

Fatores Relacionados com as Respostas da Testosterona e do Cortisol ao Treinamento de Força



Factors Concerned with the Testosterone and Cortisol Response to Strength Training

Eduardo Lusa Cadore¹
Michel Arias Brentano¹
Francisco Luiz Rodrigues Lhullier²
Luiz Fernando Martins Kruehl¹

1. Laboratório de Pesquisa do Exercício, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
2. Departamento de Análises Clínicas, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Endereço para correspondência:

Rua: Felizardo, nº 750
Bairro: Jardim Botânico
CEP: 90690-200
Escola de Educação Física/ LAPEX sala 208
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre – RS – Brasil
Email: edcadore@yahoo.com.br

Submetido em 03/10/2006
Versão final recebida em 31/01/2007
Aceito em 18/10/2007

RESUMO

Esse artigo visa revisar os resultados encontrados na literatura a respeito dos diversos fatores relacionados com a resposta hormonal aguda e crônica ao treinamento de força. Foi observado que existe uma estreita relação entre a treinabilidade de indivíduos submetidos ao treinamento de força e os níveis circulantes de testosterona nesses sujeitos. Além disso, outros parâmetros hormonais, tais como as razões entre a testosterona e sua proteína carreadora e entre a testosterona com o cortisol, também foram relacionados com a capacidade de aumento de força. Diversos fatores ligados à sessão de treino, além das características da população investigada, influenciam a resposta hormonal aguda e crônica ao treinamento. Entre esses fatores, o volume e a intensidade são as principais variáveis ligadas à magnitude dessa resposta. A determinação de quais fatores possam estar estreitamente relacionados com a resposta hormonal ao treinamento de força pode ser importante para o estabelecimento de uma sessão de treino e uma periodização que otimizem o ambiente anabólico determinado pelas concentrações de testosterona e cortisol, e, dessa forma, maximizar os ajustes neuromusculares decorrentes desse tipo de treinamento.

Palavras-chave: treinamento físico, resposta hormonal aguda, ajustes endócrinos.

ABSTRACT

This study aims to review the results found in the literature concerning a variety of factors related to the acute and chronic hormonal response to strength training. It has been observed that there is a close relationship between the trainability of individuals submitted to strength training and the circulating testosterone levels in these subjects. Moreover, other hormonal parameters, such as the ratios between testosterone and its binding protein and between testosterone and cortisol, were also related to the ability to increase strength. Besides the characteristics of the population investigated, several factors associated with the training session affect the acute and chronic hormonal response to training. Among them, volume and intensity are the main variables associated with the magnitude of this response. Determining which factors might be closely related to the hormonal response to strength training may be important to establish a training session and a periodization that optimize the anabolic environment determined by the testosterone and cortisol concentrations, and thus enhance the neuromuscular adaptations resulting from this type of training.

Keywords: physical training, acute hormonal response, endocrine adaptations.

INTRODUÇÃO

O treinamento de força (TF) de alta intensidade é um potente estímulo para o aumento da concentração de testosterona como resposta aguda⁽¹⁻⁶⁾. Esse estímulo possui alguns mecanismos de controle, independentes da estimulação pelo hormônio luteinizante (LH)^(7,8), e alguns fatores ligados a sessão de treino parecem influenciar nessa resposta^(3,9-11). Já com relação ao cortisol, hormônio relacionado à degradação de proteínas^(2,7), embora a sua resposta aguda ao TF seja de aumento⁽⁵⁾, a magnitude dessa resposta pode se mostrar menor em indivíduos treinados^(4,12).

Além do conhecida resposta aguda da testosterona ao treino de força^(1,13-16), resultados a respeito das concentrações em repouso permanecem controversos. Existem estudos que demonstraram aumento de hormônios anabólicos em repouso após o treinamento de força^(5,9,10,12,13,17,18), levando alguns autores a sugerirem esse tipo de treinamento como intervenção para manutenção dos níveis de testosterona durante o envelhecimento⁽¹²⁾. Entretanto, outros estudos não encontraram diferença alguma^(12,15,19-21). Além disso, o número de

receptores androgênicos musculares também aparenta aumentar em resposta a esse tipo de treinamento⁽²²⁻²⁴⁾ e pode melhorar a interação entre hormônios anabólicos e seus receptores celulares^(24,25).

Têm sido sugerido que as adaptações neuromusculares observadas com o TF⁽²⁶⁻²⁸⁾ sejam mediadas, em parte, pelas respostas agudas e ajustes crônicos decorrentes do treino, nos níveis circulantes da testosterona e do cortisol, além de modificações em seus receptores celulares⁽²⁹⁾. Além da conhecida ação desses hormônios no metabolismo muscular⁽³⁰⁾, a magnitude de aumento na força muscular em indivíduos submetidos ao TF têm sido relacionada com a concentração de testosterona, entre outros parâmetros relacionados a esse hormônio [(i.e. razão testosterona/cortisol e testosterona/globulina ligadora de hormônio sexual-(SHBG))^(9,31-33)].

