

**A MODULAÇÃO HORMONAL MEDIADA PELO TREINAMENTO RESISTIDO
IMPACTA NA HIPERTROFIA MUSCULAR?**

Wanderson Matheus Lopes Machado^{1,2}, João Vítor da Cunha Agostini¹
Claudia Eliza Patrocínio de Oliveira³, Osvaldo Costa Moreira⁴

RESUMO

O presente estudo teve dois objetivos: Identificar se diferentes configurações de Treinamento Resistido (TR) impactam de forma diferente nos níveis hormonais de testosterona, GH e IGF-1; E se as modulações hormonais desencadeadas pelo TR impactam positivamente os níveis de hipertrofia muscular, e se essas modulações são essenciais para que esses processos ocorram. A revisão em questão foi realizada através de pesquisas por meio eletrônico, em sites acadêmicos, como Google Acadêmico, Web of Science, PubMed, sem restrição de data. Foram considerados estudos que analisaram os níveis hormonais estimulados por diferentes configurações de TR e sua relação com a hipertrofia muscular. Foram incluídos estudos que analisaram os níveis hormonais (testosterona, GH e IGF-1) associados ao TR, e foram excluídos estudos que utilizaram modelos animais. Conclusão: O TR influencia o ambiente hormonal pós-exercício, principalmente quando se considera a seleção do exercício, carga, volume e intervalo de descanso, entretanto, esse efeito não está diretamente relacionado ao aumento dos níveis de hipertrofia muscular, e não parece ser um aspecto chave para que a hipertrofia ocorra.

Palavras-chave: Treinamento resistido. Hipertrofia. Testosterona. GH. IGF-1.

ABSTRACT

Does hormonal modulation mediated by resistance training impact muscle hypertrophy?

The present study had two objectives: To identify whether different Resistance Training (RT) configurations have different impacts on testosterone, GH and IGF-1 hormone levels; and whether the hormonal modulations triggered by RT positively impact muscle hypertrophy levels, and whether these modulations are essential for these processes to occur. The review in question was carried out through electronic searches on academic websites such as Google Scholar, Web of Science, PubMed, with no date restrictions. Studies that analyzed the hormone levels stimulated by different RT configurations and their relationship with muscle hypertrophy were considered. Studies that analyzed the hormone levels (testosterone, GH and IGF-1) associated with RT were included, and studies that used animal models were excluded. Conclusion: RT influences the post-exercise hormonal environment, especially when considering exercise selection, load, volume and rest interval; however, this effect is not directly related to increased levels of muscle hypertrophy and does not appear to be a key aspect for hypertrophy to occur.

Key words: Resistance training. Hypertrophy. Testosterone. GH. IGF-1.

1 - Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Saúde da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brasil.

2 - Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

3 - Departamento de Educação Física. Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

4 - Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Viçosa-UFV, Campus Florestal, Florestal, Minas Gerais, Brasil.

Autor de correspondência:

Wanderson Matheus Lopes Machado.

wandersonlmmachado@gmail.com

Doutorando no Programa de Pós-graduação em Educação Física.

Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

E-mail dos autores:

wandersonlmmachado@gmail.com

osvaldo.moreira@ufv.br

cpatrocinio@ufv.br

INTRODUÇÃO

O treinamento resistido (TR) é uma modalidade de exercício físico que tem como objetivos o aumento da força máxima, potência, resistência, diminuição de gordura corporal, melhora do desempenho esportivo, melhora da qualidade de vida (ACSM, 2009).

Além da hipertrofia muscular, que é um resultado almejado em diversos esportes, onde o volume muscular e o correspondente aumento na força e potência, são atributos essenciais para um desempenho otimizado, como no futebol americano, rúgbi, levantamento de peso e fisiculturismo, onde os concorrentes são julgados pela quantidade e qualidade de seu desenvolvimento muscular (Schoenfeld, 2010; Schoenfeld e colaboradores, 2021).

Em um contexto mais geral, a hipertrofia muscular também é almejada por praticantes de musculação recreativos, que apesar de não participarem de competições, buscam desenvolver seus físicos ao máximo (Schoenfeld, 2010).

Contudo, a manutenção da massa muscular esquelética ao longo da vida está associada não só ao desempenho esportivo e/ou estético, mas também é a chave para a regulação da saúde, sendo o exercício físico um fator determinante disso, em parte, devido a sua influência sobre hormônios essenciais, como testosterona, hormônio do crescimento (GH) e fator de crescimento semelhante a insulina (IGF-1) (Gharahdagui e colaboradores, 2021).

Portanto, a melhora da massa muscular apresenta implicações para uma grande variedade de populações associadas aos esportes, saúde ou prática recreativa (Schoenfeld, 2010).

A hipertrofia muscular pode ser subdividida em três: hipertrofia do tecido conjuntivo, hipertrofia sarcoplasmática e hipertrofia miofibrilar. A hipertrofia do tecido conjuntivo corresponde a um aumento no volume da matriz extracelular do músculo esquelético, acompanhado por um aumento de minerais e proteínas.

A hipertrofia sarcoplasmática é consequência de um aumento crônico no volume do sarcolema acompanhado por um aumento no volume de mitocôndrias, retículos sarcoplasmáticos, túbulos T e enzimas sarcoplasmáticas. Já a hipertrofia miofibrilar consiste em um aumento no tamanho das

miofibrilas acompanhadas por um aumento no número de sarcômeros e proteínas sarcoplasmáticas diretamente relacionadas à estrutura ou geração de força contrátil do sarcômero (Haun e colaboradores, 2019).

Para que ocorra a hipertrofia, existem alguns mecanismos e variáveis que devem ser estimulados e/ou utilizados, como: vias miogênicas (Akt/mTOR, MAPK, e as vias dependentes de cálcio), inchaço celular, hipóxia, tensão mecânica, dano muscular, estresse metabólico, variáveis de treinamento (intensidade, volume, seleção de exercícios, intervalo de descanso, falha muscular e velocidade de execução) e hormônios e citocinas (fator de crescimento semelhante a insulina / IGF-1, testosterona, hormônio do crescimento / GH) (Machado e colaboradores, 2022; Schoenfeld, 2010; Schoenfeld, 2013).

