

SISTEMAS BIOENERGÉTICOS AERÓBIO E ANAERÓBIO EM RELAÇÃO AO ESTRESSE OXIDATIVO**AEROBIC AND ANAEROBIC BIOENERGY SYSTEMS IN RELATION TO OXIDATIVE STRESS**

Julia Camargo de OLIVEIRA¹; Maycon Luis BRAGLIN¹; Christopher Braian SPINDOLA¹;
Anderson MARTELLI²; Lucas Rissetti DELBIM³

RESUMO

Sabe-se que o exercício físico é um vetor de benefícios diretos e indiretos, uma vez que promove o ajuste fisiológico orgânico e dinâmico e proporciona incremento nos indicadores e variáveis associadas ao campo psicológico. Apesar desses benefícios, a ciência questiona se a intensidade exagerada e/ou o volume desmedido de exercícios físicos, mesmo adequadamente prescritos, seriam características potencialmente danosas no transcorrer dos anos. O presente estudo apresenta comparações entre atividades físicas utilizando fontes bioenergéticas aeróbicas e anaeróbicas visando identificar qual dos sistemas gera maior quantidade de radicais livres, tornando assim, mais propenso a levar seu praticante ao estresse oxidativo. O exercício físico executado de forma incorreta e não respeitando o critério da individualidade intensifica os processos metabólicos, podendo predispor ao estresse oxidativo, fator este que sabidamente favorece o envelhecimento precoce e outras alterações fisiológicas significativas. O acúmulo excessivo destas espécies instáveis de oxigênio no organismo apresenta a capacidade de oxidar outras moléculas, causando diversos danos aos sistemas corporal. Após a análise dos artigos conclui-se que o fator tempo (volumetria) de exercício é mais determinante para o estresse oxidativo do que o fator intensidade. Desta forma as atividades de alta intensidade e curta duração apresentam-se como uma alternativa positiva para incremento e manutenção da saúde.

Palavras-chave: Sistemas bioenergéticos; Estresse oxidativo; Exercício físico.

ABSTRACT

It is known that physical exercise is a vector of direct and indirect benefits, since it promotes the organic and dynamic physiological adjustment and provides an increase in the indicators and variables associated with the psychological field. Despite these benefits, science questions whether exaggerated intensity and / or uncontrolled volume of exercises would be potentially harmful as a function of time. The present study presents comparisons between physical activities using aerobic and anaerobic bioenergetics sources in order to identify which of the systems generates a greater amount of free radicals, making it more likely to lead its practitioner to oxidative stress. The physical exercise performed incorrectly and not respecting the criterion of individuality intensify the metabolic processes, being able to predispose to oxidative stress, a factor that is known to favor early aging and other significant physiological changes. The excessive accumulation of these unstable oxygen species in the body has the ability to oxidize other molecules, causing various damages to the body systems. After the analysis of the articles, it was concluded that the exercise time factor (volumetry) is more determinant for oxidative stress than the intensity factor. In this way the activities of high intensity and short duration are presented as a positive alternative for increase and maintenance of health.

Keywords: Bioenergy systems; Oxidative stress; Physical exercise.

¹ Graduação em Educação Física pela Faculdade Mogiana do Estado de São Paulo - FMG, Município de Mogi Guaçu - SP, Brasil.

² Mestre em Ciências Biomédicas Uniararas; Docente do Curso de Educação Física da Faculdade Mogiana do Estado de São Paulo - Município de Mogi Guaçu – SP, Brasil. E-mail: martellibio@hotmail.com

³ Mestre em Sustentabilidade e Qualidade de Vida – (UNIFAE). Docente do Curso de Educação Física da Faculdade Mogiana do Estado de São Paulo - Município de Mogi Guaçu – SP, Brasil. E-mail: lucasdelbim@hotmail.com

Introdução

Sabe-se que o exercício físico é um vetor de benefícios diretos e indiretos, uma vez que promove o ajuste fisiológico orgânico e dinâmico, além de proporcionar incremento também em outros indicadores e variáveis, como socialização e motivação (SHEPHARD, 1997). Um dos fatores observados em condições de exercício é o ajuste cardiovascular, mediado por incremento funcional ventricular e demais estruturas associadas (MCARDLE *et al.*, 2016).

Alguns estudos relatam que o excesso de exercício físico pode causar danos no organismo que vão desde micro fraturas, lesões musculares e inflamações, até envelhecimento precoce, Alzheimer e alguns tipos de câncer (REID, 2008). Porém, a ciência ainda questiona se a intensidade exagerada e/ou o volume desmedido de exercícios seriam realmente características potencialmente danosas em função do tempo.

De acordo com Wells *et al.* (2009) e Wilmore *et al.* (2013), uma grande parte da população tem o conceito de que o exercício aeróbico é relacionado à perda de peso e o anaeróbico ao ganho de massa muscular. Porém, para que ocorram estas mudanças corporais existem uma série de alterações no organismo mediadas e regidas por inúmeras substâncias e moléculas em decorrência dos próprios sistemas bioenergéticos e seus desdobramentos (WILMORE *et al.*, 2013).