Devido à importância da resposta hormonal aguda e dos ajustes crônicos do sistema endócrino ao treinamento de força, a determinação de quais aspectos do treino tenham influência nessas respostas pode ser importante para se estabelecer um ambiente anabólico ótimo durante uma sessão ou um período de treinamento. Sendo assim, o

objetivo do presente estudo é revisar os resultados obtidos na literatura a respeito da influência das concentrações de testosterona na treinabilidade de indivíduos submetidos ao TF e determinar quais os fatores ligados a sessão de treino são relacionados com a resposta hormonal aguda e crônica do sistema endócrino.

Influência da Testosterona na Treinabilidade

Especificamente no âmbito do metabolismo muscular, a testosterona é um potente estimulador da síntese de proteínas⁽³⁴⁾, o que ocorre através da interação do hormônio com seu receptor específico na célula muscular. Além disso, esse hormônio influencia a produção de força devido ao estímulo para transição das fibras do tipo II a um perfil mais glicolítico⁽³⁵⁾, ao aumento da liberação do fator de crescimento semelhante à insulina I (IGF-I), mediada por sua influência na amplitude de pulsos do hormônio do crescimento (GH)⁽³⁶⁾, além da influência na síntese de neurotransmissores importantes para a contração muscular⁽¹²⁾.

Alguns estudos demonstraram que entre os indivíduos submetidos ao mesmo volume e intensidade de TF, os que possuem maiores concentrações de testosterona, aumentam mais a força e/ou potência musculares após o período de treinamento. Isso sugere que a treinabilidade de indivíduos submetidos ao TF possui uma relação com parâmetros hormonais ligados a testosterona e à relação desse hormônio com a SHBG, sua proteína carreadora, e com o cortisol, como demonstrado pelos resultados desses estudos^(9,13,20,31-33). O Quadro 1, demonstra resultados de estudos que encontraram correlações entre parâmetros hormonais e variáveis relacionadas com a força muscular. Um aspecto que deve ser salientado é que outros fatores estruturais, tais como ângulo de penação e a composição de tipos de fibras podem interferir na produção de força⁽³⁵⁾, bem como o volume e a intensidade do TF influenciam preponderantemente no aumento de força decorrente do mesmo⁽¹⁸⁾.

Quadro 1. Relação entre parâmetros hormonais e variáveis relacionadas a força muscular.

Autor	Variáveis Relacionadas
Häkkinen <i>et al.</i> ⁽⁹⁾	Média anual da razão TT/COR e média de força isométrica máxima ($r=0,77$, $p<0,05$) e média anual do índice TT/SHBG e \uparrow no índice de potência máxima pós TF ($r=0,84$, $p<0,05$).
Häkkinen e Pakarinen ⁽³¹⁾	TT com força isométrica máxima e índice de produção de força ($r = 0,68$ e $0,66$, respectivamente, $p<0,01$) e razão TT/SHBG com força isométrica máxima e índice de produção de força ($r=0,68$ e $0,66$, respectivamente, $p<0,01$).
Häkkinen e Pakarinen ⁽³²⁾	\uparrow na força isométrica máxima após TF com TT e TT/COR ($r=0,57$ e $0,61$, respectivamente, $p<0,05$).
Izquierdo <i>et al.</i> ⁽³³⁾	\uparrow na força isométrica após um TF e TT e TL ($r = 0,78$ e $0,71$, respectivamente, $P < 0,01$).
Ahtianinen <i>et al.</i> ⁽¹³⁾	\uparrow na força isométrica total com TT e razão TT/COR ($r=0,84$ e $0,88$, $P<0,01$), e força isométrica com TL pré e pós treinamento ($r=0,78$ e $0,82$, respectivamente, $p<0,05$).
Cadore <i>et al.</i> ⁽⁴⁾	Força no agachamento e a DHEA antes e após uma sessão de TF ($r = 0,55$ e $0,73$, respectivamente, $p < 0,05$).

TF: treinamento de força; TT: testosterona total; TL: testosterona livre; COR: cortisol; DHEA, dehidroepiandrosterona; SHBG: globulina ligante de hormônio sexual, \uparrow : aumento.

A Resposta Hormonal Aguda ao Treinamento de Força

A testosterona revela uma plasticidade na sua resposta ao treino de força, e seu comportamento depende de fatores ligados à sessão de treino como volume, intensidade, método (i.e. séries simples ou múltiplas)^(31,37), tipo de contração muscular^(38,39) e massa muscular envolvida⁽⁴⁰⁾, além de fatores como idade⁽¹²⁾ e nível de treinamento dos

indivíduos^(4,12,14). Essa resposta ao TF pode submeter a musculatura esquelética a uma elevada concentração hormonal periférica que pode melhorar a interação entre o hormônio e seus receptores celulares⁽⁴¹⁾. Com relação ao cortisol, o aumento das concentrações também está relacionado com fatores como a intensidade e o volume de treino⁽¹¹⁾, além do nível de treinamento da população⁽⁴⁾. Embora seu comportamento esteja relacionado a uma maior degradação de proteínas^(12,42), sua resposta ao exercício é muito importante no período de recuperação após uma sessão de treino, na regulação da reposição de substrato energético muscular⁽¹¹⁾, devido ao estímulo à glicogenólise hepática.