Embora esses hormônios sejam fundamentais para a regulação da massa muscular esquelética, sua resposta em diferentes tipos de exercícios e a sua interação com os processos que desencadeiam adaptações na massa muscular esquelética ainda não estão completamente elucidadas.

Por isso, avanços na compreensão sobre os impactos dos hormônios na síntese e degradação muscular são de grande relevância, não só para os atletas, como para populações clínicas e público em geral (Gharahdaghi e colaboradores, 2021).

Nesse sentido, o presente estudo de revisão de literatura teve dois objetivos: Identificar se diferentes configurações de TR impactam de maneira diferente nos níveis hormonais de testosterona, GH e IGF-1; e se as modulações hormonais desencadeadas pelo TR impactam de maneira positiva nos níveis de hipertrofia muscular, e se essas modulações são essenciais para que esses processos ocorram.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo, teve-se o entendimento de revisão narrativa como sendo aquela que não utiliza critérios explícitos e sistemáticos para a busca e análise crítica da literatura e que, portanto, sua busca pelos estudos não precisa esgotar as fontes de informações, por meio da utilização de estratégias de busca sofisticadas e exaustivas. Sendo assim, a busca dos artigos foi realizada nas bases de dados PubMed, Web of Science, e Google Acadêmico, sem restrição de data,

utilizando-se os seguintes termos “Resistance Training” e “Testosterone” ou “GH” ou “IGF-1”, ou os mesmos em português. Após a leitura do título e do resumo, os artigos não relacionados a temática foram descartados. Foram considerados artigos científicos, em inglês e português.

A partir de então, procedeu-se a leitura do trabalho completo para obtenção de informações relevantes e claras, que pudessem elucidar e contribuir com o objetivo proposto.

Além disso, as listas de referências dos materiais selecionados foram consultadas, a fim de inserir estudos que, porventura, apresentassem relevância para a discussão do presente trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Principais Hormônios Anabólicos

As adaptações hipertróficas são mediadas por uma cascata enzimática complexa a partir da tensão mecânica, que é traduzida molecularmente em sinais anabólicos e catabólicos, levando a uma resposta compensatória, que altera o equilíbrio orgânico e favorece a síntese ou a degradação muscular (Schoenfeld, 2013).

Os hormônios esteroides anabólicos e as citocinas desempenham um papel fundamental na resposta hipertrófica, servindo como reguladores de diversos processos (Schoenfeld, 2010).

Em relação à hipertrofia muscular, os três hormônios esteroides anabólicos mais amplamente estudados são o fator de crescimento semelhante à insulina (IGF-1), o hormônio do crescimento (GH) e a testosterona (Schoenfeld, 2010), que são influenciados agudamente pelo TR, principalmente quando executado em intensidades moderadas e curtos intervalos entre as séries. Acredita-se que o alto estresse metabólico associado a essas variáveis (intensidade e tempo de intervalo) potencializa a liberação aguda de hormônios pós-exercício (Schoenfeld, 2013).

Com isso, elevações agudas nesses hormônios têm sido estudadas com a proposição de contribuir para uma melhora no tamanho e força muscular provenientes do TR.

Sendo assim, os indivíduos que apresentam grandes respostas hormonais pós-exercício teriam melhores adaptações decorrentes do treinamento (West e Phillips, 2012).

Respostas Hormonais e Treinamento Resistido

Os programas de TR podem ser manipulados visando uma melhora das respostas hormonais, embora, essas elevações agudas de testosterona, GH e IGF-1 podem, não necessariamente, estimular a hipertrofia muscular e força em longo prazo (Schroeder e colaboradores, 2013).

Em estudo de Wilborn e colaboradores (2009), os autores analisaram as respostas miogênicas a diferentes intensidades de TR, e como resultados encontraram que ambas as cargas utilizadas induziram respostas semelhantes em ambos os marcadores, incluindo IGF-1, ou seja, cargas na faixa de 60 a 85% de 1RM, apresentam aumentos semelhantes no IGF-1.

Já em outro estudo, 14 atletas jovens foram divididos em 2 grupos de treinamento de baixa intensidade (40% de 1RM), que se diferenciavam entre descanso curto (30 segundos) e descanso longo (150 segundos). Em relação à testosterona pós-exercício não foram encontrados aumentos significativos, provavelmente pela baixa magnitude de cargas utilizadas.

Já em relação ao GH e ao IGF-1 pós-exercício, foram encontradas elevações semelhantes entre os grupos, o que pode indicar que, para uma baixa intensidade, o treinamento de intervalo curto não gerou um estresse metabólico maior que o intervalo longo (Fink e colaboradores, 2017).

Corroborando com esses achados, Fink, Kikuchi e Nakazato (2018) encontraram elevações agudas no GH apenas em um programa de treinamento com grande estresse metabólico, caracterizado por intervalo curto, alto volume de repetições e baixas cargas.

Outro estudo, realizado por Buresh, Berg e French (2009), analisaram o efeito de diferentes tempos de intervalo na alteração hormonal, força, hipertrofia e indicadores antropométricos, em 12 homens não treinados.

O protocolo consistiu em 10 semanas de treinamento, sendo dois dias de treino, seguidos de um dia de descanso, sucessivamente. O grupo com intervalo curto realizou 1 minuto de descanso, já o grupo de intervalo maior realizou 2,5 minutos. O treinamento visava à utilização de todos os principais músculos do corpo, divididos entre as duas sessões. Os participantes foram instruídos a consumir um mínimo de 1,7g de

proteína por kg de peso corporal. Os valores de testosterona e cortisol só foram superiores no grupo após primeira semana de treinamento, mantendo-se semelhantes em todo o restante do estudo.

Desse modo, constata-se que o intervalo de descanso, de forma isolada, não induz a alterações hormonais pós-exercício.

