

Efeitos de uma sessão de CrossFit® sobre marcadores do estado redox

Effects of a CrossFit® session on redox state markers

Brenna Mirelle Barbosa Bastos , João Henrique Gomes , Ana Mara de Oliveira e Silva ,
Renata Rebello Mendes 

1. Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, SE, Brasil

RESUMO

Introdução: CrossFit® é um tipo de treinamento funcional de alta intensidade que pode trazer benefícios à saúde. A modalidade também tem sido criticada devido à hipótese de que poderia elevar risco de lesões decorrentes do estresse oxidativo gerado pela intensidade dos exercícios. Porém, há poucos estudos avaliando estresse oxidativo em seus praticantes. **Objetivo:** Avaliar o estado redox em adultos treinados e não treinados, de ambos os sexos, submetidos a protocolo de alta intensidade denominado 'Cindy'. **Métodos:** Foram avaliados 19 participantes de programa de Crossfit®, divididos em novatos e experientes, mulheres e homens. Para caracterização, avaliamos composição corporal, força máxima e capacidade aeróbia. Para avaliação de estado redox, os participantes realizaram Cindy e tiveram amostras de sangue coletadas nos momentos pré-exercício e 30 minutos pós-exercício, por meio de biomarcadores como: SOD, GPx, FRAP e TBARS. **Resultados:** No momento pós-30, houve aumento significativo de GPx na população geral e, de acordo o sexo, esse aumento se deu nas mulheres (PRE 40,0 ± 3,9 e POS 46,7±8,1), porém não entre os homens (PRE 36,4 ± 8,7 e POS 40,7 ± 5,7); observamos redução significativa de SOD, especialmente nos novatos (PRE 3273,1 ± 414,8 e POS 2378,1 ± 781,9); a FRAP aumentou significativamente (PRE 84,09 ± 20,49 e POS 106,27 ± 28,64), sendo esse fenômeno observado em ambos os sexos e níveis de experiência; TBARS permaneceram inalterados. **Conclusão:** Uma sessão de Cindy promoveu aumento de GPx e FRAP, redução de SOD e manutenção de TBARS em seus praticantes.

Palavras-chave: estresse oxidativo; exercícios em circuitos; treinamento intervalado de alta intensidade.

ABSTRACT

Background: CrossFit® is a type of high-intensity functional training that may have health benefits. The modality has also been criticized due to the hypothesis that it could increase the risk of injuries due to oxidative stress generated by the intensity of the exercises. However, there are few studies evaluating oxidative stress in its practitioners. **Objective:** To evaluate the redox state in trained and non-trained adults, of both sexes, submitted to a high-intensity protocol named 'Cindy'. **Methods:** We evaluated 19 participants of a Crossfit® program, divided into beginners and experienced, women and men. For characterization, we evaluated body composition, maximal strength and aerobic capacity. For redox state evaluation, participants performed Cindy and had blood samples collected at pre-exercise and 30 minutes post-exercise, through biomarkers such as: SOD, GPx, FRAP and TBARS. **Results:** At the post-30 moment, there was a significant increase of GPx in the general population and, according to gender, this increase was in women (PRE 40.0 ± 3.9 and POS 46.7 ± 8.1), but not among men (PRE 36.4 ± 8.7 and POS 40.7 ± 5.7); we observed significant reduction of SOD, especially in novices (PRE 3273.1 ± 414.8 and POS 2378.1 ± 781.9); FRAP increased significantly (PRE 84.09 ± 20.49 and POS 106.27 ± 28.64), being this phenomenon observed in both sexes and experience levels; TBARS remained unchanged. **Conclusion:** A Cindy session promoted GPx and FRAP increase, SOD reduction and TBARS maintenance in its practitioners.

Keywords: oxidative stress; circuit-based exercise; high-intensity interval training.

Introdução

O CrossFit® é um tipo de treinamento funcional de alta intensidade, composto por estímulos aeróbios e anaeróbios, realizado através de movimentos rápidos e com pouco ou nenhum descanso entre as séries [1], que tem sido relacionado à melhora da saúde cardiovascular, metabólica e da função cognitiva, diminuindo assim os riscos de mortalidade [2,3]. No entanto, essa modalidade tem sido alvo de escrutínio, em virtude de preocupações relacionadas ao elevado risco de lesões, hipoteticamente causadas pela elevada intensidade em que são realizadas as sessões de treinamento, a insuficiência de descanso entre os exercícios e estresse oxidativo (EO) [4-8].

Embora a prática regular de exercício físico seja o único comportamento de saúde associado à diminuição na mortalidade por todas as causas em humanos [9], estudos mostram que exercícios físicos intensos podem gerar EO, caracterizado por situações em que as espécies reativas de oxigênio (EROS) se sobressaem aos compostos antioxidantes [10]. Segundo Powers *et al.* [9], esse EO induzido pelo exercício pode culminar em desfechos tanto benéficos quanto prejudiciais aos seus praticantes, dependendo da quantidade de EROS produzidas.

A produção de força muscular é afetada pelo EO de maneira bifásica; um nível ótimo de EROS é necessário para que as fibras musculares gerem 100% de sua produção de força isométrica máxima; porém, elevações nas concentrações de EROS na fibra muscular, acima desse “ponto ideal”, resultam em diminuição na capacidade dos músculos gerarem força [9]. Adicionalmente, concentrações moderadas de EROS produzidas durante o exercício têm sido relacionadas ao aumento de biogênese mitocondrial, de síntese de enzimas oxidantes e maior ativação da *mammalian target of rapamycin* (mTOR), sendo essa última um fator importante para a hipertrofia muscular [7]. No entanto, concentrações elevadas de EROS podem resultar em importantes danos às macromoléculas, como proteínas, lipídios e DNA, o que pode levar às lesões, que tanto têm sido relacionadas ao CrossFit® [11,12].

