

Artigo original

Efeito do uso de antioxidantes na prevenção da lesão muscular em atividades físicas intensas

Effect of antioxidant in the prevention of muscular lesion in intense physical activities

Fabio Gilberto Valente*, Rita de Cassia Doracio Mendes, M.Sc.**, Wanderlei Onofre Schmitz, M.Sc.***

Biomédico graduado pelo Centro Universitário da Grande Dourados, **Professora do curso de Nutrição do Centro Universitário da Grande Dourados, *Professor do curso de Farmácia do Centro Universitário da Grande Dourados*

Resumo

O exercício intenso tem sido reconhecido como principal causa evitável de lesão muscular. Isso ocorre devido à produção dos radicais livres durante o exercício. Por isso seria importante o uso de substâncias antioxidantes para minimizar as lesões durante os exercícios. Este estudo avaliou o uso de antioxidante (vitamina C) na prevenção da lesão muscular em atletas. A pesquisa foi realizada com um grupo de 9 fisiculturistas. Cada atleta realizou uma série de exercícios e posteriormente foram tomadas as medidas antropométricas e, para avaliar o grau de lesão muscular, foi dosada a atividade enzimática (CPK, CK-MB, ALT, AST) no soro dos atletas. O IMC dos atletas foi adequado ($23,1 \pm 0,4 \text{ kg/m}^2$), e a porcentagem de gordura corporal ($14,2 \pm 1,5\%$), próximo da média recomendada para os homens. Os níveis séricos de CPK decaíram de maneira significativa, atividade sérica da CK-MB apresentou uma diminuição de 8% na sua atividade, já a AST apresentou uma queda de 15% da sua atividade e a Enzima ALT não teve alterações significativas, após o tratamento com vitamina C. Os resultados do estudo sugerem que o consumo regular da vitamina C melhora os mecanismos de defesa antioxidante e reduz as manifestações de danos musculares induzidos pelo esforço, possivelmente por meio da neutralização da ação dos radicais livres.

Palavras-chave: radicais livres, lesão muscular, antioxidantes, vitamina C.

Abstract

The intense exercise has been recognized as the main avoidable cause of muscular lesion, which happens because of the production of free radicals during the exercise. Therefore, it would be important to use antioxidant substances to minimize the lesions during exercises. This study evaluated the use of antioxidant (vitamin C) in the prevention of muscular lesion in athletes. The study was performed with a group of 9 body-builders who carried out several series of exercises. In order to evaluate the level of muscular lesion, the enzymatic activity in the serum of the athletes was dosed (CPK, CK-MB, ALT, AST). The BMI of the athletes was adequate ($23.1 \pm 0.4 \text{ kg/m}^2$) and the percentage of body fat ($14.2 \pm 1.5\%$) was close to the average recommended for men. The serum levels of CPK decreased significantly. The serum activity of CK-MB presented a decrease of 8% in its activity while the AST presented a decrease of 15% in its activity and the enzyme ALT have not had any significant alterations after the treatment with vitamin C. The results suggest that a regular consumption of vitamin C improves the antioxidant defense mechanisms and reduce the manifestations of muscle tissue damage induced by effort, possibly by means of neutralization of the damaging action of free radicals.

Key-words: free radicals, muscular lesion, antioxidants, vitamin C.

Recebido em 28 de fevereiro de 2011; aceito em 15 de maio de 2011.

Endereço para correspondência: Wanderlei Onofre Schmitz, Rua Ranulfo Saldivar, 458, Parque Alvorada, 79823-420 Dourados MS, Tel: (67) 3426-7442, E-mail: wandererita@ig.com.br

Introdução

O exercício exaustivo e extenuante tem sido reconhecido como causa comum e evitável de lesão muscular, principalmente em homens não condicionados, pois, durante a atividade física, ocorrem diversas adaptações fisiológicas, sendo necessários ajustes cardiovasculares e respiratórios para compensar e manter o esforço realizado. O aumento do consumo de oxigênio, assim como a ativação de vias metabólicas específicas, resulta na formação de radicais livres (RL) durante o exercício [1]. Segundo Clarkson e Thompson [2], essas espécies reativas são moléculas que apresentam um elétron desemparelhado na sua camada de valência, podendo contribuir para danos celulares e também prejudicando o desempenho do atleta.

O treinamento resistido consiste em um tipo de treinamento de força, que é predominantemente um processo anaeróbico, ou seja, com suprimento de O₂ reduzido, nestes casos o músculo converte o ATP em ADP e o ADP em AMP. O AMP acumulado no músculo é degradado a inosina monofosfato (IMP) e a IMP formada é degradada à inosina, e esta, à hipoxantina. A hipoxantina sofre ação da xantina oxidase que durante o processo de oxidação da hipoxantina a xantina, gera diretamente moléculas de radicais livres (superóxido, peróxido de hidrogênio e radical hidroxila) [3].

Os RL podem atacar todas as principais classes de biomoléculas do organismo, sendo os lipídeos os mais suscetíveis. Os ácidos graxos poliinsaturados (PUFA) das membranas celulares sofrendo lipoperoxidação, que é uma destruição oxidativa que se autopropaga na membrana. Uma grande produção de RL pode conduzir ao estresse oxidativo, que causa danos à estrutura do DNA, lipídios, carboidratos e proteínas, além de outros componentes celulares. Estes danos ocorridos nas células ampliam o tempo necessário para a reparação celular e isso obriga os atletas a manter um determinado tempo para a recuperação da musculatura, que foi exigida durante o treino, sob o risco de sobrecarga à musculatura produzindo fadiga e perda de massa muscular [4].

