

# apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

[www.apunts.org](http://www.apunts.org)



ORIGINAL

## Efecte de la relació dels períodes de repòs molt breus en la testosterona i el cortisol durant l'exercici d'alta resistència en homes

Rahman Rahimi<sup>a,\*</sup>, Hadi Rohani<sup>b</sup> i Mohsen Ebrahimi<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Department of Physical Education and Sport Science, Universitat de Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>b</sup>Faculty of Physical Education and Sport Science, Universitat de Guilan, Rasht, Iran

<sup>c</sup>Department of Physical Education and Sport Science, Universitat de Semnan, Iran

Rebut el 5 de febrer de 2011; acceptat el 28 de març de 2011.

### PARAULES CLAU

Exercici de resistència;  
Interval de repòs entre sèries;  
Relació de testosterona i cortisol

**Resum** La relació entre la concentració de testosterona i cortisol (relació T/C) se sol utilitzar com a índex del nivell d'esforç en l'entrenament esportiu. Els canvis que es produeixen en aquesta relació són responsables de moltes reaccions a l'exercici, com la hipertrofia i l'augment de força. L'objectiu d'aquesta recerca fou estudiar l'efecte de 4 sèries d'exercicis de pressió sobre banc i esquat fins a l'esgotament amb el 85% d'1 RM, sobre la relació de testosterona i cortisol d'homes entrenats en exercicis de resistència, utilitzant diferents intervals de repòs de 60 (P60), 90 (P90) i 120 (P120) segons. Deu homes entrenats en exercicis de resistència no competitiva (edat:  $22 \pm 2$  anys; pes:  $84 \pm 8$  kg; alçada:  $178,5 \pm 8,5$  cm, amb un any d'experiència com a mínim en exercicis de resistència [ER]), realitzaren protocols d'ER en sessions aleatòries, per separat. Es van extreure mostres de sang abans de l'exercici (Pre), immediatament després (Post) i 30 min després de finalitzar la sessió (30Post) per analitzar les concentracions sèriques de testosterona i de cortisol. Els resultats d'aquest estudi mostraren que la relació T/C durant l'interval P60 fou significativament més baixa en Post i 30Post en comparació amb el preexercici-exercici ( $p \leq 0,05$ ). La relació T/C després de l'exercici fou significativament més alta en P120 que en P60 i P90 ( $p \leq 0,05$ ), però no s'observaren diferències entre P60 i P90. Les dades indiquen que el període de repòs llarg entre sèries en ER fins a l'esgotament obtingué un augment major de la relació T/C que en el període de repòs breu. La millora de l'estat anabòlic fins a l'ER en homes entrenats en exercicis de resistència.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L. Tots els drets reservats.

### 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

\*Autor per a correspondència.

Correu electrònic: [rahman.rahimi@yahoo.com](mailto:rahman.rahimi@yahoo.com) (R. Rahimi)

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,  $22 \pm 2$  years; weight,  $84 \pm 8$  kg; height,  $178.5 \pm 8.5$  cm; 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 grater 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.

## Introducció

Hi ha diversos estudis sobre l'optimització de l'entrenament en exercicis de resistència. Alguns dels factors estudiats en aquests treballs són el volum, la intensitat, el període de repòs entre sèries i l'ordre dels exercicis<sup>1-4</sup>. Sembla que la manipulació d'aquestes variables de l'exercici pot influir en les reaccions hormonals i biològiques a l'entrenament i, per tant, en els resultats<sup>4,5</sup>.

La relació entre la concentració de testosterona i cortisol (relació T/C) se sol utilitzar com a índex del nivell d'esforç en la pràctica d'exercici físic. Els canvis que es produeixen en aquesta relació són responsables de diverses reaccions a l'exercici, com la hipertrofia i l'augment de força<sup>6,7</sup>. A més, hi ha evidències que la relació T/C és un indicador fisiològic del sobreentrenament en la pràctica d'exercici d'alta intensitat, però no és suficient per predir la síndrome de sobreentrenament<sup>5,8,9</sup>.