Ao se comparar 3 diferentes protocolos de TR: Força (3 séries de 3 repetições a 90% de 1RM e 3 minutos de descanso), Hipertrofia (3 séries de 10 repetições a 70% de 1RM e 1 minuto de descanso) e Potência (3 séries de 6 repetições a 45% de 1RM e 3 minutos de descanso), sendo os protocolos de força e potência equalizados no volume de carga por tempo ($5630 \pm 863\text{kg}$) e o protocolo de hipertrofia apresentando um volume de carga por tempo superior aos demais ($11173 \pm 1737\text{kg}$).

Foi observado que as concentrações de testosterona após o treinamento foram consideravelmente maiores no protocolo que apresentou maior carga e volume por tempo, ou seja, o protocolo chamado de hipertrofia gerou maiores elevações agudas na testosterona do que protocolos de potência e/ou força (Hiscock e colaboradores, 2018).

Em outro estudo, McCaulley e colaboradores (2009), buscaram elucidar as respostas neuroendócrinas de três diferentes protocolos de treinamento: hipertrofia (4 séries de 10 repetições com 75% de 1RM e 90 segundos de descanso), força (11 séries de 3 repetições com 90% de 1RM e 5 minutos de descanso), e potência (8 séries de 6 repetições com 0% de 1RM e 3 minutos de descanso), com volume equalizado. Todos os sujeitos completaram os 3 protocolos e fizeram um dia de descanso.

Apenas o protocolo de hipertrofia apresentou uma mudança adicional nas concentrações de testosterona em relação ao dia de descanso, ou seja, a intensidade e o descanso do exercício promoveram respostas nas concentrações de testosterona, enquanto o volume não foi uma variável impactante nesses níveis.

Na contramão dos estudos anteriores, Nunes e colaboradores (2011) analisaram as alterações em hormônios salivares de 14 jogadoras de basquete de elite, em resposta a três protocolos de treinamento diferentes. Um protocolo de resistência (4 séries de 12 repetições, 60% de 1RM, descanso de 1 minuto), de hipertrofia (1 série de 5RM, 1 série

de 4RM, 1 série de 3RM, 1 série de 2RM e 1 série de 1RM com descanso de 3 minutos, seguido por 3 séries de 10RM com períodos de descanso de 2 minutos) e de potência (3 séries de 10 repetições, 50% de 1RM, descanso de 3 minutos). Os exercícios utilizados foram supino, agachamento e rosca bíceps. Não houve alterações de testosterona salivar significativa em nenhum dos protocolos de treinamento. O cortisol salivar aumentou em todas as condições comparadas ao controle.

Corroborando com o estudo anterior, Cardaci e colaboradores (2020) em seu recente estudo, analisaram os efeitos de duas diferentes sessões de TR nas concentrações musculares de testosterona, DHT e testosterona total sérica. Para tanto, dez homens fisicamente ativos foram submetidos a duas condições de treinamento para o corpo todo.

No protocolo de baixa carga os indivíduos executaram 3 séries de cada exercício a 50% de 1RM até a falha concêntrica. Já no protocolo de alta carga foi utilizada carga de 80% de 1RM, também até a falha concêntrica. O volume total de treino foi equalizado entre as duas visitas. Não foram encontradas diferenças significativas nos hormônios investigados após ambas as sessões de TR.

Deste modo, parece que as cargas de treinamento têm um impacto conflitante nos níveis de testosterona, com dois estudos indicando um efeito positivo, quando realizados na faixa de 75% de 1RM (Hiscock e colaboradores, 2018; McCaulley e colaboradores, 2009), e dois estudos que não apresentaram efeitos, independente dos protocolos utilizados (Cardaci e colaboradores, 2020; Nunes e colaboradores, 2011), enquanto uma ampla faixa de cargas (40 a 85% de 1RM) pode impactar de forma positiva nos níveis de IGF-1 e GH.

A divisão e seleção dos exercícios também é uma variável fundamental no processo de hipertrofia (Schoenfeld, 2010).

Em estudo de Walker e colaboradores (2004), foram analisados dois programas de TR (corpo todo e flexores do cotovelo), durante um período de 10 semanas, em homens saudáveis.

A força, a hipertrofia e indicadores hormonais foram analisados antes e após o período de treinamento. Como resultados, os autores não identificaram diferenças significativas nos ganhos de força e hipertrofia

entre os grupos. Apesar dos ganhos de força que ambos os grupos apresentaram, nenhum deles apresentou diferença nos níveis de IGF-1 pré e pós 10 semanas de TR.

Contraopondo o estudo anterior, West e colaboradores (2010) encontraram elevações nos níveis de GH e IGF-1 em um grupo que realizou um protocolo de TR para flexores do cotovelo seguido de um treino de alto volume de membros inferiores, enquanto o grupo que realizou apenas o treinamento para flexores do cotovelo não obteve a mesma resposta.

De forma semelhante, um estudo investigou a influência das alterações transitórias nos hormônios anabólicos, gerados pelo TR, onde nove indivíduos saudáveis e destreinados realizaram quatro sessões de TR unilateral (duas séries de aquecimento em rosca direta de bíceps com carga gradualmente crescente foram seguidas por rosca bíceps, rosca em martelo e rosca bíceps com antebraço pronado) por semana, durante 11 semanas.

Ainda, durante duas sessões por semana eram adicionados exercícios para membros inferiores (leg press, extensão de joelho e flexão de joelho; Três séries com 10RM e 60-90 s de descanso entre as séries), a fim de induzir alterações nos hormônios anabólicos. Os aumentos agudos de testosterona e GH somente foram encontrados após sessão de flexão de cotovelo adicionado de treino para pernas (Rønnestad, Nygaard, e Raastad, 2011).