A investigação do EO relacionada ao CrossFit® ainda é vaga e escassa. De acordo com nossas buscas, até o momento, apenas um estudo avaliou o EO em praticantes de CrossFit® [6]. Neste estudo, o protocolo “Cindy” do CrossFit® foi comparado a uma sessão de 20 minutos de corrida em esteira de alta intensidade. Foram avaliados como biomarcadores, os hidroperóxidos de lipídios plasmáticos (LOOH), a capacidade redutora do ferro (FRAP, do inglês, *Ferric Reducing Antioxidant Power*) e carbonila de proteína (PC) em quatro momentos distintos, e os autores concluíram que o estresse oxidativo foi similar em ambas as modalidades.

Desta forma, torna-se evidente a necessidade de mais estudos que avaliem o EO em praticantes de CrossFit®, uma modalidade com número crescente de praticantes. Sendo assim, o presente estudo objetivou avaliar o estado redox em praticantes de CrossFit®, adultos, submetidos a um protocolo de treinamento de alta intensidade e comparar os desfechos entre ambos os sexos e o nível de experiência de treinamento da modalidade.

Métodos

Delineamento experimental

O presente estudo foi realizado em um total de cinco visitas. Após aprovação do projeto de pesquisa em Comitê de Ética em Pesquisa (n.º 3.087.955 / 2018), e recrutamento realizado através de rede social de um determinado boxe de CrossFit® da cidade de Aracaju, foi realizada a primeira visita. Nessa ocasião o intuito foi esclarecer os objetivos e procedimentos que envolveriam o estudo para treinadores e esportistas, bem como entregar o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), para posterior leitura, e assinatura por aqueles que se enquadrassem nos critérios de inclusão e que se interessassem em participar. Na segunda visita, após o recebimento dos TCLE assinados, foi realizada avaliação antropométrica para caracterização dos participantes e familiarização ao protocolo 'Cindy' de treinamento. Na terceira visita, ainda para caracterização da amostra, houve teste de força máxima (uma repetição máxima -1RM). Na quarta visita, foi realizado teste de capacidade aeróbia (Yo-yo test), finalizando a caracterização dos participantes (os participantes já eram familiarizados aos testes de 1RM e yo-yo). Após 48 horas de descanso (nenhum treinamento físico permitido), foi realizada a quinta visita, em que ocorreu a coleta de dados: uma hora após o consumo de um café da manhã padronizado, os participantes foram submetidos ao protocolo de treinamento 'Cindy' e coleta de sangue nos momentos pré-exercício e 30 minutos após o exercício (Figura 1).

Participantes	1ª visita	2ª visita	3ª visita	4ª visita	5ª visita
N = 19					
Grupos: Mulheres X Homens Experientes X Novatos	Apresentação projeto aos treinadores e esportistas	Recebimento de TCLE assinado	Teste de força máxima (levantamento terra)	Teste de capacidade aeróbica (Yo-yo test intermittent recovery Nivel I)	Desjejum padronizado (60 min antes do exercício)
	Entrega TCLE	Avaliação antropométrica	1 - 10 rep 40-60% 1RM (1 minuto) 1- 5 rep 60-80% 1 RM (3 minutos) 5 tentativas para 1 RM		48 h Descanso
		Familiarização ao protocolo cindy			Coleta de sangue SOD, GPx, FRAP, TBARS (PRE - EX)
					Protocolo CINDY - 20 min 5 rep - barra 10 rep - flexão de braços 15 rep - agachamento livre (Monitor de FC)
					Coleta de sangue SOD, GPx, FRAP, TBARS (Pos - 30 min)
					PSE

Figura 1 - Desenho experimental do estudo

Participantes

Voluntários saudáveis foram recrutados de um box afiliado à marca CrossFit® (CrossFit® Quest, Aracaju/SE, Brasil). Os critérios de inclusão na seleção dos participantes foram ter mínimo de 3 meses de experiência em programa de HIFT e a capacidade de realizar o protocolo do treino 'Cindy'. Participantes novatos (NOV) foram

definidos como aqueles que tinham entre 3 e 8 meses de experiência, enquanto os participantes experientes (EXP) foram aqueles que tinham mais de 18 meses de experiência (Tabela 1). Esses intervalos de tempo foram selecionados para garantir uma lacuna significativa no nível de experiência entre os dois grupos de participantes, conforme sugerido por Butcher *et al.* [13].

Embora alguns participantes tivessem mais de 18 meses de experiência, todos foram classificados como praticantes recreativos de CrossFit®, principalmente por nunca participarem de uma competição oficial (exceto as organizadas pelo próprio box). Os participantes geralmente realizavam de três a cinco sessões de treinamento por semana.

Os participantes foram excluídos se apresentassem: a) entre nove e 17 meses de experiência; b) qualquer lesão ou deficiência motora que impedisse a realização dos testes e protocolo de treino; c) quaisquer doenças cardiovasculares, metabólicas ou neurológicas; d) o uso de qualquer medicamento ou drogas para melhorar o desempenho; e) o uso de suplementos contendo compostos antioxidantes nas últimas seis semanas, bem como aqueles considerados ergogênicos [14], como cafeína, creatina, beta-alanina, nitrato e bicarbonatos, nos últimos quatro meses; f) não finalizar os 20 minutos do treino ‘Cindy’ na visita cinco; g) não consumir o café da manhã padronizado antes do treino “Cindy” na visita cinco.