Mecanismos Sugeridos para o Aumento da Testosterona e do Cortisol em Resposta ao Exercício

A resposta da testosterona a uma sessão de exercício pode refletir alguns mecanismos regulatórios adicionais aos processos que regulam a secreção desse hormônio em repouso^(12,13). Em estudo realizado por Lu *et al.*⁽⁷⁾, foi observado que o aumento da testosterona induzida pelo exercício em ratos machos tinha correlação com o aumento do lactato sanguíneo. Tendo observado essa resposta, esses autores realizaram *in vitro*, a infusão de lactato nos testículos desses ratos, e observaram que houve um comportamento dose-dependente de aumento de testosterona. Têm sido demonstrado que os métodos de TF que objetivam a hipertrofia ou a resistência muscular são tipos de treinamento físico com alta produção de lactato⁽¹¹⁾, o que sugere uma forte relação com o mecanismo de aumento da testosterona via estimulação do lactato nos testículos⁽⁷⁾.

Outros mecanismos podem ser responsáveis pelo aumento da testosterona induzido pelo exercício, entre esses a atividade simpática aumentada em resposta ao exercício⁽⁸⁾ e o fluxo sanguíneo e a vasodilatação relacionada à liberação de óxido nítrico aumentando a liberação do hormônio⁽⁴³⁾. Embora esses estudos tenham utilizado protocolos de exercício diferentes do treinamento de força, Kraemer *et al.*⁽¹²⁾ e Ahtianinen *et al.*⁽¹³⁾ sugerem que esses mecanismos também podem ser mediadores do aumento da testosterona em resposta a esse tipo de treino.

Já a resposta do cortisol ao exercício aparenta ser regulada por mecanismos semelhantes ao controle desse hormônio durante o metabolismo de repouso. Kraemer *et al.*⁽¹²⁾ observaram em indivíduos jovens e idosos submetidos a uma sessão de TF, que houve um aumento na liberação de adrenocorticotropina (ACTH) induzida pelo exercício, o que possivelmente causou o aumento do cortisol em resposta à mesma sessão de treino. É interessante notar, que após um período de TF, mesmo com aumento da liberação de ACTH após o exercício, pode não ocorrer um aumento do cortisol⁽¹²⁾. Foi sugerido que isso ocorre devido a uma *downregulation* nos receptores de ACTH no córtex adrenal após o período de treinamento^(4,12).

Variáveis do TF Relacionados com a Resposta Hormonal

É possível afirmar que a resposta hormonal ao exercício esteja ligada a algumas características inerentes à sessão de treino, como número de séries e repetições, intensidade relativa à carga máxima (percentual de 1 RM) e o tempo de intervalo. Segundo Smilios *et al.*⁽¹¹⁾, a quantidade apropriada de trabalho durante o TF pode ser um fator determinante na resposta hormonal aguda, que pode gerar uma combinação ótima entre os hormônios anabólicos e catabólicos estimulados. Isso pode resultar em um ambiente mais favorável para adaptações neuromusculares ao treinamento, como o aumento de força e massa muscular.

A influência preponderante do volume nas respostas hormonais a diferentes métodos de treino foram observadas por Häkkinen e Pakarinen⁽³¹⁾ que compararam a resposta hormonal em uma sessão que reunia 20 séries de 1 RM, com outra que contava com 10 séries de 10 RM com 70% de 1 RM, ambas com 3 minutos de intervalo. Os autores

observaram aumento significativo ($P < 0,05$) da testosterona total (22%) e livre (23%), além do cortisol (148%) ao treino de maior volume e nenhum aumento no treino de maior carga. Em estudo de Smilios *et al.*⁽¹¹⁾, a resposta hormonal observada em homens jovens demonstrou ser maior conforme aumentava o número de séries durante sessões que objetivavam separadamente aumento de força, hipertrofia e resistência muscular. Esses autores observaram que quando o número de séries era aumentado de 4 para 6, houve uma estabilização das concentrações de hormônios anabólicos, ao passo que o cortisol continuou a aumentar. Seus resultados sugerem que conforme se modifica o volume de uma sessão de TF, o balanço entre hormônios anabólicos e catabólicos se modifica.

Já Häkkinen *et al.*⁽⁴⁰⁾, mostraram, em homens jovens e idosos, a testosterona total mais responsiva a um protocolo que envolvia membros inferiores e superiores (27%), embora esse hormônio tenha aumentado também em protocolos que envolviam somente membros superiores e inferiores separadamente ($P < 0,01$), indicando que quanto mais massa muscular envolvida, maior é a resposta aguda da testosterona total.

