

REVISTA TÓPICOS

ENDOCRINOLOGIA DO ESPORTE E DO EXERCÍCIO FÍSICO: INFLUÊNCIA DA BIOQUÍMICA HORMONAL NA HIPERTROFIA, METABOLISMO ENERGÉTICO E RECUPERAÇÃO MUSCULAR: UMA REVISÃO DE LITERATURA

DOI: 10.5281/zenodo.16259242

Edson Carlos Zaher Rosa¹

RESUMO

A Endocrinologia do Esporte e do Exercício é uma área que integra os conhecimentos da Fisiologia do Esporte focando em aspectos que tangem a área hormonal humana, estabelecendo o estudo dos eixos como HHA (Hipotálamo-Hipófise-Adrenal), Somatotrófico (GH/IGF-1) e Simpático-Adrenérgico, dentre outros.

Durante o exercício, ocorrem respostas hormonais que envolvem hormônios anabólicos (como a testosterona, GH, IGF-1), catabólicos (o cortisol, as catecolaminas) e exerquinas como irisina e IL-15.

Estes modulam a hipertrofia muscular, lipólise, glicogenólise, sensibilidade à insulina, sinalização mitocondrial via AMPK e consequentemente a recuperação muscular.

A irisina, produzida pelo FNDC5 ativado por PGC-1 α , induz *browning* do

REVISTA TÓPICOS – ISSN: 2965-6672

REVISTA TÓPICOS

tecido adiposo branco, envolve ações anti-inflamatórias e a melhora da homeostase glicêmica.

A IL-15 atua nas vias JAK/STAT e PI3K/Akt estimulando síntese protéica e metabolismo lipídico.

Algumas estratégias clínicas baseadas em treinamento resistido, combinação aeróbio/resistido e nutrição pós-treino são discutidas com foco em performance e a saúde metabólica.

Assim sendo, o objetivo é aprofundar os fundamentos técnicos e oferecer base para prescrições individualizadas que promovam hipertrofia, otimização do metabolismo energético e recuperação muscular eficiente, prevenindo overtraining.

Palavras-chave: Endocrinologia do exercício; Hormônios anabólicos; Cortisol; IGF-1; AMPK; Irisina; Hipertrofia muscular; Metabolismo energético; Exerquinas; Recuperação muscular

ABSTRACT

Sports and Exercise Endocrinology is an area that integrates the knowledge of Sports Physiology by focusing on aspects that touch on the human hormonal area, establishing the study of axes such as HHA (Hypothalamus Pituitary Adrenal), Somatotrophic (GH/IGF 1) and Sympathetic-Adrenergic, among others.

During exercise, hormonal responses occur which involve anabolic hormones (such as testosterone, GH, IGF 1), catabolic hormones (cortisol, catecholamines) and exerkinas such as irisin and IL 15.

These modulate muscle hypertrophy, lipolysis, glycogenolysis, insulin sensitivity, mitochondrial signaling via AMPK and consequently muscle

REVISTA TÓPICOS

recovery.

Irisin, produced by FND5 activated by PGC 1 α , induces browning of white adipose tissue, involves anti-inflammatory actions and the improvement of glucose homeostasis.

IL 15 acts on the JAK/STAT and PI3K/Akt pathways, stimulating protein synthesis and lipid metabolism.

Some clinical strategies based on resistance training, aerobic/resistance combinations and post-workout nutrition are discussed with a focus on performance and metabolic health.

Therefore, the aim is to deepen the technical fundamentals and provide a basis for individualized prescriptions that promote hypertrophy, optimization of energy metabolism and efficient muscle recovery, preventing overtraining.

Keywords: Exercise Endocrinology; Anabólico hormones; Cortisol; IGF-1; AMPK; Irisin; Muscle Hypertrophy; Energy Metabolism; Exerkines; Muscle Recovery

1. Introdução

A Endocrinologia do Esporte e Exercício físico representa um campo de estudo que analisa como o esforço físico modula os eixos hormonais e os processos metabólicos.