Estudis previs han mostrat que les reaccions als exercicis de resistència de la testosterona i el cortisol estaven relacionades amb variables com la intensitat, el volum, la durada, els períodes de repòs i la implicació de la massa muscular<sup>10,11</sup>.

S'ha demostrat que l'interval de repòs entre sèries esdevé un factor important que pot ser manipulat i que afecta el treball realitzat en les sèries posteriors<sup>12,13</sup>, les reaccions metabòliques<sup>14</sup> i hormonals<sup>15-17</sup> en la pràctica i l'adaptació a l'exercici<sup>18-20</sup>. Tanmateix, es desconeixen les reaccions agudes del cortisol i la testosterona en diferents intervals de repòs. Bottaro et al.<sup>15</sup> van constatar que no hi havia diferències a les reaccions agudes del cortisol en un protocol d'exercicis de resistència amb intervals de repòs de 30, 60 i 120 segons (s) entre dones entrenades. A més, Ahtiainen et al.<sup>21</sup> no van observar diferències significatives en els efectes aguts d'interval de repòs curts (2 min) ni llargs (5 min) en les concentracions sèriques totals de testosterona, de testosterona lliure i de cortisol. Això no obstant, Rahimi et al.<sup>3</sup> han demostrat recentment que les concentracions sèriques de testosterona en homes eren significativament superiors en els intervals de repòs entre sèries de 120 i 90 s que en els intervals de repòs de 60 s. És interessant remarcar que Buresh et al.<sup>16</sup> demostraren que la concentració de cortisol i de testosterona en intervals de repòs breus (1 min) era més elevada que en intervals de repòs llargs (2,5 min) després d'una setmana de pràctica d'exercici físic en homes que no en practicaven. La relació T/C és un indicador important de l'estat anabòlic i catabòlic; per tant, cal conèixer la resposta a l'estrès d'homes que practiquen exercicis de resistència, imposada per diferents intervals de repòs entre aquestes sèries d'exercicis. Això no obstant, fins ara cap estudi no

ha comparat els efectes aguts de diferents intervals de repòs entre sèries d'exercicis de resistència sobre la relació T/C. Per tant, l'objectiu d'aquest estudi fou determinar l'efecte de diferents intervals de repòs sobre la relació de testosterona i cortisol entre homes que practiquen exercicis de resistència, en sèries de 60, 90 i 120 s, durant un protocol d'exercicis de resistència.

## Mètode

### Enfocament experimental

La hipòtesi de recerca principal d'aquest estudi fou que diferents intervals de repòs entre sèries podria millorar la relació T/C. Cada subjecte participà en 3 sessions d'exercici aleatòries i equilibrades, consistents en 4 sèries de pressió en banc i esquat al 85% d'una repetició màxima (1 RM) fins a l'esgotament amb intervals de repòs de 60, 90 i 120 s entre sèries, per tal d'avaluar els efectes de diferents intervals de repòs entre sèries en la relació de testosterona i cortisol. La hipòtesi de l'estudi es basà en què en utilitzar intervals de repòs breus entre sèries en exercicis de resistència fins a l'esgotament (màximes repeticions per sèries), la resposta endocrina hauria de ser més gran amb un esforç metabòlic major (p. ex., lactat) que la que es produeix en intervals de repòs llargs entre sèries. Per tant, la relació T/C hauria de ser inferior durant els exercicis de resistència amb intervals de repòs curts entre sèries.