Com relação à influência do tempo de intervalo na resposta hormonal aguda, quanto menor o intervalo entre as séries, maior é o estímulo⁽¹⁶⁾. Entretanto, quando as séries são realizadas com repetições máximas, o intervalo parece não ter influência dentro de uma determinada faixa de intensidade, como demonstrado por Ahtiainen *et al.*⁽¹⁹⁾, em estudo no qual 2 protocolos realizados com 10 RM com 2 e 5 minutos de intervalo não apresentaram diferenças na resposta hormonal aguda. Contudo, sessões com intensidades de moderada a alta, múltiplas séries e curto tempo de intervalo, cuja predominância energética seja o metabolismo glicolítico láctico, aparentam ser o maior estímulo para a resposta de hormônios esteróides ao TF.

Influência da idade e do nível de treinamento

Um dos fatores que parece interferir na resposta hormonal ao TF é a população submetida à sessão de treino. Alguns estudos têm investigado essa resposta em diferentes idades, e os mesmos geralmente têm observado uma resposta menor em indivíduos idosos. Foi o que demonstraram Kraemer *et al.*⁽¹²⁾, ao comparar a resposta aguda da testosterona total e livre entre indivíduos homens com médias de 30 ± 5 e 62 ± 3 anos. Esses autores observaram que a testosterona livre, embora tenha aumentado em ambos os grupos, teve menor resposta no grupo de 62 anos. Segundo esses autores, essa resposta diminuída é associada com a andropausa, caracterizada pelo menor número de células de Leydig e a diminuição da capacidade secretória dessas células, decorrentes do envelhecimento. Com relação ao cortisol, ambos os grupos demonstraram aumento semelhante induzido por uma sessão de treino. Entretanto, após um período de 10 semanas de TF, a resposta do cortisol à mesma sessão de treino foi maior nos indivíduos idosos, o que sugere um ajuste endócrino ao treinamento relacionado com a idade.

Outro aspecto que pode influenciar a resposta do sistema endócrino ao TF é o nível de treinamento dos indivíduos^(4,44), já que existe possibilidade de ocorrer diferentes respostas hormonais anabólicas e catabólicas antes e após um período de TF. Kraemer *et al.*⁽⁴⁴⁾, investigando homens atletas de levantamento de peso, com idade média de 17 anos, observaram que os sujeitos com mais de 2 anos de treinamento possuíam maior resposta aguda da testosterona. Em outro estudo, Cadore *et al.*⁽⁴⁾ encontraram diferentes padrões de resposta hormonal em homens de meia-idade (40 ± 4 anos) treinados e não treinados após um protocolo de TF. No grupo treinado, foram observados aumentos significativos somente na testosterona livre (27%) e na dehidroepiandrosterona (DHEA, 86%), ao passo que no grupo não treinado houve aumento na testosterona total (28%) e livre (22%), DHEA

(127%) e cortisol (35%) ($P < 0,05$). Kraemer *et al.*⁽¹²⁾ observaram maior resposta da testosterona livre em jovens e idosos após 10 semanas de treinamento de força periodizado. Esses autores sugeriram existir influência do tempo de treino e do status de treinamento (i.e. treinado vs. não treinado) nos ajustes do eixo hipotalâmico-hipofisário-gonadal e adreno-cortical.

Entretanto, existe uma discrepância em relação a esse aspecto, já que nem todos estudos encontraram influência do nível de treinamento na resposta da testosterona ao TF. Ahtiainen *et al.*⁽¹³⁾, ao submeterem indivíduos não treinados e previamente treinados em força ao um treinamento com pesos de 21 semanas e observaram aumento semelhante da testosterona total e livre pós exercício semelhante entre os grupos antes e após o treinamento. Segundo Nicklas *et al.*⁽⁴⁵⁾, essa discrepância em relação aos resultados pode ocorrer devido a fatores como amostra, protocolo de exercício utilizado ou mudanças potenciais no volume plasmático. Além disso, a resposta da testosterona a esse tipo de exercício pode ser influenciada por sua relação com seus receptores celulares, já que essa interação parece ser maior em indivíduos treinados e sendo assim, os mesmos podem não necessitar da mesma magnitude de resposta aguda para obter uma relação hormônio-receptor ótima^(11,24).

Ajustes Endócrinos Crônicos ao Treinamento

Alguns autores sugerem que aumentos na força e massa muscular que ocorrem como consequência do treinamento de força possam ser mediados em parte por ajustes crônicos nas concentrações circulantes de hormônios anabólicos^(13,15,41,46), ou modificações no número de receptores para esses hormônios na célula muscular⁽²²⁻²⁴⁾.

Ajustes nos Hormônios Circulantes

Alguns estudos demonstraram haver aumento da testosterona em repouso como ajuste ao TF^(17,27,47,48), ao passo que outros não encontraram diferença alguma^(13,15,46). Os resultados encontrados até o momento indicam que somente indivíduos jovens podem mudar suas concentrações em repouso^(5,9,27), ao passo que em indivíduos de meia idade e idosos nenhuma modificação nesses parâmetros têm sido observada^(2,20,21,33). Além disso, fatores inerentes ao TF, como volume, intensidade, nível e tempo de treino parecem influenciar essas modificações^(9,18).