Ahtiainen e colaboradores (2003) compararam as respostas hormonais e neuromusculares em detrimento a dois protocolos de TR. O primeiro, protocolo RM (repetições máximas), consistiu em 8 séries totais de exercícios de membros inferiores (leg-press, agachamento e extensão de joelhos) a 12RM. Já o protocolo RF (repetições forçadas) teve a carga ajustada para que os participantes não conseguissem realizar as séries sozinhos, sendo auxiliados até alcançar as 12 repetições. A amostra utilizada consistiu em 16 homens saudáveis e fisicamente ativos. Como resultados, houve aumento significativo nas testosteronas total e livre, GH e cortisol em ambas as condições.

Porém, as alterações de GH e cortisol foram maiores no grupo RF. Uma possível explicação para esse achado é que, quando o TR é realizado com reforço excêntrico, as respostas nas concentrações de GH podem sofrer alterações, principalmente quando se

realiza o treinamento com cargas excêntricas de 90% de 1RM e concêntricas de 70% de 1RM, em relação a um programa tradicional com cargas concêntricas e excêntricas a 70% de 1RM (Ojasto, e Häkkinen, 2009).

Em outro estudo, Walker e colaboradores (2017) buscaram analisar a manutenção das respostas agudas em 2 protocolos de treinamento (tradicional e reforçado excêntricamente), durante um período de 10 semanas em indivíduos treinados. Outros parâmetros, como torque isométrico máximo e massa magra também foram avaliados. Ao final do estudo, os autores concluíram que as respostas hormonais agudas (testosterona e GH) foram mantidas no grupo que executou o treinamento reforçado excêntricamente, mas não no grupo de treinamento tradicional.

Deste modo, parece que o treinamento forçado e o treinamento reforçado excêntricamente atuam positivamente nas respostas de GH e GH e testosterona, respectivamente.

Em um programa de treinamento visando hipertrofia outros parâmetros, como nutrição e descanso devem ser considerados no processo de planejamento. Com isso, Wilk e colaboradores (2018), analisaram os efeitos da suplementação de carboidratos e proteína (whey e caseína), nas concentrações de GH, IGF-1 e insulina. 12 sujeitos fizeram parte de amostra, sendo 6 no grupo experimental e 6 no grupo controle. Ambos os grupos realizaram 12 séries de agachamento com barra a uma carga de 90% de 1RM. Ao final do estudo, os autores concluíram que a ingestão de carboidratos, whey e caseína após o treino de alta intensidade causou um aumento nas concentrações de GH e IGF-1, o que poderia ser um fator estimulante para a hipertrofia muscular.

Em outro estudo, analisando o período pós-treino, Earp e colaboradores (2019), constataram que a imersão em água a 15° C por 15 minutos após a prática de TR, gera um atraso nas respostas de testosterona, quando comparadas com uma recuperação passiva em temperaturas normais. Os autores associam esses resultados a observações prévias que indicaram decréscimo de força e hipertrofia após a realização da imersão pós-exercício.

Assim, é possível considerar que algumas estratégias complementares, como a suplementação nutricional, podem ser associadas ao TR no sentido de otimizar a

secreção dos hormônios anabólicos e, com isso, potencializar os efeitos hipertróficos do TR.

Hipertrofia Muscular e Alterações Hormonais

O estudo de West e colaboradores (2009) teve como objetivo comparar a influência do aumento de hormônios anabólicos (testosterona, GH e IGF-1) no aumento da síntese proteica miofibrilar (MPS) e na fosforilação de proteínas importantes na regulação da tradução de mRNA após uma sessão de exercícios de flexão de cotovelo, em oito homens jovens.

Os participantes realizaram dois protocolos de treinamento, em dias diferentes. Em um momento, realizaram apenas o exercício de flexão unilateral do cotovelo, que consistiu em 4 séries de 10 repetições (~95% 10RM) (Low-Hormone). Em outro momento, realizaram o mesmo treinamento no braço contralateral, porém constituído de 5 séries de 10 repetições e logo após, um treinamento de membros inferiores de alto volume (4 séries de 12 repetições de um bi-set de extensão e flexão de joelhos) (High-Hormone), utilizado para induzir o aumento dos hormônios anabólicos.

Além disso, eram fornecidos 25 gramas de proteína pós-exercício para ambos os grupos, a fim de aumentar a MPS. Neste estudo, os níveis dos hormônios anabólicos tiveram aumento significativo com o treino High-Hormone, mas não em Low-Hormone.

Porém, esse aumento não foi suficiente para causar uma maior MPS nem maior fosforilação das proteínas reguladoras da tradução de mRNA.

Assim, apesar de haver aumento nas concentrações dos hormônios anabólicos, esse não foi suficiente para induzir uma maior resposta anabólica ou resposta aguda de MPS.

Em outro estudo do mesmo grupo, West e colaboradores (2010), buscaram identificar se as elevações hormonais induzidas pelo TR aumentam a força e/ou hipertrofia muscular em homens jovens.

Os voluntários avaliados realizavam um treino para os flexores de cotovelo (ambiente hormonal baixo), e um treino para os flexores de cotovelo seguido de um treino de alto volume de membros inferiores (ambiente hormonal alto).

Não houve elevações hormonais em testosterona, GH e IGF-1 após o protocolo de baixo ambiente hormonal.

Por outro lado, no protocolo de alto ambiente hormonal houve elevações significativas desses hormônios, imediatamente, após 15 e após 30 minutos.

Como resultados, ambos os grupos tiveram aumentos semelhantes em força e hipertrofia. Com isso, os autores chegaram à conclusão de que os aumentos endógenos de hormônios anabólicos não afetam a força e a hipertrofia após 15 semanas de treinamento.

No estudo de West e Phillips (2012), que teve como objetivo investigar as associações das adaptações decorrentes do TR (força, ganhos na massa corporal magra, e aumentos na área de secção transversal do músculo), com as respostas hormonais, após 12 semanas de treinamento se analisou, de forma aguda (120 minutos), as concentrações de GH, IGF-1, testosterona e cortisol.