Uma das maneiras de avaliar as lesões causadas por RL é dosar os metabólitos formados durante o estresse oxidativo, estes metabólitos são: a produção de malondialdeído (MDA) e dienos conjugados [2]. Ramel *et al.* [5] avaliaram o perfil antioxidante, a lipoperoxidação, a produção de MDA e dienos conjugados em atletas que realizavam exercícios resistivos e em atletas que não realizavam exercícios resistivos e encontrou um aumento da produção de RL nestes dois tipos de atletas não havendo diferença entre o tipo de treino na produção dos RL.

Estas lesões causadas às células musculares durante o treino podem ser prevenidas ou reduzidas por meio da ação dos antioxidantes encontrados nos alimentos, os quais podem ocorrer naturalmente na dieta do atleta ou ser introduzidos especificamente durante o processo de treinamento para melhorar o rendimento do mesmo [6].

Zoppi *et al.* [7] tentaram explicar a etiologia da lesão muscular, em um estudo sobre alterações em biomarcadores

de estresse oxidativo em atletas, eles observaram que, durante o exercício físico, o consumo de oxigênio aumenta em até 20 vezes. Considerando-se que 2 a 5% do oxigênio consumido dão origem a RL, conseqüentemente ocorre aumento da produção de tais agentes nocivos. Assim, ocorre uma associação direta entre a produção de RL durante o exercício físico, o processo de fadiga muscular e a lesão celular. Segundo García [8], o exercício forçado se caracteriza por um aumento no consumo de oxigênio levando a um desequilíbrio entre os mecanismos pró-oxidantes da homeostase celular e os mecanismos de defesa antioxidantes, causando a produção excessiva de RL que pode induzir destruição celular. O nível da lesão é determinado pela duração e intensidade do exercício. Desta forma, atividades de resistência ou de explosão produzem vários níveis de resposta celular e de lesão muscular. O maior risco de lesão muscular ocorre durante a contração excêntrica, pois, neste tipo de ação, realiza-se trabalho de força e de alongamento ao mesmo tempo, aumentando o estresse sobre os tecidos [9].

Marcadores de lesão muscular

As lesões causadas no músculo esquelético pelo exercício podem variar dependendo da fibra muscular e do tipo de trauma ocorrido. O exercício normalmente eleva os valores das enzimas musculares de 12 a 48 horas após o mesmo. O aumento das proteínas presentes no citosol celular na circulação plasmática reflete diretamente na lesão da membrana da célula muscular [10].

Para o diagnóstico dos danos musculares esqueléticos é utilizada a dosagem da atividade enzimática da creatinafosfoquinase (CPK), já para avaliar a lesão muscular cardíaca utiliza-se a creatinafosfoquinase fração MB (CK-MB). Dentre essas enzimas, a CPK é frequentemente descrita como melhor marcador de dano ao tecido muscular, sobretudo após o exercício de força [11].

A CPK é um indicador altamente sensível e específico de lesão muscular em humanos. A CPK pode apresentar um aumento de suas taxas no soro em casos de lesão muscular reversível ou na necrose muscular. Assim, altas taxas de CPK sérica indicam doença muscular ativa ou de ocorrência recente, enquanto valores persistentemente altos refletem a continuidade da lesão. Já a CK-MB é uma isoenzima da CPK que corresponde à principal enzima liberada pelo músculo estriado cardíaco. Esta enzima eleva-se quando ocorre isquemia em uma determinada região do músculo cardíaco e sua determinação é altamente específica para o diagnóstico da lesão celular aguda do miocárdio. O aumento da CK-MB atinge seu pico entre 12 e 24 horas, para depois regressar ao normal dentro de 48 a 72 horas [12].

Também é possível diagnosticar a lesão muscular através da dosagem da atividade enzimática da aspartato aminotransferase (AST) e da alanina aminotransferase (ALT), já que essas enzimas são enzimas intracelulares e, devido à lesão celular, são

liberadas no plasma onde se tornam elevadas. Esse aumento ocorre poucas horas após a lesão e atinge valores máximos em 12 horas, voltando ao normal 24 a 48 horas depois de cessar a alteração de permeabilidade muscular. A AST é encontrada principalmente no fígado, nos eritrócitos e no músculo estriado esquelético e cardíaco. Normalmente é utilizada para avaliar lesão muscular juntamente com a ALT. A utilização da enzima AST oferece informações mais precisas sobre o grau da lesão, pois é encontrada em maior concentração no interior da mitocôndria e seu aumento sugere lesão mitocondrial [10].

O uso de antioxidantes

Os antioxidantes são capazes de sequestrar os RL gerados pelo metabolismo celular ou por fontes exógenas, impedindo o ataque destes sobre os lipídeos, os aminoácidos das proteínas, a dupla ligação dos ácidos graxos poliinsaturados e as bases púricas e pirimídicas do DNA, evitando assim a formação de lesões e perda da integridade da membrana celular. O controle do estresse oxidativo pela ação dos antioxidantes nas células é extremamente importante para a sobrevivência do ser humano no ambiente aeróbico [13].

