

EFEITOS DO ESTRESSE OXIDATIVO E O USO DE SUPLEMENTAÇÃO ENTRE ATLETASCarine de Oliveira Pedroso¹Keli Vicenzi²Clarisse Zanette³**RESUMO**

Objetivo: Verificar na literatura os efeitos do estresse oxidativo e os benefícios do uso de suplementos antioxidantes entre atletas. **Materiais e Métodos:** Nesta revisão da literatura, buscaram-se no período de março a setembro de 2014, artigos científicos indexados nas bases de dados eletrônicas PubMed, Scielo e Bireme. A busca foi direcionada para publicações de língua portuguesa e inglesa, estudos com humanos e animais no período de 2000 a 2014. **Resultados:** A literatura mostra que o exercício físico exaustivo aumenta acentuadamente a atividade metabólica do organismo do atleta, ocorrendo alterações bioquímicas e fisiológicas, que podem resultar em lesão oxidativa de componentes celulares, conhecido como estresse oxidativo. O exercício de alta intensidade eleva a produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), induzindo a diminuição dos níveis de antioxidantes e aumento dos marcadores da peroxidação lipídica. Em relação à utilização da suplementação de antioxidantes, os estudos verificaram redução do dano oxidativo induzido pelo exercício, mas sem bloquear a adaptação celular ao exercício. **Conclusão:** A intensidade e a duração do exercício físico podem ser importantes fatores na avaliação da formação do estresse oxidativo, no qual pode levar ao aumento na formação de moléculas altamente reativas.

Palavras-chave: Antioxidantes. Estresse Oxidativo. Exercício Físico. Rendimento.

1-Acadêmica do curso de Pós-Graduação em Nutrição e Treinamento Físico, Faculdade Nossa Senhora de Fátima, Caxias do Sul-RS, Brasil.

2-Nutricionista, Docente do curso de bacharelado em Nutrição da Faculdade Nossa Senhora de Fátima, Caxias do Sul-RS, Brasil.

ABSTRACT

Effects of Oxidative Stress and the Use of Supplements in Athletes

Aim: Verify what the literature says about the effects of oxidative stress and the benefits of the use of antioxidant supplements in athletes. **Materials and Methodology:** Between March and September of 2014, review was done of scientific articles indexed in the electronic databases PubMed, Scielo and Bireme. The review was directed toward publications in English and Portuguese about studies of humans and animals between 2000 and 2014. **Results:** The literature shows that exhaustive physical exercise sharply increases the metabolic activity of the athlete's organism. Biochemical and physiological alterations occur that can result in oxidative damage to the components of the cell, which is known as oxidative stress. High-intensity exercise elevates the production of reactive oxygen species, inducing the reduction of antioxidant levels and the increase of lipid peroxidation markers. The studies verify that the use of antioxidant supplements reduces oxidative damage induced by exercise but without blocking the cellular adaptation. **Conclusion:** The intensity and duration of physical exercise could be important factors in the evaluation of the formation of oxidative stress, which could lead to the increase of the formation of highly reactive molecules.

Key words: Antioxidants. Oxidative Stress. Physical Exercise. Performance.

3-Nutricionista. Coordenadora e docente do curso de bacharelado em Nutrição da Faculdade Nossa Senhora de Fátima, Caxias do Sul-RS, Brasil.

E-mail:
carineedfis@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O esporte de alto nível exige do organismo do atleta uma alta carga de trabalho, demandando horas de treinos, fazendo com que o sistema imunológico responda a essa demanda desenvolvendo um processo de adaptação.

As respostas geradas pelo exercício podem promover modificações agudas e crônicas que afetam o sistema imune, dependendo da duração e da intensidade do exercício e podem ocorrer diferentes alterações na regulação hormonal que influenciam as respostas imunes (Weineck, 2005).

A intensidade do exercício e o nível de exaustão do indivíduo podem ser importantes fatores na avaliação da formação do estresse oxidativo (Schneider e Oliveira, 2004).

O desgaste físico provocado pelo exercício exaustivo pode levar a perda de proteínas musculares e inflamação, ocorrendo à produção de radicais livres, e dor muscular, assim ocasionando a infiltração de células do sistema imune para a reparação do tecido lesado.

O treinamento físico e os períodos de competição elevam de forma acelerada o metabolismo celular, podendo ocorrer alterações na função celular e tecidual (Schneider e Oliveira, 2004).

O estresse oxidativo ocorre devido a um desequilíbrio entre os compostos oxidantes e antioxidantes, em decorrência da geração excessiva de radicais livres que pode levar a perda das funções biológicas (Halliwell e Whiteman, 2004).

Nessas condições ocorre aumento na formação de moléculas altamente reativas como o ânion superóxido ($O_2^{\bullet-}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical hidroxila ($\bullet OH$), entre outros denominados de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Souza Junior, Oliveira e Pereira, 2005).

Sendo assim, o uso de suplementos pode ajudar a minimizar os efeitos do estresse no organismo e auxiliar os atletas na manutenção do rendimento, mas ainda é preciso mais pesquisas investigando os efeitos fisiológicos de alguns antioxidantes no organismo, por esse motivo o objetivo deste trabalho é verificar na literatura os efeitos do estresse oxidativo e os benefícios do uso de suplementos antioxidantes entre atletas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta revisão sistemática da literatura, buscaram-se no período de março a setembro de 2014, artigos científicos indexados nas bases de dados eletrônicas PubMed, SciELO e na biblioteca da BIREME.

