

**Treinamento intervalado de alta intensidade e estresse oxidativo: uma breve
apresentação**

High-intensity interval training and oxidative stress: a brief presentation

**Entrenamiento a intervalos de alta intensidad y estrés oxidativo: una breve
presentación**

Recebido: 07/07/2020 | Revisado: 11/07/2020 | Aceito: 13/07/2020 | Publicado: 31/07/2020

Lúcio Marques Vieira Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5721-0725>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: profedf.luciomarkes@gmail.com

Rôas de Araújo Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0429-1709>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: roas.araujo@gmail.com

Jéssica Denielle Matos dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7950-3617>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: jessicadenielle@hotmail.com

Jymmys Lopes dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1433-2041>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: jymmyslopes@yahoo.com.br

Luana Santos Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9972-6415>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: luanacosta159@gmail.com

José Uilien de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1945-0645>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: uilien1000@gmail.com

Roberto Jerônimo Santos Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4578-7666>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: rjeronimoss@gmail.com

Charles dos Santos Estevam

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6940-6891>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: cse.ufs@gmail.com

Resumo

O presente estudo descritivo tem o objetivo de realizar um levantamento bibliográfico dos principais estudos acerca do treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e do estresse oxidativo, possibilitando a sistematização das informações acerca dos seus principais conceitos. Ainda há muitas controvérsias sobre as duas temáticas e a relação entre elas. Depois da seleção dos artigos, foram definidas categorias para descrever os conceitos que norteiam as temáticas apresentadas. Sendo descrito os principais conceitos de HIIT, radicais livres, estresse oxidativo, espécies reativas de oxigênio, sistemas de defesa antioxidante endógenos e exógenos e a relação entre o treinamento intervalado e o estresse oxidativo. Assim, o HIIT pode contribuir de maneira dual sobre o organismo, entre os seus efeitos deletérios são evidenciados o aumento do estresse oxidativo, diminuição do desempenho e a fadiga. Todavia, alguns estudos demonstram que os ajustes fisiológicos do HIIT proporcionam efeitos benéficos na saúde, principalmente na capacidade oxidante, sendo necessário estudos mais aprofundados para identificar outros eventos intracelulares que o HIIT pode ocasionar relacionando ao estresse oxidativo.

Palavras-chave: Treinamento intervalado de alta intensidade; Estresse Oxidativo; Radicais Livres.

Abstract

The present descriptive study aims to carry out a bibliographic survey of the main studies about high-intensity interval training (HIIT) and oxidative stress, enabling the systematization of information about its main concepts. There are still many controversies about the two themes and the relationship between them. After selecting articles, categories were defined to describe the concepts that guide the themes presented, describing the main concepts of HIIT,

free radicals, oxidative stress, reactive oxygen species, endogenous and exogenous antioxidant defense systems and the relationship between interval training and oxidative stress. Thus, HIIT can contribute in a dual way on the organism, and among its deleterious effects, increase of oxidative stress, decreased performance and fatigue stand out. However, some studies have demonstrated that the physiological adjustments of HIIT provide beneficial effects on health, especially on the oxidizing capacity, and further studies are needed to identify other intracellular events related to oxidative stress that HIIT may cause.

Keywords: High-intensity interval training; Oxidative stress; Free radicals.

Resumen

El presente estudio descriptivo tiene el objetivo de realizar un relevamiento bibliográfico de las principales investigaciones sobre del entrenamiento de intervalos de alta intensidad (HIIT) y del estrés oxidativo, posibilitando la sistematización de la información acerca de sus principales conceptos. Todavía existen muchas controversias sobre los dos temas y la relación entre ellos. Después de seleccionar los artículos, se definieron las categorías para describir los conceptos que nortean las temáticas presentadas. Se describieron los principales conceptos de HIIT, radicales libres, estrés oxidativo, especies reactivas de oxígeno, sistemas de defensa antioxidante endógenos y exógenos y la relación entre el entrenamiento de intervalos y el estrés oxidativo. De ese modo, el HIIT puede contribuir de dos maneras sobre el organismo, entre sus efectos deletéreos se muestra el aumento del estrés oxidativo, la disminución del rendimiento y la fatiga. Algunos estudios También demuestran que los ajustes fisiológicos del HIIT proporcionan efectos benéficos para la salud, principalmente en la capacidad oxidante, siendo necesario estudios más profundos para identificar otros eventos intracelulares que el HIIT puede ocasionar relacionando al estrés oxidativo.

Palabras clave: Entrenamiento de intervalos de alta intensidad; Estrés Oxidativo; Radicales Libres.

1. Introdução

Atualmente, há vários estudos ressaltando sobre o treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) e seus benefícios relacionados a melhoria das capacidades físicas (García-Hemoso et al., 2016; Monks et al., 2017; García-Pinillos et al., 2017), bem como, suas contribuições para melhoria da saúde de populações especiais, como: cardiopatas e diabéticos (Cassidy et al., 2017; Dun et al., 2019).

Este treinamento é caracterizado por curtos intervalos de exercício físico rigoroso, com intervalos de descanso passivos ou ativos de baixa intensidade, proporcionando alterações metabólicas e fisiológicas semelhante a outros tipos de treinamento, tendo o diferencial da otimização do tempo, o qual tem ganhado popularidade devido aos seus benefícios, promovendo aumentos do Vo₂máx e função ventricular, além de sensibilidade a insulina e melhoria da pressão arterial (Belmonte et al., 2018).

Mesmo trazendo alterações importantes que visam a melhoria do desempenho e da saúde do indivíduo, a prática frequente do treinamento de alta intensidade pode apresentar riscos para performance, aumentando a suscetibilidade a lesões, podendo promover a fadiga central ou periférica (Lewis et al., 2018). Assim, para identificação desses estados biológicos, biomarcadores são utilizados como forma de mensurar ou indicar a presença de moléculas que podem ser detectadas facilmente nos fluídos biológicos (Finsterer, 2012).