Com relação ao nível e ao tempo de treinamento, embora Ahtiainen *et al.*⁽¹³⁾ tenham sugerido que o aumento crônico nas concentrações hormonais seja um fator determinante em indivíduos bem treinados, submetidos a longos períodos de treinamento, estudos realizados por Staron *et al.*⁽⁵⁾ e Kraemer *et al.*⁽¹²⁾ demonstraram que podem haver mudanças crônicas no sistema endócrino em curtos períodos de treino. Provavelmente, essa discrepância de resultados ocorra devido à existência de uma interação entre todos os fatores que influenciam no ajuste endócrino crônico ao TF⁽⁵⁰⁾.

Em mulheres, as variáveis do treinamento relacionadas com modificações na testosterona em repouso aparentam ser as mesmas de que nos homens. Marx *et al.*⁽¹⁸⁾ avaliaram 34 mulheres (22 ± 5 anos) antes e após a realização de um TF de 24 semanas e investigaram suas concentrações de testosterona e cortisol em repouso, comparando grupos de TF de séries simples versus séries múltiplas. Os resultados demonstraram que houve aumento na testosterona para ambos os grupos de treino, sendo que as primeiras adaptações a ocorreram após 12 semanas. Após 24 semanas, somente o grupo de maior volume de treino aumentou mais a testosterona de repouso, que foi maior nesse ponto que do que em 12 semanas, sendo também maior o grupo de baixo volume. Também houve uma diminuição no cortisol, após 12 e 24 semanas, mas somente no grupo de maior volume. Embora a execução de uma sessão de TF com maior volume possa ocasionar um

maior aumento agudo nos hormônios catabólicos⁽¹¹⁾, o estudo realizado por Marx *et al.*⁽¹⁸⁾ demonstrou o TF com maior volume e intensidade pode levar a um aumento crônico nos hormônios anabólicos superior a um TF com volume e intensidade menor. Esse ajuste pode ser um fator mediador da maior performance na produção de força observada em indivíduos treinados com múltiplas séries quando comparados a indivíduos treinados com séries simples⁽⁴⁹⁾.

O quadro 2 mostra resumidamente a metodologia e os resultados de estudos que avaliaram concentrações hormonais de repouso. Contudo, modificações nas concentrações de repouso aparentam ser modificações transitórias resultantes de aumento ou diminuição na intensidade e principalmente no volume⁽¹³⁾. No entanto, o verdadeiro papel dessas modificações nas adaptações neuromusculares ao treinamento ainda não foi determinado.

Ajustes nos Receptores Androgênicos da Célula Muscular

Existem evidências de que ajustes celulares possam ser fatores chave para a hipertrofia induzida pelo treinamento^(22-25,29,51). Esses ajustes correspondem ao aumento no número dos receptores androgênicos musculares, que aparentam depender do padrão de resposta aguda da testosterona ao exercício⁽²⁴⁾. Segundo Izquierdo *et al.*⁽³³⁾, um número maior de receptores e uma maior sensibilidade desses receptores ao hormônio pode melhorar a ação trófica do mesmo nas células alvo. De fato, o aumento dos receptores celulares à testosterona foi observado em estudo realizado por Inoue *et al.*⁽²²⁾. Esses autores submeteram ratos machos a um treinamento realizado com estimulação elétrica, e observaram que a hipertrofia muscular observada ocorreu paralela a um aumento significativo no nº de receptores androgênicos celulares. Em outro estudo realizado por Inoue *et al.*⁽²³⁾, foi observado que a supressão dos receptores androgênicos por receptores antagonistas, diminuiu o aumento de massa muscular obtido com estimulação elétrica.

Em estudo realizado por Kadi *et al.*⁽²⁹⁾, foram mensuradas as quan-

tidades de receptores androgênicos por área de fibra muscular, nos músculos trapézio superior e vasto lateral, de homens halterofilistas de alto rendimento. A amostra era composta por indivíduos treinados com utilização de esteróides anabólicos exógenos (31 ± 3 anos) e sem a utilização desse recurso (28 ± 8 anos), além de indivíduos não treinados (23 ± 3 anos). Os resultados mostraram que ambos os grupos treinados possuíam maior quantidade de receptores androgênicos por área de fibra muscular no trapézio superior que o grupo não treinado. Além disso, o grupo que utilizava esteróides anabólicos exógenos apresentou maiores valores que o grupo que somente treinava ($P < 0,05$). Curiosamente, essas diferenças ocorreram somente no músculo trapézio superior. Um aspecto que pode ter influenciado no diferente comportamento dos receptores em resposta ao treinamento, entre os dois músculos, é a proporção entre os diferentes tipos de fibra (i.e. tipo I e tipo II) nos músculos avaliados. De fato, Deschenes *et al.*⁽¹⁾, observaram em ratos submetidos a um programa de TF, um aumento no conteúdo de receptores androgênicos somente em músculos com predominância de fibras glicolíticas rápidas, ao passo que em músculo com predominância de fibras oxidativas lentas, houve diminuição nos receptores.