Os sistemas Hipotálamo-Hipófise-Adrenal, Somatotrófico e Simpático-Adrenérgico promovem adaptações que sustentam hipertrofia muscular, remodelação mitocondrial e a homeostase energética.

REVISTA TÓPICOS

O presente trabalho analisa os mecanismos bioquímicos hormonais induzidos pelo exercício e suas aplicações clínicas, com enfoque na modulação metabólica e na recuperação muscular ideal.

2. Eixos Hormonais Ativados pelo Exercício

Podemos mensurar que durante o exercício físico, distintos eixos hormonais são ativados de forma aguda e crônica, direcionando uma cascata de transformações metabólicas.

Os hormônios conhecidos como reguladores, tais como o Cortisol, as Catecolaminas (Adrenalina e Noradrenalina) e o Glucagon mobilizam substratos energéticos via gliconeogênese e lipólise, enquanto outros hormônios como o Hormônio do Crescimento (GH) e a Testosterona, promovem síntese protéica e anabolismo, especialmente após exercícios de alta intensidade com intervalos curtos (< 90 s).

Assim sendo, o fator semelhante a Insulina (IGF-1 hepático e local) é ativado via mTOR, PI3K/Akt, promovendo proliferação de células satélites e hipertrofia muscular.

Já alguns hormônios como as Exerquinas (*Irisina* e *IL-15*), têm efeitos sistêmicos anti-inflamatórios, termogênicos e metabólicos.

3. Hormônios Anabólicos e Hipertrofia Muscular

3.1 Hormônio Testosterona

REVISTA TÓPICOS

A testosterona é o principal hormônio androgênico liberado pelas células de Leydig testicular em homens e pelos ovários/placenta em mulheres, com níveis pulsáteis e diurnos.

Esse hormônio esteróide estimula diretamente a síntese protéica nos miócitos via receptores androgênicos, promovendo retenção de nitrogênio e favorecendo a hipertrofia muscular.

O mesmo também participa ativamente da modulação da densidade óssea, perfil lipídico e funções cognitivas nos seres humanos.

Em atletas, a resposta testosterônica ao exercício (resistido ou anaeróbico intenso) pode ser um indicador de receptividade anabólica.

No entanto, o excesso exógeno (esteróides) pode causar supressão endógena, disfunção do eixo HPT e efeitos adversos sistêmicos.

3.2 Hormônio do Crescimento (GH)

O Hormônio do Crescimento (GH) é secretado de forma pulsátil pelo somatotrófico da hipófise anterior, com pico noturno e aumentos significativos após exercícios resistidos e intensos.

Ele estimula a lipólise, via aumento dos hormônios lipase-liberadores e induz a síntese de IGF-1 no fígado e nos tecidos musculares.

Assim sendo, o IGF-1 então ativa a via PI3K/Akt/mTOR, promovendo síntese protéica, expansão de células satélites e regeneração muscular.

REVISTA TÓPICOS

Esses efeitos são modulados pela idade (declínio natural do GH), estado nutricional e qualidade do repouso.

Podemos dizer que com a ativação do IGF-1 se ligando ao receptor IGF-IR, inicia uma cascata de transformação intracelular que ativa PI3K/Akt/mTOR, essencial para crescimento celular e síntese proteica em músculos hiperestressados .

Assim sendo, alguns distúrbios nesses níveis podem prejudicar a hipertrofia e a recuperação.

4. Hormônios Catabólicos e Equilíbrio Endócrino Metabólico

4.1 Cortisol

O cortisol é um hormônio glicocorticoide produzido pelo córtex adrenal em resposta ao ACTH hipofisário, o qual por sua vez é estimulado pelo CRH hipotalâmico durante o exercício intenso.

Ele mobiliza aminoácidos dos músculos, promove a neoglicogênese hepática e incrementa lipólise, garantindo substratos energéticos ao organismo.