A busca foi direcionada para publicações de língua portuguesa e inglesa, estudos com humanos e animais e no período de 2000 a 2014.

Para a busca nas bases de dados foram utilizados os seguintes descritores: “antioxidantes”, “atletas”, “estresse oxidativo”, “exercício físico”, “peroxidação lipídica”, “radicais livres” e “rendimento”.

Com base nos artigos encontrados, inicialmente foi realizada uma seleção dos trabalhos mais relevantes através da leitura dos títulos e resumos.

Incluíram-se também publicações relevantes citadas nos links relacionados à busca feita nas bases de dados, assim como das listas de referências dos artigos selecionados e obtidos na íntegra.

Os artigos selecionados foram avaliados, mantendo-se a terminologia dos autores das pesquisas, de acordo com o ano de estudo, tipo de estudo, tipo de população estudada, protocolo de suplementação e protocolo de exercício.

Foram excluídos os artigos em repetição, trabalhos publicados antes do ano 2000 e estudos que não estavam em concordância com o objetivo do trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos Fisiológicos do Estresse Oxidativo e Sistema de Defesa Antioxidante

O exercício físico é importante coadjuvante no mecanismo contra doenças não transmissíveis e promove adaptações benéficas no organismo, auxiliando na melhora da resistência cardiovascular e musculoesquelética, mas quando for realizado de forma exaustiva por um longo período de tempo, como no treinamento esportivo, pode levar ao organismo a danos tanto celulares quanto tecidual, devido à elevada atividade metabólica celular gerando a produção excessiva de substâncias tóxicas como, por exemplo, espécies reativas de oxigênio (ERO), conhecidas como radicais livres (RL), que são

moléculas altamente reativas por possuírem um elétron não-pareado na órbita externa. O ânion superóxido ($O_2^{\bullet-}$), o radical hidroxila ($\bullet OH$) e o óxido nítrico ($NO\bullet$) são exemplos de RL e que são produzidos mediante ao exercício físico de alta intensidade (Dröge, 2002; Souza, Fernandes e Cyrino, 2006; Groussard, 2003).

O aumento do consumo de oxigênio durante o exercício físico, ativa vias metabólicas específicas durante ou após o mesmo, resultando na formação desses compostos (Rowlands e Downey 2000).

A mitocôndria, por meio da cadeia transportadora de elétrons é a principal geradora de RL (Green, Brand, e Murphy, 2004).

Essas espécies reativas, derivadas do oxigênio e do nitrogênio, durante a prática de exercícios físicos, podem ser produzidas por diversos mecanismos, nos quais se destacam: a redução parcial de oxigênio nas mitocôndrias; o processo inflamatório; e processos de isquemia e reperfusão.

O exercício de alta intensidade ocasiona inflamação e produção de ERO, provocando lesões nas fibras musculares, no qual requerem remoção de proteínas danificadas, seguido por ressíntese de novas proteínas (Dröge, 2002).

Dessa forma, se a maior produção de ERO pelas células em relação à capacidade de remoção pelo sistema antioxidante ocorre o estresse oxidativo, no qual é uma condição de desequilíbrio entre os sistemas oxidantes e antioxidantes, devido à produção excessiva de RL (Halliwell e Whiteman, 2004).

Esse processo leva a oxidação de biomoléculas com perda de funções biológicas e desequilíbrio homeostático, causando dano oxidativo às estruturas celulares e teciduais e pode gerar danos a proteínas e ao DNA (Halliwell e Whiteman, 2004; Groussard e colaboradores, 2003).

O principal mecanismo de lesão é a lipoperoxidação (LPO), que é a oxidação da camada lipídica da membrana celular, que consiste em danos a proteínas e também aos fosfolípidios de membrana celulares, causando alteração no balanço hídrico da célula e oxidação de compostos tióis, cofatores enzimáticos, nucleotídeos e DNA (Schneider e Oliveira, 2004; Filaire e colaboradores, 2011; Fogarty e colaboradores, 2011).

Para combater a ação do estresse oxidativo e neutralizar os efeitos agressores desencadeados pela síntese de ERO, todas as células possuem mecanismos para minimizar esses efeitos, conhecido como sistema de defesa antioxidante, no qual tem como função reduzir os danos causados pela ação dos RL e ERO (Halliwell e Gutteridge, 2010).

Essas ações podem ser feitas por diferentes mecanismos, tais como: inibição da formação dos RL ou espécies não radicais (sistemas de prevenção ou varredores) e ainda, contribuindo com o reparo e a reconstituição das estruturas biológicas lesionadas (sistema de reparo) (Koury e Donangelo, 2003; Clarkson e Thompson, 2000).

O sistema de defesa antioxidante é dividido em enzimático e não-enzimático. O enzimático inclui as enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPx), sendo que o perfeito equilíbrio entre essas enzimas antioxidantes é importante na manutenção da integridade e reparo celular (Schneider e Oliveira, 2004).