## Subjectes

Deu universitaris entrenats en exercicis de resistència (edat,  $22 \pm 2$  anys; pes,  $84 \pm 8$  kg; alçada,  $178,5 \pm 8,5$  cm, amb un any d'experiència en exercicis de resistència com a mínim) es presentaren voluntaris per a l'estudi. Cada subjecte tenia, com a mínim, un any d'experiència en exercicis de resistència no competitiva i havia realitzat, al menys, 3 sessions d'exercicis de resistència a la setmana durant els 6 mesos anteriors, però cap d'ells no era esportista d'elit especialitzat en força. Els valors d'1 RM eren  $105,62 \pm 18$  kg en la pressió de banc i  $106,31 \pm 19,71$  kg en l'esquat. Els subjectes van ser informats dels riscos experimentals i signaren el consentiment informat abans de la recerca. El protocol de l'estudi fou revisat i aprovat pel comitè d'ètica de la Universitat del Kurdistan. Els subjectes van seguir la dieta ordinària i no van prendre esteroides anabolitzants ni cap mena d'agent anabòlic amb propietats conegudes per augmentar el rendiment.

## Disseny experimental

Els subjectes es van familiaritzar amb els procediments experimentals de les proves durant un dia de control, aproximadament una setmana abans de ser preses les mesures reals. També es determinà la verificació de la càrrega de resistència experimental dels exercicis de pressió de banc i d'esquat. Els subjectes foren sotmesos a 3 proves d'exercicis de força amb diferents intervals de repòs entre les sèries. Els exercicis de força van durar de les 9 a les 11 del matí, per evitar efectes residuals i amenaces a la validesa interna, i cada un dels tres protocols fou realitzat pels 10 participants, seguint un ordre equilibrat. Es concedí un període de recuperació de 48 a 72 h entre cada sessió d'exercicis<sup>22</sup>. El dia de control s'obtingueren 3 mostres de sang de cada subjecte. Una de les mostres s'obtingué el matí, havent estat 12 h en dejú i havent dormit 8 h, per determinar la concentració sèrica basal de les hormones. Es van extreure dues mostres de sang sense haver fet exercici, a la mateixa hora del dia en què cada subjecte havia de seguir els protocols de càrrega d'alta resistència per determinar la variació normal diürna de la concentració sèrica d'hormones. Durant les sessions d'exercici es van extreure mostres de sang (5 ml) de la vena antecubital i es van introduir en tubs d'assaig Vacutainer de 10 ml per al sèrum, en repòs (Pre), immediatament després (Post) i 30 min després de finalitzar la sessió (30Post). El disseny experimental es composà de 3 protocols d'exercicis de resistència consistent en 4 sèries d'exercicis de pressió en banc i d'esquat al 85% d'1 RM fins a l'esgotament, amb intervals de repòs de 60 (P60), 90 (P90) i 120 (P120) segons entre sèries<sup>3,23</sup>.

## Test de força

La força màxima en la pressió sobre banc i esquat fou mesurada emprant una repetició màxima (1 RM)<sup>3,22,29</sup>. L'escalament consistí en una sèrie de 5 repeticions a una càrrega del 40-50% de la percepció màxima. Es considerà reeixida una temptativa quan el moviment era completat en tota la seva extensió sense desviar-se de la pròpia tècnica i execució. Hi havia observadors per encoratjar verbalment els subjectes i donar-los seguretat. Les sèries foren mesurades amb un cronòmetre manual, per tal de garantir que els subjectes es moguessin aproximadament a la mateixa velocitat a cada repetició. L'observador anunciava a cada repetició les cadències excèntriques i concèntriques. La velocitat de repetició consistí en 3 s en la fase excèntrica seguit d'1 s en la fase concèntrica. Durant les 3 sessions de test següents, es realitzaren 4 sèries d'esquat i de pressió en banc amb un interval de repòs de 60, 90 i 120 s entre sèries. S'utilitzà una eina de contrapès per determinar l'ordre de l'interval de repòs entre sèries en cada sessió de test. Als subjectes no se'ls permeté continuar amb les tasques habituals al llarg de l'estudi. A més, se'ls va informar de la prohibició de realitzar entrenament les 48 h anteriors a la sessió de test i de no canviar els hàbits alimentaris durant l'estudi<sup>3,23</sup>.