Descrever e compreender as alterações proporcionadas pelo

metabolismo energético predominante talvez possa representar um valioso ponto na prevenção do estresse oxidativo, definido como a formação de moléculas instáveis de oxigênio [O₃] precursoras de danos teciduais. A análise destes processos é fundamental para quem pretende construir inferências de forma técnica e respaldada. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão da literatura especializada buscando comparar e avaliar as consequências oxidativas de práticas associadas a exercícios aeróbicos contínuos e exercícios anaeróbicos intervalados, contribuindo com esclarecimentos sobre os sistemas bioenergéticos e sua relação com o estresse oxidativo.

Procedimentos Metodológicos

Para a composição da presente revisão foi realizado um levantamento bibliográfico nas bases de dados SCIELO, Medline, Pubmed, Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e bibliotecas institucionais de artigos científicos publicados até 2016, utilizando como descritores isolados ou em combinação: Sistemas bioenergéticos; Estresse oxidativo; Atividade física, assim como, consultas de livros acadêmicos para complementação das informações.

Para seleção do referencial teórico, subdividiu-se a busca em três etapas, conforme descrito por Martelli (2013). A primeira foi caracterizada pela pesquisa do material que compreendeu os meses

de fevereiro/2017 a agosto de 2017 com a seleção de 52 trabalhos. A segunda etapa incluiu: a leitura dos títulos e resumos dos trabalhos, visando uma maior aproximação e conhecimento com o tema. Após essa seleção, buscaram-se os textos que se encontravam disponíveis na íntegra, totalizando 42 trabalhos, sendo estes, inclusos na revisão.

Como critérios de inclusão dos artigos, destaca-se a procedência da revista e indexação, estudos que apresentassem dados referentes à prática de exercícios físicos e o estresse oxidativo publicados entre os anos de 1987 até o mais atual 2016. Como critério de exclusão utilizou-se referência incompleta e informações advindas de pesquisas com desenhos metodológicos pouco definidos e/ou amostras pouco representativas, já que essa pesquisa visa revisar os conhecimentos atualizados sobre o tema.

Por se tratar de um trabalho de revisão, não se aplicam apontamentos éticos em relação à pesquisa com sujeitos humanos ou animais. Não obstante, as diretrizes e ditames associados à propriedade intelectual foram rigorosamente observados.

Metabolismo energético e exercício

Durante o exercício a demanda energética sofre influências individuais atreladas à alguns fatores como: compleição física, idade, etc., além do grau de intensidade e volume das práticas motoras (WELLS *et al.*, 2009; WILMORE *et al.*, 2013).

O metabolismo é a soma de reações catabólicas e anabólicas ocorridas no organismo, sendo fatores influenciados e influenciadores do exercício físico, pois se refere ao conjunto de reações celulares durante a prática de alguma atividade ou exercício físico (PEREIRA e SOUZA JR, 2010). As alterações agudas no transcorrer do exercício observadas em condições controladas poderão representar fatores de estímulo às adaptações crônicas e desejáveis advindas dos exercícios sistematizados.

Para se calcular o gasto energético de uma pessoa, é necessário compreender o metabolismo de repouso ou Taxa Metabólica Basal (TMB). TMB é o gasto energético relacionado ao estado de repouso e à massa corporal magra dos indivíduos. A TMB é correspondente aos processos metabólicos realizados apenas para absorção de nutrientes e para os processos fisiológicos necessários durante o dia. Desta forma, a TMB figura como uma variável altamente relacionada às características fisiológicas individuais e a compleição física, uma vez que, altos índices de massa muscular poderão apresentar níveis significativamente superiores de consumo calórico mesmo em condição de repouso (MCARDLE *et al.*, 2016).

Quanto mais massa corporal, maior será o índice de taxa metabólica, assim, a taxa metabólica de um homem é geralmente maior do que a de uma mulher. Na figura 1, a taxa metabólica é comparada com a idade do indivíduo, além de também relacionar a taxa

metabólica e a massa corporal isenta de gordura, sendo observado o declínio da taxa metabólica com o passar dos anos, ou seja, quanto maior a idade, menor a taxa metabólica e menor o gasto energético (MCARDLE *et al.*, 2016). Leite *et al.* (2012),

apresenta uma relação entre o envelhecimento e a sarcopenia (perda de massa muscular), pelo desbalanço hormonal e tal fato pode-se associar ao declínio da taxa metabólica.

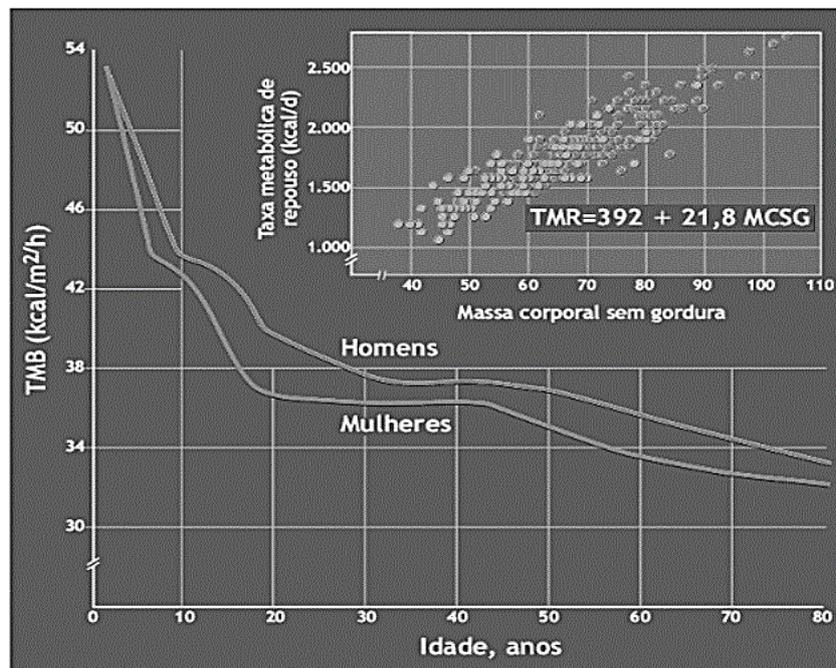


Figura 1. Relação entre Taxa Metabólica e Idade Biológica. Extraído e modificado de MCARDLE *et al.*, 2016.

