-6.
30. Rahimi R, Boroujerdi SS, Ghaeeni S, Noori SR. The effect of different rest intervals between sets on the training volume of male athletes. *Facta Univ Phys Educ Sport.* 2007;5:37-46.
31. Gotshalk LA, Loebel CC, Nindl BC, Putukian M, Sebastianelli WJ, Newton RU, et al. Hormonal responses of multiset versus single-set heavy resistance exercise protocols. *Canadian J Appl Physiol.* 1997;22:244-55.
32. Mulligan SE, Fleck SJ, Gordon SE, Koziris LP, Triplett-McBride NT, Kraemer WJ. Influence of resistance exercise volume on serum GH and cortisol concentrations in women. *J Strength Cond Res.* 1996;10:256-62.