No entanto, quando elevado cronicamente, principalmente em condições de overtraining, pode causar degradação protéica excessiva, diminuição da massa muscular, redução da densidade óssea e supressão imunológica.

A razão testosterona/cortisol é usada clinicamente para indicar o equilíbrio entre os processos anabólicos e catabólicos.

REVISTA TÓPICOS

Assim sendo, quando ativado pelo eixo HHA, o Cortisol é essencial na fase aguda para mobilização energética e integridade vascular.

Entretanto, sua elevação crônica prejudica o anabolismo muscular e reduz a síntese de IGF-1, porém atletas treinados apresentam maior conversão de cortisol em cortisona como adaptação fisiológica ao treinamento.

5. Hormônios Tireoidianos - Triiodotironina (T3) e Tiroxina (T4)

Os hormônios T3 e T4 são produzidos pela glândula tireóide e regulam o metabolismo energético basal e adaptativo humano.

O hormônio T3 (Triiodotironina) aumenta a expressão de mitocôndrias e proteínas desacopladoras (UCPs), elevando a termogênese, a taxa metabólica e facilitando a oxidação de lipídios e carboidratos durante o exercício.

Em atletas, níveis subclínicos de hormônios tireoidianos podem resultar em fadiga precoce, diminuição da performance e lentificação da recuperação.

O equilíbrio entre T3 e T4, bem como a atividade de enzimas desiodinases (D1, D2 e D3), determinam a disponibilidade metabólica do T3 nos tecidos.

6. Irisina, IL-6 e outras mioquinas

A Irisina é uma mioquina liberada por meio da clivagem da FNDC5 no músculo durante contração do mesmo que transforma o tecido adiposo branco em marrom, elevando o gasto calórico.

REVISTA TÓPICOS

A Proteólise de FNDC5 induzida por PGC-1 α resulta na liberação de Irisina, onde a mesma promove o *browning* de tecido adiposo branco, aumentando expressão de UCP-1 e consequentemente o gasto calórico.

Diversos estudos demonstram que a Irisina atua na melhora da sensibilidade insulínica e na redução da inflamação crônica sistêmica.

Apesar da variabilidade nos estudos humanos, há consenso sobre sua resposta rápida pós-treino (~15 %) e potenciais efeitos neuroprotetores e metabólicos em obesidade e diabetes.

Já a Interleucina-6 (IL-6), liberada durante o exercício físico, atua localmente mediando a lipólise humana e a mobilização de glicose.

Através de diversas alterações bioquímicas e moleculares mediadas por essa molécula, a Interleucina-6 (IL-6) induz a liberação de IL-10 e IL-1ra, promovendo efeito anti-inflamatório pós-exercício físico.

A Interleucina-15 (IL-15), secretada pelo músculo em contração, estimula JAK/STAT e PI3K/Akt, promovendo síntese protéica, oxidação lipídica e diferenciação muscular.

A IL-15, atua como modulador anti-inflamatório, estimulando células NK e T CD8+ memória, favorecendo o metabolismo glicêmico saudável e a resposta imunológica.

Outro importante componente liberado durante a atividade física é o BDNF e o FGF-21, onde o BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor ou Fator

REVISTA TÓPICOS

Neutrófico Derivado do Cérebro) atua no SNC favorecendo a neuroplasticidade, principalmente em atividades aeróbicas.

Por outro lado, o FGF-21 (Fator de Crescimento Fibroblasto 21) regula o metabolismo energético, favorecendo adaptação em situações de jejum ou esforço prolongado.

Desse modo, podemos dizer que essas mioquinas funcionam como sinalização endócrina entre a musculatura, tecido adiposo, fígado e cérebro, modulando inflamação, homeostase energética e favorecendo adaptações crônicas ao treinamento.