Antes da elucidação dos processos fisiológicos que o corpo sofre com o treinamento, aponta-se que os efeitos do treinamento se dividem em dois, sendo eles agudos e crônicos. O primeiro corresponde às alterações fisiológicas ocorridas no momento do treino e o segundo diz respeito às alterações feitas pelo organismo com a soma dos treinamentos (WILMORE *et al.*, 2013).

A capacidade que o indivíduo tem de transportar o Oxigênio (O₂), mais conhecido como Volume de Oxigênio (VO₂), tende a aumentar com o treinamento, já que a demanda de O₂ no

tecido muscular esquelético aumenta no treino. De acordo com Denadai (1999) VO₂max é a capacidade de captar, transportar e utilizar O₂ durante a contração muscular para processos aeróbios. O Volume Máximo de O₂ (VO₂max) está diretamente ligada ao efeito crônico do treinamento, partindo do princípio que o corpo tentará se adaptar ao aumento do VO₂ no momento do treino, fazendo com que aumente gradualmente sua capacidade de suprir, de forma mais rápida, a demanda de O₂ nos tecidos (WILMORE *et al.*, 2013).

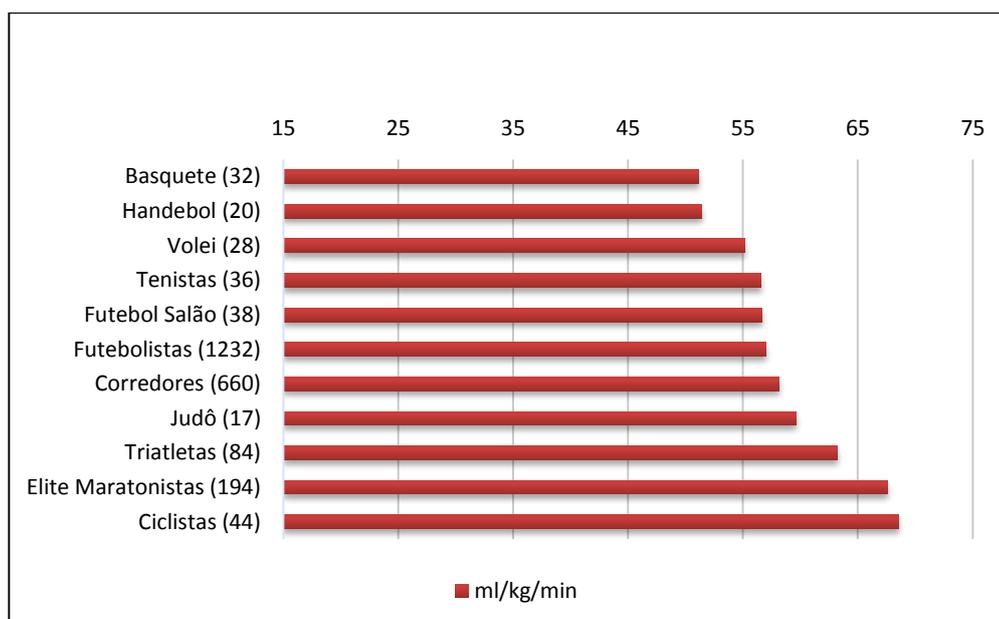


Figura 2. Valores de Referência do Consumo Máximo de Oxigênio – Medidas representativas dos diferentes grupos masculinos (N=2385). Extraído e modificado de BARROS NETO *et al.*, (2001).

Segundo Scott (2006), o gasto de O_2 é necessário para restaurar o metabolismo energético após as adaptações sofridas no exercício. Dessa forma, o consumo excessivo de O_2 Pós-Exercício ou, *Excess Post-Exercise Oxygen Consumption* (EPOC), é responsável por restaurar algumas reservas energéticas após o exercício, recuperando a homeostase (SCOTT, 2006). Quanto maior a intensidade do exercício maior será também o gasto energético para recuperação do metabolismo, ou seja, maior a magnitude do EPOC, assim como, o consumo de O_2 (THORTON e POTTEIRGEIR, 2002). Foureaux *et al.* (2006) apresentam que o aumento do gasto calórico diário, o aumento da TMR e o aumento do EPOC, correspondem a diferentes maneiras que facilitam a manutenção ou perda de peso.