Um dos biomarcadores de fadiga muscular durante o exercício é relacionada ao estresse oxidativo, caracterizado pela maior produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), sendo a superprodução refletida em marcadores de peroxidação lipídica, peroxidação proteica e capacidade total antioxidante, podendo causar danos metabólicos, e interferir no desempenho (Finsterer, 2012). Um biomarcador bastante utilizado para a detectar a presença de dano oxidativo em biomoléculas é o malondialdeído (MDA), que é produto intermediário da oxidação de lipídios (Ayala, Muñoz & Argüelles, 2014).

Fisher et al. (2011) demonstraram que imediatamente após uma sessão de HIIT a concentração de MDA aparece elevada. Embora, com o treinamento, observa-se o aumento do sistema de defesa antioxidante e diminuição dos marcadores de dano oxidativo, sugerindo assim, uma possível adaptação (Bogdanis et al., 2013).

Devido aos avanços na literatura sobre o HIIT e o estresse oxidativo, é um momento apropriado para resumir e organizar o conhecimento sobre os efeitos, causas e consequências do HIIT na produção do estresse oxidativo, uma vez que não foram encontradas revisões sistemáticas. Assim, esta revisão crítica tem o objetivo de realizar um levantamento bibliográfico de estudos acerca do HIIT e do estresse oxidativo possibilitando a sistematização das informações acerca dos seus principais conceitos.

2. Metodologia

Esta pesquisa trata-se de uma revisão crítica da literatura, a opção deste tipo de revisão foi pela busca e análise sobre o tema em questão e tendo o objetivo de apresentar e sintetizar

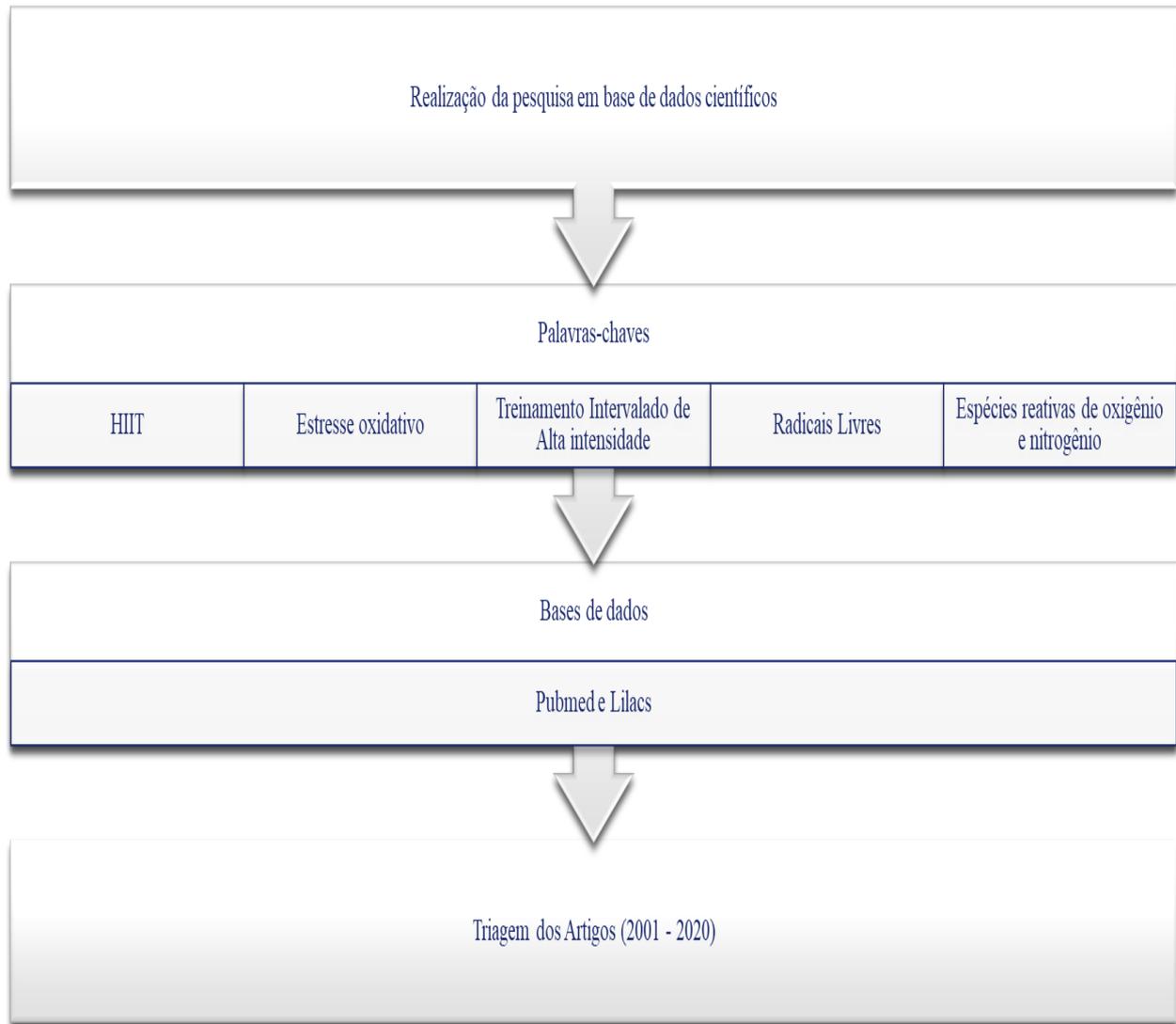
os resultados de diversos estudos primários. Para isto foram seguidas como modelo as etapas do estudo de Paixão et al. (2014), onde foram definidas as questões norteadoras, seleção de palavras chave, definição do material bibliográfico e organização das categorias a serem descritas. Dessa forma, este artigo procurou responder: Quais os principais conceitos apresentados na literatura científica acerca do HIIT e do estresse oxidativo?