7. Sensibilidade à Insulina e Metabolismo Energético

É sabido que a contração muscular proveniente da liberação de Cálcio (Ca) e mediada por Calmodulina (CaM) em resposta ao exercício físico, ativa o receptor GLUT4 independentemente da insulina, aumentando captação de glicose e síntese de glicogênio.

Essa resposta melhora a sensibilidade insulínica a curto e longo prazo, reduzindo risco cardiometabólico.

8. AMPK e Adaptações Mitocondriais

Podemos dizer que a via AMPK (Proteína Quinase Ativada por AMP) é um verdadeiro sensor de energia metabólica, sendo ativada por aumentos na razão AMP/ATP durante o exercício físico.

REVISTA TÓPICOS

Assim sendo, a AMPK estimula a oxidação de lipídios e a captação de glicose, inibindo a síntese proteica via inibição de mTOR e induzindo ao fenômeno de biogênese mitocondrial via PGC-1 α e NRF-1 .

As adaptações crônicas induzidas pela AMPK, incluem conversão para fibras musculares tipo I, melhoria na capacidade oxidativa e a resistência ao estresse metabólico.

A AMPK também atua após o exercício físico, contribuindo para maior sensibilidade insulínica e recuperação energética.

9. Eixo Hipotálamo-Hipófise-Adrenal (HHA) e o Estresse Físico do Exercício

O eixo HHA é fundamental na resposta fisiológica ao estresse induzido pelo exercício físico, sobretudo em modalidades de alta intensidade ou volume prolongado.

A ativação do HHA culmina na liberação do hormônio Cortisol, um hormônio glicocorticoide com efeito catabólico sobre a musculatura esquelética humana.

Embora essa liberação seja fisiológica e adaptativa em contextos agudos, sua elevação crônica constante, como observada em estados de Overreaching ou Overtrainin, pode comprometer a hipertrofia, imunidade e a recuperação tecidual.

REVISTA TÓPICOS

A avaliação da relação Testosterona/Cortisol é frequentemente utilizada em fisiologia do esporte e exercício, como marcador endócrino de estado anabólico ou catabólico em atletas de alto rendimento.

10. Influência dos Hormônios da Tireóide (T3 e T4) na Potência Mitochondrial e na Termogênese Induzida pelo Exercício.

Os hormônios tireoidianos T3 e T4 exercem influência determinante e direta sobre o metabolismo basal e sobre a eficiência da cadeia respiratória mitocondrial, interferindo diretamente na capacidade de geração de ATP durante o exercício físico.

O hormônio T3 potencializa a expressão de genes ligados à β -oxidação, à síntese mitocondrial e à atividade de proteínas desacopladoras (UCPs), elevando a termogênese e gasto calórico basal.

Alterações subclínicas nos níveis tireoidianos podem comprometer a performance física e atlética, a recuperação pós-exercício física e a composição corporal, especialmente em esportes de endurance e categorias com controle de peso.

11. Papel da Irisina e das Mioquinas no Eixo Músculo-Endócrino

Cada vez mais a ciência descobre que a musculatura esquelética atua como um órgão endócrino, secretando proteínas bioativas denominadas Mioquinas.

REVISTA TÓPICOS

Dentre elas, como já destacado, citamos a Irisina, na qual tem destaque por mediar a conversão de tecido adiposo branco em marrom (browning), aumentando o gasto energético.

A interleucina-6 (IL-6), apesar de conhecida como citocina inflamatória, exerce papel anti-inflamatório no contexto do exercício ao modular a liberação de IL-10 e IL-1ra.

A produção dessas substâncias está diretamente associada ao volume e à intensidade do treino, revelando uma interface endócrino-imuno-metabólica de grande relevância na adaptação crônica ao exercício.

12. Hormônio do Crescimento (GH) e IGF-1: Efeitos Tróficos e Regenerativos no Pós-Treino

O exercício físico, principalmente o resistido de alta intensidade, estimula a secreção pulsátil do Hormônio do Crescimento (GH), que por sua vez induz a produção hepática e tecidual do Fator de Crescimento Semelhante a Insulina (IGF-1) ou também conhecido como Somatomedina C.