A Frequência Cardíaca (FC) corresponde basicamente à quantidade

de vezes que o coração realiza contração e relaxamento – sístole e diástole, respectivamente (WILMORE *et al.*, 2013; MCARDLE *et al.*, 2016). Esta variável tende a aumentar no momento do treinamento, pois, a demanda de O_2 e outros nutrientes utilizados pelo corpo na hora da prática, aumentam. Dessa forma, o aumento da FC, intensificará o fluxo sanguíneo, suprindo as necessidades corporais por nutrientes e oxigênio (ALMEIDA e ARAÚJO, 2003). Já a Pressão Arterial (PA), obtida pela multiplicação do Débito Cardíaco pela Resistência Periférica Total, refere-se a força realizada pelo ventrículo esquerdo para impulsionar o sangue arterial pelo ramo aórtico (MCARDLE *et al.*, 2016). Para que PA aumente, o corpo terá de passar por processos de adaptações ao longo dos treinamentos. Como a FC, no momento do treinamento, aumentará, o coração se revestirá, com o tempo, de mais camadas de tecido

muscular estriado cardíaco, fortalecendo-o para que, no momento da sístole, o volume sanguíneo bombeado em cada pulsação seja maior. Quanto às adaptações do corpo ao treinamento, cronicamente, a FC tende a diminuir quando o indivíduo está em repouso, pois a PA estará suprindo a demanda do fluxo sanguíneo tecidual (SCHER *et al.*, 2008).

Pauli *et al.* (2009), relatam que o exercício físico tem relação direta com o metabolismo, podendo interferir não somente no balanço calórico, mas também em todos os processos químicos ocorridos durante e após o mesmo, podendo obter resultados tanto positivos quanto negativos, dependendo do grau de intensidade e volume do exercício.

Diferentes exercícios necessitam de diferentes fontes energéticas, para isso, os sistemas energéticos são divididos em aeróbio (sistema oxidativo) e anaeróbio (sistema Adenosina Trifosfato – Fosfocreatina e sistema glicolítico, dividido em láctico e alático) (WILMORE *et al.*, 2013; MCARDLE *et al.*, 2016). Desta forma os exercícios exigem diferentes formas orgânicas de trabalho. A figura 2 apresenta de forma comparativa a variável VO_{2max} em diferentes modalidades esportivas.

É necessário frisar que os sistemas não são desativados ou excluídos em um exercício específico, o que ocorre é a ressalta de um sistema frente a outro, que, por sua vez, continuará a trabalhar de forma sequencial (GASTIN, 2001). Os sistemas supra descritos são responsáveis

pela geração de adenosina trifosfato (ATP), um composto fosfagênio intramuscular de alta energia (WELLS *et al.*, 2009; WILMORE *et al.*, 2013). Para geração dessa energia tem que ocorrer a “quebra” do ATP, reduzindo-o então para adenosina difosfato (ADP) e liberando uma molécula de fosfato (P_i) (WELLS *et al.*, 2009; WILMORE *et al.*, 2013).

Exercícios aeróbios e anaeróbicos e suas particularidades

O sistema aeróbio corresponde ao uso de O_2 para a degradação de carboidratos, gorduras e em alguns casos pode-se chegar também à degradação de proteínas (CAPUTO *et al.*, 2009). Utilizam o sistema oxidativo para geração de energia, sendo este o último grau de produção de energia (WILMORE *et al.*, 2013). Sabe-se que exercícios considerados aeróbios têm a característica de ser contínuos, ou seja, sem pausa para descanso, por este motivo, seu volume tende a ser mais alto do que sua intensidade (FARINATTI e ASSIS, 2000).

Para que um exercício seja prolongado, a síntese de ATP deve ocorrer na mesma proporção que seu consumo, suprindo, assim, a demanda energética do músculo esquelético. Quando o exercício tem como característica o volume muito alto de tempo (acima de 90 minutos e abaixo de 90% do VO_{2max}) o glicogênio muscular será reduzido bruscamente, pela alta demanda calórica, com isso,

costuma limitar-se pelo acúmulo de metabólitos (CAPUTO *et al.*, 2009).

Alguns metabólitos são conhecidos como Espécies Reativas de Oxigênio (ERO), por causarem o aumento da reatividade para biomoléculas (FISCHER, 1987). Ocorrem quando um átomo perde um elétron, tornando-o instável, logo, este se encontrará presente e livre na corrente sanguínea causando danos ao organismo, retratados à frente. Para Gastin (2001), no início de um exercício de alta intensidade o sistema aeróbio é o que mais rapidamente responde ao estímulo. Além disso, sabe-se que, se pode obter melhorias na performance de atletas de *endurance*, dependendo da intensidade do seu treinamento aeróbio (ORTIZ *et al.*, 2003). O rendimento do sistema aeróbio é determinado por três variáveis principais: VO_2 max, a resposta do lactato sanguíneo ao exercício e a eficiência muscular, sendo esses, os melhores parâmetros que representam esta capacidade (LOWEN, 2000).

Dentre os benefícios desta prática destaca-se a resistência cardiorrespiratória, além de benefícios fisiológicos e psicológicos. De acordo com Lowen (2000), dentre os benefícios fisiológicos tem-se o aumento da PA, com isso, a diminuição da FC em resposta crônica ao exercício, o aumento do VO_{2max} , aumento do número mitocondrial e da capacidade de oxidação de carboidratos e Ácidos Graxos Livres (AGL). Miranda e Souza (2009), afirmam que a prática de exercícios considerados

aeróbios tende a elevar a afetividade interpessoal de um modo positivo.