Atua nesse sentido a vitamina C, que proporciona proteção contra a oxidação descontrolada no meio aquoso da célula, pois apresenta a habilidade de atuar como agente redutor (doador de elétrons). A recomendação diária (RDA) de vitamina C para mulheres adultas foi estipulada em 75 mg/dia e, para homens, em 90 mg/dia. Já os fumantes, que têm maior estresse oxidativo, devem aumentar a sua ingestão em 35 mg/dia. O limite máximo tolerável para um indivíduo com idade de dezenove (19) a cinquenta (50) anos é de 2000 mg/dia de vitamina C, essa dosagem foi baseada no efeito adverso da indução de diarreia osmótica causada pela alta ingestão de vitamina C. A vitamina C da dieta é absorvida de forma rápida e eficiente por um processo dependente de energia, o seu consumo em doses altas leva ao aumento da sua concentração em praticamente todos os tecidos do organismo e diretamente no plasma sanguíneo [14].

A deficiência de vitamina C no organismo pode resultar em câimbras musculares, promover sensações de fraqueza, baixo desempenho físico e dificuldade na resistência aeróbica. Estes sintomas prejudicam o desempenho dos atletas durante os treinamentos físicos, podendo favorecer a lesão muscular e a dor. Assim o uso de antioxidantes pode atuar na prevenção de danos no tecido muscular e tornar o treinamento mais eficaz melhorando os resultados nas competições [8,15].

Goldfarb *et al.* [16] ministraram doses de 500 ou 1.000mg de vitamina C/dia a voluntários durante duas semanas e no final do tratamento, os pacientes foram submetidos a uma corrida de 30 minutos. Após o exercício, o grupo que recebeu a vitamina C apresentou uma menor oxidação das suas proteínas em relação ao grupo controle não tratado, demonstrando a ação da vitamina C. A suplementação com vitamina C por um tempo mais prolongado e em menores doses pode trazer

benefícios em relação à dor e à lesão musculares, que os atletas enfrentam após uma competição. Thompson *et al.* [17] avaliaram o efeito de duas semanas de suplementação com vitamina C sobre a recuperação dos atletas após um protocolo de exercício intenso e prolongado, a concentração de CPK e de mioglobina não foram alteradas pela suplementação, mas a suplementação atenuou a concentração de MDA e da dor muscular, beneficiando a recuperação da função do músculo.

Tendo em vista os dados apresentados, este trabalho tem como objetivo avaliar a ação da vitamina C como agente antioxidante e mioprotetor, amenizando as lesões musculares ocorridas durante o treinamento físico em atletas e com isso possibilitando uma melhor recuperação muscular destes indivíduos.

Material e métodos

Caracterização e recrutamento da amostra

A pesquisa foi realizada com nove atletas fisiculturistas, na cidade de Dourados/MS, que praticavam musculação, no mínimo por um ano, sendo todos do sexo masculino, com idade de 18 a 25 anos e com peso entre 65 a 100 kg. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do Centro Universitário da Grande Dourados - Unigran (CEP - Unigran), mediante o processo n.º 246/07, de que resultou o ofício de aprovação em 30 de outubro de 2008, todos os participantes da pesquisa assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

Coleta da amostra

A coleta sanguínea foi realizada no laboratório de Análises Clínicas do Centro Universitário da Grande Dourados - Unigran, onde foi coletado 6 mL de sangue por punção venosa da fossa cubital e o sangue coletado em tubo da marca BD Vacutainer® sem anticoagulante. O tubo sem anticoagulante foi deixado por 30 minutos em banho-maria à 37° C e centrifugado por 10 minutos a 3000 rpm para a obtenção do soro.

Delineamento experimental

A primeira coleta de sangue dos atletas foi realizada após uma semana de descanso e antes dos testes físicos. No dia seguinte após a coleta, iniciou-se a primeira série de exercícios físicos, com carga máxima de 80% da capacidade física de cada atleta e até ocorrer exaustão muscular. No protocolo adotado cada atleta foi avaliado para determinar a sua carga máxima e foi selecionado o peso correspondente a 80% desta carga máxima para cada atleta, em seguida os atletas realizaram uma série de repetições até a fadiga [18].

Cada atleta realizou uma série de exercícios: crucifixo inclinado (peito), puxador articulado (ombro), ramada cavalo (costas), rosca concentrada scott (braço), tríceps testa (braço), agachamento guiado (perna), levantamento terra (perna), pan-

turrilha sentado (perna). Sendo que 12 horas após os exercícios, foi realizada a segunda coleta de sangue. Uma semana depois dos exercícios, tempo este necessário para a recuperação das células musculares dos atletas. Cada um dos atletas fez ingestão de 20 mg/kg de vitamina C e 2 horas após a ingestão, tempo necessário para o início da absorção da vitamina C, foi realizada a mesma série de exercícios para cada um dos indivíduos. A terceira coleta foi realizada 12 horas após o término da segunda série de exercícios. As medidas antropométricas foram obtidas no Núcleo de Nutrição da Unigran sendo compostas da avaliação da estatura utilizando o estadiômetro que se encontra acoplado a balança e a avaliação do peso em balança mecânica da marca Welmy. Os dados foram usados para o cálculo do Índice de Massa Corpórea (IMC= P/A²) e avaliação de gordura corporal e da água corporal foi feita através do equipamento de bioimpedância da marca TBW [19,20].

Dosagem das enzimas CPK, CK-MB, AST e ALT

A dosagem das enzimas séricas dos atletas foi realizada utilizando kits comerciais da marca Gold Analisa Diagnóstico LTDA, os quais apresentavam método cinético-colorimétrico, sendo a leitura das absorbâncias feitas em espectrofotômetro semiautomatizado a 340 nm (UV) da marca Bioplus, modelo BIO 200.