## Anàlisi hormonal

S'obtingueren mostres de sang (5 ml) de la fossa antecubital utilitzant tècniques estàndard de punció de venes. Les mostres de sang es centrifugaren a 3.000 rpm (5.000 G) durant un mínim de 10 min a temperatura ambient. Abans de realitzar les anàlisis el sèrum s'emmagatzemà a -20 °C. Les concentracions sèriques de testosterona i cortisol es van determinar utilitzant l'assaig per immunoabsorció lligat a enzims (DRG Instruments GmbH, Alemanya; Divisió internacional de DRG, S.A., Hamburg, Alemanya) i cortisol (assaig per immunoabsorció lligat a enzims, RADIM SpA, Via del Mare, 125, 00040 Pomezia, Roma, Itàlia), respectivament. Per eliminar

**Taula 1** Nivells de cortisol i de testosterona (mitjana ± DE) abans (Pre), immediatament després (Post) i 30 min després (30Post) en exercicis de resistència amb 60 s (P60), 90 s (P90) i 120 s (P120) d'intervals de repòs entre sèries

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

<sup>a</sup>El parcial d'aquests resultats ha estat prèviament publicat<sup>3,23</sup>.

<sup>b</sup>Diferència significativa amb P60.

<sup>c</sup>Diferència significativa amb preexercici.

<sup>d</sup>Diferència significativa amb P120.

la variància entre anàlisis, totes les mostres de cada una es van descongelar i analitzar en la mateixa sessió. Les mostres s'analitzaren per duplicat amb un coeficient de variància mitjà inter i intra-anàlisi de 9,94 i 4,16% per a la testosterona sèrica i de 6,9 i 6,2% per al cortisol sèric.

## Anàlisi estadística

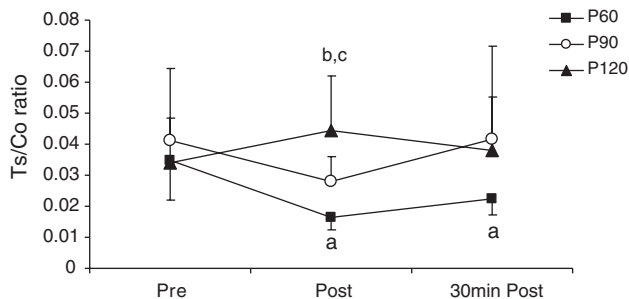
Les dades s'expressen com a mitjana ± DE. L'avaluació estadística es realitzà mitjançant l'SPSS 16.0 de Windows i s'utilitzaren mesures ANOVA repetides en ambdós sentits (3 × 3) (intervals de repòs × temps [Pre, Post, 30 min Post]) per comparar les mostres de sang amb els diferents programes. S'utilitzaren comparacions múltiples amb un interval de confiança ajustat pel mètode Bonferroni quan calgué. L'anàlisi estadística comparà les mostres de sang de cada seqüència amb el repòs. El nivell significatiu se establí en  $p < 0,05$ .

## Resultats

A la taula 1 es mostren els nivells de testosterona i cortisol (mitjana ± DE) abans (Pre), immediatament després (Post) i 30 min després (30Post) de l'exercici de resistència amb intervals de repòs entre sèries de 60, 90 i 120 s. A la figura 1 es pot observar la relació T/C dels protocols d'exercicis de resistència. La comparació dels protocols revelà que la relació T/C en l'interval P60 era significativament més baixa en Post i 30Post que en el pre-exercici ( $p < 0,05$ ). La comparació de la relació T/C entre protocols (P60, P90 i P120) revelà que la relació T/C en el post-exercici era significativament superior en P120 que en P60 i P90 ( $p < 0,05$ ), però no es trobà cap diferència entre P60 i P90 ( $p > 0,05$ ).

## Discussió

Realitzar exercicis de resistència és la manera més efectiva d'aconseguir un increment profund de la concentració d'hormones anabòliques, cosa que també estimula la força i la hipertròfia muscular<sup>4,22</sup>.