Além desses benefícios, Caputo *et al.* (2009) afirmam que o sistema aeróbio ajuda na recuperação do sistema anaeróbio, ou seja, se o indivíduo tiver uma boa capacidade aeróbia, se recuperará mais rapidamente nos intervalos de sessões anaeróbias do que um indivíduo que não a tem.

Para geração de energia deste sistema o organismo metaboliza 85% a 90% do O_2 consumido na mitocôndria, o restante (10% a 15%) são utilizados por variadas enzimas de oxidases, oxigenases e ainda, em oxidação direta (SCHNEIDER e OLIVEIRA, 2004).

O aumento do consumo de O_2 resulta na formação de radicais livres (RL), sintetizados pela redução incompleta do O_2 (ROWLANDS e DOWNEY, 2000). Os RL geram reatividade para biomoléculas e são relacionadas à diferentes tipos de doenças que variam desde doenças inflamatórias, até alguns tipos de câncer. O aumento de RL presente no organismo desencadeará um desequilíbrio dos sistemas antioxidante e pro-oxidante, onde o primeiro não suprirá o aumento de RL, causando danos nas células e, conseqüentemente, nos tecidos (SCHNEIDER e OLIVEIRA, 2004).

Essa descompensação entre os sistemas oxidantes e antioxidantes resulta no Estresse Oxidativo (EO) (BARBOSA *et al.*, 2010). Souza *et al.*, (2005) realizaram um teste que indicava o efeito da atividade física intensa sobre o EO, comparando os marcadores no repouso e

na corrida em esteira rolante. O resultado mostrou aumento nos níveis plasmáticos de malondialdeído, um dos marcadores do estresse oxidativo, principalmente ao atingir 23 minutos (aumento de 714%) e 26 minutos (aumento de 761%). Além disso, o estudo mostrou que a capacidade do plasma total sofreu uma redução do mesmo marcador de 52% aos 23 minutos e 59% aos 26 minutos. Além desses desequilíbrios causados pelos RLs, tem que se levar em consideração que os mesmos danificam o tecido muscular esquelético pelo estresse oxidativo, pode-se dizer então, que o risco de lesão em atividades aeróbias mais volumétricas parece ser maior do que os danos gerados por atividades de menor duração e intensidade superiores.

Quanto aos exercícios anaeróbios, Wells *et al.* (2009) retratam que este sistema é aquele que não necessita de O₂ para gerar energia durante os exercícios. Exercícios utilizando este sistema são conhecidos como intervalados, pela pausa entre séries, algo que proporciona uma recuperação energética parcial para uma nova etapa motora, o que dá margem para o aumento da intensidade prática. Para geração da energia, este sistema utiliza dois diferentes tipos de fontes metabólicas, sendo elas ATP-fosfocreatina (ATP-PCr) e glicolítica (lática e alática) (WELLS *et al.*, 2009; WILMORE *et al.*, 2013).

O ATP-PCr tem em sua composição uma molécula de fosfocreatina (PCr), sendo esta utilizada na ressíntese do ATP, doando uma molécula de P_i para o ADP

(WILMORE *et al.*, 2013; MCARDLE *et al.*, 2016). Este processo é o mais simples e mais rápido para geração de energia, porém ocorre apenas no começo do exercício de alta intensidade, tendo sua duração em torno de 10 segundos, pois a demanda de energia é muito alta para manter o estoque de PCr, logo, a regeneração de ATP não consegue manter seus níveis (WILMORE *et al.*, 2013; MCARDLE *et al.*, 2016). O sistema glicolítico consiste basicamente na quebra de glicose, para geração de ATP. Esta glicose pode ser encontrada no tecido muscular esquelético e no fígado em forma de glicogênio (WILMORE *et al.*, 2013).

Krustrup *et al.* (2001), diz que exercícios de alta intensidade não alcançam estabilidade, pelo fato da demanda de ATP por contração ser muito alta, assim, a fadiga ocorre rapidamente. Este processo se divide em láctico e alático, no primeiro há presença de lactato, sal constituído a partir da geração do ácido pirúvico na degradação da glicose e o segundo há presença de PCr (KRUSTRUP *et al.*, 2001).

De acordo com Wells *et al.* (2009), na glicólise sem a presença de O₂, o ácido pirúvico é transformado em ácido láctico, e mais posteriormente, em lactato. O lactato é um fator limitante no exercício, pois, quando em altos níveis de concentração no tecido muscular esquelético, as fibras se encontram em um estado ácido, o que dificulta a ligação de cálcio nas fibras, fazendo com que a contração muscular seja interferida e

impede que o processo de glicólise aconteça. Este metabolismo consegue se manter em uma duração entre 1 à 2 minutos em uma alta intensidade, sendo limitado pela alta concentração de lactato, como dito anteriormente (WILMORE *et al.*, 2013).

No sistema glicolítico alático, não há presença de lactato, a energia se dá através da PCr presente no músculo (WILMORE *et al.*, 2013; MCARDLE *et al.*, 2016). Dentre os benefícios desta prática são citadas a melhora significativa da força muscular, do equilíbrio e da flexibilidade (EBBEN e LEIGHT, 2006). Com o aumento da força muscular, a possibilidade de haver melhoria de variáveis que são dependentes dela, como, potência e velocidade, por exemplo, aumenta. Além destes benefícios tem-se de forma crônica o aumento da PA, com isso, a redução da FC (SILVA *et al.*, 2005).