O sistema não-enzimático é formado por compostos sintetizados pelo organismo como a bilirrubina, ceruloplasmina, hormônios sexuais, melatonina, coenzima Q, ácido úrico e também os que são ingeridos através da alimentação ou suplementação de antioxidantes, como o ácido ascórbico (vitamina C), α -tocoferol (vitamina E), β -caroteno (precursor de vitamina A) e grupos fenóis de plantas (flavonóides) (Schneider e Oliveira, 2004; Dröge, 2002).

Assim, o exercício de baixa intensidade e duração o sistema de defesa pode agir impedindo o dano celular, em contrapartida, exercícios exaustivos de alta intensidade e duração podem não ocorrer à proteção do sistema antioxidante, sendo necessária a suplementação de antioxidantes exógenos (Watson e colaboradores, 2005; Simões e colaboradores, 2014).

Estresse Oxidativo em Atletas

O treinamento esportivo e os períodos de competição aumentam acentuadamente a atividade metabólica do organismo do atleta, ocorrendo alterações bioquímicas e fisiológicas, que podem resultar em lesão oxidativa de componentes celulares (Souza Jr., Oliveira e Pereira, 2005; Pereira, 2014).

O estresse oxidativo pode estar associado à intensidade e duração do exercício. O exercício de alta intensidade eleva a produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), induzindo a diminuição dos níveis de antioxidantes e aumento dos marcadores da peroxidação lipídica em tecidos-alvo e sangue, carbonilação de proteínas, oxidação de carboidratos e danos ao DNA, além de ocorrer também, fadiga muscular, migração de células polimorfonucleares para o tecido lesado e resposta muscular isquêmica (Pereira, 2014; Pinho e colaboradores, 2010; Halliwell e Gutteridge, 2007).

Os baixos níveis das ERO são necessários para a produção de força da musculatura esquelética, entretanto, altos níveis dessas espécies podem promover disfunção contrátil resultando em fraqueza e fadiga muscular (Powers e Jackson, 2008).

A maioria dos estudos que avaliam o estresse oxidativo em atletas foi realizada em esportes como futebol, basquete, corrida, triatlon e natação, havendo a necessidade de mais estudos avaliando o estresse no treinamento de força.

No estudo de Palazzatti e colaboradores (2003) onde foram avaliados triatletas com o intuito de verificar o estresse oxidativo, lesão muscular e dano no DNA, envolvendo um modelo de sobrecarga de treinamento, onde os mesmos foram submetidos a um incremento de carga na sequência de 21% na natação, 51% no ciclismo e 44% de corrida, por quatro semanas.

Os resultados mostraram que os atletas em condições de sobrecarga de treinamento apresentaram aumento da lipoperoxidação, que foi avaliada através do nível de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), CK-MB e mioglobina plasmáticas, marcadores de lesão muscular e queda da relação GSH / GSSG que é a razão glutatona reduzida por dissulfeto de glutatona, mostrando que esse sobrecarga de treino compromete o sistema de defesa antioxidante em relação à resposta induzida por exercício.

Colaborando com esse estudo, Scheffer e colaboradores (2012) avaliaram 18 triatletas após corrida de Ironman, no qual consiste em 3,8 Km de natação, 180 Km de bicicleta e 42,2 Km de corrida. Foram

avaliadas a capacidade antioxidante total, lipoperoxidação, carbonilação de proteínas e conteúdo total de tióis.

Os resultados mostraram um aumento na quantidade de hidroperóxidos, carbonilação de proteínas e uma redução na capacidade antioxidante total do plasma e no conteúdo de tióis, mostrando que a prova de Ironman provoca alterações nos marcadores de estresse oxidativo.

Em outro estudo, onde Souza Jr. e colaboradores (2005) avaliaram em atletas envolvidos em exercícios físicos intensos (corrida em esteira rolante; corrida de 20 Km realizada por maratonistas; treinamento intervalado realizado por corredores de 400m rasos; jogo de futebol de 50 min de duração; e treinamento de força com e sem suplementação com creatina) a ocorrência de lesões oxidativas em lipídeos em decorrência do treinamento através da quantificação da quimioluminescência urinária e malondialdeído (MDA) plasmático, onde os resultados mostraram que os exercícios praticados pelos atletas provocaram estresse oxidativo de maneira diferente, estando relacionado com a duração e intensidade dos mesmos. Esse estudo também mostrou que o consumo de creatina associado ao treinamento de força pode atuar como antioxidante, apresentando efeito protetor.

Em relação ao estresse oxidativo correlacionado com o rendimento nos períodos de competição, Deminice e colaboradores (2009) estudaram em nadadores os biomarcadores de peroxidação lipídica em dois momentos de um ciclo periodizado de treinamento e relacionaram com a *performance* competitiva na natação.

Os resultados mostraram que três semanas de redução de 60% na carga de treinamento foram capazes de aumentar o rendimento competitivo dos atletas em suas provas específicas e essa melhora foi acompanhada por reduções nas concentrações de espécies reativas de ácido tiobarbitúrico (TBARS) e peróxidos totais, assim relacionando com as mudanças no volume e/ou intensidade de treinamento durante a temporada.

Colaborando com o resultado desse estudo, Palazzatti e colaboradores (2003) também demonstraram que o treinamento intenso é capaz de aumentar os parâmetros de estresse oxidativo e dano celular (TBARS e

creatina quinase), além de diminuir a capacidade antioxidante.