Tabela I - Características dos participantes (M ± DP)

Variáveis	N = 19	Mulheres	Homens	Novatos	Experientes
Idade (anos)	30,7 ± 4,8	28,6 ± 4,4	32,8 ± 4,3	31,1 ± 5,4	30,3 ± 4,5
Sexo	9 H / 10 M				
Peso corporal (kg)	74,3 ± 14,1	63,5 ± 8,9	85,0 ± 9,3	77,6 ± 15,0	71,6 ± 13,6
Estatura (m)	1,70 ± 0,10	1,63 ± 0,05	1,77 ± 0,04	1,70 ± 0,10	1,70 ± 0,10
IMC (kg/m ²)	25,5 ± 3,0	24,0 ± 2,9	26,9 ± 2,4	26,8 ± 2,7	24,4 ± 2,9
Percentual de Gordura corporal (%)	20,0 ± 5,4	22,7 ± 3,9	17,3 ± 5,4	22,1 ± 5,6	18,3 ± 4,8
Deadlift (kg)	116,9 ± 37,9	-	-	-	-
Yoyo RL1 (m)	415,6 ± 188,2	-	-	-	-
VO _{2máx} (ml.kg.min ⁻¹)	39,9 ± 1,6	-	-	-	-
FC _{máx} (bpm)	188,1 ± 9,4	-	-	-	-

M = média; DP = desvio padrão; H = homens; M = mulheres; IMC = índice de massa corporal; Yoyo RL1 = yoyo recovery test level 1; VO_{2máx} = consumo máximo de oxigênio; FC_{máx} = frequência cardíaca máxima

Composição corporal

A avaliação antropométrica abrangeu dados como massa corporal, altura corporal e dobras cutâneas, utilizadas posteriormente para calcular o percentual de massa gorda (%MG) e magra, de acordo com Jackson e Pollock [15] e Jackson, Pollock e Ward [16].

Avaliação da força máxima

A força máxima foi avaliada através do teste exercício “levantamento terra” (deadlift), utilizando-se de uma barra olímpica e anilhas de 1,5kg a 20kg. O teste envolveu aquecimento com 1 série x 10 repetições com 40 a 60% de 1 repetição máxima (RM) estimada e; após 1min, mais 1 série x 5 repetições com 60 a 80% de 1RM estimada e; após 3 min, foram realizadas 5 tentativas de uma ação voluntária máxima até que uma 1RM de cada sujeito fosse identificada [17]. Foram realizados descansos (aproximadamente 4-5 minutos) entre as tentativas com intuito de manter o desempenho máximo.

Avaliação da capacidade aeróbia

A capacidade aeróbia foi indiretamente avaliada através do teste *Yo-yo Intermittent Recovery Nível I* (Yo-yo). A corrida em espaço demarcado consiste em percorrer a distância de 20m por duas vezes (“ida e volta” = 40m), separados por períodos regulares de recuperação de 10 segundos. O tempo para percorrer os 40m foi diminuindo progressivamente, representando velocidades maiores a cada estágio. Os avaliados foram orientados a percorrerem o maior número de estágios, estando nas extremidades do percurso a cada sinal sonoro. O teste foi interrompido quando o voluntário não conseguia cumprir o estágio (ficar a mais de 3m antes da linha dos 20m em dois sinais sonoros consecutivos) ou relatasse incapacidade de completar a corrida. O teste foi realizado em uma tentativa. Em função da distância e velocidade atingidas durante o teste, foi determinada a capacidade aeróbia expressa pelo consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$) em ml/kg/min (fórmula para predição do $VO_{2máx}$ = distância x 0,0084 + 36,4). A escolha pelo *Yo-yo Intermittent Recovery Nível I* se baseou no estudo realizado por Bangsbo, Iaia e Krusturp [18].

Intervenção: treinamento físico

O tipo de exercício adotado como intervenção no presente estudo foi WOD do Crossfit® conhecido como treino “Cindy” [19,20].

A sessão começou com um aquecimento composto por 5 min de corrida de baixa intensidade e 5 min de mobilidade articular e exercícios de alongamento dinâmico. Este WOD consistiu em realizar o máximo de rodadas possível (AMRAP - *as many rounds as possible*) de três exercícios: 5 repetições de barra (*pull-up*), 10 repetições de flexão de braços (*push-up*) e 15 repetições de agachamento livre (*air squat*) durante 20 min.

Para caracterização da intensidade do exercício, durante o treino “Cindy”, os sujeitos foram monitorados usando um monitor de frequência cardíaca (FC) (*Polar Team Pro, Kempele, Finlândia*). Os dados de FC foram armazenados e posteriormente extraídos do programa Polar Team 2 Pro. Adicionalmente, a percepção subjetiva de esforço (PSE), cujo uso foi fortemente recomendado para uso em sessões metabólicas de HIFT [21-23] foi obtida usando a escala CR10 Borg [24]. Os participantes responderam a seguinte pergunta: “quão difícil você acha que o exercício foi?”. A medição de PSE foi realizada 30 minutos após o treino “Cindy”.

Padronização do café da manhã no dia das coletas de dados – visita 5

Uma hora antes da sessão de treinamento, os voluntários consumiram suplementos alimentares em pó, misturados com água, como café da manhã padronizado (aproximadamente 320–350 calorias). O café da manhã consistiu em proteína, gordura e carboidrato nas proporções de 20-35-45 (percentual de proteína, gordura e carboidrato). Esses percentuais culminaram com a ingestão de aproximadamente 40g de carboidratos, 17,5g de proteína e 13g de gordura. A fim de se evitar desconfortos gástricos no dia da intervenção, foi ofertado o mesmo café da manhã na sessão de familiarização ao protocolo de treinamento. A determinação do café da manhã padronizado foi realizada por nutricionista especialista em nutrição esportiva.

Análises bioquímicas

Os biomarcadores adotados no presente estudo foram substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), superóxido dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx) e ferric reducing antioxidant power (FRAP).

Determinação da peroxidação lipídica pelo método de TBARS

A determinação da peroxidação lipídica no plasma foi realizada por quantificação das TBARS, conforme o método descrito por Ohkawa, Ohishi e Yagi [25] com pequenas modificações. Foi preparada uma curva padrão de 1, 1', 3, 3'-Tetraetoxipropano - TEP (0,5 - 8,0 nmol) e os resultados foram expressos em nmol de TEP/mL de plasma.