Em outro estudo utilizando seres humanos, Willoughby e Taylor⁽²⁴⁾, submeteram 18 homens jovens a 3 sessões de TF com 3 séries de 8 a 10 RM. Os resultados mostraram que houve aumento significativo na síntese de proteínas, número de receptores e no RNAm desses receptores após as sessões de treino, sendo que esse aumento alcançou seu pico de 202% de aumento, 48 horas após a terceira sessão. Também foi observada uma correlação entre o aumento na testosterona (significativo após todas as sessões) e o aumento no número de receptores ($r=0,89$, $P < 0,05$). Segundo Willoughby e Taylor⁽²⁴⁾, o complexo hormônio-receptor se constitui no elemento central dos mecanismos responsáveis pela mediação dos ajustes ao treinamento de força, como o aumento na força muscular e a hipertrofia induzida por esse tipo de exercício.

Quadro 2. Modificações na testosterona e cortisol em repouso após o treinamento de força.

Autores	População	Treinamento	Resultados
Häkkinen <i>et al.</i> ⁽⁴⁰⁾	Homens halterofilistas de elite jovens	2 anos, 5x/sem	↑ TT
Staron <i>et al.</i> ⁽⁵⁾	Homens e mulheres jovens	8 sem, 3x/sem, 6-12 RM	↑ TT homens
Ryan <i>et al.</i> ⁽²¹⁾	Homens idosos	16 sem, 3x/sem, 5-15 RM	Nenhum aumento
Häkkinen e Pakarinen ⁽²⁾	Homens e mulheres, meia-idade e idosos	12 sem, 3x/sem, 40-80% 1 RM	Nenhum aumento
Nicklas <i>et al.</i> ⁽⁴⁵⁾	Homens meia-idade e idosos	16 sem, 3x/sem, 5-15 RM	Nenhum aumento
Kraemer <i>et al.</i> ⁽⁴⁸⁾	Homens militares jovens	12 sem, 4x/sem, 3-10 RM vs. Treinamento concorrente	↓ COR – grupo TF; ↑ TT e ↑ COR – grupo treinamento concorrente
Kraemer <i>et al.</i> ⁽¹²⁾	Homens jovens e idosos	10 sem, 3x/sem, 3-15 RM	↑ TL jovens
Marx <i>et al.</i> ⁽¹⁸⁾	Mulheres jovens	24 sem, 3-15 RM, séries simples vs. séries múltiplas	↑ TT em ambos após 12 semanas, maior em séries múltiplas
Izquierdo <i>et al.</i> ⁽³³⁾	Homens e mulheres, meia-idade e idosos	16 sem, 3x/sem, 50-80% 1 RM	Nenhum aumento
Häkkinen <i>et al.</i> ⁽²⁰⁾	Homens idosos	21 sem periodizado, 40-80% 1 RM	Nenhum aumento
Ahtiainen <i>et al.</i> ⁽¹³⁾	Homens jovens, previamente treinados vs. não-treinados	21 semanas, 2x/sem, 8-10 RM	↑ TL nos previamente treinados após 14 sem; nenhum aumento após 21 sem
Cadore <i>et al.</i> ⁽⁴⁾	Homens meia-idade treinados vs. não treinados	10 anos de treino em média, 4x/sem, 8-12 RM	Nenhuma diferença em repouso
Ahtiainen <i>et al.</i> ⁽¹⁹⁾	Homens jovens	24 sem, 2x/sem, 10 RM	Nenhum aumento

TT: testosterona total; TL: testosterona livre; COR: cortisol; sem: semana(s); x/sem: nº de sessões semanais; RM: repetições máximas; ↑: aumento; ↓: diminuição.

O aumento observado nos receptores androgênicos musculares após o TF aparenta ocorrer após um período de *downregulation* logo após a sessão de treino. Ratamess *et al.*⁽⁵¹⁾ observaram, em homens adultos jovens, que a resposta aguda desses receptores, uma hora após uma sessão de TF com 6 séries de 10 RM no exercício de agachamento, era de diminuição, fato que não ocorreu após a realização de somente uma série. Possivelmente, isso tenha ocorrido em função do maior catabolismo muscular observado após o protocolo de 6 séries.

Os ajustes nos receptores androgênicos, aparentam ser mecanismos responsáveis pelo aumento da síntese de proteínas decorrente do TF⁽⁵⁾, sendo determinados pelo padrão da resposta aguda da testosterona⁽²⁴⁾. Além disso, foi observado que esse ajuste ocorre logo no início do treinamento, após um período de regulação para baixo imediatamente após o exercício⁽⁵¹⁾.