Ainda correlacionado o estresse oxidativo com a intensidade e o volume de treinamento, Schippinger e colaboradores (2002) avaliaram os diferentes marcadores de estresse oxidativo (peróxidos totais) em jogadores de futebol americano no período pré-competitivo e no período de competição durante a liga nacional. Os resultados tiveram relação com a intensidade do treinamento, mostrando que antes da temporada de competição, as concentrações de antioxidantes séricos estavam dentro da normalidade e durante o período competitivo houve significativo aumento na concentração de peróxidos totais.

Miyazaki (2001) observou que o estresse oxidativo provocado pelo exercício agudo intenso pode ser minimizado pela realização anterior de treinamento com sobrecargas progressivas, antes dos indivíduos serem submetidos ao estresse agudo de alta intensidade e também ocorreu o aumento da regulação das defesas antioxidantes que foi acompanhada por uma redução induzida pelo exercício da peroxidação lipídica na membrana de eritrócitos. Assim, esse estudo mostrou que o estresse oxidativo ocorreu de forma mais acentuada em indivíduos menos treinados e que pode ocorrer uma adaptação ao treinamento físico, resultando em menores danos oxidativos.

Em outro estudo com resultados semelhantes onde avaliaram diferentes marcadores de estresse oxidativo, a fluidez da membrana do eritrócito e capacidade antioxidante de jogadores de futebol profissionais e sedentários, Cazzola e colaboradores (2003) observaram nos atletas níveis mais altos de antioxidantes plasmáticos tais como: ácido ascórbico, ácido úrico, α -tocoferol e atividade da superóxido dismutase em comparação com o grupo de sedentários, mostrando que o treinamento regular e adequado melhora a capacidade antioxidante, favorecendo a adaptação do sistema de defesa.

Os estudos pesquisados têm demonstrando que o exercício de alta intensidade associado ao grau de esgotamento e exaustão do atleta pode resultar em lesão oxidativa causada pelo aumento dos radicais livres e/ou ERO.

Antioxidantes Utilizados Pelos Atletas

O esporte de alto rendimento exige do atleta uma prática nutricional adequada necessária para a melhora do seu rendimento e para a proteção do seu organismo contra danos celulares e teciduais causados por alta carga de treinamento em decorrência do nível de competição.

A suplementação de antioxidantes tem levado muitos praticantes de exercícios físicos e atletas de alto rendimento a utilizarem, devido à melhora do condicionamento e principalmente para minimizar os efeitos do estresse oxidativo ao organismo, evitando danos tanto muscular como celular.

Existe uma variedade de antioxidantes sendo utilizados pelos atletas, que podem agir na neutralização da ação dos radicais livres ou participar indiretamente de sistemas enzimáticos com essa função (Pereira, 2014; Simões e colaboradores, 2014).

Dentre os antioxidantes estão à vitamina C (ácido ascórbico), vitamina E (α -tocoferol), betacaroteno, glutathione, N-acetilcisteína, coenzima Q10, selênio, entre outros ainda sendo pesquisados seus efeitos (Pereira, 2014).

Estudos envolvendo a utilização da vitamina C ainda apresentam resultados controversos, pois depende do tempo de utilização e a quantidade sendo administrada. Algumas pesquisas têm mostrado o efeito da suplementação de vitamina C em relação à lesão muscular provocada pelo exercício (Pereira, 2014).

No estudo de Thompson e colaboradores (2001), a suplementação de vitamina C teve efeito positivo sobre a dor muscular, função muscular, e as concentrações plasmáticas de malondialdeído (marcador utilizado para lesão tecidual oxidativa). Neste estudo foram consumidos por um dos grupos 200mg de ácido ascórbico, duas vezes por dia e após duas semanas de suplementação, os indivíduos foram submetidos a um protocolo de exercício intenso, sendo que os resultados mostraram que o uso prolongado da vitamina C tem efeito benéfico sobre a recuperação da função do muscular após o exercício físico.

Garlipp-Picchi e colaboradores (2013) verificaram em nadadores de elite os efeitos da vitamina C através de um suplemento

alimentar e dieta rica em ácido ascórbico (AA) no estresse oxidativo induzido pelo exercício.

Os atletas foram submetidos à sessão de exercício agudo em três fases diferentes, com intervalo de dois meses entre elas: fase controle, dieta rica em AA e suplementação de AA.

Os resultados mostraram que uma dieta rica em AA favoreceu uma menor peroxidação lipídica, devido aos menores valores de hidroperóxidos lipídicos, diminuição da peroxidação após o exercício, pela diminuição de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) e aumento dos níveis de vitamina C logo após o exercício.

Esse estudo também mostrou que o uso de suplementação de AA também diminuiu a peroxidação lipídica após o exercício e aumentou o poder antioxidante, devido aos maiores níveis de glutatona reduzida (GSH).

Em outro estudo envolvendo maratonistas, onde o objetivo foi verificar se a suplementação de vitamina C e vitamina E pode ajudar a minimizar o dano oxidativo induzido pelo exercício em linfócitos, Sureda e colaboradores (2008), suplementaram durante um mês maratonistas com 152 mg de vitamina C e 50 mg de vitamina E por dia, sendo que os resultados de linfócitos isolados dos atletas mostraram que a suplementação aumentou a capacidade antioxidante enzimática e reduziu a síntese de ERO.