Os autores não encontraram nenhuma associação entre a força muscular e a adaptação aguda de qualquer um dos hormônios analisados. Já em relação ao aumento da massa corporal magra, apesar de não ter sido observada nenhuma associação com o GH ou a testosterona, os níveis de GH e de cortisol estiveram associados à aumentos na área de secção transversal de fibras do tipo II.

Outro achado do estudo de West e Phillips (2012) foi de que as concentrações de testosterona livre ficaram elevadas em aproximadamente 2 vezes durante o período de 15 a 30 minutos pós-exercício para membros inferiores.

Contudo, essa magnitude de elevação da testosterona induzida pelo TR não foi associada com as adaptações do treinamento (força, aumento na massa corporal magra, e aumento na área de secção transversal do músculo), diferente do que ocorre em administrações exógenas de testosterona (concentrações cronicamente elevadas). Com isso, os autores concluem que não houve associação de testosterona e IGF-1 com as adaptações decorrentes do TR, enquanto GH e cortisol tiveram relação positiva com as mudanças na área de secção transversal do músculo, mas os autores salientam que essa associação foi relativamente fraca e a relevância para a hipertrofia não é clara, já que o GH não é um hormônio anabólico para o tecido muscular contrátil.

Reforçando os estudos anteriores, após 12 semanas de TR, um grupo de pesquisadores (Morton e colaboradores, 2018) analisaram as respostas de hormônios circulantes e hormônios intramusculares (testosterona, testosterona livre, dihidrotestosterona, IGF-1, IGF-1 livre, LH e GH) e sua associação com a hipertrofia muscular em 49 homens treinados.

Como principal achado do estudo, foi constatado que nenhum hormônio sistêmico apresentou associação com o incremento na massa muscular de homens treinados, o que pode significar que as adaptações na massa muscular decorrentes do TR, são sustentadas por fatores intramusculares e não por concentrações hormonais.

Na mesma linha, Fink, Kikuchi e Nakazato (2018) analisaram um grupo de 20 atletas jovens que foram divididos em 2 grupos de treinamento, um grupo de descanso curto e baixa carga (30 segundos, 20 RM), e um grupo de descanso longo e altas cargas (3 minutos, 8 RM). Ambos os grupos treinaram 3 vezes por semana, durante um período de 8 semanas.

Como resultados, analisando-se os parâmetros hormonais, foram identificados aumentos agudos no GH apenas no grupo que realizou um curto intervalo de descanso, o que pode estar relacionado ao estresse metabólico causado pela combinação de baixas cargas, alto volume de repetições e curto intervalo de descanso. Contudo, os aumentos agudos no GH pós-exercício não tiveram relação direta com a hipertrofia muscular.

Em outro estudo com indivíduos treinados, Morton e colaboradores (2016), recrutaram 49 jovens treinados e os dividiram em treinamento de alta intensidade (75 a 90% de 1 RM) e baixa intensidade (30 a 50% de 1 RM) durante o período de 12 semanas. Ambos os grupos tiveram níveis de hipertrofia muscular semelhantes, ou seja, a carga não foi um fator determinante para a hipertrofia muscular, em séries realizadas até a falha concêntrica. Os pesquisadores também buscaram analisar se as respostas hormonais teriam efeito associativo com a hipertrofia muscular, no entanto, não houve nenhuma correlação entre níveis agudos de testosterona, GH e IGF-1 pós-exercício e mudanças na massa muscular dos indivíduos treinados, assim como, não houve mudança nos níveis hormonais decorrentes do TR. Outro estudo analisando diferentes cargas foi realizado por Mangine e colaboradores (2015), que analisaram os efeitos de dois

programas de TR, um de alto volume (10 a 12 repetições com 70% de 1RM e intervalos de 1 minuto) e um de alta intensidade (3 a 5 repetições com 90% de 1RM e intervalos de 3 minutos) durante oito semanas. Os resultados do estudo indicaram que o programa de alta intensidade foi superior ao programa de alto volume na promoção de ganhos em força e hipertrofia de sujeitos treinados, e foi identificado que as melhoras morfológicas dos sujeitos não tiveram associação com as respostas endócrinas de testosterona, GH e IGF-1, sendo os dois últimos hormônios mais alterados pelo protocolo de alto volume.

Mitchell e colaboradores (2013) submeteram 23 jovens homens saudáveis e destreinados a 16 semanas de TR progressivo de corpo inteiro, consistindo em quatro sessões de treinamento por semana. Cada semana possuía dois dias de treino da parte superior do corpo e dois da inferior.

Um dos objetivos do estudo era analisar a relação entre as alterações hormonais sistêmicas pós-exercício e hipertrofia muscular. Como resultado, houve alterações significativas nas concentrações de testosterona livre, GH, IGF-1 e cortisol em repouso.

Porém, tais alterações não foram correlacionadas com a área muscular transversal. Esses achados concordam com outros estudos, mostrando que não há relação entre a alteração aguda dos hormônios anabólicos com a resposta hipertrófica após o TR.

Wilkinson e colaboradores (2006) investigaram o papel do aumento transitório de hormônios anabólicos na hipertrofia muscular durante um TR unilateral.

Para tanto, submeteram 10 homens jovens destreinados, em um programa de treino com uma frequência de três vezes por semana, durante 8 semanas. O treinamento consistia em dois exercícios: leg press e extensão de joelhos a 80-90% de 1RM (média de 6 a 10 repetições até a fadiga) com intervalo de 3 minutos entre as séries.

No decorrer do estudo, a perna treinada teve aumento significativo de força e área seção transversal. Não houve alterações significativas de nenhum dos hormônios dosados, dentre eles testosteronas total e livre, GH, IGF-1 e LH. Com isso os autores concluíram que a hipertrofia encontrada no estudo não foi estimulada por aumento de hormônios anabólicos sistêmicos.