Estresse Oxidativo

Para o entendimento entre o exercício e o EO, é preciso retratar que a prática de exercício físico causa alterações na homeostase, com isso, o corpo terá de passar por vários processos para estabilizar-se novamente. Quando o exercício é praticado em níveis muito altos - esporte de competição ou quando prescrito de modo incorreto, essas modificações podem ser ainda maiores (LIEW *et al.*, 1997). Existem hipóteses que retratam que a relação entre geração de RL e o exercício físico está na tentativa dos sistemas bioenergéticos de suprir as

modificações ocorridas no organismo pelo exercício, com isso, a demanda energética intracelular se eleva, de forma que também potencializa a produção de RL, levando-o ao EO, apontando que o excesso de RL no organismo desencadeia o EO, podendo causar sérios danos biológicos, como por exemplo, doenças cardíacas, diabetes, cataratas dentre outras patologias (REGULSKI e TULLY, 1995). A geração de RL no organismo se dá com a produção de energia, fagocitose, regulação do crescimento celular, sinalização intracelular e síntese de importantes substâncias biológicas (BARREIROS *et al.*, 2006). Segundo Holmqvist *et al.* (1994), os RLs podem ser produzidos em diferentes lugares da célula, sendo eles o citoplasma, mitocôndrias e membrana celular, além disso, suas fontes podem ter influências exógenas e endógenas. Tesi e Machado (2008) e Koury e Donangelo (2003) retratam que os RLs são formados principalmente quando o corpo está utilizando processos do metabolismo oxidativo, com isso pode-se dizer que as modalidades que utilizam o O₂ como gerador de energia tendem a promover a geração de espécies reativas. De acordo com Visioli *et al.* (2000), os RLs são divididos em grupos formados por O₂ (ERO) e por nitrogênio (ERN). Os EROs se dividem em outros dois grupos, sendo eles radicalares e não-radicalares, os ERNs apresentam algumas espécies altamente reativas, outras que são reativas apenas a um tecido específico e outras que são pouco reativas (BARREIROS *et al.*, 2006).

Para Singh e Jialal (2006), os principais fatores responsáveis por danificar o endotélio celular se deve a presença de ERO e ERN, além de relacionar o EO à diminuição da performance, dano muscular, a fadiga e ao excesso de treinamento. Quando a geração de RL supera os processos antioxidantes, permite o acúmulo de metabólitos no organismo surgindo a possibilidade de deterioração de compostos como proteínas, ácido desoxirribonucleico (DNA) e lipídeos (NATHAN e XIE, 1994). Cruzat *et al.* (2007) explicam que a prática de exercícios físicos aumenta a produção de ERO no organismo, com o acúmulo de ERO o risco de lesões musculares e inflamações aumentam, porém, apesar de haver o risco de lesões, após o exercício inicia-se o processo de recuperação da homeostase, e nesta fase observa-se o aumento de moléculas antioxidantes, o que gera maior resistência a novas lesões sendo retratado como processo adaptativo.

Ribeiro *et al.* (1993), apontam em seu estudo que pode haver benefícios quando a oxidação de moléculas está em desequilíbrio temporário, alegando que essa instabilidade causa adaptações no organismo, ou seja, apesar de o sistema aeróbio gerar um elevado número de RL, estimula também sistemas antioxidantes a se tornarem mais resistentes aos processos oxidativos. Em outra investigação, Regulski e Tully (1995), descrevem que a prática de exercícios que utilizam a via metabólica oxidativa (exercícios aeróbios) geram maior

concentração de enzimas antioxidantes em relação aos que utilizam outras vias metabólicas (exercícios anaeróbios).

Exercícios que apresentam intensidade moderada (70% a 80% da FC), geram adaptações no organismo, com isso, os tecidos são capazes de obter uma tolerância maior ao EO, diminuindo assim, os danos causados por RL (TELESI e MACHADO, 2008). Para Singh e Jialal (2006), apesar da prática de exercícios aeróbios ajudarem a reforçar o sistema antioxidante, esta exige maior volume de O₂, com isso, se cria a controversa, pois este provoca aumento da produção de RL.

O sistema antioxidante é classificado conforme suas ações, sendo elas, medidas de prevenção, que tem como objetivo impedir a formação de RL, os varredores, que impedem os danos que os RL causam nas células e medidas de reparo, que minimizam danos já causados por RL nas células (ALDERTON *et al.*, 2001). Além desta classificação, existe também uma classificação alternativa que indica a fonte antioxidante, estes são divididos em enzimáticos e não enzimáticos, a saber: - sistema de defesa enzimático encontra-se principalmente enzimas como, Catalase (CAT) Superóxido Dismutase (SOD) e Glutamina Peroxidase (GPX) (SALERNO *et al.*, 1995). Para que ocorra a produção destas enzimas, necessita-se da presença de minerais como, Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Selênio (Se) (SALERNO *et al.*, 1995). Cada um desses micronutrientes tem seu papel no sistema antioxidante, por este motivo os quesitos nutricionais também estão associados ao

EO (SALERNO *et al.*, 1995). Em relação ao sistema não-enzimático utilizam-se de pequenas moléculas para a defesa do organismo podendo ser encontradas nos alimentos como a vitamina A, C e E, além da Glutathiona Reduzida (GSH) (REGULSKI e TULLY, 1995).