Assim, esse estudo mostrou que o exercício intenso aumenta a peroxidação lipídica e induz uma resposta antioxidante em linfócitos, onde a suplementação com níveis moderados de vitaminas antioxidantes reduz o dano oxidativo induzido pelo exercício, mas sem bloquear a adaptação celular ao exercício.

Já no estudo de Goldfarb e colaboradores (2005), onde foram verificados o uso da suplementação de vitamina C (500 mg e 1.000 mg por dia) durante 2 semanas em 12 homens submetidos a uma sessão de corrida, durante 30 minutos (75% do $\text{VO}_2^{\text{máx}}$).

Os resultados observados foi que a suplementação reduziu a carbonilação de proteínas, as quais são geradas pelo estresse oxidativo, porém, o uso da suplementação não atenuou sobre a peroxidação lipídica e estado de glutatona, o que demonstra que a suplementação de vitamina de C pode atenuar

na oxidação de proteínas induzida pelo exercício de uma forma dependente.

No estudo de Palmer e colaboradores (2003), onde avaliaram corredores em uma corrida de ultramaratona, os resultados foram semelhantes ao estudo anterior, onde a suplementação de vitamina C (1500mg por dia) sete dias antes e durante a ultramaratona não minimizou o estresse oxidativo após a prova.

Cruzat e colaboradores (2007) destacaram que a ineficiência da suplementação com vitamina C sobre a peroxidação lipídica pode ser atribuída pelo fato da mesma localizar-se em compartimentos aquosos, não sendo totalmente eficaz em neutralizar radicais lipofílicos, não reagindo com os radicais gerados na membrana lipídica.

Mastaloudis (2004) avaliou 22 corredores durante 50 km de uma ultramaratona, que utilizaram a suplementação com 1000mg de vitamina C e 300mg de vitamina E, sendo que os resultados mostraram o aumento a resistência à peroxidação lipídica induzida pelo exercício, entretanto, não teve efeito sobre os marcadores inflamatórios, que aumentaram rapidamente ao final da prova. O autor desse estudo conclui que a possível explicação para esses resultados deve-se quanto ao tipo, duração e intensidade do exercício, idade e condicionamento físico dos indivíduos avaliados, como também as diferenças metodológicas para a avaliação do estresse oxidativo induzido pelo treinamento.

Margaritis e colaboradores (2003), estudaram em triatletas em período pré-competitivo o efeito da suplementação de 150 µg de selênio, 2000 UI de retinol, 120 mg de ácido ascórbico e 30 UI de α -tocoferol na melhora da resposta antioxidante induzida pelo exercício. Foram verificados que o grupo suplementado aumentou o estado antioxidante durante o exercício, entretanto, sem nenhum efeito sobre o dano oxidativo, marcadores plasmáticos de PL ou de lesão muscular.

A vitamina E é um dos antioxidantes mais abundantes distribuídos na natureza, sendo o α -tocoferol a forma mais conhecida, tendo a capacidade de regular a expressão gênica de proteínas que regulam o estado de redox celular e também o estresse oxidativo (Powers e Jackson, 2008).

Metin e colaboradores (2002) verificaram em ratos suplementados com α -tocoferol (30mg/Kg/dia) e treinados em natação a redução na concentração do ácido tiobarbitúrico (TBARS). Sachek e colaboradores (2003) também observaram em homens jovens que a suplementação de vitamina E (1.000UI/dia) durante 12 semanas promoveu menor concentração plasmática de malondialdeído (MDA) por até 24 horas após exercício de corrida a 75% $VO_{2máx}$.

Em relação à combinação dos antioxidantes, Robson, Bouic e Myburgh (2003) utilizaram em corredores treinados durante 7 dias um suplemento antioxidante a base vitaminas contendo 18mg de betacaroteno, 900mg de vitamina C e 90mg vitamina E. Os resultados mostraram efeito benéfico dos antioxidantes na função dos neutrófilos dos atletas de resistência após o exercício prolongado, melhorando a função imune dos mesmos.

Em relação ao micronutriente selênio (Se), no qual participa de diversas funções metabólicas, incluindo as do sistema imune, ainda existem poucos estudos que avaliam seus efeitos antioxidantes nos atletas.

Akil e colaboradores (2011) estudaram em ratos experimentais, no qual foram submetidos a uma sessão aguda exercícios de natação, a administração intraperitoneal de Se (6mg/Kg/dia), por 4 semanas. Os resultados foram a elevação da concentração plasmática dos antioxidantes GSH, GPx e SOD e a redução da concentração plasmática de MDA, imediatamente após o exercício.

Outro suplemento bastante utilizado entre atletas e a creatina, no qual pode apresentar efeitos protetores sobre o estresse oxidativo e na recuperação de lesões no tecido muscular. A creatina um composto naturalmente encontrado em alimentos de origem animal e tem sido considerada um suplemento nutricional efetivo na otimização do desempenho de atividades físicas, podendo também ser sintetizada no fígado, rins e pâncreas, a creatina é estocada no músculo esquelético, onde pode se manter na forma livre ou fosforilada (Mendes e Tirapegui, 2002).