Contrapondo os estudos anteriores, Mangine e colaboradores (2017) analisaram 26 homens treinados, divididos em dois grupos: alto volume (10 a 12 RM e 1 minuto de descanso) e alta intensidade (3 a 5 RM e 3 minutos de descanso). Foram coletadas amostras de sangue, imediatamente, após 30 minutos e após 60 minutos do término da rotina de treinamento, durante a semana 1 e semana 8. Como principal resultado desse estudo, obteve-se que a testosterona esteve relacionada à hipertrofia muscular após o período de 8 semanas de treinamento. Em outro estudo, um grupo de pesquisadores (Rønnestad, Nygaard e Raastad, 2011) investigou a influência das alterações transitórias geradas pelo TR nos hormônios anabólicos. Para tanto, nove indivíduos saudáveis e destreinados realizaram quatro sessões semanais de TR unilateral dos flexores do cotovelo (duas séries de aquecimento em rosca direta de bíceps com carga gradualmente crescente foram seguidas por rosca bíceps, rosca em martelo e rosca bíceps com antebraço pronado) por 11 semanas. Além disso, durante duas sessões por semana eram adicionados exercícios para membros inferiores (leg press, extensão de joelho e flexão de joelho; Três séries com 10RM e 60-90 s de descanso entre as séries), a fim de induzir alterações nos hormônios anabólicos. Os aumentos agudos de testosterona e GH somente foram encontrados após as sessões de flexão de cotovelo adicionadas de treino para pernas. Como conclusões desse estudo, os autores propuseram que, as elevações transitórias de testosterona e GH parecem resultar em uma melhor resposta ao treinamento, melhorando o 1RM e aumentando a área muscular transversal do bíceps.

Especificamente em pessoas idosas, quando comparados o método tradicional de treinamento (3 séries de 8 a 12 repetições máximas e carga constante) e o método pirâmide (3 séries de repetições decrescentes 12/10/8, com incremento de carga em cada série), em mulheres, foi encontrado que, apesar de ambos os métodos promoverem adaptações na força e hipertrofia muscular, em nenhum dos grupos houve mudanças significativas nos níveis séricos de testosterona e IGF-1 (Ribeiro e colaboradores, 2017).

Já em um estudo com homens idosos, Negaresh e colaboradores (2019), recrutaram 31 voluntários, divididos em dois grupos, um grupo com sarcopenia e um grupo sem

sarcopenia. Ambos os grupos realizaram 8 semanas de TR, com 3 sessões semanais. Ao final do estudo os autores concluíram que os níveis de IGF-1 e testosterona eram maiores nos grupos sem sarcopenia, o que pode ter sido um fator determinante para a redução no potencial hipertrófico dos indivíduos com sarcopenia, ou seja, os níveis reduzidos de IGF-1 e testosterona poderiam ser considerados um indicador de um possível sintoma da sarcopenia.

Küüsmaa e colaboradores (2016) analisaram os efeitos de diferentes configurações de TR (força e resistência), realizados em diferentes períodos do dia, na performance, hipertrofia e concentração de hormônios.

Embora o estudo tenha encontrado um efeito adicional nos aumentos na área de secção transversal do grupo que treinou no período noturno, em relação ao grupo que treinou pela manhã, as concentrações de testosterona se mantiveram estatisticamente inalteradas, tanto pela ordem, quanto pelo período de treinamento.

Corroborando com o estudo anterior, Sedliak e colaboradores (2018), que também analisaram o efeito do TR realizado em períodos diferentes (manhã e tarde), não encontraram diferenças nas concentrações de testosterona entre os grupos, que apresentaram aumento na força e hipertrofia.

Já em um contexto clínico, Molsted e colaboradores (2014), analisaram os níveis de testosterona e IGF-1 em pacientes com doença renal crônica submetidos a hemodiálise, onde os pacientes, que realizavam o TR, mantinham os níveis de testosterona e IGF-1 dentro dos níveis ou acima da faixa normal, entretanto eles não obtiveram hipertrofia muscular após o período de treinamento (16 semanas).

CONCLUSÃO

Com base nos estudos analisados na presente revisão, é possível considerar que o TR tem influência no ambiente hormonal pós-exercício (testosterona, GH e IGF-1).

Sendo que, programas de treinamento com cargas altas e baixas parecem não impactar nos níveis de testosterona, enquanto cargas moderadas (aproximadamente 75% de 1RM) parecem ter um efeito ambíguo, o que não torna possível chegar a uma conclusão.

No entanto, quando analisamos GH e IGF-1 podemos notar que uma ampla faixa de

cargas (40 a 85% de 1RM) e características predominantemente metabólicas (alto volume e intervalos curtos de descanso) impactam nos níveis desses hormônios.

Outra variável que parece impactar nos níveis hormonais é a seleção e/ou divisão dos exercícios, onde um treinamento envolvendo um maior número de grupamentos musculares (inclusão de exercícios para membros inferiores) tem efeito positivo nos níveis de testosterona, GH e IGF-1.

Outro aspecto que pode influenciar nas respostas de GH e testosterona é o uso da sobrecarga e do reforço na fase excêntrica do movimento.

Na parte nutricional, a ingestão de whey, caseína e carboidratos após um treinamento de alta intensidade parece impactar de forma positiva as concentrações de GH e IGF-1. Já a imersão em água a 15°C após o treinamento, a fim de potencializar a recuperação parece impactar de forma negativa nas respostas da testosterona.

Apesar do claro impacto do TR nos níveis hormonais, esse efeito parece não exercer um incremento adicional nos níveis de força e/ou hipertrofia muscular, nem ser um fator que deva ser considerado primordial no planejamento do treinamento, ou seja, essas modulações não são essenciais para que esses processos ocorram, pelo menos quando se pensa em indivíduos saudáveis e/ou atletas de alto rendimento.

O único ponto que carece de mais estudos e que talvez possa justificar as necessidades dessas adaptações hormonais, são em sujeitos com sarcopenia, que parecem apresentar níveis hormonais de testosterona e IGF-1 inferiores a sujeitos sem sarcopenia, o que poderia ter relação com o baixo potencial hipertrófico.