Análise estatística

As análises foram apresentadas como média e o erro padrão da média (SE). Empregando-se o programa de análise estatística computadorizada Statistica 6.0 (STAT SOFT), a comparação entre os atletas foi realizada pela análise de variância (ANOVA) e Teste de Tukey. Todas as conclusões estatísticas foram efetuadas em nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Resultados e discussão

Os dados dos atletas que participaram da pesquisa, referentes à massa magra, massa gorda e o índice de massa corpórea dos participantes da pesquisa são apresentados na Tabela I. Analisando os resultados obtidos os atletas estão com o peso adequado ($23,1 \pm 0,4$ kg/m²), ficando entre 18,5 e 25 que é o esperado para a população e com a porcentagem de gordura corporal ($14,2 \pm 1,5\%$), próximo da média recomendada para os homens que é de 15% [21].

Os valores encontrados neste experimento se mostram muito próximos dos valores encontrados em um estudo realizado por Maestá *et al.* [22], sendo que a Massa Gorda (MG) dos atletas aqui testados estava apenas 3% acima dos valores encontrados no estudo acima citado, mas em compensação o IMC dos nossos atletas está menor que o encontrado no estudo de Maestá *et al.* [22], que também avaliou parâmetros antropométricos em atletas fisiculturistas, isso pode indicar que nossos atletas apresentavam menor massa muscular.

Tabela I - Avaliação nutricional dos atletas quanto a sua massa corporal.

Atle- tas	MM		MG		IMC kg/m ²
	kg	%	kg	%	
1	59,2	80,5	14,3	19,5	23,7
2	57,8	85,6	9,7	14,4	22,6
3	56,6	84,1	10,7	15,9	23,2
4	50,6	85,5	8,6	14,5	22,8
5	57,1	83,3	11,4	16,6	22,9
6	70,5	79,3	18,4	20,7	26,0
7	60,4	90,0	6,7	10,0	21,1
8	65,9	91,7	6,0	8,3	23,5
9	62,5	86,5	5,3	7,9	22,1
Total	$60,1 \pm$ $1,9$	$85,2 \pm$ $1,3$	$10,1 \pm$ $1,4$	$14,2 \pm$ $1,5$	$23,1 \pm$ $0,4$

MM: Massa Magra; MG: Massa Gorda; IMC: Índice de Massa Corpórea. Média \pm desvio padrão.

Os dados dos participantes da pesquisa, referentes à altura, peso, água intracelular e água extracelular são apresentados na Tabela II. A quantidade de água intracelular apresentou-se ligeiramente acima dos valores de referência que variam de 50 a 60%, uma possível explicação para este fato é que as frequentes lesões celulares dos atletas levam a um quadro de tumefação turva, que é o aumento da concentração de água dentro das células, causando uma retenção maior de líquido intracelular. A tumefação turva é a primeira alteração a ser observada durante a agressão a uma célula, mas esta lesão é totalmente reversível, com a retirada do agente agressor. Já a água corporal total (ACT) apresentou-se dentro dos parâmetros normais. Comparando esses resultados com os obtidos de outros estudos em atletas de elite, pode-se concluir que os resultados estão coerentes com os encontrados na literatura [23].

Tabela II - Avaliação nutricional dos atletas quanto ao índice de água corporal.

Atle- tas	Altura (m)	Peso (kg)	AIC		AEC	
			kg	%	kg	%
1	1,76	73,5	24,8	59	17,2	41,0
2	1,73	67,8	25,7	62,1	15,7	37,9
3	1,70	67,3	26,0	64,4	14,4	35,6
4	1,61	59,2	23,6	65,7	12,3	34,3
5	1,73	68,5	24,4	60,0	16,3	40,0
6	1,85	88,9	29,5	57,8	21,5	42,2
7	1,78	67,1	26,8	61,3	16,9	38,7
8	1,75	71,9	31,4	64,1	17,6	35,9
9	1,77	76,4	29,5	61,4	17,0	32,0
Total	$1,74 \pm$ $0,02$	$71,2 \pm$ $2,74$	$26,9 \pm$ $0,9$	$61,8 \pm$ $0,9$	$16,5 \pm$ $0,8$	$37,5 \pm$ $1,1$

AIC: Água Intracelular; AEC: Água Extracelular; Média \pm desvio padrão.

Os exercícios físicos realizados pelos atletas são apresentados na Tabela III. A maioria dos experimentos realizados com atletas utiliza poucos grupos musculares, com maior

número de repetições do mesmo exercício, ocorrendo assim uma extensa lesão do mesmo músculo, semelhante ao estudo proposto por Mayhew, Thyfault, Koch [24] no qual foram desenvolvidos dois tipos de treinamento de força para indivíduos. Os dois foram realizados no leg-press, com 10 séries de 10 repetições a 65 % de (RM). Um grupo realizou os exercícios com intervalo entre as séries de 1 minuto e o outro grupo o intervalo foi de 3 minutos. No grupo com intervalo de 1 minuto, a concentração sérica de CPK aumentou 24 horas após o término da sessão de treinamento. Já o grupo que treinou com intervalo de 3 minutos não apresentou diferença significativa na CPK, sugerindo que o dano muscular pode ser influenciado pelo tempo de intervalo entre as séries e exercícios. Em um estudo visando observar marcadores de estresse oxidativo em jogadores de futebol, Zoppi *et al.* [7] também avaliaram a concentração de CPK no plasma e encontraram níveis bem acima da média de valores de sujeitos não-atletas, confirmando a alteração muscular nesses atletas.