Considerações Finais

Sabe-se que o exercício físico, quando praticado de forma correta e sistemática pode representar um fator diferencial para a qualidade de vida dos indivíduos por proporcionar uma série de benefícios fisiológicos e psicológicos. Porém, o exercício físico prescrito de forma errônea corrobora de forma negativa aos processos metabólicos, podendo predispor o surgimento de quadros como o estresse oxidativo. O acúmulo excessivo das espécies instáveis de oxigênio no organismo apresenta a capacidade de oxidar outras moléculas, causando danos que variam desde envelhecimento precoce, até alguns tipos de câncer. É possível que exercícios demasiadamente longos favoreçam o surgimento de espécies instáveis de oxigênio, predispondo o estresse oxidativo. Desta forma, observa-se que, provavelmente as práticas aeróbias de baixa intensidade e longa duração sejam parcialmente contraindicadas quando comparadas às práticas com níveis de intensidade mais significativos e consequentemente com necessidade de tempo de prática menor. Porém ainda não há consenso em relação a qual tipo de

exercício favorece mais a formação do referido metabólito, porém o cuidado com o excesso da prática de exercícios físicos, independentemente do tipo de exercício escolhido figura como importante fator profilático ao transtorno foco da proposta.

Em relação ao aparato da literatura acerca do assunto observa-se escassez documental, sugerindo uma promissora e potencialmente valiosa linha de investigação para propostas futuras que favoreçam estudos de campo com metodologia bem delineada para a elucidação de áreas que remanescem obscuras.

Referências

ALDERTON, W.K.; COOPER, C.E.; KNOWLES, R.G. Nitric oxide synthases: structure, function and inhibition. *Journal Biochemistry*, v. 1, 2001.

ALMEIDA, M.B.; ARAÚJO, C.G.S. Efeitos do treinamento aeróbio sobre a frequência cardíaca. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 9, n. 2, 2003.

BARBOSA, K.B.F.; COSTA, N.M.B.; ALFENAS, R.C.G.; PAULA, S.O.; MINIM, V.P.R.; BRESSAN, J. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. *Revista de Nutrição*, 4ª edição, jul/ago, Campinas, 2010.

BARREIROS, A.L.B.S.; DAVID, J.M.; DAVID, J.P. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. *Química Nova*, v. 29, n. 1, 2006.

BARROS NETO, T.L.; TEBEXRENI, A.S.; TAMBEIRO, V.L. Aplicações práticas da ergoespirometria no atleta. Federación Argentina de Cardiología, Copright, 2001.

CAPUTO F.; OLIVEIRA, M.F.M.; GRECO, C.C.; DENADAI, B.S. Exercício aeróbio: aspectos bioenergéticos, ajustes fisiológicos, fadiga e índices de desempenho. Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano, 1ª edição, 2009.

CRUZAT, V.F.; ROGERO, M.M.; BORGES, M.C; TIRAPEGUI, J. Aspectos atuais sobre estresse oxidativo, exercícios físicos e suplementação. Revista Brasileira de Medicina do Esporte, v. 13, n. 5, set/out, 2007.

DENADAI, S.B. Índices fisiológicos de avaliação aeróbia: conceitos e aplicações. Ribeirão Preto, B.S.D, 1999.

EBBEN, W.P.; LEIGHT, DH. The effects of resistance training on cardiovascular patients. Strength and Conditioning Journal, 2006.

FARINATTI, P.T.V.; ASSIS, B.F.C.B. Estudo da frequência cardíaca, pressão arterial e duplo-produto em exercícios contra-resistencia e aeróbio contínuo. Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde, v. 5, n. 2, 2000.

FISCHER, A.B. Intracellular production of oxygen-derived free radicals. Proceedings of a Brook Lodge Symposium. Augusta, apr, 1987.

FOUREAUX, G.; PINTO, K.M.; DÂMASO, A. Efeito do consumo excessivo de oxigênio após exercício e da taxa metabólica de repouso no gasto

energético. Revista Brasileira de Medicina do Esporte, v. 12, n. 6, nov/dez, 2006.

GASTIN, P.B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. Sports Medicine, 10ª edição, 2001.

HOLMQVIST, B.I.; OSTHOLM, T.; ALM, P.; EKSTROM, P. Nitric oxide synthase in the brain of a teleost. Neurological letters, v. 25, 1994.

KRUSTRUP, P.; ALONSO, J.G.; QUISTORFF, B.; BANGSBO, J. Muscle Heat Production and Anaerobic Energy Turnover During Repeated Intense Dynamic Exercise in Humans. The Journal of Physiology, nov, 2001.

KOURY, J.C.; DONANGELO, C.M. Zinco, estresse oxidativo e atividade física. Revista de Nutrição. v. 16, n. 4, Campinas, 2003.

LANDS, D.S.; DOWNEY, B. Physiology of triathlon.. Exercise and sport science. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.

LEITE, L.E.A.; RESENDE, T.L.; NOGUEIRA, G.M.; CRUZ, I.B.M.; SCHNEIDER, R.H.; GOTTLIEB, M.G.V. Envelhecimento, estresse oxidativo e sarcopenia: uma abordagem sistêmica. Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia. v. 15, n. 2, Rio de Janeiro, 2012.