Este último exerce uma ação anabólica, favorecendo a síntese protéica, a regeneração de miofibrilas e a proliferação de células satélites musculares.

A sinalização via receptor do IGF-1 ativa as vias PI3K/Akt/mTOR, essenciais para o crescimento muscular, sendo que fatores como idade, estado nutricional, tipo de exercício e qualidade do sono influenciam diretamente essa cascata hormonal regenerativa.

REVISTA TÓPICOS

13. Efeitos Endócrino-Metabólicos dos Esteróides Anabolizantes (EAAs) no Tecido Muscular

A administração exógena de esteróides anabolizantes androgênicos (EAAs) promove hipertrofia muscular acelerada por meio da ativação direta dos receptores androgênicos, aumentando a síntese protéica e reduzindo a degradação muscular.

No entanto, se torna importante destacar que essa manipulação hormonal artificial compromete o eixo Hipotálamo-Hipófise-Gonadal (H-H-G), levando à supressão da espermatogênese, ginecomastia, hepatotoxicidade, dislipidemias, podendo ocasionar efeitos cardiovasculares graves.

O uso crônico e suprafisiológico dos EAAs, pode induzir atrofia testicular, resistência periférica insulínica e remodelamento cardíaco patológico, sendo contra-indicado em práticas esportivas éticas e clinicamente supervisionadas.

14. Ação da Insulina e GLUT4 na Captação de Glicose Pós-Exercício

A atividade física aumenta significativamente a expressão e translocação do transportador GLUT4 para a membrana do miócito, favorecendo a captação de glicose independentemente da insulina.

No período pós-exercício, esse efeito é potencializado, contribuindo para o reabastecimento dos estoques de glicogênio muscular e hepático.

REVISTA TÓPICOS

Assim sendo, a sensibilidade à insulina também é aumentada, o que representa um importante mecanismo de prevenção e controle do diabetes tipo 2.

A associação entre nutrição adequada e exercício físico potencializa essa resposta, sendo fundamental em protocolos de otimização metabólica.

15. Modulação das Exerquinas e Cross-Talk Musculotissular

Como já citado, a Irisina, uma molécula derivada da proteína FNDC5 ativada por PGC-1 α , promove o *browning* do tecido adiposo branco (WAT), elevando a expressão de UCP-1 e potencializando o gasto energético e regulação glicêmica.

Em humanos, seus níveis circulantes correlacionam-se positivamente com massa muscular e negativamente com adiposidade e resistência insulínica.

Paralelamente, interleucina-15 (IL-15), também secretada pelo músculo durante o treinamento resistido, ativa os eixos JAK/STAT e PI3K/Akt, estimulando a síntese protéica e a biogênese mitocondrial via PGC-1 α e PPAR δ , enquanto reduz a massa adiposa visceral.

16. Papel da AMPK na Homeostase Energética e Recuperação

Podemos dizer que a AMPK é um sensor metabólico ativado pelo aumento da razão AMP/ATP, comum durante o esforço físico intenso.

REVISTA TÓPICOS

Seu efeito imediato inclui estimulação da captação de glicose (via GLUT4), oxidação de ácidos graxos e supressão da via mTOR, reduzindo a síntese protéica durante o exercício agudo.

No período de recuperação pós-treino, porém, sinalizações anabólicas como PKB/mTOR/S6K1/eEF2 se sobrepõem, resultando em síntese protéica (FSR) elevada nas primeiras 1–2 h pós-exercício, apesar da AMPK ainda elevada.

Além disso, evidências sugerem que a ativação crônica da AMPK induz adaptações como aumento da capacidade oxidativa, predominância de fibras tipo I e maior biogênese mitocondrial.