Estes quadros não são tão fiéis ao que acontece no dia-a-dia dos atletas, pois na maioria das vezes os atletas treinam vários grupos musculares com várias repetições. Tendo em vista estes experimentos e com a orientação de um professor de educação física, foi montado um quadro de treinamento onde os atletas exercitaram vários grupos musculares, para que, assim, fosse possível conseguir um grau de lesão em vários músculos, mas evitando-se a fadiga muscular ou a fratura muscular. Os exercícios físicos realizados pelos atletas (Tabela III) foram crucifixo inclinado ($17,8 \pm 0,4$ kg e frequência de $29,3 \pm 1,0$ vezes), puxador articulado (45 ± 0 kg e frequência de $23,8 \pm 0,9$ vezes), remada a cavalo ($61,5 \pm 0,8$ kg e frequência de $44,2 \pm 0,6$ vezes), rosca concentrada scott (14 ± 0 kg e frequência de $23,8 \pm 1,7$ vezes), tríceps testa ($12,3 \pm 0,4$ kg e frequência de $13,1 \pm 0,6$ vezes), agachamento guiado (22 ± 0 kg e frequência de $27,2 \pm 0,6$ vezes), levantamento terra (40 ± 0 kg e frequência de $6,6 \pm 0,5$ vezes) e panturrilha sentado (50 ± 0 kg e frequência de $25 \pm 0,0$ vezes).

Tabela III Treinamento físico com carga máxima realizado pelos atletas até ocorrer exaustão muscular.

Tipo de exercícios realizados	Peso utilizado no exercício (kg)	Frequência (número de repetições)
Crucifixo Inclinado	$17,8 \pm 0,4$	$29,3 \pm 1,0$
Puxador Articulado	$45,0 \pm 0,0$	$23,8 \pm 0,9$
Remada Cavalo	$61,5 \pm 0,8$	$44,2 \pm 0,6$
Rosca Concentrada Scott	$14,0 \pm 0,0$	$23,8 \pm 1,7$
Triceps Testa	$12,3 \pm 0,4$	$13,1 \pm 0,6$
Agachamento Guiado	$22,0 \pm 0,0$	$27,2 \pm 0,6$
Levantamento Terra	$40,0 \pm 0,0$	$6,6 \pm 0,5$
Panturrilha Sentado	$50,0 \pm 0,0$	$25,0 \pm 0,0$

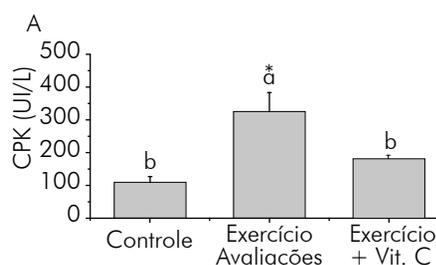
Média \pm desvio padrão.

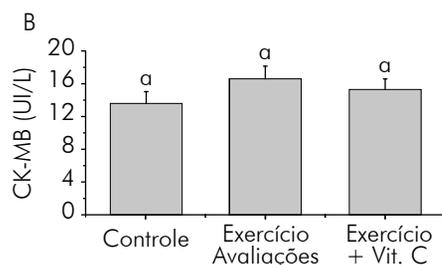
A atividade sérica da CPK (Figura 1 A) na primeira coleta (condição controle) apresentou níveis considerados normais

para indivíduos normais ou atletas em repouso ($109,8 \pm 17,2$ UI/L). Após 12 horas do exercício intenso os níveis de CPK tiveram um significativo aumento ($325,3 \pm 57,8$ UI/L), chegando até a ultrapassar os valores de referência para indivíduos normais do sexo masculino (até 174 UI/L). Nas comparações dos resultados individuais de cada atleta, foi encontrado em um determinado atleta um aumento de 6,8 vezes nos valores de CPK, em relação ao valor basal deste mesmo atleta. Com a ingestão da vitamina C devidamente calculada para cada atleta, os níveis séricos de CPK decaíram de maneira significativa, voltando para próximo dos limites dos valores de referência ($181,3 \pm 10,6$ UI/L), indicando uma proteção da vitamina C contra os radicais livres gerados durante o exercício físico e minimizando o grau de lesão muscular. O mesmo atleta que apresentou o maior aumento dos valores de CPK, após o uso da vitamina C apresentou uma redução de 2,8 vezes seus valores de CPK, isso indica que quanto maior a lesão causada pelos RL maior a eficiência do uso de antioxidantes para bloquear estas agressões.

Torres, Carvalho e Duarte [25] também realizaram um estudo com objetivo de determinar o estiramento do músculo e saber as manifestações clínicas e bioquímicas de lesão muscular esquelética após exercício em jovens sedentários. A avaliação bioquímica neste estudo compreendeu a quantificação da atividade plasmática da CPK e da AST, neste estudo também foram encontrados valores acima dos valores de referência nos indivíduos submetidos a contrações excêntricas, confirmando assim o dano muscular. Outro estudo citado por Foschini [11] também observou lesões musculares induzidas pelas ações concêntricas e excêntricas à atividade física de 3 séries de 12 repetições a 80 % de uma repetição máxima (RM). Observou-se que em 48 horas após a execução do exercício, a concentração sérica de CPK teve um aumento significativo, mostrando que o exercício de força também é capaz de provocar dano muscular. Foi ainda descrito que a lesão muscular não depende só do tipo de ação, mas também do tempo de intervalo entre as séries, pois quanto maior o tempo de descanso entre as séries, menor é o grau de lesão muscular.