Para identificação dos estudos foi realizado um levantamento bibliográfico, utilizando as palavras-chaves: HIIT e estresse oxidativo/oxidative stress and HIIT; high intensity interval training/treinamento intervalado de alta intensidade; radicais livres/free radicals; espécies reativas de oxigênio/oxygen-reactive species; espécies reativas de nitrogênio/reactive nitrogen species. Foram selecionados artigos dos indexadores Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE) (via PubMed) e Literatura Latino- Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) (via Biblioteca Virtual da Saúde).

Os critérios para seleção dos artigos foram: idioma inglês, artigo original experimentais clínicos realizados com humanos publicados na íntegra e indexados pelos termos dos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) citados anteriormente. A língua inglesa foi escolhida, uma vez que o inglês dominante na literatura científica mundial (Ammon, 2012; Di Bitetti, & Ferreras, 2017). Consideramos elegíveis os artigos que abordavam os conceitos dos efeitos do estresse oxidativo associados ao HIIT sobre os marcadores de danos oxidativos com estudos entre os anos de 2001 a 2020 publicados em importantes periódicos científicos. Nesse sentido, com base nos principais achados foi formulada uma revisão crítica.

Apresenta-se na Figura 1 o fluxograma do delineamento da pesquisa com a sequência utilizada desde as palavras-chaves, as bases de dados e o período de triagem dos resultados.

Figura 1. Fluxograma delineamento da pesquisa.



Fonte: Autoria própria.

Desta forma a figura acima destaca o objetivo de descrever por meio do levantamento bibliográfico os principais estudos acerca do HIIT e do estresse oxidativo para ser feita uma sistematização das informações acerca dos seus principais conceitos.

3. Resultados e Discussão

Dentre os estudos analisados apenas quatro foram considerados elegíveis para a presente revisão conforme Tabela 1. O estudo de Bogdanis et al. (2013), avaliou os marcadores de estresse oxidativo e dano muscular após uma sessão aguda e após 3 semanas de treinamento em uma amostra composta por 8 jovens adultos, o intervalo entre as sessões

foram de 48h a 72h. O HIIT consistia em sprints de 30 segundos na bicicleta cicloergométrica com intervalos de 4 minutos entre os sprints. Enquanto o estudo realizado por Deminice et al. (2010) avaliou o efeito de uma única sessão de HIIT sobre os marcadores de dano oxidativo e o sistema antioxidante. A sessão única foi executada em piscina semiolímpica, os participantes realizaram 8 séries de 100 metros nadando, com intervalo de 10 minutos entre cada série, as amostras de sangue foram coletadas 10 minutos antes e imediatamente após o HIIT.

Foram analisados também dois estudos envolvendo o mesmo autor Cipryan (2017; 2018). O primeiro avaliou o efeito do HIIT sobre marcadores da função cardiorrespiratória, dano oxidativo e resposta imune. O estudo envolveu a participação de 30 indivíduos saudáveis classificados de acordo com o nível de treinamento “bem treinados”, “moderadamente treinados” e “destreinados”, em seguida foram submetidos ao protocolo de HIIT que consistia em 6 séries de corrida de alta intensidade sobre a esteira ergométrica com duração de 2 minutos, separados por intervalos de 2 minutos entre as séries e as amostras coletadas após 30 minutos do término da sessão. Todavia o outro estudo apresentava amostra de 12 indivíduos moderadamente treinados, e consistia em 3 sessões de 12 minutos de exercício na esteira ergométrica, a cada sessão os participantes realizavam um tipo de protocolo de HIIT utilizando diferentes tempos entre os períodos ativos e de repouso, sendo eles “15/15”, “30/30” e “60/60”, após cada sessão o sangue foi coletado para análise da capacidade antioxidante, dano muscular e resposta imune.

Tabela 1. Estudos elegíveis.

| Autores | Amostra | Metodologia | Principais resultados |
|-------------------------------|---|--|---|
| Bogdanis et al. (2013) | 8 jovens adultos, fisicamente ativos, do sexo masculino | Todos os participantes foram submetidos a 9 sessões de HIIT no cicloergômetro | Efeito agudo após 1 sessão: ↑ TBARS, ↑ PC e ↑CK Efeito após 9 sessões: ↓ TBARS, ↓ PC, ↑ GPX, ↑CATALASE |
| Cipryan (2018) | 30 jovens adultos saudáveis, do sexo masculino | Todos os participantes foram submetidos a 2 sessões de HIIT na esteira ergométrica | ↑ TAC e ↑ IL-6 |
| Deminice et al. (2010) | 10 Atletas de natação, 8 do sexo masculino e 2 do sexo feminino | Todos os participantes foram submetidos a 1 sessão de HIIT na piscina | ↑ Ácido Ascórbico, ↑ TBARS, ↑ GSH e ↑ CK |
| Cipryan (2017) | 12 jovens adultos, moderadamente treinados | Todos os participantes foram submetidos a 3 sessões de HIIT na esteira ergométrica | ↑ TAC, ↑ IL-6 e ↑ LDH |

Legenda: TBARS = Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico; PC = Proteína Carbonilada; GPX = Glutathione Peroxidase; TAC = Capacidade Antioxidante Total; IL-6 = Interleucina-6; GSH = Glutathione Redutase; LDH = Lactato Desidrogenase.

Fonte: Autoria própria

Na tabela acima são apresentados os estudos elegíveis com os respectivos autores, o tipo da amostra utilizada no estudo, além da metodologia e os principais resultados.