CONCLUSÕES

Como foi observado nos estudos apresentados na presente revisão,

existe uma relação entre treinabilidade de indivíduos submetidos ao TF e os níveis circulantes de testosterona nesses indivíduos. Por outro lado, fatores ligados à sessão de treino e características da população investigada, aparentam influenciar na resposta hormonal aguda e crônica, o que confere uma plasticidade na resposta do sistema endócrino ao exercício. Além disso, o aumento nos receptores hormonais celulares possuem um papel chave na hipertrofia muscular observada com o TF. Contudo, a determinação de quais fatores possam estar relacionados com a resposta hormonal ao TF pode ser importante para a prescrição de uma sessão de treino e uma periodização que otimizem o ambiente anabólico determinado pela testosterona e pelo cortisol, e sendo assim, maximizar os ajustes neuromusculares decorrentes desse tipo de treinamento.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Deschenes MR, Maresh CM, Armstrong LE, Covault J, Kraemer WJ, Crivello JF. Endurance and resistance exercise induce muscle fiber type specific responses in androgen binding capacity. *J Steroid Biochem Mol Biol* 1994; 50: 175-9.
- Häkkinen K, Pakarinen A. Serum hormones and strength development during strength training in middle-aged and elderly males and females. *Acta Physiol Scand* 1994; 150: 211-9.
- Häkkinen K, Pakarinen A. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *Int J Sports Med* 1995; 16: 507-13.
- Cadore EL, Brentano MA, Lhullier FLR, Silva EM, Spinelli R, Krue LFM et al. Hormonal concentrations at rest and induced by a superset strength training session in long-term strength-trained and untrained middle-aged men. *Abstract book of Annual Congress of European College of Sports Science* 2005; 10: 104-5.
- Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Gordon SE, Falke JE, et al. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 1994; 76: 1247-55.
- Canali ES, Krue LFM. Respostas hormonais ao exercício. *Rev Paul Edu Fis* 2001; 15: 141-53.
- Lu S, Lau C, Tung Y, Huang S, Chen Y, Shih H, et al. Lactate and the effects of exercise on testosterone secretion: evidence for the involvement of cAMP-mediated mechanism. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29: 1048-54.
- Fahrner CL, Hackney AC. Effects of endurance exercise on free testosterone concentration and binding affinity of sex hormone binding globulin (SHBG). *Int J Sports Med* 1998; 19: 2-15.
- Häkkinen K, Pakarinen A, Alen M, Kauhanen H, Komi PV. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol* 1988; 65: 2406-12.
- 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: 494-504.
- Smilios I, Piliandis T, Karamouzis M, Tokmakidis S. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 644-54.
- Kraemer WJ, Häkkinen K, Newton RU, Nindl BC, Volek JS, McCormick M, et al. Effects of resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol* 1999; 87: 982-92.
- Ahtiainen JP, Pakarinen A, Alen M, Kraemer WJ, Häkkinen K. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol* 2003; 89: 555-63.
- Cadore EL, Lhullier FLR, Brentano MA, Silva EM, Spinelli R, Krue LFM, et al. Homens de meia idade treinados e não treinados possuem diferentes respostas hormonais salivares ao treinamento de força. In: Livro de Resumos da XXI Reunião Anual da Federação de Sociedades de Biologia Experimental – Águas de Lindóia 2006: 61.
- Hansen S, Kvorning T, Kjar M, Sjogaard, G. The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: the importance of physiologically elevated hormone levels. *Scand J Med Sci Sports* 2001; 11: 347-54.
- 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.
- Izquierdo M, Ibañez J, Badillo JGG, Häkkinen K, Ratamess NA, Kraemer WJ, et al. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength or power gains. *J Appl Physiol* 2006; 100: 1646-56.
- Marx JO, Ratamess NA, Nindl BC, Gotshalk LA, Volek JS, Dohi K, et al. Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 635-43.
- 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.
- Häkkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, Häkkinen A, Valkeinen H, Alen M. Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *J Appl Physiol* 2001a; 91: 569-80.
- Ryan AS, Treuth MS, Rubin MA, Miller JP, Nicklas BJ, Landis DM, et al. Effects of strength training on bone mineral density: hormonal and bone turnover relationships. *J Appl Physiol* 1994; 77: 1678-84.
- Inoue K, Yamasaki T, Fushiki T, Kano T, Moritani T, Itoh K, et al. Rapid increase in the number of androgen receptors following electrical stimulation of the rat muscle. *Eur J Appl Physiol* 1993; 66: 134-40.
- Inoue K, Yamasaki T, Fushiki T, Okada Y, Sugimoto, E. Androgen receptor antagonist suppresses exercise-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* 1994; 69: 88-91.
- Willoughby DS, Taylor L. Effects of sequential bouts of resistance exercise on androgen receptor expression. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36: 1499-1506.