Santos e colaboradores (2004) demonstraram a eficácia da suplementação de creatina sobre os marcadores de lesão e de inflamação, onde avaliaram o efeito da utilização aguda de creatina (4 doses de

5g/dia por 5 dias) após uma corrida de 30Km. Os resultados apresentados foram menor concentração de CK, LDH, prostaglandina- E_2 (PGE_2) e TNF- α no grupo suplementado com creatina, assim mostrando que a creatina foi capaz de minimizar as lesões celulares e a inflamação induzida por exercícios exaustivos.

Em outro estudo com resultados semelhantes, Kreider e colaboradores (2003), observaram que o uso da suplementação aguda da creatina reduziu a concentração de CK e LDH em atletas submetidos a uma longa temporada de treinamentos intensos.

No estudo de Dangott, Schultz e Mozdziak (2000), foram observados que a suplementação de creatina aumentou a atividade mitótica de células satélites durante a indução de hipertrofia compensatória muscular, o que aumenta a capacidade de regeneração celular.

Outro suplemento que pode atuar como antioxidante é a glutamina, sendo um aminoácido livre mais abundante no plasma (20%) e tecido muscular (70%), e é utilizado em altas concentrações por células de divisão rápida, incluindo enterócitos e leucócitos, para fornecer energia e favorecer a síntese de nucleotídeos (Cruzat e colaboradores, 2007; Newsholme e colaboradores, 2003).

A glutamina é essencial para a síntese de GSH, que é o principal antioxidante celular do organismo (Cruzat e colaboradores, 2007).

A depleção de glutamina, principalmente no meio intracelular, pode contribuir no desequilíbrio entre os agentes oxidantes, como as ERO e os antioxidantes, levando a oxidação de substâncias essenciais para a integridade celular e a PL, o que pode agravar a lesão tecidual (Valencia, Marin e Hardy, 2002).

A depleção de glutamina pode estar relacionada a uma maior suscetibilidade a lesões celulares e ao desenvolvimento de *overtraining*, a síndrome do super treinamento, comprometendo o desempenho atlético, por causa de uma redução do volume de treinamento e também prejudicando o seu estado geral de saúde (Cruzat, Rogero e Tirapegui, 2010).

Em outro estudo de Cruzat e Tirapegui (2009) foi investigado o efeito da suplementação com o dipeptídeo L-alanil-L-glutamina e de uma solução contendo L-glutamina e L-alanina, ambos na forma livre, em ratos treinados e submetidos a exercício

exaustivo de natação. Os resultados mostraram elevada concentração de glutamina no plasma, tanto no grupo de animais treinados e suplementados com o dipeptídeo quanto com a solução contendo L-glutamina e L-alanina na forma livre.

Os efeitos do exercício sobre o metabolismo da glutamina ainda são controversos e não estão totalmente esclarecidos e também quanto à administração na forma de aminoácido isolado e por via oral, os estudos têm mostrado resultados contraditórios, principalmente quando analisados os possíveis efeitos da glutamina sobre o sistema imune (Cruzat e colaboradores, 2007; Cruzat; Rogero e Tirapegui, 2010).

CONCLUSÃO

A intensidade e a duração do exercício físico podem ser importantes fatores na avaliação da formação do estresse oxidativo, no qual pode levar ao aumento na formação de moléculas altamente reativas, desencadeando alterações na função celular e tecidual, como dor e fadiga muscular, lesões nas fibras musculares que prejudicam o rendimento do atleta.

Os estudos pesquisados mostram os efeitos do estresse oxidativo causado pelo exercício físico, ocorrendo o aumento de substâncias oxidantes consideradas prejudiciais às células e tecidos.

Apesar do exercício físico exaustivo promover um desequilíbrio entre o sistema oxidativo e antioxidantes, ainda é preciso mais pesquisas que avaliam os efeitos do estresse oxidativo no organismo de atletas de alto nível, a fim de desenvolver novas estratégias para minimizar seus efeitos deletérios ao organismo.

Em relação à suplementação, os estudos verificados mostram que uso dos antioxidantes pode ser uma alternativa benéfica para ajudar a minimizar os efeitos do estresse oxidativo ao organismo dos atletas e praticantes de exercícios físicos, pois uma dieta equilibrada com uma suplementação específica, alimentos antioxidantes e micronutrientes pode gerar adaptações bioquímicas, fisiológicas e metabólicas que contribui na recuperação e melhora do rendimento do atleta.