Figura 1 - Avaliação da atividade da creatinafosfoquinase (CPK) (A) e da atividade da creatinafosfoquinase fração MB (CK-MB) (B) no soro de atletas submetidos ao exercício físico intenso. Médias seguidas por letras distintas diferem significativamente entre si em nível de $p < 0,05$ (teste de Tukey); * $p < 0,05$ entre grupo exercício e exercício + Vit. C.





Maxwell *et al.* [26] observaram que os atletas que fizeram ingestão de 400 mg de vitamina C por dia, durante 3 semanas apresentaram um aumento da atividade antioxidante no plasma e com isso apresentaram menores lesões oxidativas decorrentes da ação dos RL. Thompson *et al.* [27] também suplementaram atletas que posteriormente foram submetidos a uma corrida de 90 minutos. A suplementação consistiu de uma dose de 200 mg de vitamina C, sendo que este autor também obteve um aumento da ação antioxidante no plasma, mas esta dose de vitamina C foi incapaz de inibir o aumento das enzimas musculares no soro destes atletas, sendo que a enzima CPK e a proteína mioglobina foram os marcadores de lesão que mais aumentaram nestes atletas.

De acordo com a Figura 1 B podemos constatar que os níveis séricos de CK-MB tiveram um aumento de 12% durante o exercício (de $13,6 \pm 1,4$ para $16,6 \pm 1,5$ UI/L). Apesar de não ser significativo e não ultrapassar os valores de referência para esta enzima (até 24 UI/L), este aumento indica um desgaste maior do músculo cardíaco. Podemos observar também que a ação antioxidante da vitamina C levou a diminuição de 8% na atividade sérica da CK-MB no plasma dos atletas, mas, apesar de esta diminuição não ter sido significativa, demonstrou uma tendência para este marcador. Vale à pena lembrar que os miócitos cardíacos são células permanentes, pois não se dividem mais e que qualquer lesão nessas células leva a perda irreparável destes miócitos. Por isso, lesões crônicas do músculo cardíaco podem levar a presença de fibrose no tecido cardíaco, com perda da atividade contrátil do coração e possivelmente a hipertrofia das células restantes, alterações estas comuns de serem encontradas em atletas, pois o exercício físico é um estímulo bem identificado para o desenvolvimento, principalmente, de hipertrofia ventricular esquerda, sendo que estas alterações estruturais são resultantes do tipo de treinamento físico, da natureza do exercício, duração e intensidade do exercício [28,12].

França *et al.* [29] realizaram um estudo analisando os valores das enzimas (CPK, CK-MB e LDH), em 20 atletas masculinos, saudáveis, com idade de 25 a 40 anos, participantes de uma maratona, para avaliar o desgaste muscular e o grau do dano muscular sofrido por estes atletas. Foram realizadas várias coletas de sangue venoso (48 horas antes da maratona, logo após o término da corrida e na manhã seguinte, 20 horas após a realização da prova). Os níveis de CPK, CK-MB e LDH estavam significativamente mais elevados ao final da corrida e

mais ainda na recuperação (exceto a CK-MB), caracterizando um grande desgaste muscular.

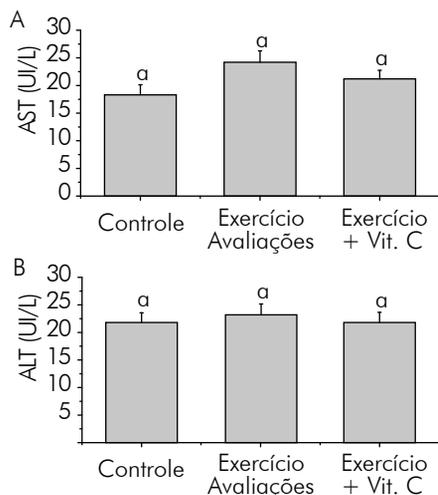
Após vários estudos e comparações Brown *et al.* [30] também observaram que após exercícios físicos os níveis de CK-MB não se elevam muito, mas se o exercício for com grande intensidade pode ocorrer uma elevação suficiente para diagnosticar uma lesão no miócito cardíaco. Perseguindo objetivos similares, Croisier *et al.* [31] utilizaram um protocolo composto de contrações excêntricas/concêntricas máximas para os grupos musculares flexores e extensores do joelho. Todas as sessões de treinamento foram executadas num dinamômetro isocinético. Os sujeitos desta pesquisa apresentaram níveis elevados de CPK e CK-MB, 24-48 horas após a carga de exercício. A elevação da concentração destas enzimas no sangue foi observada, concomitantemente, com a presença de dor muscular severa no quadríceps femoral e, especialmente, no grupo muscular dos posteriores da coxa. Os níveis elevados de CPK e CK-MB no sangue foram interpretados como indicativos de danos na estrutura celular do músculo estriado esquelético e cardíaco.