**Figura 1** La relació entre testosterona i cortisol (relació T/C) (mitjana ± DE) abans de l'exercici (Pre), immediatament després (Post) i 30 min després (30 min Post) en exercicis de resistència amb intervals de repòs entre sèries de 60 s (P60), 90 s (P90) i 120 s (P120). <sup>a</sup> Diferència significativa amb preexercici ( $p < 0,05$ ). <sup>b</sup> Diferència significativa amb P60. <sup>c</sup> Diferència significativa amb P90.

Com que els exercicis de resistència hipertròfics d'alta intensitat es realitzen en sèries múltiples (3-5 sèries en cada exercici), amb intervals de repòs curts (60-120 s) i moltes repeticions (8-12 repeticions), causen reaccions hormonals agudes<sup>24-26</sup>. La quantitat o el temps de les reaccions hormonals agudes després de realitzar exercicis de resistència poden tenir relació amb el guany de força muscular i hipertrofia<sup>2,27</sup>. El paper de les reaccions hormonals agudes és molt important, donat que les hormones anabòliques com la testosterona incrementaran les proteïnes en les cèl·lules musculars<sup>28</sup>.

L'interval de repòs entre sèries d'exercicis de resistència té una importància especial, i es defineix com el període de temps entre la finalització d'una sèrie d'entrenament i l'inici de la següent, per tal que la condició corporal de l'individu assoleixi la postura fisiològica abans de l'activitat. La quantitat de repòs entre sèries afecta el metabolisme, la funció cardiovascular, la reacció hormonal i el nombre de repeticions de les sèries posteriors<sup>1,4,22,29,30</sup>.

L'objectiu d'aquest estudi és comparar la influència dels intervals de repòs sobre la relació T/C d'homens entrenats en exercicis de resistència. Aquesta relació T/C sol utilitzar-se com a mètode per investigar l'índex d'adaptació i/o esforç. Les nostres dades demostraren que intervals de repòs de 120 s causen increments significatius de la testosterona en comparació amb el cortisol, immediatament després d'haver realitzat exercicis de resistència. La relació T/C immediatament després de realitzar exercicis de resistència fou significativament més elevada en P120 que en P60 i en P90. Tanmateix, la diferència entre intervals no és significativa 30 min després d'haver realitzat l'exercici. D'altra banda, la relació T/C en P60 es reduí de manera significativa immediatament després de l'exercici de resistència i es mantingué així fins als 30 min després de l'exercici, però no succeí el mateix en P90 i en P120.

Aquests resultats indiquen que la condició metabòlica induïda per l'exercici de resistència amb intervals de repòs entre sèries de 120 s afavoreix l'anabolisme de proteïnes<sup>8,9</sup>. Immediatament després, però no massa més tard, de l'exercici de resistència, els participants presentaren un increment significatiu en aquesta relació, fet que s'explica principalment per l'increment de la concentració de testosterona superior a la de cortisol. Per tant, el nivell de testosterona cresqué de forma significativa en el post-exercici amb intervals de repòs de 120 s i romangué en un nivell alt després de 30 min de recuperació. Tanmateix, no canvià de forma significativa en P60 i P90 després de l'exercici. D'altra banda, les nostres dades revelaren que el nivell de cortisol després d'intervals de repòs curts (de 60 i 90 s) aug-

mentà després de practicar exercici de resistència, però no amb intervals de 120 s. Aquestes conclusions coincideixen amb les de Kraemer et al.<sup>17,26</sup>, que mostraren que l'exercici de resistència d'alta intensitat (5 RM) amb grups musculars grans i intervals de repòs de 3 min entre sèries eleva les concentracions de testosterona.