17. Integração Hormonal e Metabólica na Hipertrofia e Recuperação

Quando combinadas (resistido + aeróbio), modalidades de exercício intensificam a secreção de hormônios anabólicos (GH, testosterona, IGF-1), Exerquinas e ativação de AMPK, favorecendo o crescimento muscular e adaptação metabólica sustentável.

A insulinosensibilização pós-exercício é aprimorada pela ativação de GLUT4 e inibição da gliconeogênese hepática, promovendo reposição de glicogênio e redução do estresse metabólico.

18. Variáveis Individuais e Cronobiologia.

De acordo com a Cronobiologia e as inúmeras variáveis individuais, se torna importante destacar que fatores como sexo, idade, estado nutricional e

REVISTA TÓPICOS

horário do exercício influenciam a expressão de PGC-1 α , de Irisina e AMPK.

Isso se dá, porque estudos recentes mostram que pessoas treinadas exibem maior ativação de vias anabólicas pós-exercício e que o padrão circadiano (via BMAL1/PGC-1 α 4-FNDC5/Irisina) modula ganhos de força e adaptação metabólica conforme o momento do dia em que o treino é realizado.

Assim sendo, a regulação circadiana do eixo BMAL1/PGC1 α 4-FNDC5/Irisina influencia os resultados do treino, pois exercícios realizados na fase ativa tardia, quando os níveis endógenos de Irisina são máximos, induzem maior hipertrofia e otimização metabólica.

19. Estudos Científicos Avançados – Exerkinas Emergentes, Epigenética e Homeostase Metabólica

19.1. Exerkinas Clássicas e Novos Biomarcadores

Um estudo recente mapeou dezenas de proteínas plasmáticas alteradas após 12 semanas de treino combinado, destacando o CD300LG como potencial novo Exerkine com associações causais com melhora da tolerância à glicose e angiogênese muscular e adiposa.

Revisões sistemáticas evidenciam que exercícios aeróbios e resistidos elevam Exerkinas como IL-6, IL-15, FGF-21, Apelina e suprimem Miostatina, promovendo adaptações metabólicas e inflamatórias positivas em pacientes com T2DM.

REVISTA TÓPICOS

19.2. Irisina: Do Metabolismo à Neuroproteção

Diversos estudos indicam níveis séricos de Irisina inversamente correlacionados com Sarcopenia em idosos, sugerindo seu uso como biomarcador de degeneração muscular e alvo terapêutico potencial.

Foi demonstrado que a Irisina modula via PI3K/Akt/ERK a regeneração muscular e suprime sinais de Miostatina em modelos pré-clínicos, promovendo hipertrofia e preservação mitocondrial .

Em modelos de Alzheimer, a Irisina reduz estresse oxidativo e toxicidade de β -amilóide, atuando também como sinergista de BDNF em neuroplasticidade e cognição .

19.3. SPARC e FGF-21: Reguladores do Metabolismo e Estrutura Óssea

O SPARC (Secreted Protein Acidic and Rich in Cysteine) é secretado em resposta ao exercício e regula a via Wnt/ β -catenina, inibindo adipogênese visceral e promovendo saúde óssea e regeneração músculo-esquelética .

Já o FGF-21(Fator de Crescimento de Fibroblastos 21), liberado pelo músculo e fígado, ativa AMPK/PGC-1 α e aumenta a termogênese, oxidação lipídica e sensibilidade insulínica, com evidência robusta em coortes obesas e diabéticas.

19.4. Epigenética e Transcrição Adaptativa ao Exercício

REVISTA TÓPICOS

O uso de abordagens *multi-ômicas* (transcriptômica, proteômica, epigenômica, single-cell) revelou que estímulos distintos (resistidos vs. aeróbio) alteram a expressão gênica e regulam de forma específica vias anabólicas, cromatina e remodelamento muscular em resposta ao envelhecimento e ao sexo biológico.

Algumas marcas epigenéticas decorrentes do treino, como metilação de DNA e modificações histônicas, instauram “memória de treino” e prolongam a sensibilidade anabólica.