REFERÊNCIAS

- 1-Akil, M.; Gurbuz, U.; Bicer, M.; Sivrikaya, A.; Mogulkoc, R.; Baltaci, A.K. Effect of selenium supplementation on lipid peroxidation, antioxidant enzymes, and lactate levels in rats immediately after acute swimming exercise. *Biological Trace Element Research*. Clifton. Vol. 142. 2011. p. 651-659.
- 2-Cazzola, R.; Russo-Volpe, S.; Cervato, G.; Cestaro, B. Biochemical assessments of oxidative stress, erythrocyte membrane fluidity and antioxidant status in professional soccer players and sedentary controls. *Eur J Clin Invest*. Vol. 33. Num. 10. 2003. p. 924-30.
- 3-Clarkson, P. M.; Thompson H. S. Antioxidants: what role do they play in physical activity and health? *Am J Clin Nutr*. Vol. 72. Núm. 2. p.637-46. 2000.
- 4-Cruzat, V. F.; Tirapegui, J. Effects of oral supplementation with glutamine and alanyl-glutamine on glutamine, glutamate, and glutathione status in trained rats and subjected to long-duration exercise. *Nutrition*. Vol. 25. 2009. p. 428-435.
- 5-Cruzat, V. F.; Rogero, M. M.; Tirapegui, J. Effects of supplementation with free glutamine and the dipeptide alanyl-glutamine on parameters of muscle damage and inflammation in rats submitted to prolonged exercise. *Cell Biochemistry and Function*. Chichester. Vol. 28. 2010. p. 24-30.
- 6-Cruzat, V. F.; Rogero, M. M.; Borges, M. C.; Tirapegui, Júlio. Aspectos atuais sobre estresse oxidativo, exercícios físicos e suplementação. *Rev Bras Med Esporte*. Vol. 13. Num. 5. 2007. p. 336-342.
- 7-Dangott, B.; Schultz, E.; Mozdziak, P. E. Dietary creatine monohydrate supplementation increases satellite cell mitotic activity during compensatory hypertrophy. *International Journal of Sports Medicine*. Stuttgart. Vol. 21. 2000. p. 13-16.
- 8-Deminice, R.; Degiovanni, G. C.; Garlipp-Picchi, M. R.; Nóbrega, M. T.; Teixeira, M.; Jordão, A. A. Evolução de biomarcadores de estresse oxidativo e relação com a *performance* competitiva em dois momentos

da temporada de treinamento de natação. Rev Bras Med Esporte. Vol. 15. p. 277-281. 2009.

9-Dröge, W. Free radicals in the physiological control of cell function. Physiol Rev. Vol. 82. Núm. 1. p.47-95. 2002.

10-Filaire, E.; e colaboradores. Effects of 6 weeks of n-3 fatty acids and antioxidant mixture on lipid peroxidation at rest and postexercise. Eur J Appl Physiol. Vol. 111. Núm. 8. p.1829-39. 2011.

11-Fogarty, M. C.; e colaboradores. Exercise-induced lipid peroxidation: implications for deoxyribonucleic acid damage and systemic free radical generation. Environmental and Molecular Mutagenesis. New York. Vol. 52. p. 35-42. 2011.

12-Garlipp-Picchi, Monike et al. Efeitos do ácido ascórbico nos biomarcadores de estresse oxidativo em nadadores de elite. Rev Bras Med Esporte. Vol. 19. Num. 6. 2013. p. 394-398.

13-Goldfarb, A. H.; e colaboradores. Vitamin C supplementation affects oxidative-stress blood markers in response to a 30-minute run at 75%VO₂max. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. London. Vol. 15. 2005. p. 279-290.

14-Green, K.; Brand, M. D.; Murphy, M. P. Prevention of mitochondrial oxidative damage as a therapeutic strategy in diabetes. Diabetes. Vol. 53. Suppl 1. p.110-8. 2004

15-Groussard C.; Rannou-Bekono F.; Machefer G.; Chevanne M.; Vincent S.; Sergent O. Changes in blood lipid peroxidation markers and antioxidants after a single sprint anaerobic exercise. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. Vol. 89. Núm. 1. p.14-20. 2003.

16-Halliwell, B.; Gutteridge, J. M. C. Free Radicals in biology and medicine. 4ª edição. Oxford: Oxford. 2007.

17-Halliwell, B.; Gutteridge, J. M. C. Antioxidants: molecules, medicines, and myths. Biochemical and Biophysical Research Communications. Orlando. Vol. 393. 2010. p. 561-564.

18-Halliwell B.; Whiteman M. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? Br J Pharmacol. Vol.142. Núm. 2.p. 231-55. 2004.

19-Koury, J. C.; Donangelo C. M. Zinco, estresse oxidativo e atividade física. Rev Nutr. Vol. 16. Núm. 4. p.433-41. 2003.

20-Kreider, R.B.; Melton, C.; Rasmussen, C.J.; Greenwood, M.; Lancaster S.; Cantler, E.C.; Milnor, P.; Almada, A.L. Long-term creatine supplementation does not significantly affect clinical markers of health in athletes. Mol Cell Biochem. Vol. 244. p.95-104. 2003.

21-Margaritis, I.; e colaboradores. Antioxidant supplementation and tapering exercise improve exercise-induced antioxidant response. Journal of the American College of Nutrition. Vol. 22. p. 147-156. 2003.

22-Mastaloudis, A. Antioxidant supplementation prevents exercise-induced lipid peroxidation, but not inflammation, in ultramarathon runners. Free Radic Biol Med. Vol. 36. Num. 10. p. 1329-41. 2004.

23-Mendes R. R.; Tirapegui J. Creatina: o suplemento nutricional para a atividade física – Conceitos básicos. Arch Latinoamer Nutr. Vol. 52. p.117-27. 2002.

24-Metin G.; Atukeren P.; Gümüstas M. K.; Belce A.; Kayserilioglu A. The effect of vitamin E treatment on oxidative stress generated in trained rats. Tohoku. J Exp Med. Vol.198. p.47-53. 2002.

25-Miyazaki, H. Strenuous endurance training in humans reduces oxidative stress following exhausting exercise. Eur J Appl Physiol. Vol. 84. Num. 1-2. 2001. p. 1-6.