- Bamman MM, Ship JR, Jiang J, Gower BA, Hunter GR, Goodman A, et al. Mechanical load increases muscle IGF-I and androgen receptor mRNA concentration in humans. *American J Physiol: Endocrinol Metab* 2001; 280: 383-90.
- Häkkinen K, Alen M, Kallinen M, Newton RU, Kraemer WJ. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-training in middle-aged and elderly people. *Eur J Appl Physiol* 2000; 83: 51-62.
- Tsolakis CK, Vagenas GK, Dessypris AG. Strength adaptations and hormonal responses to resistance training and detraining in preadolescent males. *J Strength Cond Res* 2004; 18: 625-9.
- Häkkinen K, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M. Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand* 2001b; 171: 51-62.
- Kadi F, Bonnurd P, Eriksson A, Thornell LE. The expression of androgen receptors in human neck and limb muscles: effects of training and self-administration of androgenic steroids. *Histochem Cell Biol* 2000; 113: 25-9.
- Bhasin SW, Woodhouse L, Casaburi R, Singh AB, Bhasin D, Berman N, et al. Testosterone dose-response relationships in healthy young men. *American J Physiol: Endocrinol Metab* 2001; 281: 1172-81.
- Häkkinen K, Pakarinen A. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol* 1993a; 74: 882-7.
- Häkkinen K, Pakarinen A. Muscle strength and serum testosterone, cortisol and SHBG concentrations in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand* 1993b; 148: 199-207.
- Izquierdo M, Häkkinen K, Ibañez J, Garrues M, Antón A, Zúñiga A, et al. Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men. *J Appl Physiol* 2001; 90: 1497-1507.
- Griggs RC, Kingston W, Jozefowicz RF, Herr BE, Forbes G, Halliday D. Effects of testosterone on muscle mass and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* 1989; 66: 498-503.
- Ramos E, Frontera WR, Llopart A, Feliciano D. Muscle strength and hormonal levels in adolescents: gender related differences. *Int J Sports Med* 1998; 19: 526-31.
- Bross R, Javanbakht M, Bhasin S. Anabolic intervention for aging-associated sarcopenia. *J Clin Endocrinol Metab* 1999; 84: 3420-30.
- Smilios I, Piliandis T, Karamouzis M, Parlavantzis A, Tokmakidis SP. Hormonal responses after strength endurance resistance exercise protocol in young and elderly males. *Int J Sports Med* 2006; 6: [epub a head of print].
- Durand JR, Castracane VD, Hollander DB, Tryniewski JL, Bamman MM, O'neal S, et al. Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 937-43.
- Kraemer RR, Hollander DB, Reeves GV, Francois M, Ramadan ZG, Meeker B, et al. Similar hormonal responses to concentric and eccentric muscle actions using relative loading. *Eur J Appl Physiol* 2006; 96: 551-7.
- Häkkinen K, Pakarinen A, Newton RU, Kraemer WJ. Acute hormonal responses to heavy resistance lower and upper extremity exercise in young versus old men. *Eur J Appl Physiol* 1998b; 77: 312-9.
- Hoffman JR, Im J, Rundell KW, Kang J, Nioka S, Speiring BA, et al. Effects of muscle oxygenation during resistance exercise on anabolic hormone response. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 1929-34.
- Brownlee KK, Moore AW, Hackney AC. Relationship between circulating cortisol and testosterone: influence of physical exercise. *J Sports Sci Med* 2005; 4: 76-83.
- Meskaitis VJ, Harman FS, Volek JS, Nindl BC, Kraemer WJ, Weinstok D, et al. Effects of exercise on testosterone and nitric oxide production in the rats testis. *J Androl Suppl* 1997: 31.
- Kraemer WJ, Fry AC, Warren BJ, Stone, Fleck SJ, Kearney JT, et al. Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. *Int J Sports Med* 1992; 13: 103-9.
- Nicklas BJ, Ryan AS, Treuth MM, Harman SM, Blackman MR, Hurley BF, et al. Testosterone, growth hormone and IGF-I responses to acute and chronic resistive exercise in men aged 55-70 years. *Int J Sports Med* 1995; 16: 445-50.
- Hickson RC, Hidaka K, Foster C, Falduto MT, Chatterton Jr RT. Successive time courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J Appl Physiol* 1994; 76: 663-70.
- Raastad, T, Glomshele T, Bjoro T, Hallen J. Recovery of skeletal muscle contractility and hormonal responses to strength exercise alter two weeks of high-volume strength training. *Scand J Med Sci Sports* 2003; 13: 159-68.
- Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, Harman EA, Deschenes MR, Reynolds K, et al. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* 1995; 78: 976-89.
- Kemmler WK, Lauber D, Engelke K, Weineck J. Effects of single- vs. multiple-set resistance training on maximum strength and body composition in trained postmenopausal women. *J Strength Cond Res* 2004; 18: 689-94.
- Kraemer WJ, Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, Fry AC, Gordon SE, et al. The effects of short-term resistance training on endocrine function in men women. *Eur J Appl Physiol* 1998; 78: 69-76.
- Ratamess NA, Kraemer WJ, Volek JS, Maresh CM, Vanheest JL, Sharmar MJ, et al. Androgen receptor content following heavy resistance exercise in men. *J Steroid Biochem Mol Biol* 2005; 93: 35-42.