REFERÊNCIAS

- 1-ACSM. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 41. Num. 3. 2009. p. 687-708.
- 2-Ahtiainen, J.P.; Pakarinen, A.; Kraemer, W.J.; Häkkinen, K. Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs. maximum repetitions multiple resistance exercises. *International journal of sports medicine*. Vol. 24. Num. 06. 2003. p. 410-418.
- 3-Buresh, R.; Berg, K.; French, J. The effect of resistive exercise rest interval on hormonal response, strength, and hypertrophy with training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. Vol. 23. Num. 1. 2009. p. 62-71.
- 4-Cardaci, T.D.; Machek, S.B.; Wilburn, D.T.; Heilesen, J.L.; Willoughby, D.S. High-Load Resistance Exercise Augments Androgen Receptor–DNA Binding and Wnt/ β -Catenin Signaling without Increases in Serum/Muscle Androgens or Androgen Receptor Content. *Nutrients*. Progression models in resistance training for healthy adults. *Progression models in resistance training for healthy adults*. Vol. 12. Num. 12. 2020. p. 3829.
- 5-Earp, J.E.; Hatfield, D.L.; Sherman, A.; Lee, E.C.; Kraemer, W.J. Cold-water immersion blunts and delays increases in circulating testosterone and cytokines post-resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*. Vol. 119. 2019. p. 1901-1907.
- 6-Fink, J.E.; Schoenfeld, B.J.; Kikuchi, N.; Nakazato, K. Acute and long-term responses to different rest intervals in low-load resistance training. *International journal of sports medicine*. Vol. 38. Num. 02. 2017. p. 118-124.
- 7-Fink, J.; Kikuchi, N.; Nakazato, K. Effects of rest intervals and training loads on metabolic stress and muscle hypertrophy. *Clinical physiology and functional imaging*. Vol. 38. Num. 2. 2018. p. 261-268.
- 8-Gharahdaghi, N.; Phillips, B.E.; Szewczyk, N.J.; Smith, K.; Wilkinson, D.J.; Atherton, P.J. Links between testosterone, oestrogen, and the growth hormone/insulin-like growth factor axis and resistance exercise muscle adaptations. *Frontiers in physiology*. Vol. 11. 2021. p. 621226.
- 9-Haun, C.T.; Vann, C.G.; Roberts, B.M.; Vigotsky, A.D.; Schoenfeld, B.J.; Roberts, M.D. A critical evaluation of the biological construct skeletal muscle hypertrophy: size matters but so does the measurement. *Frontiers in physiology*. Vol. 10. 2019. p. 247.
- 10-Hiscock, D.J.; Dawson, B.; Clarke, M.; Peeling, P. Can changes in resistance exercise

workload influence internal load, countermovement jump performance and the endocrine response?. *Journal of Sports Sciences*. Vol. 36. Num. 2. 2018. p. 191-197.

11-Küüsmaa, M.; Schumann, M.; Sedliak, M.; Kraemer, W.J.; Newton, R.U.; Malinen, J.P.; Nyman, K.; Häkkinen, A.; Häkkinen, K. Effects of morning versus evening combined strength and endurance training on physical performance, muscle hypertrophy, and serum hormone concentrations. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. Vol. 41. Num. 12. 2016. p. 1285-1294.

12-Machado, W.M.L.; Oliveira, C.E.P.; Arantes, F.A.; Matos, D.G.; Maroto-Izquierdo, S.; Moreira, O.C. Resistance training variables on muscle hypertrophy: a systematic review. *Motricidade*. Vol. 18. Num. 2. 2022. p. 27130.

13-Mangine, G.T.; Hoffman, J.R.; Gonzalez, A.M.; Townsend, J.R.; Wells, A.J.; Jajtner, A.R.; Beyer, K.S.; Boone, C.H.; Miramonti, A.A.; Wang, R. LaMonica, M.B.; Fukuda, D.H.; Ratamess, N.A.; Stout, J.R. The effect of training volume and intensity on improvements in muscular strength and size in resistance-trained men. *Physiological reports*. Vol. 3. Num. 8. 2015. p. e12472.

14-Mangine, G.T.; Hoffman, J.R.; Gonzalez, A.M.; Townsend, J.R.; Wells, A.J.; Jajtner, A.R.; Beyer, K.S.; Boone, C.H.; Wang, R.; Miramonti, A.A.; LaMonica, M.B.; Fukuda, D.H.; Witta, E.L.; Ratamess, N.A.; Stout, J.R. Exercise-induced hormone elevations are related to muscle growth. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. Vol. 31. Num. 1. 2017. p. 45-53.

15-McCaulley, G.O.; McBride, J.M.; Cormie, P.; Hudson, M.B.; Nuzzo, J.L.; Quindry, J.C.; Triplett, N.T. Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *European journal of applied physiology*. Vol. 105. Num. 5. 2009. p. 695-704.

16-Molsted, S.; Andersen, J.L.; Eidemak, I.; Harrison, A.P.; Jørgensen, N. Resistance training and testosterone levels in male patients with chronic kidney disease undergoing dialysis. *BioMed Research International*. Vol. 2014. Num. 1. 2014. p. 121273.

17-Morton, R.W.; Oikawa, S.Y.; Wavell, C.G.; Mazara, N.; McGlory, C.; Quadraltero, J.; Baechler, B.L.; Baker, S.K.; Phillips, S.M. Neither load nor systemic hormones determine resistance training-mediated hypertrophy or strength gains in resistance-trained young men. *Journal of applied physiology*. Vol. 121. Num. 1. 2016. p. 129-138.

18-Morton, R.W.; Sato, K.; Gallagher, M.P.; Oikawa, S.Y.; McNicholas, P.D.; Fujita, S.; Phillips, S.M. Muscle androgen receptor content but not systemic hormones is associated with resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy in healthy, young men. *Frontiers in physiology*, Vol. 9. 2018. p. 1373.

19-Mitchell, C.J.; Churchward-Venne, T.A.; Bellamy, L.; Parise, G.; Baker, S.K.; Phillips, S.M. Muscular and systemic correlates of resistance training-induced muscle hypertrophy. *PloS one*. Vol. 8. Num. 10. 2013. p. e78636.