O que é Treinamento Intervalado de Alta Intensidade (HIIT)?

O HIIT é caracterizado por repetidas sessões de exercício relativamente intenso intercalados por períodos de recuperação, dependendo do tipo de protocolo utilizado este tipo de treinamento pode exercer adaptações relacionadas ao treinamento de *endurance* e/ou

treinamento resistido (MacInnis & Gibala, 2017). Dessa forma, as vias fisiológicas estimuladas por cada tipo de exercício exercem papéis fundamentais na diferenciação das respostas individuais a eles.

Há vários tipos de protocolos de HIIT, desde o curto com atividades menores que 60 segundos, seguidos de intervalos de descanso passivo ou ativo, com intensidade de 100 à 120% do $VO_{2máx}$; ao HIIT longo com duração de esforço maiores que 1 minuto, intervalos de descanso acima de 1 minuto, com intensidade de 90 à 100% do $VO_{2máx}$; Sprint interval training (SIT) com 20 a 30 segundos de atividade com recuperação passiva ou ativa de 2 à 4 minutos em intensidade All Out; Treinamento de Sprints Repetidos (RST) são sprints feitos repetidas vezes, caracterizado por esforço de 3 a 7 segundos e descansos passivos ou ativos, com intervalos maiores que 60 segundos e intensidade All Out (Buchheit & Laursen, 2013).

A prescrição do HIIT deve-se levar em conta vários fatores, como: intensidade do trabalho, intervalos de descanso e duração; devendo-se levar em conta o princípio de individualização (Cipryan, 2018). Atualmente, sugere-se a implementação do HIIT na periodização de atletas durante a sua preparação, tendo como impacto o aumento da capacidade aeróbia, anaeróbia e estímulo anabólico (Sheykhlovand et al., 2016).

Radicais Livres (RL), espécies reativas de oxigênio (EROS) e espécies reativas de nitrogênio (ERN)

Os radicais livres (RL) são átomos que possuem um ou mais elétrons não pareados nos orbitais externos, sendo instáveis e altamente reativos com proteínas, lipídios e DNA, ligando seus elétrons desemparelhados a outros elementos e estruturas celulares, podendo ser um radical redutor ou oxidante, gerados em processos aeróbios como a respiração celular, infecções envolvendo o recrutamento de células fagocitárias, durante atividade física intensa (Finkel & Holbrook, 2000; Vezzoli et al., 2016). Dentre eles podem-se citar: os radicais superóxido ($O_2\bullet$), hidroxila ($OH\bullet$), alcóxila ($RO\bullet$), peróxila ($ROO\bullet$), hidroperóxila ($OOH\bullet$), o ácido hipocloroso ($HOCL$), o óxido nítrico ($NO\bullet$) e o oxigênio singlete (O_2^-) (Pisoschi & Pop, 2015).

O radical superóxido é produzido nas mitocôndrias, especificamente no complexo I e III da cadeia transportadora de elétrons, a partir de uma reação de redução em que o oxigênio molecular (O_2) ganha um elétron da dinucleotídeo de nicotinamida em sua forma reduzida (NADH) e da dinucleotídeo de flavina e adenina em sua forma reduzida ($FADH_2$), como também, no citosol celular, através da ação do complexo NADPH, sendo então

posteriormente, dismutado espontaneamente ou através da ação da enzima superóxido dismutase (SOD) na matriz mitocondrial ou no citosol celular produzindo peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ou convertido em água (H_2O) pela glutathione peroxidase (GPx), peroxirredoxinas (PRx) ou catalase (CAT) (Schieber & Chandel, 2014).

O H_2O_2 pode ser considerado como um não radical com um tempo de meia vida relativamente longo se comparado com os RL propriamente ditos, ele se difunde rapidamente através das membranas mitocondriais internas e externas chegando ao citosol (Finkel & Holbrook, 2000). A $OH\cdot$ entre as EROS é o quimicamente mais reativo, atacando de forma inespecífica biomoléculas incluindo os lipídios, ele pode ser formado a partir de um sistema onde o íon Fe^{2+} reage com o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) através da reação de Fenton gerando $OH\cdot$, o qual, apresenta papel importante na peroxidação lipídica (Lipinski, 2011).

A peroxidação lipídica é um dos principais biomarcadores de dano tecidual mediado por radicais livres, ela pode ser definida como processo cujo oxidantes como RL atacam lipídios contendo duplas ligações entre carbonos, especialmente os ácidos graxos poli-insaturados, que são mais susceptíveis à peroxidação lipídica por possuírem maior número de ligações insaturadas (Catalá, 2013).

O radical $OH\cdot$ reage com o ácido graxo retirando um hidrogênio alélico de sua estrutura formando o radical lipídico ($L\cdot$), que reage de forma rápida com O_2 , gerando o radical peroxila ($LOO\cdot$), esse sequestra um H^+ , formando novo lipídio e peróxido lipídico ($LOOH$), dando continuidade a reação lipoperoxidação. O $LOOH$ após ciclização produz endoperoxidos bíciclicos, este por sua vez, sofre clivagem formando assim o malondialdeído (MDA), um produto secundário da oxidação de lipídios poli-insaturados bastante utilizado como biomarcados de estresse oxidativo associados a condições clínicas (Ayala, Muñoz & Argüelles, 2014).

Assim, o estresse oxidativo (EO) é definido como uma produção excessiva de EROs que não podem ser contrabalanceadas pela ação do sistema oxidante, essas são produzidas por diversas organelas intracelulares incluindo a mitocôndria, retículo endoplasmático e peroxissoma, em conjunto por várias enzimas como as NADPH oxidases (NOXs), oxigenases e óxido nítrico sintase (NOS) que geram espécies reativas como parte de suas reações enzimáticas (Pisoschi & Pop, 2015).