A més, la secreció de cortisol respon de forma molt ràpida, generalment en minuts, a diversos tipus d'estrès (p. ex., exercici, hipoglucèmia, cirurgia, etc.). La importància de la reacció del cortisol a l'exercici de resistència està relacionada amb els efectes catabòlics sobre el múscul esquelètic. Com a conseqüència, el cortisol ha estat l'hormona catabòlica més freqüentment analitzada després de realitzar exercicis de resistència<sup>25</sup>. Gotshalk et al.<sup>31</sup> van fer veure que 3 sèries d'exercicis de resistència tingueren com a resultat un increment major de cortisol, en comparació amb una única sèrie. En aquest estudi, els intervals de repòs entre sèries afectaren les concentracions sèriques de cortisol i s'observaren nivells més grans en les concentracions de cortisol en exercicis de resistència amb intervals curts de repòs entre sèries (60-90 s) que amb intervals llargs de repòs entre sèries, cosa que coincideix amb els estudis previs<sup>21,25</sup>. S'ha demostrat que intervals de repòs més curts estan relacionats amb una reacció de cortisol superior després de realitzar exercicis de resistència. Això no obstant, contràriament a les nostres conclusions, Bottaro et al.<sup>15</sup> manifestaren que les concentracions de cortisol no eren diferents en 3 protocols d'exercicis de resistència amb intervals de repòs entre sèries de 30, 60 i 120 s. Els mecanismes responsables d'incrementar les concentracions de cortisol en els exercicis de resistència poden ser resultat de l'esforç fisiològic i psicològic<sup>32</sup>. Així, nivells superiors de cortisol a la sang durant els exercicis de resistència en períodes de repòs de 60 i 90 s comparats amb protocols de 120 s poden ser el resultat d'un increment de l'esforç fisiològic com a reacció a intervals de repòs curts.

Les nostres dades revelaren que intervals curts de repòs (P60) causaven una reducció significativa en la relació T/C després d'exercicis de resistència, de manera que els valors, immediatament després i 30 min després de l'exercici, eren significativament inferiors que en el moment basal. Això és degut a un increment de les concentracions de cortisol induït per l'exercici, superior a la concentració de testosterona en l'interval P60. Viru i Viru<sup>5</sup> subratllen que aquest canvi és clarament un indicador de sobreexforç però no de sobreentrenament. La reducció en la relació T/C després de l'exercici posada de relleu en P60 suggereix que aquest estímul suposà una sobrecàrrega puntual intensa a l'organisme.

Aquest estudi té algunes limitacions que garanteixen la discussió. En primer lloc, les mostres hormonals no s'ajusten als canvis de l'hemoconcentració que possiblement tingueren lloc en algun punt, com a resultat de l'exercici de resistència. Per tant, es recomana que estudis propers avaluin el canvi plasmàtic per ajustar les concentracions hormonals. En segon lloc, aquestes conclusions són específiques per al protocol d'exercicis de resistència fins a l'esgotament. Caldrien ulteriors investigacions per determinar si aquestes conclusions es poden generalitzar en els protocols d'exercicis de resistència sense arribar a l'esgotament.

### Aplicacions pràctiques

En resum, aquestes dades indiquen que els exercicis de resistència en períodes de repòs curts (60 i 90 s) causaren un increment de les concentracions sèriques de cortisol superior al resultat de testosterona en la relació T/C, cosa que suggereix que prevalen els processos catabòlics. En canvi, intervals de repòs llargs (120 s) entre sèries d'exercicis de resistència tenen com a resultat relacions T/C més altes



degut a un increment superior en els nivells de testosterona que en els de cortisol després de l'exercici. Això pot ser a causa d'un major volum d'exercici i un esforç fisiològic inferior en exercicis de resistència amb 120 s de repòs entre sèries en front a un volum inferior i un esforç superior en períodes de repòs de 60 i 90 s entre sèries. Per tant, es recomana que els períodes de repòs llargs entre sèries en exercicis de resistència s'utilitzin per produir un entorn anabòlic per guanyar massa muscular i força.

## Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos.

## Bibliografia

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Urhausen A, Gabriel H, Kinderman W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med.* 1995;20:351-76.
- 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.
- Kraemer WJ. Endocrine responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exer.* 1988;20 Suppl 5:S152-7.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Rahimi R. Effect of different rest intervals on the exercise volume completed during squat bouts. *J Sports Sci Med.* 2005;4:361-6.
- Rahimi R, Boroujerdi SS, Ghaeni 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.
- 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.
- 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.