20-Negaresh, R.; Ranjbar, R.; Baker, J.S.; Habibi, A.; Mokhtarzade, M.; Gharibvand, M.M.; Fokin, A. Skeletal muscle hypertrophy, insulin-like growth factor 1, myostatin and follistatin in healthy and sarcopenic elderly men: the effect of whole-body resistance training. *International journal of preventive medicine*. Vol. 10. Num. 1. 2019. p. 29.

21-Nunes, J.A.; Crewther, B.T.; Ugrinowitsch, C.; Tricoli, V.; Viveiros, L.; Rose, D.; Aoki, M.S. Salivary hormone and immune responses to three resistance exercise schemes in elite female athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. Vol. 25. Num. 8. 2011. p. 2322-2327.

22-Ojasto, T.; Häkkinen, K. Effects of different accentuated eccentric loads on acute neuromuscular, growth hormone, and blood lactate responses during a hypertrophic protocol. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. Vol. 23. Num. 3. 2009. p. 946-953.

23-Ribeiro, A.S.; Schoenfeld, B.J.; Fleck, S.J.; Pina, F.L.; Nascimento, M.A.; Cyrino, E.S. Effects of traditional and pyramidal resistance training systems on muscular strength, muscle mass, and hormonal responses in older women: A randomized crossover trial. *The Journal of Strength &*

Conditioning Research. Vol. 31. Num. 7. 2017. p. 1888-1896.

24-Rønnestad, B.R.; Nygaard, H.; Raastad, T. Physiological elevation of endogenous hormones results in superior strength training adaptation. *European journal of applied physiology*. Vol. 111. 2011. p. 2249-2259.

25-Schoenfeld, B.J.; The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. Vol. 24. Num. 10. 2010. p. 2857-2872.

26-Schoenfeld, B.J.; Postexercise hypertrophic adaptations: a reexamination of the hormone hypothesis and its applicability to resistance training program design. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. Vol. 27. Num. 6. 2013. p. 1720-1730.

27-Schoenfeld, B.; Fisher, J.; Grgic, J.; Haun, C.; Helms, E.; Phillips, S.; Steele, J.; Vigotsky, A. Resistance training recommendations to maximize muscle hypertrophy in an athletic population: Position stand of the IUSCA. *International Journal of Strength and Conditioning*. Vol. 1. Num. 1. 2021.

28-Schroeder, E.T.; Villanueva, M.; West, D.D.; Phillips, S.M. Are acute post-resistance exercise increases in testosterone, growth hormone, and IGF-1 necessary to stimulate skeletal muscle anabolism and hypertrophy?. *Medicine and science in sports and exercise*. Vol. 45. Num. 11. 2013. p. 2044-2051.

29-Sedliak, M.; Zeman, M.; Buzgó, G.; Cvecka, J.; Hamar, D.; Laczó, E.; Okuliarova, M.; Vanderka, M.; Kampmiller, T.; Häkkinen, K.; Ahtiainen, J.P.; Hulmi, J.J.; Nilsen, T.S.; Wiig, H.; Raastad, T. Morphological, molecular and hormonal adaptations to early morning versus afternoon resistance training. *Chronobiology international*. Vol. 35. Num. 4. 2018. p. 450-464.

30-Walker, S.; Häkkinen, K.; Haff, G.G.; Blazevich, A.J.; Newton, R.U. Acute elevations in serum hormones are attenuated after chronic training with traditional isoinertial but not accentuated eccentric loads in strength-trained men. *Physiological reports*. Vol. 5. Num. 7. 2017. p. e13241.

31-Walker, K.S.; Kambadur, R.; Sharma, M.; Smith, H.K. Resistance training alters plasma myostatin but not IGF-1 in healthy men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Vol. 36. Num. 5. 2004. p. 787-793.

32-West, D.W.; Burd, N.A.; Tang, J.E.; Moore, D.R.; Staples, A.W.; Holwerda, A.M.; Baker, S.K.; Phillips, S.M. Elevations in ostensibly anabolic hormones with resistance exercise enhance neither training-induced muscle hypertrophy nor strength of the elbow flexors. *Journal of applied physiology*. Vol. 108. Num. 1. 2010. p. 60-67.

33-West, D.W.; Phillips, S.M. Associations of exercise-induced hormone profiles and gains in strength and hypertrophy in a large cohort after weight training. *European journal of applied physiology*. Vol. 112. 2012. p. 2693-2702.

34-West, D.W.; Kujbida, G.W.; Moore, D.R.; Atherton, P.; Burd, N.A.; Padzik, J.P.; De Lisio, M.; Tang, J.E.; Parise, G.; Rennie, M.J.; Baker, S.K.; Phillips, S.M. Resistance exercise-induced increases in putative anabolic hormones do not enhance muscle protein synthesis or intracellular signalling in young men. *The Journal of physiology*. Vol. 587. Num. 21. 2009. p. 5239-5247.

35-Wilborn, C.D.; Taylor, L.W.; Greenwood, M.; Kreider, R.B.; Willoughby, D.S. Effects of different intensities of resistance exercise on regulators of myogenesis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. Vol. 23. Num. 8. 2009. p. 2179-2187.

36-Wilk, M.; Michalczyk, M.; Gołaś, A.; Krzysztofik, M.; Maszczyk, A.; Zajac, A. Endocrine responses following exhaustive strength exercise with and without the use of protein and protein-carbohydrate supplements. *Biology of Sport*. Vol. 35. Num. 4. 2018. p. 399-405.

37-Wilkinson, S.B.; Tarnopolsky, M.A.; Grant, E.J.; Correia, C.E.; Phillips, S.M. Hypertrophy with unilateral resistance exercise occurs without increases in endogenous anabolic hormone concentration. *European journal of applied physiology*. Vol. 98. 2006. p. 546-555.

Recebido para publicação em 22/09/2024
Aceito em 07/11/2024