A oxidação de aminoácidos, lipídios e DNA induzidas pelas EROs podem comprometer a capacidade funcional de determinadas moléculas. A oxidação de aminoácidos contendo enxofre como metionina e cisteína, modulam alterações reversíveis e irreversíveis na estrutura de diversas proteínas, alterando consequentemente sua função fisiológica. As

proteínas que contém grupos tióis (-SH) conservados em resíduos de cisteína são sensíveis a reações redox, os grupos sulfidrilas na cadeia lateral dessas proteínas são suscetíveis a reações de transferência de elétrons (Moran, Gutteridge & Quinlan, 2001).

Atualmente sabe-se que as EROs são essenciais para o processo de sinalização celular e uma variedade de processos fisiológicos incluindo regulação da proliferação e diferenciação celular, autofagia, sistema imune e adaptações metabólicas (Buchheit & Laursen, 2013).

Sistemas de defesa antioxidante

Antioxidantes endógenos

Divide-se em enzimático e não-enzimático. O primeiro em grande parte, são obtidos de fontes dietéticas, dentre eles destacam-se polifenóis, vitamina C, E (α -tocoferol), carotenoides, compostos organosulfurados, minerais e cofatores que tem importante participação na manutenção da saúde humana, já os enzimáticos são produzidos endogenamente como as enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPX), glutathione S-transferase (GST), γ -glutamylcysteine synthetase (GCS) e glutathione reductase (GR) (Christofidou-Solomidou & Muzykantov, 2006).

A enzima superóxido dismutase é uma metaloenzima que protege as moléculas alvo do ataque do ânion superóxido, sendo a primeira e mais importante do sistema de defesa, estando presente essencialmente em todas as células do corpo. Existem em três isoformas: a citoplasmática, Cu/ZnSOD (SOD1), a mitocondrial, MnSOD (SOD2) e a extracelular, Cu/Zn (SOD3), atuando na dismutação do ânion superóxido (Perry et al., 2010).

Outra enzima fundamental é a catalase, localizada nos peroxissomos, nas mitocôndrias e nos núcleos, promovendo a conversão de peróxido de hidrogênio à água e oxigênio molecular, sendo de grande importância, impedindo a formação do radical hidroxil que é muito prejudicial (Finkel & Holbrook, 2000). A catalase apresenta a mais alta taxa de rotatividade entre todas as enzimas, sendo que uma molécula de catalase pode converter, aproximadamente 6 milhões de moléculas de peróxido de hidrogênio por minuto (Valko et al., 2007).

A glutathione é um tripeptídeo composto pelos aminoácidos L-glutamato, L-cisteína e glicina, sendo que é o tiol não proteico mais abundante nas células dos mamíferos, com função antioxidante, atuando como co-substrato na detoxificação de peróxido numa reação

catalisada pelas enzimas glutathione peroxidase e glutathione transferase, sendo que sua capacidade redutora é determinada pelo grupamento sulfidril (-SH), presente na cisteína (Kalinina, Chernov, & Novichkova, 2014).

As glutathione peroxidases (GPx) são uma família de enzimas que incluem três enzimas dependentes de selênio e uma peroxidase independente desse elemento, divididas em dois grupos, celulares e extracelulares e elas reduzem o peróxido de hidrogênio à água, tornando-a oxidada (Finkel & Holbrook, 2000). A redução da forma oxidada da glutathione (GSSG) é catalisada pela glutathione reductase (GR). Esta enzima não neutraliza os radicais livres diretamente, entretanto, é responsável pela regeneração da glutathione na presença de nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH), tendo como objetivo impedir a paralisação do ciclo metabólico da glutathione (Robaczewska, 2016).

Antioxidante exógenos

A vitamina E é considerado o principal antioxidante lipossolúvel, estando presente em membranas celulares, sistemas de membranas e lipoproteínas plasmáticas, atuando transferindo elétrons do hidrogênio fenólico para os radicais $O_2\bullet$ e $OH\bullet$ impedindo a peroxidação lipídica, é um importante antioxidante citosólico, agindo na interrupção da propagação do processo peroxidativo e na eliminação de produto de peroxidação genéticos, sua ação antioxidante se dar por meio de doação de átomos de hidrogênio de grupos hidroxilas ligados a seu anel benzeno (Azzi, 2018; Da Silva et al., 2020).

Já os compostos polifenólicos são compostos hidrossolúveis produzidos através do metabolismo secundário das plantas, frequentemente encontrados unidos aos glicosídeos, podendo eventualmente aparecerem em plantas como agliconas, são divididos em diferentes grupos de acordo com a quantidade de anéis fenólicos contido em sua estrutura e por quais elementos estruturais eles estão ligados, dentre eles são classificados os flavonoides, estilbenos, ácidos fenólicos, taninos hidrolisáveis e curcuminoides (Sureda et al., 2014).

Estresse oxidativo e HIIT

A produção de RL pelo exercício até determinada intensidade traz efeitos benéficos a saúde, como a melhora da capacidade antioxidante, entretanto quando há excesso na carga de treinamento, e conseqüente produção exacerbada de espécies reativas, observar-se o efeito negativo do exercício (Píngitore et al., 2015).

A produção de EROs no músculo esquelético é necessária para que haja sinalização redox implicando em processos fundamentais na célula muscular, como produção de força durante a contração, captação de glicose e aumento na concentração de proteínas antioxidantes (Steinbacher & Eckl, 2015). O dano oxidativo causado na enzima ATPase no retículo sarcoplasmático resulta em diminuição da receptação de cálcio por esta organela, podendo levar a um desequilíbrio na homeostase de Ca^{2+} e redução da contratilidade muscular (Finkel & Holbrook, 2000; Bloomer et al., 2008). As EROs também podem atuar, no músculo esquelético, diretamente sobre a proteína quinase ativada por mitogêno (MAPK) e tirosina fosfatase através da modificação redox-dependente dos resíduos de cisteína dessas proteínas (Corcoran, & Cotter, 2013). De acordo com Bernard et. al. (2015) a via de sinalização da MAPK demonstra processo regular de ativação e transdução de genes mitocondriais em miofibroblastos.