LIEW, F.Y.; WEI, X.Q.; PROUDFOOT, L. Cytokines and Nitric oxide as effector molecules against parasitic infections. Philosophical Royal Society of London, v. 29, 1997.

LOWEN, A. Bioenergética. Feltrinelli Editore, v. 291, 2000.

MARTELLI, A. Potencial da prática de exercícios físicos regulares como método não farmacológico no controle da Hipertensão Arterial Sistêmica. *Revista Desenvolvimento Pessoal*. v. 3, n.2 2, p: 51, 2013.

MCARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.I. *Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano*. Guanabara Koogan, 7ª edição, Rio de Janeiro, 2016.

MIRANDA, M.L.J.; SOUZA, M.R. Efeitos da atividade física aeróbia com música sobre estados subjetivos de idosos. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, v. 30, n. 2, Campinas, jan, 2009.

NATHAN, C.; XIE, Q.W. Regulation of biosynthesis of Nitric oxide. *Journal Biological Chemistry*, v. 13, 19ª edição, 1994.

ORTIZ, L.A.; GAMBELLI, F.; MCBRIDE, C.; GAUPP, D.; BADDOO, M.; KAMINSKI, N.; PHINNEY, D.G. Mesenchymal stem cell engraftment in lung is enhanced in response to bleomycin exposure and ameliorates its fibrotic effects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, jun/jul, 2003.

PAULI, J.R.; CINTRA, D.E.; SOUZA, C.T.; ROPELLE, E.R. Novos mecanismos pelos quais o exercício físico melhora a resistência à insulina no músculo esquelético. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia*. v. 53, n. 4, São Paulo, 2009.

PEREIRA, B.; SOUZA Jr, T.P. *Metabolismo celular e exercício físico:*

Aspectos bioquímicos e nutricionais. Phorte Editora, 3ª edição, São Paulo, 2010.

REGULSKI, M.; TULLY, T. Molecular and biochemical characterization of dNOS: a *Drosophila* Ca²⁺/calmodulin-dependent Nitric oxide synthase. *Proceedings of the National Academy of Sciences-USA*, v. 26, 1995.

REID, M.B. Free radicals and muscle fatigue: Of ROS, canaries, and the IOC. *Free Radical Biology and Medicine*, 2008.

RIBEIRO, J.M.; HAZZARD, J.M.; NUSSENZVEIG, R.H.; CHAMPAGNE, D.E.; WALKER, F.A. Reversible binding of Nitric oxide by a salivary heme protein from a blood sucking insect. *Science*, v. 260, 1993.

ROWLANDS DS, DOWNEY B. *Physiology of triathlon*. In: Garrent & Kirkendall, editors. *Exercise and sport science*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.

SALERNO, J.C.; FREY, C.; MCMILLAN, K.; WILLIAMS, R.F.; MASTERS, B.S.; GRIFFITH, O.W. Characterization by electron paramagnetic resonance of the interactions of L-arginine and L-thiocitrulline with the heme cofactor region of Nitric oxide synthase. *Journal Biological Chemistry*, v.270, 1995.

SCHER, L.M.L.; NOBRRE, F.; LIMA, N.K.C. O papel do exercício físico na pressão arterial em idosos. *Revista Brasileira de Hipertensão*, v.15, 4ª edição, 2008.

SCHNEIDER, C.D.; OLIVEIRA, A.R. Radicais livres de oxigênio e exercício: mecanismos de formação e adaptação ao treinamento físico. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v.10 n.4, jul/ago, 2004.

SCOTT, C.B. Contribution of Blood Lactate to the Energy Expenditure of Weight Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2006.

SHEPARD, R. J. Alterações fisiológicas através dos anos. In: *American College of Sports Medicine. Prova de esforço e prescrição de exercício*. Rio de Janeiro: Revinter, 1997.

SILVA, A.S.R.; SANTOS, F.N.C.; SANTHIAGO, V.; GOBATO, C.A. Comparação entre métodos invasivos e não invasivo de determinação da capacidade aeróbia em futebolistas profissionais. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v.11 n.4, jul/ago, 2005.

SINGH, U.; JIALAL, I. Oxidative stress and atherosclerosis. *Pathophysiology*. 2006.

SOUZA JR, T.P.; OLIVEIRA, P.R.; PEREIRA, B. Efeitos do exercício físico

intenso sobre a quimioluminescência urinária e malondialdeído plasmático. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 1ª edição, 2005.

TELESI, M.; MACHADO, F.A. A influência do exercício físico e dos sistemas antioxidantes na formação de radicais livres no organismo humano. *Revista Saúde e Biologia*, v.3 n.1, jul/dez, 2008.

THORTON, M.K.; POTTEIRGEIR, J.A. Effects of exercise bouts of diferente intensities but equal work on EPOC. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2002.

VISIOLI, F.; KEANEY JR., J.F.; HALLIWELL, B. Antioxidants and Cardiovascular Disease; Panaceas or Tonics for Tired Sheep? *Cardiovascular Research*, 2000.

WELLS, G.D.; SELVADURAI, H.; TEIN, I. Bioenergétic provisiono f energy for muscular activity. *Pediatric Respiratory Reviews*, v.10 n.3, sep, 2009.

WILMORE, J.H.; COSTILL, D.L.; KENNEY, W.L. *Fisiologia do exercício*. Manole, 5ª edição, 2013.