Capacidade antioxidante via método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

O plasma foi utilizado para a determinação da capacidade antioxidante total conforme o método descrito por Benzie e Strain [26] em placas de 96 poços, utilizando o reagente de FRAP. A absorbância foi lida a 595 nm e os resultados foram expressos em mM eq. de Trolox/mL de plasma.

Determinação da atividade da superóxido dismutase

A atividade da SOD foi avaliada segundo a metodologia de McCord e Fridovich [27] que verifica a produção de ânion superóxido produzido pelo sistema xantina/xantina oxidase. O ânion superóxido produzido reduziu o citocromo C e esta redução foi medida pelo aumento da densidade óptica a 550 nm a 25°C. Os resultados foram expressos em U/g de hemoglobina. Considera-se uma unidade (U), a atividade da enzima que promove 50 % de inibição da reação da xantina a 25 °C em pH 7,8.

Determinação da atividade da glutathione peroxidase

A atividade da GPx foi determinada pela metodologia padronizada por Sies et al. [28]. Esse método fundamenta-se na medida do decaimento da densidade óptica, a 340 nm, promovido pela oxidação do NADPH a 30 °C durante a redução da glutatio-

na oxidada (GSSG) catalisada pela enzima glutathiona redutase. Os resultados foram expressos em U/g de hemoglobina. Uma unidade (U) da enzima foi definida como atividade da enzima que oxida 1 μmol de NADPH por minuto a 30 °C em pH 7,0.

Análise estatística

A normalidade e homogeneidade das variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Os dados são apresentados como média e desvio padrão. Para comparar os valores médios das variáveis descritivas de todos os sujeitos foi utilizado o teste T pareado (momentos). Análise de variância de medidas repetidas (ANOVA) *two way* (interação de grupos [EXP x NOV e HOM x MUL] \times tempo [momentos]) foi usado para comparar as análises sanguíneas, seguido do teste post hoc de Bonferroni para identificar diferenças. Todas as análises foram realizadas com o software SPSS-22.0 (IBM, SPSS Inc., Chicago, IL, EUA). A significância foi fixada em $p < 0,05$.

Aprovações éticas

A aprovação ética foi obtida por Comitê de Ética em Pesquisa (Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Sergipe, processo n.º 3.087.955 / 2018). A participação foi voluntária e todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido antes de participarem do estudo.

Resultados

A sessão de treinamento adotada no presente estudo foi realizada em alta intensidade, conforme mostra a tabela II.

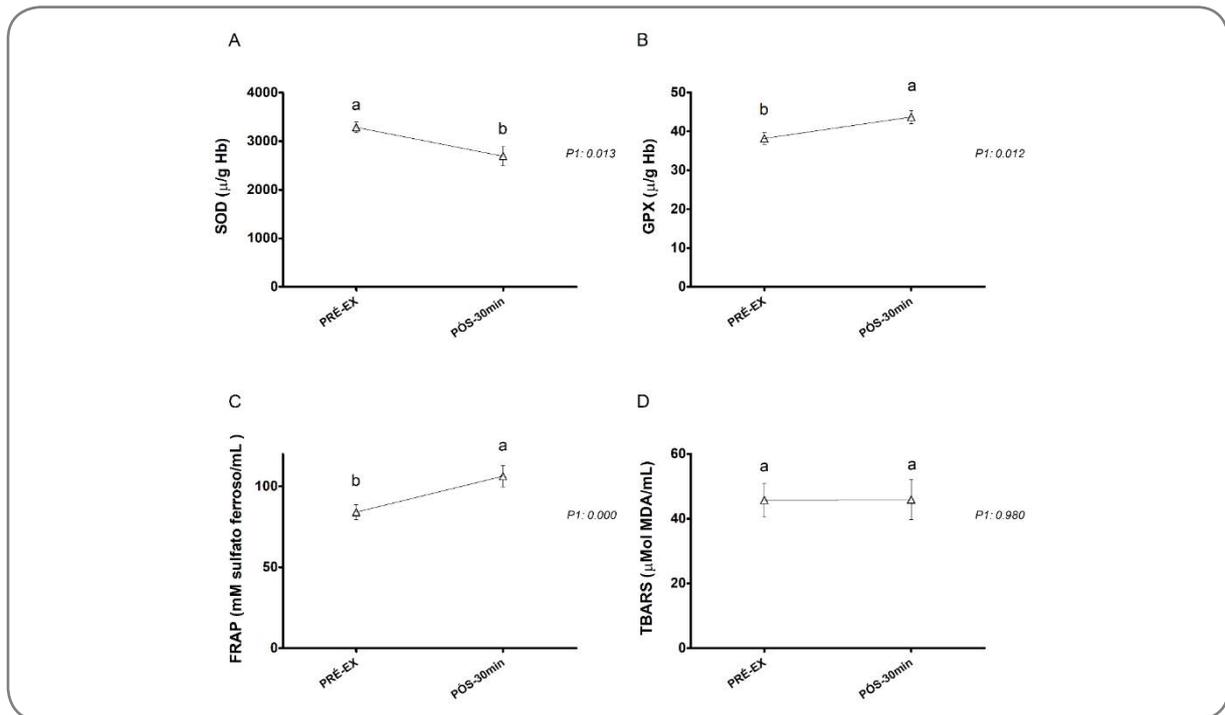
Tabela II - Caracterização da intervenção - Respostas cardiovasculares, desempenho e esforço percebido dos participantes submetidos ao protocolo "Cindy" (M \pm DP)

Variáveis	N = 19
Número de rounds	13,1 \pm 3,5
FC _x (bpm)	171,6 \pm 9,4
%FC _{max}	93,2 \pm 2,1
PSE (após 30min)	7,9 \pm 1,1

M = média; DP = desvio padrão; FC_x = frequência cardíaca média; bpm = batimentos por minuto; %FC_{max} = percentual da frequência cardíaca máxima; PSE = percepção subjetiva de esforço

Conforme a figura 2, houve redução significativa ($p < 0,05$) de SOD no pós-30 min quando comparados com os valores observados no pre-ex. Já GPx e FRAP tiveram aumento significativo ($p < 0,05$) no pós-30-min. Não houve alterações em TBARS (Tabela III).