A contração do musculo esquelético, por meio do exercício físico, induz o aumento da produção de EROs na célula muscular, ocorrendo em compartimentos específicos da célula como mitocôndria, citosol, túbulos transversos e retículo sarcoplasmático e sarcomela (Jackson & McArdle, 2011). O estresse oxidativo, por sua vez, vem sendo associado a diminuição da performance física, aumento de marcadores de lesão muscular e imunodepressão (Ayala, Muñoz & Argüelles, 2014).

Por ser um treinamento de alta intensidade, o HIIT pode contribuir para o aumento da produção de radicais livres, podendo levar ao estresse oxidativo e conseqüentemente induzir a diminuição do desempenho, levando a fadiga (Cipryan, 2018). Nessa perspectiva, estudos são feitos para elucidar o impacto do HIIT no estresse oxidativo.

Assim, Pimenta et al. (2015) observaram que camundongos fêmeas ovariectomizadas alimentadas por 12 semanas por uma dieta hiperlipídica ao serem submetidas a 8 semanas de HIIT, 3 vezes por semana, melhoram a capacidade antioxidante do músculo, com o aumento da expressão das enzimas SOD, GPx, glutathione redutase (GR) e Catalase.

Enquanto Ramos-filho et al. (2015) demonstraram que ratos submetidos ao mesmo protocolo de HIIT durante 6 semanas, 3 vezes por semana, tem sua produção de H_2O_2 aumentada ao final do treinamento nos músculos tibial anterior e gastrocnêmio. O H_2O_2 também é conhecido por ativar o fator de transcrição Nrf2/keap1, entretanto é demonstrado que em situação de estresse oxidativo, o excesso de peróxido de hidrogênio resulta em deficiência de Nrf2 implicando na diferenciação de osteoclastos e reabsorção óssea (Hyeon et al., 2013).

Os diferentes tipos de exercício influenciam a produção RL sendo as variáveis como intensidade, volume e carga as principais responsáveis por esse efeito. Em humanos Deminice et al. (2010) observaram que uma sessão aguda de treinamento intervalado de alta intensidade em indivíduos treinados resultou em aumento na concentração de marcadores do dano oxidativo e muscular. Em outro estudo, Marin et al. (2013) evidenciaram que mulheres atletas de uma equipe de handebol, em períodos de aumento da carga de treinamento e volume de competições aumentaram as concentrações de MDA, creatina quinase (CK) e redução dos níveis de GSH. Corroborando esses achados foi observado a relação positiva entre carga e volume de treinamento durante uma temporada e marcadores de estresse oxidativo (Varamenti, 2013).

Outros estudos relataram que o HIIT, pode induzir alterações benéficas da homeostase redox (inclusão de TAC incluindo) e maiores benefícios para a saúde que o exercício contínuo de baixa intensidade moderada (Fisher et al., 2011; Bogdanis et al., 2013). No estudo de Cyprian (2018) realizado com jovens de diferentes categorias de treinamento, o HIIT com longos intervalos foi utilizado, demonstrando aumento significativo do TAC (capacidade total antioxidante) em atletas bem treinados, atribuindo assim, aumento no estresse oxidativo desses. Em outro estudo do mesmo autor, porém com três protocolos de HIIT de intervalos curtos (15/15; 30/30;60/60), provocou um aumento imediato em IL-6, TAC, CK, Mb e LDH (Cipryan, 2017).

4. Considerações Finais

O treinamento intervalado de alta intensidade pode contribuir de maneira dual sobre o organismo, entre os seus efeitos deletérios são evidenciados o aumento do estresse oxidativo, diminuição do desempenho e a fadiga. Todavia, alguns estudos demonstram que os ajustes fisiológicos do HIIT proporcionam efeitos benéficos na saúde, principalmente na capacidade oxidante. São necessários estudos mais aprofundados que identifiquem e esclareçam os benefícios e os efeitos negativos em relação do HIIT em outros eventos intracelulares no estresse oxidativo.

Referências

- Ammon, U. (2012). Linguistic inequality and its effects on participation in scientific discourse and on global knowledge accumulation – With a closer look at the problems of the second-rank language communities. *Applied Linguistics Review*, 3(2), 333 – 355. <http://dx.doi.org/10.1515/applirev-2012-0016>.
- Ayala, A., Muñoz, M. F., & Argüelles, S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2014, 360438. <https://doi.org/10.1155/2014/360438>.
- Azzi A. (2018). Many tocopherols, one vitamin E. *Molecular aspects of medicine*, 61, 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2017.06.004>.
- Belmonte, L., Martins, T. C., Salm, D. C., Emer, A. A., de Oliveira, B. H., Mathias, K., Goldim, M. P., Horewicz, V. V., Piovezan, A. P., Bobinski, F., Petronilho, F., & Martins, D. F. (2018). Effects of Different Parameters of Continuous Training and High-Intensity Interval Training in the Chronic Phase of a Mouse Model of Complex Regional Pain Syndrome Type I. *The journal of pain: official journal of the American Pain Society*, 19(12), 1445–1460. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2018.06.008>.
- Bernard, K., Logsdon, N. J., Ravi, S., Xie, N., Persons, B. P., Rangarajan, S., Zmijewski, J. W., Mitra, K., Liu, G., Darley-USmar, V. M., & Thannickal, V. J. (2015). Metabolic Reprogramming Is Required for Myofibroblast Contractility and Differentiation. *The Journal of biological chemistry*, 290(42), 25427–25438. <https://doi.org/10.1074/jbc.M115.646984>.
- Bloomer R. J. (2008). Effect of exercise on oxidative stress biomarkers. *Advances in clinical chemistry*, 46, 1–50. [https://doi.org/10.1016/s0065-2423\(08\)00401-0](https://doi.org/10.1016/s0065-2423(08)00401-0).
- Bogdanis, G. C., Stavrinou, P., Fatouros, I. G., Philippou, A., Chatzinikolaou, A., Draganidis, D., Ermidis, G., & Maridaki, M. (2013). Short-term high-intensity interval exercise training attenuates oxidative stress responses and improves antioxidant status in healthy humans. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*, 61, 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.046>.

Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>.

Cassidy, S., Thoma, C., Houghton, D., & Trenell, M. I. (2017). High-intensity interval training: a review of its impact on glucose control and cardiometabolic health. *Diabetologia*, 60(1), 7–23. <https://doi.org/10.1007/s00125-016-4106-1>.

Catalá A. (2013). Five decades with polyunsaturated Fatty acids: chemical synthesis, enzymatic formation, lipid peroxidation and its biological effects. *Journal of lipids*, 2013, 710290. <https://doi.org/10.1155/2013/710290>.

Christofidou-Solomidou, M., & Muzykantov, V. R. (2006). Antioxidant strategies in respiratory medicine. *Treatments in respiratory medicine*, 5(1), 47–78. <https://doi.org/10.2165/00151829-200605010-00004>.

Cipryan L. (2017). IL-6, Antioxidant Capacity and Muscle Damage Markers Following High-Intensity Interval Training Protocols. *Journal of human kinetics*, 56, 139–148. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0031>.

Cipryan L. (2018). The effect of fitness level on cardiac autonomic regulation, IL-6, total antioxidant capacity, and muscle damage responses to a single bout of high-intensity interval training. *Journal of sport and health science*, 7(3), 363–371. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.11.001>.

Corcoran, A., & Cotter, T. G. (2013). Redox regulation of protein kinases. *The FEBS journal*, 280(9), 1944–1965. <https://doi.org/10.1111/febs.12224>.

Deminice, R., Trindade, C. S., Degiovanni, G. C., Garlip, M. R., Portari, G. V., Teixeira, M., & Jordao, A. A. (2010). Oxidative stress biomarkers response to high intensity interval training and relation to performance in competitive swimmers. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 50(3), 356–362.

Da Silva, H., Costa, R., Neto, J., Júnior, C., Coutinho, I., Macêdo, L., Lima, D., Sampaio, L., Sousa, L., Santos, L., & Pessoa, G. (2020). Análise dos efeitos da suplementação de determinados antioxidantes no tratamento adjuvante do câncer. *Research, Society and Development*, 9(2), e28921964. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.1964>.

Di Bitetti, M. S., & Ferreras, J. A. (2017). Publish (in English) or perish: The effect on citation rate of using languages other than English in scientific publications. *Ambio*, 46(1), 121–127. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0820-7>.

Dun, Y., Thomas, R. J., Smith, J. R., Medina-Inojosa, J. R., Squires, R. W., Bonikowske, A. R., Huang, H., Liu, S., & Olson, T. P. (2019). High-intensity interval training improves metabolic syndrome and body composition in outpatient cardiac rehabilitation patients with myocardial infarction. *Cardiovascular diabetology*, 18(1), 104. <https://doi.org/10.1186/s12933-019-0907-0>.

Finkel, T., & Holbrook, N. J. (2000). Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *Nature*, 408(6809), 239–247. <https://doi.org/10.1038/35041687>.

Finsterer J. (2012). Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. *BMC musculoskeletal disorders*, 13, 218. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-218>.

Fisher, G., Schwartz, D. D., Quindry, J., Barberio, M. D., Foster, E. B., Jones, K. W., & Pascoe, D. D. (2011). Lymphocyte enzymatic antioxidant responses to oxidative stress following high-intensity interval exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 110(3), 730–737. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00575.2010>.

García-Hermoso, A., Cerrillo-Urbina, A. J., Herrera-Valenzuela, T., Cristi-Montero, C., Saavedra, J. M., & Martínez-Vizcaíno, V. (2016). Is high-intensity interval training more effective on improving cardiometabolic risk and aerobic capacity than other forms of exercise in overweight and obese youth? A meta-analysis. *Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*, 17(6), 531–540. <https://doi.org/10.1111/obr.12395>

García-Pinillos, F., Cámara-Pérez, J.C., Soto-Hermoso, V.M., & Latorre-Román, P.Á. A High Intensity Interval Training (HIIT)-Based Running Plan Improves Athletic Performance by Improving Muscle Power. *J Strength Cond Res.* 2017; 31(1), 146-153. <https://doi:10.1519/JSC.0000000000001473>.

Hyeon, S., Lee, H., Yang, Y., & Jeong, W. (2013). Nrf2 deficiency induces oxidative stress and promotes RANKL-induced osteoclast differentiation. *Free radical biology & medicine*, 65, 789–799. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.08.005>.

Jackson, M. J., & McArdle, A. (2011). Age-related changes in skeletal muscle reactive oxygen species generation and adaptive responses to reactive oxygen species. *The Journal of physiology*, 589(Pt 9), 2139–2145. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.206623>.

Kalinina, E. V., Chernov, N. N., & Novichkova, M. D. (2014). Role of glutathione, glutathione transferase, and glutaredoxin in regulation of redox-dependent processes. *Biochemistry. Biokhimiia*, 79(13), 1562–1583. <https://doi.org/10.1134/S0006297914130082>.