A atividade sérica da enzima AST (Figura 2 A), durante a atividade física sem vitamina C, apresentou valores mais elevados no soro ($24,2 \pm 2,0$ UI/L), quando comparado com os valores do controle ($18,3 \pm 1,8$ UI/L), mas, após o uso de vitamina C, durante os exercícios físicos, os níveis séricos da AST apresentaram uma queda de aproximadamente 15% da sua atividade, confirmando que a vitamina C é um excelente antioxidante capaz de minimizar a lesão muscular causada pela produção de radicais livres durante o exercício. É importante lembrar que a geração de radicais livres ocorre preferencialmente no interior das mitocôndrias, sendo que a AST é encontrada justamente neste local e a diminuição da concentração da AST no soro dos atletas é um importante indicativo que a vitamina C age como um antioxidante intracelular, minimizando a ação dos RL nas mitocôndrias e isso é fundamental para a integridade da célula, pois lesões na mitocôndria são o passo sem retorno entre a lesão reversível e a lesão irreversível nas células.

Após uma comparação deste experimento com o experimento que Torres *et al.* [25] realizaram, pode-se observar que se houver lesão muscular com alto gasto de energia, pode ocorrer lesão na membrana da mitocôndria, e esta lesão pode alterar a atividade enzimática da AST na corrente sanguínea. Já Thompson *et al.* [19], ao estudar a ação da vitamina C em atletas estimulados a correr por 90 minutos e que fizeram a ingestão de 1 g de vitamina C 2 horas antes de começarem o exercício, observou que os valores de CPK e AST não foram estatisticamente diferentes dos valores encontrados no grupo que fez o exercício e tomou apenas placebo. A conclusão deste estudo indica que são necessários valores maiores de vitamina C para que ocorra uma alteração no perfil sorológico do atleta quanto aos marcadores de lesão muscular, pois 1 g de vitamina C não conseguiu atingir o interior das células em concentração suficiente para bloquear a ação dos RL na membrana da

mitocôndria. Por outro lado, a dose de 2 g de vitamina C se mostrou mais eficaz em atuar nas mitocôndrias, apresentando uma diminuição dos valores da AST nos atletas.

Figura 2 - Avaliação da atividade da aspartato aminotransferase (AST) (A) e da atividade da alanina aminotransferase (ALT) (B) no soro de atletas submetidos ao exercício físico intenso. Médias seguidas por letras distintas diferem significativamente entre si em nível de $p < 0,05$ (teste de Tukey).



A atividade sérica da ALT (Figura 2B) não apresentou modificações significativas em nenhum momento da avaliação, tanto no controle ($21,8 \pm 1,7$ UI/L), como após exercício físico com a ingestão da vitamina C ($21,8 \pm 1,8$ UI/L) ou não ($23,3 \pm 2,0$ UI/L). A enzima ALT é encontrada no citoplasma das células enquanto que a enzima AST é encontrada na mitocôndria. Como os radicais livres são produzidos na mitocôndria, durante a fosforilação oxidativa, e devido a um gasto de energia muito grande durante os exercícios, há maior concentração de radicais livres na mitocôndria e, portanto, maior lesão na membrana mitocondrial e com isso um aumento mais significativo da AST em comparação com a ALT.

Segundo Ribeiro *et al.* [32] que realizaram um experimento com 12 atletas de judô do sexo masculino, os atletas foram divididos em duplas onde realizaram três lutas com tempos diferentes (90s, 180s e 300s), a enzima ALT foi quantificada durante as lutas e foi observado um aumento significativo em todas as lutas. Este aumento pode ser justificado devido ao tipo de atividade física que é de contato e causa maior lesão celular muscular, diferente da musculação que leva a uma lesão por desgaste metabólico.

Conclusão

De acordo com os dados obtidos na pesquisa, conclui-se que a alteração das enzimas CPK, CK-MB e AST ocorreu devido à lesão no músculo estriado esquelético e no músculo cardíaco, provocado pela prática do exercício físico intenso. Suspeita-se que não ocorreu uma alteração significativa da

ALT, pois o exercício físico intenso provoca um aumento no gasto de energia, levando a uma maior produção de radicais livres que agem primordialmente na membrana da mitocôndria e não no citoplasma das células. Conforme o resultado apresentado comprovou-se uma ação protetora antioxidante para as células estriadas musculares e com isso um importante efeito na prevenção de lesões musculares provocadas pela formação de radicais livres durante os exercícios.