26-Newsholme P.; Procopio J.; Lima M. M.; Pithon-Curi T. C.; Curi R. Glutamine and glutamate - their central role in cell metabolism and function. Cell Biochemistry and Function. Chichester. Vol. 21. 2003. p. 1-9.

27-Palazzetti, S.; Richard, M. J.; Favier, A.; Margaritis, I. Overloaded training increases exercise-induced oxidative stress and damage.

Can J Appl Physiol. Vol. 28. Núm. 4. p.588-604. 2003.

28-Palmer F. M.; e colaboradores. Influence of vitamin C supplementation on oxidative and salivary IgA changes following an ultramarathon. Eur J Appl Physiol. Vol. 89. p.100-7. 2003.

29-Pereira, I. R. O. Exercício e estresse oxidativo. In: Paschoal, V.; Naves, A. (Orgs.). Tratado de nutrição esportiva funcional. São Paulo. Roca. 2014.

30-Pinho, R. A.; Silva, L. A.; Pinho, C.A.; Scheffer, D.L.; Souza, C.T.; Benetti, M. Oxidative stress and inflammatory parameters after ironman race. Clin J Sport Med. Vol. 20. Núm. 4. p.306-11. 2010.

31-Powers, S. K.; Jackson, M. J. Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. Physiological Reviews, Baltimore. Vol. 88. p. 1243-1276. 2008.

32-Rowlands, D. S.; Downey, B. Physiology of triathlon. In: Garrett WE Jr, Kirkendall DT, editors. Exercise and sport science. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 2000. p.921-2.

33-Simões, K.; e colaboradores. Ação do licopeno nos músculos esquelético e cardíaco sob estresse oxidativo por exercícios. Rev Bras Med Esporte. Vol. 20. Num. 2. 2014. p. 105-109.

34-Souza, C. F.; Fernandes, L. C.; Cyrino, E. S. Produção de espécies reativas de oxigênio durante o exercício aeróbio e anaeróbio. Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho humano. Vol. 8. Núm. 2. p.102-109. 2006.

35-Souza Junior, T. P.; Oliveira, P. R.; Pereira, B. Exercício físico e estresse oxidativo: efeitos do exercício físico intenso sobre a quimioluminescência urinária e malondialdeído plasmático. Rev Bras Med Esporte. Vol. 11. Num. 1. 2005. p. 91-96.

36-Sureda, A.; e colaboradores. Influence of an antioxidant vitamin-enriched drink on pre- and postexercise lymphocyte antioxidant

system. Annals of Nutrition and Metabolis. Basel. Vol. 52. 2008. p. 233-240.

37-Robson, P. J.; Bouic, P. J.; Myburgh, K. H. Antioxidant supplementation enhances neutrophil oxidative burst in trained runners following prolonged exercise. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. Vol. 13. Num. 3. 2003. p. 369-381.

38-Sacheck J. M.; Milbury P. E.; Cannon J. G.; Roubenoff R.; Blumberg J. B. Effect of vitamin E and eccentric exercise on selected biomarkers of oxidative stress in young and elderly men. Free Radic Biol Med. Vol. 34. Núm. 12. p.1575-88. 2003.

39-Santos R. V.; Bassit R. A.; Caperuto E. C.; Costa Rosa L. F. The effect of creatine supplementation upon inflammatory and muscle soreness markers after a 30 km race. Life Sciences, Elmsford. Vol. 75. p. 1917-1924. 2004.

40-Schneider, C. D.; Oliveira, A. R. Radicais livres de oxigênio e exercício: mecanismos de formação e adaptação ao treinamento físico. Rev Bras Med Esporte. Vol 10. Num. 4. p. 308-313. 2004.

41-Scheffer, D. L.; e colaboradores. Impacto do triatlon Ironman sobre os parâmetros de estresse oxidativo. Rev Bras Cineantropom Hum. Vol. 14. Núm. 2. p.174-182. 2012.

42-Schippinger, G.; Wonisch, W.; Abuja, P. M.; Fankhauser, F.; Winklhofer-Roob B. M.; Halwachs, G. Lipid peroxidation and antioxidant status in professional American football players during competition. Eur J Clin Invest. Vol. 32. Núm. 9. p.686-92. 2002.

43-Thompson, D.; e colaboradores. Prolonged vitamin C supplementation and recovery demanding exercise. Int. J. Sports Nutrition. Exerc Metab. Vol. 4. p. 466-81. 2001.

44-Valencia, E.; Marin, A.; Hardy, G.; Glutathione: Nutritional and pharmacological viewpoints: Part VI. Nutrition. Vol.18. p.291-2. 2002.

45-Watson, T. A.; Callister, R.; Taylor R. D.; Sibbritt D. W.; MacDonald-Wicks, L. K.; Garq,

Revista Brasileira de Nutrição Esportiva

ISSN 1981-9927 *versão eletrônica*

Periódico do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Ensino em Fisiologia do Exercício

www.ibpex.com.br / www.rbne.com.br

M. L. Antioxidant restriction and oxidative stress in short duration exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exerc.* Vol. 37. p.63-71. 2005.

46-Weineck, J. *Biologia do esporte*. 7ª edição. Manole. 2005.

Endereço para correspondência:
Rua José Bisol, casa 714, parte inferior.
Bairro: Lourdes, Caxias do Sul-RS.
CEP: 95072-280.

Recebido para publicação em 15/12/2014
Aceito em 12/03/2015