Lewis, N. A., Redgrave, A., Homer, M., Burden, R., Martinson, W., Moore, B., & Pedlar, C. R. (2018). Alterations in Redox Homeostasis During Recovery From Unexplained Underperformance Syndrome in an Elite International Rower. *International journal of sports physiology and performance*, 13(1), 107–111. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0777>.

Lipinski B. (2011). Hydroxyl radical and its scavengers in health and disease. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2011, 809696. <https://doi.org/10.1155/2011/809696>.

MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of physiology*, 595(9), 2915–2930. <https://doi.org/10.1113/JP273196>.

Marin, D. P., Bolin, A. P., Campoio, T. R., Guerra, B. A., & Otton, R. (2013). Oxidative stress and antioxidant status response of handball athletes: implications for sport training monitoring. *International immunopharmacology*, 17(2), 462–470. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2013.07.009>.

Monks, L., Seo, M. W., Kim, H. B., Jung, H. C., & Song, J. K. (2017). High-intensity interval training and athletic performance in Taekwondo athletes. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 57(10), 1252–1260. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.06853-0>.

Moran, L. K., Gutteridge, J. M. C., & Quinlan G. J. (2001). Thiols in cellular redox signaling and control. *Current Medicinal Chemistry*, 8(7), 763-72. <http://doi:10.2174/0929867013372904>.

Paixão, C. T., Silva, L. D., Doerzapff, P. B., Granadeiro, R. M. A., Farias, R. L. A., & Santos, S. S. (2014). Fatores de risco para hipoglicemia em pacientes que usam infusão contínua de insulina endovenosa na unidade de terapia intensiva. *ABCS Health Sci*, 39(3), 194-198. <http://dx.doi.org/10.7322/abcshs.v39i3.655>.

Perry, J. J., Shin, D. S., Getzoff, E. D., & Tainer, J. A. (2010). The structural biochemistry of the superoxide dismutases. *Biochimica et biophysica acta*, 1804(2), 245–262. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2009.11.004>.

Pimenta, M., Bringhenti, I., Souza-Mello, V., Dos Santos Mendes, I. K., Aguila, M. B., & Mandarim-de-Lacerda, C. A. (2015). High-intensity interval training beneficial effects on body mass, blood pressure, and oxidative stress in diet-induced obesity in ovariectomized mice. *Life sciences*, 139, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.08.004>.

Pingitore, A., Lima, G. P., Mastorci, F., Quinones, A., Iervasi, G., & Vassalle, C. (2015). Exercise and oxidative stress: potential effects of antioxidant dietary strategies in sports. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 31(7-8), 916–922. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.02.005>.

Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European journal of medicinal chemistry*, 97, 55–74. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>.

Ramos-Filho, D., Chicaybam, G., de-Souza-Ferreira, E., Guerra Martinez, C., Kurtenbach, E., Casimiro-Lopes, G., & Galina, A. (2015). High Intensity Interval Training (HIIT) Induces

Specific Changes in Respiration and Electron Leakage in the Mitochondria of Different Rat Skeletal Muscles. *PloS one*, 10(6), e0131766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131766>.

Robaczewska, J., Kedziora-Kornatowska, K., Kozakiewicz, M., Zary-Sikorska, E., Pawluk H, Pawlitzak W, Carvalho, L.A., & Kędziora, J. (2016). Role of glutathione metabolism and glutathione-related antioxidant defense systems in hypertension. *J Physiol Pharmacol.* ,67(3), 331-7.

Schieber, M., & Chandel, N. S. (2014). ROS function in redox signaling and oxidative stress. *Current biology: CB*, 24(10), R453–R462. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.034>.

Sheykhlovand, M., Khalili, E., Agha-Alinejad, H., & Gharaat, M. (2016). Hormonal and Physiological Adaptations to High-Intensity Interval Training in Professional Male Canoe Polo Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 30(3), 859–866. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001161>.

Steinbacher, P., & Eckl, P. (2015). Impact of oxidative stress on exercising skeletal muscle. *Biomolecules*, 5(2), 356–377. <https://doi.org/10.3390/biom5020356>.

Sureda, A., Tejada, S., Bibiloni, M., Tur, J. A., & Pons, A. (2014). Polyphenols: well beyond the antioxidant capacity: polyphenol supplementation and exercise-induced oxidative stress and inflammation. *Current pharmaceutical biotechnology*, 15(4), 373–379. <https://doi.org/10.2174/1389201015666140813123843>.

Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 39(1), 44–84. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>.

Varamenti, E. I., Kyparos, A., Veskoukis, A. S., Bakou, M., Kalaboka, S., Jamurtas, A. Z., Koutedakis, Y., & Kouretas, D. (2013). Oxidative stress, inflammation and angiogenesis markers in elite female water polo athletes throughout a season. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*, 61, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.12.001>.

Vezzoli, A., Dellanoce, C., Mrakic-Sposta, S., Montorsi, M., Moretti, S., Tonini, A., Pratali, L., & Accinni, R. (2016). Oxidative Stress Assessment in Response to Ultraendurance Exercise: Thiols Redox Status and ROS Production according to Duration of a Competitive Race. *Oxid Med Cell Longev.* 2016; 6439037. <http://doi:10.1155/2016/6439037>.

Zembron-Lacny, A., Naczek, M., Gajewski, M., Ostapiuk-Karolczuk, J., Dziewiecka, H., Kasperska, A., & Szyszka, K. (2010). Changes of muscle-derived cytokines in relation to thiol redox status and reactive oxygen and nitrogen species. *Physiological research*, 59(6), 945–951.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Lúcio Marques Vieira Souza – 35%

Rôas de Araújo Costa – 25%

Jéssica Denielle Matos dos Santos – 10%

Jymmys Lopes dos Santos – 10%

Luana Santos Costa – 5%

José Uilien de Oliveira – 5%

Roberto Jerônimo dos Santos Silva – 5%

Charles dos Santos Estevam – 5%