Referências

- Schneider DC. Radicais livres de oxigênio e exercício: mecanismos de formação e adaptação ao treinamento físico. *Rev Bras Med Esporte* 2004;10(4):308-13.
- Clarkson PM, Thompson HS. Antioxidants: what role do they play in physical activity and health? *Am J Clin Nutr* 2000;72:637-46.
- Gomez-Cabrera MC, Domenech E, Viña, J. Moderate exercise is an antioxidant: Upregulation of antioxidant genes by training. *Free Radic Biol Med* 2008;44:126-31.
- Koury JC, Donangelo CM. Zinco, estresse oxidativo e atividade física. *Rev Nutr* 2003;16(4):433-41.
- Ramel A, Wagner KH, Elmadfa I. Plasma antioxidants and lipid oxidation after submaximal resistance exercise in men. *Eur J Nutr* 2004;43:2-6.
- Leite HP, Sarni RS. Radicais livres, anti-oxidantes e nutrição. *Rev Bras Nutr Clin* 2003;18(2):87-94.
- Zoppi CC, Antunes-Neto J, Catanho FO, Goulart LF, Moura NM, Macedo DV. Alterações em biomarcadores de estresse oxidativo, defesa antioxidante e lesão muscular em jogadores de futebol durante uma temporada competitiva. *Rev Bras Educ Fís Esp* 2003;17(2):119-30.
- Garcia JAV, Daoud R. Efeitos dos antioxidantes fenólicos na prática desportista. *Fitness & Performance* 2002;1(4):21-7.
- Clebis NK, Natali MJM. Lesões musculares provocadas por exercícios excêntricos. *Rev Bras Ciênc Mov* 2001;9(4):47-53.
- Cruzat VF, Rogero MM, Borges MC, Tirapegui J. Current aspects about oxidative stress, physical exercise and supplementation. *Rev Bras Med Esporte* 2007;13(5):336-42.
- Foschini D, Prestes J, Charro MA. Reação entre exercício físico, dano muscular e dor muscular de início tardio. *Rev Bras Cineantrop Desempenho Hum* 2007;9(1):101-6.
- Nigam PK. Biochemical markers of myocardial injury. *Indian J Clin Biochem* 2007;22:10-7.
- Amaya-Farfan J, Domene SMA, Padovani RM. DRI: síntese comentada das novas propostas sobre recomendações nutricionais para antioxidantes. *Rev Nutr* 2001;14(1):71-8.
- Miranda CEL, Viaro F, Ceneviva R, Evora BRP. As bases experimentais da lesão por isquemia e reperfusão do fígado. *Acta Cir Bras* 2004;19(1):3-12.
- Fanhani APG, Ferreira MP. Agentes antioxidantes: seu papel na nutrição e saúde dos atletas. *Rev Saúde Biol* 2006;1(2):33-41.
- Goldfarb AH, Patrick SW, Bryer S, You T. Vitamin C supplementation affects oxidative-stress blood markers in response to a 30-minute run at 75% VO₂max. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2005;15:279-90.
- Thompson D, Bailey DM, Hill J, Hurst T, Powell JR, Williams C. Prolonged vitamin C supplementation and recovery

- from demanding exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2001;11:466-81.
18. Tritschler K. Medida e avaliação em Educação Física e Esportes de Barrow & Mc Gee. São Paulo: Manole; 2003. 828p.
 19. Thompson D, Williams C, Kingsley M, Nicholas CW, Lakomy HK, McArdle F, et al. Muscle soreness and damage parameters after prolonged intermittent shuttle-running following acute vitamin C supplementation. *Int J Sports Med* 2001;22:68-75.
 20. Gomez-Cabrera MC, Domenech E, Romagnoli M, Arduini A, Borrás C, Pallardo FV, et al. Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance *Am J Clin Nutr* 2008;87:142-49.
 21. Lohman TG, Roche AF, Martorell R. Anthropometric standardization reference manual. Abridged edition. Champaign: Human Kinetics Books; 1991.
 22. Maestá M, Cyrino ES, Nardo Júnior N, Morelli MYG, Sobrinho JMS, Burini RC. Antropometria de atletas culturistas em relação a frequência populacional. *Rev Nutr* 2000;13(2):135-41.
 23. Rossi L, Tirapegui J. Comparação dos métodos de bioimpedância e equação de Faulkner para avaliação da composição corporal em desportistas. *Rev Bras Ciênc Farm* 2001;37(2):137-42.
 24. Mayhew DL, Thyfault JP, Koch AJ. Rest-interval length affects leukocyte levels during heavy resistance exercise. *J Strength Condit Res* 2005;19(1):16-22.
 25. Torres R, Carvalho P, Duarte JA. Influência da aplicação de um programa de estiramentos estáticos, após contrações excêntricas, nas manifestações clínicas e bioquímicas de lesão muscular esquelética. *Rev Port de Ciênc Desp* 2005;5(3):274-87.
 26. Maxwell SRJ, Jakeman P, Thomason H, Leguen C, Thorpe GHG. Changes in plasma antioxidant status during eccentric exercise and the effect of vitamin supplementation. *Free Radic Res Commun* 1993;19:191-202.
 27. Thompson D, Williams C, Garcia-Roves P, McGregor SJ, McArdle F, Jackson MJ. Post-exercise vitamin C supplementation and recovery from demanding exercise *Eur J Appl Physiol* 2003;89:393-400.
 28. Ghorayeb N, Batlouni M, Pinto IMF, Dioguardi GS. Hipertrofia ventricular esquerda do atleta. Resposta adaptativa fisiológica do coração. *Arq Bras Cardiol* 2005;85(3):191-7.
 29. França SCA, Neto TLB, Agresta MC, Lotufo RFM, Kater CE. Resposta divergente da testosterona e do cortisol séricos em atletas masculinos após uma corrida de maratona. *Arq Bras Endocrinol Metab* 2006;50(6):1082-7.
 30. Brown SJ, Child RB, Day SH, Donnelly AE. The role of eccentric exercise duration in experimental skeletal muscle damage in man. *J Physiol* 1995;489:148.
 31. Croisier JL, Camus G, Deby-Dupont G, Bertrand F, Lhermerout C, Crielaard JM et al. Myocellular enzyme leakage, polymorphonuclear neutrophil activation and delayed onset muscle soreness induced by isokinetic eccentric exercise. *Arch Physiol Biochem* 1996;104(3):322-29.
 32. Ribeiro SR. Efeitos de diferentes esforços de luta de judô na atividade enzimática, atividade elétrica muscular e parâmetros biomecânicos de atletas de elite. *Rev Bras Med Esporte* 2006;12(1):27-32.