Essa evidência emergente destaca o papel das microRNAs como miR-204, que modula glicólise muscular via HIF-1 α e melhora a glicorregulação em modelos de resistência à insulina.

Os treinos prolongados alteram perfil de metilação do DNA e acetilação de histonas em enhancers musculares, reprogramando a expressão gênica relacionada à resistência, metabolismo e função mitocondrial em modelos humanos longos.

Algumas mudanças persistentes em miRNAs como miR-378, miR-29a, miR-26a e miR-451 diferenciam *high responders* de *low responders* a treinamento resistido, implicando variações epigenéticas individuais.

19.5. Aplicabilidade Clínica e Estratégia de Prescrição Médica

Protocolos de exercício combinados (resistidos + aeróbio) melhoram a secreção de Exerquinas, otimizando o equilíbrio mTOR/AMPK e promovem adaptações metabólicas duradouras.

REVISTA TÓPICOS – ISSN: 2965-6672

REVISTA TÓPICOS

A avaliação personalizada de biomarcadores como AGH, IGF-1, Irisina, FGF-21, CD300LG e microRNAs (ex. miR-204) permite modulação individualizada do treino, alimentação, crononutrição e gerenciamento de estresse, essencial em atletas e pacientes com T2DM, síndrome metabólica ou sarcopenia.

Intervenções que sincronizam treino com janela circadiana e nutrição carbo-protéica adequada maximizam a recuperação, reduzem inflamação e previnem overtraining e disfunções adaptativas.

19.6 CD300LG: Nova Exerkina e Biomarcador de Sensibilidade Insulínica

Perfis proteômicos revelaram mais de 66 proteínas que se modificaram significativamente após 12 semanas de treino combinado resistido + aeróbio.

Dentre elas, destacou-se a CD300LG, um Exerkina que correlaciona com melhor sensibilidade à Insulina e angiogênese nos tecidos muscular e adiposo; Evidências de randomização mendeliana indicam papel causal dessa proteína em homeostase glicêmica.

19.7. miR-204 e Glicólise Muscular Mediada por HIF-1 α

Estudos em modelos murinos de exercício crônico e hipóxia muscular demonstraram a indução de miR-204 via HIF-1 α , resultando em aumento de enzimas glicolíticas e maior relevância glicêmica pós-prandial.

REVISTA TÓPICOS

O Spike muscular de miR-204 promoveu degradação glicolítica, sugerindo papel adaptativo em condições de resistência à insulina.

19.8. MicroRNAs Regulando Autofagia e Hipertrofia Cardíaca Fisiológica

Podemos dizer que o exercício físico freqüente pode induzir a hipertrofia cardíaca fisiológica com ativação autofágica.

Foi observado uma elevação de micro RNAs como miR-26b-5p, miR-204-5p e miR-497-3 nos corações de ratos treinados e foi suprimido o IGF-1, induzindo hipertrofia em culturas de Cardiomiócitos, via regulação de ULK1, LC3B e Beclin-1.

20. Modulação Endócrina do Sono e sua Influência na Recuperação Muscular

A qualidade do sono exerce papel fundamental na liberação noturna do Hormônio do Crescimento (GH) e da Testosterona, ambos indispensáveis para o reparo e regeneração tecidual.

Já a privação de sono ou distúrbios do ritmo circadiano reduzem a sensibilidade à insulina, aumentam os níveis de Cortisol e assim, comprometendo o desempenho físico.

Por outro lado, o hormônio Melatonina, além de regular o ciclo circadiano, apresenta propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, contribuindo para o ambiente anabólico.

REVISTA TÓPICOS

Desse modo, a arquitetura do sono deve ser cuidadosamente monitorada em atletas e praticantes avançados de exercício físico.

Importante destacar que a integração de janela circadiana, ingestão carboproteica pós-treino e monitoramento hormonal são fundamentais para otimizar mTOR vs AMPK, prevenir overtraining e melhorar performance metabólica.