A comparação dos resultados entre gêneros evidenciou que a GPx se elevou significativamente nas mulheres (efeito do tempo), sem que tenha havido diferenças entre os gêneros.



As letras comparam as médias entre os pontos no tempo; as médias seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$), enquanto as médias seguidas da mesma letra ou não seguidas de nenhuma letra não diferem ($p \geq 0,05$); P1 = efeito dos tempos; SOD = superóxido dismutase; GPx = glutatona peroxidase; FRAP = ferric reducing antioxidant power; TBARS = substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico

Figura 2 - Variação de SOD (A), GPx (B) e FRAP (C) em 19 participantes e TBARS (D) em 11 participantes. Comparações entre os momentos pré-exercício e pós-exercício (PÓS-30min)

Tabela III - Avaliação dos biomarcadores em momentos distintos para ambos os sexos (M \pm DP)

Variáveis	Mulheres (PRE)	Mulheres (POS)	Homens (PRE)	Homens (POS)
SOD	3267,7 \pm 335,4	2727,7 \pm 1083,9	3304,6 \pm 628,3	2655,4 \pm 718,3
GPx	40,0 \pm 3,9	46,7 \pm 8,1*	36,4 \pm 8,7	40,7 \pm 5,7
FRAP	72,1 \pm 17,2	85,7 \pm 21,1	96,1 \pm 18,0	126,8 \pm 20,2
TBARS	36,5 \pm 14,7	38,5 \pm 22,5	59,8 \pm 13,2	57,0 \pm 17,3

M = média; DP = desvio padrão; SOD = Superóxido dismutase; GPx = Glutaciona peroxidase; FRAP = Capacidade de redução férrica do plasma; TBARS = substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico

A comparação dos resultados entre gêneros evidenciou que a SOD foi reduzida significativamente nos novatos (efeito do tempo).

Tabela IV - Avaliação dos biomarcadores em momentos distintos para diferentes níveis de experiência (M \pm DP)

Variáveis	Novatos (PRE)	Novatos (POS)	Experientes (PRE)	Experientes (POS)
SOD	3273,1 \pm 414,8	2378,1 \pm 781,9*	3296,6 \pm 563,5	2942,4 \pm 934,2
GPx	36,4 \pm 6,4	42,6 \pm 5,3	39,6 \pm 7,0	44,6 \pm 9,0
FRAP	85,2 \pm 21,1	106,0 \pm 31,6	83,2 \pm 22,2	106,5 \pm 29,4
TBARS	47,7 \pm 18,8	48,0 \pm 21,9	44,0 \pm 19,1	43,8 \pm 23,9

M = média; DP = desvio padrão; SOD = Superóxido dismutase; GPx = Glutaciona peroxidase; FRAP = Capacidade de redução férrica do plasma; TBARS = substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico

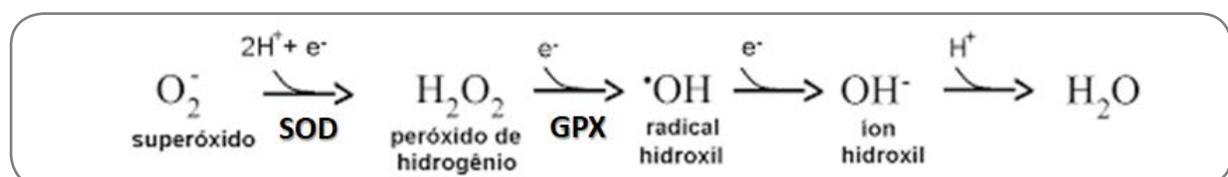
Discussão

Os principais achados do presente estudo mostraram que uma sessão de treinamento “Cindy”, de alta intensidade, promoveu aumento na capacidade antioxidante (FRAP), redução significativa de SOD e aumento significativo de GPx, sem que houvesse alterações em TBARS.

O aumento nos níveis de FRAP também foi observado no estudo de Kliszczewicz *et al.* [6]; esse fenômeno é esperado após uma atividade de alta intensidade, seja ela predominantemente aeróbia ou anaeróbia [29], o que corrobora o protocolo de exercício adotado no presente estudo, visto que a nossa intervenção se mostrou de alta intensidade, através do monitoramento da FC e da PSE. A elevação de FRAP após a prática de exercício intenso tem sido explicada pelo trabalho conjunto e eficiente dos diversos antioxidantes disponíveis no organismo de seus praticantes, que aumentam seus esforços a fim de combater a maior produção de radicais livres causada pelo exercício [30].

Avaliando a atividade antioxidante, obtivemos um aumento de GPx após 30 minutos de treino. Tal fato pode ser explicado a partir do conceito em que as enzimas antioxidantes respondem de maneira adaptativa, aumentando suas atividades, a fim de tentar combater os radicais livres e/ou os danos causados por eles após um exercício físico, principalmente de alta intensidade [31]. Santos *et al.* [32] também relataram um aumento de GPx após realização de exercício de alta intensidade (“RAST TEST”) por atletas treinados; os autores justificaram esse aumento como uma tentativa de o sistema antioxidante combater o estresse oxidativo gerado pelo RAST TEST.

Durante o exercício físico, inclusive em atividades em que o metabolismo seja predominantemente anaeróbio, ou em exercícios isométricos, ou de explosão, como no CrossFit®, acontece um processo chamado de isquemia e reperfusão. Na reperfusão tecidual, o O_2 , em conjunto com a hipoxantina, promove a síntese de ânion superóxido (O_2^-) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), espécies com alto teor reativo [33]. Desta maneira, em situações em que ocorre elevação de compostos pró-oxidantes, a GPx age em conjunto com a SOD, na tentativa de converter o ânion superóxido e peróxido de hidrogênio em água: através da dismutação, a SOD, sendo dependente de zinco, catalisa a síntese de peróxido de hidrogênio a partir do ânion superóxido; contudo, como o peróxido de hidrogênio é reativo e pode promover danos oxidativos, a GPx, uma enzima dependente de selênio, catalisa a redução do peróxido de hidrogênio em água (Figura 3) [34]. Dessa forma, podemos supor que, no presente estudo, a GPx tenha se elevado na tentativa de combater uma possível elevação de peróxido de hidrogênio induzida pela realização do Cindy.



Adaptado de: Barreiros, David e David (2006) [35]

Figura 3 - Conversão de radical superóxido em água, através da ação de enzimas SOD e GPx

Vale ressaltar que a elevação de peróxido de hidrogênio pode ser resultante da ação da SOD sobre o radical superóxido (quadro 1). Sendo assim, a GPx “daria continuidade” ao trabalho da SOD. Segundo Groussard *et al.* [36], o acúmulo de peróxido de hidrogênio consegue diminuir a atividade da SOD, corroborando nossos achados, que demonstraram queda de SOD 30 minutos após o exercício.

Considerando essa hipótese, é possível supor que, no presente estudo, em algum momento durante e/ou logo após o Cindy a atividade da SOD pode ter se elevado, na tentativa de combater um possível aumento de radicais superóxido, assim como tem sido observado em estudos recentes [37,33,38]; a ação da SOD culminaria em maior formação de H_2O_2 , e posteriormente, o acúmulo de H_2O_2 teria inibido a ação da SOD, caracterizando a queda de SOD observada 30 min após o término do Cindy. No entanto, para testar essa hipótese, seria necessário ter avaliado a atividade de SOD em mais momentos do que aqueles testados em nosso estudo, o que pode ser considerado uma limitação.

Outra limitação consiste no fato de não ter sido avaliado o estado nutricional dos participantes em relação ao zinco e selênio, visto que possíveis deficiências desses nutrientes poderiam interferir na atividade das enzimas SOD e GPx, respectivamente [39].

Há também a hipótese de que a redução da SOD pudesse indicar que a nossa intervenção (Cindy) não teria sido suficientemente intensa a ponto de causar significativa produção de espécies reativas de oxigênio, não exigindo uma elevação na atividade da SOD para eliminação de um excesso de superóxido [40]. No entanto, nesse caso a atividade de GPx e a FRAP também não teriam sido elevadas, o que enfraquece essa hipótese. Assim como os dados de %FC e PSE também descartam essa hipótese, visto que ambos os métodos indicaram alta intensidade.

Por fim, em nosso estudo não houve alteração nas concentrações de TBARS, sendo esses compostos considerados marcadores de peroxidação lipídica. Avaliando esse resultado em conjunto com os demais achados do presente estudo, é possível sugerir a hipótese de que o exercício (Cindy) tenha causado maior formação de compostos oxidativos, que foram eficientemente “combatidos” através do sistema antioxidante dos participantes, que neste estudo foi avaliado através de SOD e GPx, mas que pode ter sido fortalecido por inúmeros outros mecanismos não avaliados no presente estudo. Todos esses esforços antioxidantes teriam culminado em aumento da capacidade antioxidante (FRAP), e essa defesa mais fortalecida tenha sido suficiente para impedir a peroxidação lipídica, justificando assim a manutenção dos TBARS.

O impacto de sessões de exercícios sobre a concentração de TBARS de seus praticantes tem sido alvo de inúmeros estudos e os resultados apresentam-se divergentes, havendo estudos que corroboram nossos achados [36,41-44] e outros em que os TBARS foram elevados [45,46]. Tal divergência é compreensível, pois se acredita que, em organismos em que as defesas antioxidantes se encontram eficientes, por diversas razões, dentre elas o estado nutricional, e suficientes para combater as espécies reativas geradas pelo exercício físico intenso, haverá maior proteção dos lipídeos

de membrana, culminando em menores danos, marcados pelos TBARS. Em contrapartida, em situações em que as defesas antioxidantes se encontram ineficientes e/ou situações em que a formação de espécies reativas geradas pelo exercício físico intenso for muito elevada, não será possível “garantir” a proteção dos lipídeos de membrana, culminando em maiores danos, marcados por elevação de TBARS [47].

A baixa confiabilidade e precisão do método de avaliação de TBARS também tem sido considerada uma possível causa dos resultados contraditórios na literatura [42, 48]. Ainda é importante ressaltar que no ensaio para avaliar a peroxidação lipídica (TBARS) houve uma perda parcial das amostras de sangue e por essa razão, tivemos apenas 11 participantes, uma população pequena, que pode aumentar os riscos para vieses.

Adicionalmente, ainda há a possibilidade de que alterações no TBARS após o esforço ocorram mais tardiamente, para além dos 30 minutos adotados no presente estudo. No entanto, para testar essa hipótese, seria necessário termos avaliado TBARS em mais momentos do que aqueles testados em nosso estudo, o que pode ser considerado uma limitação.

Como tratado anteriormente, GPx é utilizada a fim de reduzir o estresse oxidativo para evitar danos oxidativos. Dessa forma, de acordo com Fortes *et al.* [49], mulheres e homens possuem diferenças fisiológicas importantes, por exemplo, as fibras musculares dos homens são mais volumosas quando comparadas com as mulheres, por isso que em exercícios que precisam de velocidade e força os indivíduos do sexo masculino tendem a se destacar, além disso, eles têm um limiar de fadiga menor do que das mulheres. Ademais, em um determinado estudo, as mulheres se mostraram mais suscetíveis a lesões musculares causadas pelo estresse oxidativo. Com isso, pode-se pensar que a GPx se elevou apenas nas mulheres, pois elas precisam de um maior nível de esforço para reproduzir o mesmo exercício que os homens, consequentemente aumentando EROS, estresse oxidativo e GPx.