21. Conclusão

A Endocrinologia do Esporte e do Exercício Físico representa um campo interdisciplinar essencial para a compreensão dos mecanismos fisiológicos que regulam o desempenho, a adaptação muscular e o metabolismo energético em praticantes de atividade física.

A integração entre os diversos eixos hormonais, como o HHA, HPT, eixo GH/IGF-1, além da sinalização por mioquinas e adipocinas, revelam uma complexa rede bioquímica que responde dinamicamente ao estresse mecânico do exercício físico.

A adequada modulação hormonal induzida pelo treinamento, favorece a hipertrofia muscular, otimiza a utilização de substratos energéticos, regula o sistema imune e acelera a recuperação tecidual.

Esses aspectos fundamentais não apenas para atletas de elite, mas também para indivíduos com doenças metabólicas, sarcopenia ou em fins de reabilitação física.

REVISTA TÓPICOS

Por outro lado, o uso indevido de hormônios exógenos, como os esteróides anabolizantes (EAAs), rompem essa homeostase fisiológica e podem implicar riscos sistêmicos severos.

Assim sendo, compreender os fundamentos bioquímicos e hormonais do exercício físico, permite intervenções mais precisas na prescrição de treinamento, no suporte nutricional e na conduta médica, promovendo um estado metabólico otimizado para a saúde e performance.

Como visto, evidências atuais integram novas fronteiras da Medicina e Fisiologia do Exercício, tais como as Exerkinas emergentes (como CD300LG), microRNAs específicos (miR-204, miR-378), modificações epigenéticas e correlações clínicas robustas com saúde metabólica e cardiovascular.

Esse arcabouço científico oferece base sólida para personalização profissional avançada em Endocrinologia e Fisiologia do exercício, performance e longevidade.

A educação médica contínua nessa área torna-se imprescindível para a formação de profissionais capacitados na condução ética e segura de estratégias em medicina e fisiologia esportiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hackney AC. Stress and the neuroendocrine system: the role of exercise as a stressor and modulator of stress. *Sports Med.* 2006;36(12):977–997. Disponível em: <https://doi.org/10.2165/00007256-200636120-00004>

REVISTA TÓPICOS – ISSN: 2965-6672

REVISTA TÓPICOS

Iwen KA, Schroder E, Brabant G. Thyroid hormones and the control of metabolism: The role of deiodinases. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2013;16(4):389–395. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e328361c8b1>

Pedersen BK, Febbraio MA. Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiol Rev*. 2008;88(4):1379–1406. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/physrev.90100.2007>

Kraemer WJ, Ratamess NA. Endocrine responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(1):1–10. Disponível em: https://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/1998/01000/Endocrine_responses_to_resistance_exercise.1.aspx

Nieschlag E, Vorona E. Medical consequences of doping with anabolic androgenic steroids: effects on reproductive functions. *Eur J Endocrinol*. 2015;173(2):R47–R58. Disponível em: <https://doi.org/10.1530/EJE-15-0080>

Richter EA, Hargreaves M. Exercise, GLUT4, and skeletal muscle glucose uptake. *Physiol Rev*. 2013;93(3):993–1017. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/physrev.00038.2012>

Dattilo M, Antunes HKM, Medeiros A, et al. Sleep and muscle recovery: endocrinological and molecular basis for a new and promising hypothesis. *Med Hypotheses*. 2011;77(2):220–222. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.04.017>

REVISTA TÓPICOS

¹ Doutor em Medicina (MD). Mestre em Medicina e Cirurgia (M.Sc). Doutor em Medicina e Cirurgia (Ph.D). Pós-doutor em Medicina e Cirurgia (Post-Doc). Pós graduado em Medicina Interna / Clínica Médica, Patologia Humana Geral, Medicina do Esporte, Endocrinologia e Metabologia, Fisiologia Médica Geral e Fisiologia Endócrina Feminina. E-mail: metaboclinic@yahoo.com