Em relação à diminuição da SOD no grupo “novatos”, podemos argumentar que a capacidade física dos experientes é mais desenvolvida [50], com isso, os novatos precisam de um esforço maior para realizar os mesmos exercícios, aumentando assim o nível de estresse oxidativo, e consequentemente moléculas de ânion superóxido. Porém, como fora discutido anteriormente, pode ser que no momento da análise o biomarcador em questão estivesse com seus níveis reduzidos pela forte presença de peróxido de hidrogênio, que mostrou diminuir as concentrações de SOD.

Adicionalmente, de acordo com Powers *et al.* [9], a intensidade do exercício é dependente da funcionalidade do sistema cardiovascular do indivíduo e da fadiga, logo a limitação do sistema cardiovascular, com a fadiga, altera a intensidade e a duração do exercício. Dessa forma, em relação aos novatos, SOD diminuiu quando comparados com os experientes, pode-se pensar que a duração e a intensidade do exercício foram menores nesse grupo e após 30 minutos não tinham mais tantos superóxidos a serem combatidos, porém, seriam necessárias mais coletas de sangue e análise de SOD em momentos variados para confirmar a hipótese.

Finalmente, o estresse oxidativo causado pelo exercício físico, a depender do seu nível, pode ser benéfico ou maléfico à saúde e a performance [9]. Dessa forma, analisando nossos resultados, devido ao protocolo aplicado ser de alta intensidade, vimos que houve um aumento do estresse oxidativo causado pela intensidade do exercício físico, porém não encontramos indícios de danos oxidativos 30 minutos após seu término. Dessa forma, nossos achados sugerem que a realização do Cindy não aumentaria os riscos para desfechos indesejáveis, como lesões musculares, perda de força, prejuízo na hipertrofia, ou desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis.

Até onde investigamos, este é o primeiro estudo a analisar os efeitos agudos de uma sessão de HIFT sobre esses biomarcadores de estresse oxidativo, e por essa razão, nossos resultados podem ser úteis para verificar como se comporta o estado redox de um indivíduo em um treino de Crossfit® a fim de avaliar se há ou não estresse oxidativo, e futuramente, fomentar discussões mais aprofundadas sobre a hipótese dessa modalidade estar relacionada a aumento no risco de lesões. Tais discussões futuras são fundamentais, afinal, segundo Moran *et al.* [51] observa-se aumento exponencial do número de praticantes de HIFT no mundo.

Conclusão

Uma sessão de Cindy promoveu aumento de GPx e FRAP, redução de SOD e manutenção de TBARS de praticantes de Crossfit®, 30 minutos após o seu término. Alterações de GPx foram observadas nas mulheres, enquanto alterações de SOD entre novatos. A FRAP foi alterada em todos os grupos.

Potencial conflito de interesse

Nenhum conflito de interesses com potencial relevante para este artigo foi reportado.

Fontes de financiamento

Não houve fontes de financiamento externas para este estudo.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Bastos BMB, Gomes JH, Silva AMO, Mendes RR; Coleta de dados: Gomes JH, Mendes RR; Análise e interpretação dos dados: Bastos BMB, Gomes JH, Silva AMO, Mendes RR; Análise estatística: Gomes JH. Redação do manuscrito: Bastos BMB, Mendes RR; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Bastos BMB, Gomes JH, Mendes RR

Referências

1. Gomes JH, Mendes RR, Franca CS, Da Silva-Grigoletto ME, Pereira da Silva DR, Antonioli AR, et al. Acute leucocyte, muscle damage, and stress marker responses to high-intensity functional training. *PLoS One*. 2020 Dec 3;15(12):e0243276. doi: 10.1371/journal.pone.0243276
2. Ben-Zeev T, Okun E. High-Intensity Functional Training: Molecular Mechanisms and Benefits. *Neuromolecular Med*. 2021 Sep 1;23(3):335–8. doi: 10.1007/s12017-020-08638-8
3. Timón R, Olcina G, Camacho-Cardenosa M, Camacho-Cardenosa A, Martinez-Guardado I, Marcos-Serrano M. 48-hour recovery of biochemical parameters and physical performance after two modalities of CrossFit workouts. *Biol Sport*. 2019;36(3):283–9. doi: 10.5114/biolsport.2019.85458
4. Barranco-Ruiz Y, Villa-González E, Martínez-Amat A, Da Silva-Grigoletto ME. Prevalence of injuries in exercise programs based on Crossfit®, Cross training and high-intensity functional training methodologies: a systematic review. *J Hum Kinet*. 2020;73:251–65. doi: 10.2478/hukin-2020-0006

5. Bergeron MF, Nindl BC, Deuster PA, Baumgartner N, Kane SF, Kraemer WJ, et al. Consortium for health and military performance and American College of Sports Medicine Consensus Paper on extreme conditioning programs in military personnel. *Curr Sports Med Rep*. 2011;10(6):383–9. doi: 10.1249/JSR.ob013e318237bf8a
6. Kliszczewicz B, John QC, Daniel BL, Gretchen OD, Michael ER, Kyle TJ. Acute exercise and oxidative stress: CrossFit™ vs. Treadmill Bout. *J Hum Kinet*. 2015;47(1):81–90. doi: 10.1515/hukin-2015-0064
7. Meyer J, Morrison J, Zuniga J. The benefits and risks of crossfit: a systematic review. *Workplace Health Saf*. 2017;65(12):612–8. doi: 10.1177/2165079916685568
8. Minghelli B, Vicente P. Musculoskeletal injuries in Portuguese CrossFit practitioners. *J Sports Med Phys Fitness*. 2019;59(7). doi: 10.23736/S0022-4707.19.09367-8
9. Powers SK, Deminice R, Ozdemir M, Yoshihara T, Bomkamp MP, Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress: Friend or foe? *J Sport Health Sci*. 2020;9(5):415–25. doi: 10.1016/j.jshs.2020.04.001
10. Juturu V, Sahin K, Pala R, Tuzcu M, Ozdemir O, Orhan C, et al. Curcumin prevents muscle damage by regulating NF-κB and Nrf2 pathways and improves performance: an in vivo model. *J Inflamm Res*. 2016;9:147–54. doi: 10.2147/JIR.S110873
11. Cheng AJ, Jude B, Lanner JT. Intramuscular mechanisms of overtraining. *Redox Biol*. 2020;35:101480. doi: 10.1016/j.redox.2020.101480
12. Ito N, Ruegg UT, Kudo A, Miyagoe-Suzuki Y, Takeda S. Activation of calcium signaling through Trpv1 by nNOS and peroxynitrite as a key trigger of skeletal muscle hypertrophy. *Nat Med*. 2013;19(1):101–6. doi: 10.1038/nm.3019
13. Butcher S, Judd T, Benko C, Horvey K, Pshyk A. Relative intensity of two types of crossfit exercise: acute circuit and high-intensity interval exercise. *Journal of Fitness Research [Internet]*. 2015;4(2):3–15. [cited 2024 August 12]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/281240359_Relative_Intensity_of_Two_Types_of_CrossFit_Exercise_Acute_Circuit_and_High-Intensity_Interval_Exercise
14. Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan A, Kleiner SM, Jäger R, et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018;15(1). doi: 10.1186/s12970-018-0242-y
15. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr*. 1978;40(3):497–504. doi: 10.1079/BJN19780152
16. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc*. 1980;12(3):175–81. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7402053/>
17. Dias RMR, Avelar A, Meneses AL, Salvador EP, Silva DRP da, Cyrino ES. Segurança, reprodutibilidade, fatores intervenientes e aplicabilidade de testes de 1-RM. *Motriz: Revista de Educação Física*. 2013 Mar;19(1):231–42. doi: 10.1590/S1980-65742013000100024
18. Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. The Yo-Yo Intermittent Recovery Test. *Sports Medicine*. 2008;38(1):37–51. doi: 10.2165/00007256-200838010-00004
19. Glassman G. Metabolic Conditioning. *The CrossFit Journal Article [Internet]*. 2003;(3):1–4. [cited 2024 April 15]. Available from: https://brokenscience.org/wp-content/uploads/2024/06/Jun03_metab_cond.pdf
20. Kliszczewicz B, Snarr R, Esco M. Metabolic and cardiovascular response to the crossfit workout “Cindy”: a pilot study. *J Sport Human Perf*. 2014;2(2). doi: 10.12922/jshp.v2i2.38
21. Tibana R, Sousa N, Prestes J, Voltarelli F. Lactate, heart rate and rating of perceived exertion responses to shorter and longer duration CrossFit® training sessions. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2018;3(4):60. doi: 10.3390/jfkm3040060
22. Falk Neto JH, Tibana RA, de Sousa NMF, Prestes J, Voltarelli FA, Kennedy MD. Session rating of perceived exertion is a superior method to monitor internal training loads of functional fitness training sessions performed at different intensities when compared to training impulse. *Front Physiol*. 2020;11. doi: 10.3389/fphys.2020.00919
23. Tibana RA, Sousa NMF, Prestes J, Nascimento DC, Ernesto C, Falk JH, et al. Is perceived exertion a useful indicator of the metabolic and cardiovascular responses to a metabolic conditioning session of functional fitness? *Sports*. 2019;7(7):161. doi: 10.3390/sports7070161
24. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res*. 2001;15(1):109–15. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11708692/>
25. Ohkawa H, Ohishi N, Yagi K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Anal Biochem*. 1979;95(2):351–8. doi: 10.1016/0003-2697(79)90738-3
26. Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Anal Biochem*. 1996;239(1). doi: 10.1006/abio.1996.0292
27. McCord JM, Fridovich I. Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte (hemocuprein). *J Biol Chem*. 1969;244(22). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5389100/>
28. Sies H, Koch OR, Martino E, Boveris A. Increased biliary glutathione disulfide release in chronically ethanol-treated rats. *FEBS Lett*. 1979;103(2). doi: 10.1016/0014-5793(79)81346-0
29. Quindry J, Miller L, McGinnis G, Kliszczewicz B, Slivka D, Dumke C, et al. Environmental temperature and exercise-induced blood oxidative stress. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2013;23(2). doi: 10.1123/ijnsnem.23.2.128

30. Panza VP. Efeito do consumo de chá verde no estresse oxidativo em praticantes de exercício resistido [Dissertação]. Florianópolis: UFSC; 2007. [cited 2024 July 20]. Available from: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSC_59147e25852b7bdbc40a5a3c3cd39f28
31. Araújo MB, Prada FJA, Mello MAR. Estresse oxidativo no exercício, modelos animais e intensidade do esforço Conceito de Estresse Oxidativo. *Motriz*, Rio Claro. 2006;12. Available from: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/motriz/article/view/423>
32. Santos PMF, Souza LMV, Santos MB, Araújo JES, Santos JL, Dória IB, et al. The acute effect of rast test on oxidative stress and muscle damage markers in young athletes. *J Phys Educ*. 2018;29(1). doi: 10.4025/jphyseduc.v29i1.2980
33. Petry E, Alvarenga M, Cruzat V, Tirapegui J. Exercício físico e estresse oxidativo: mecanismos e efeitos. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*. 2010;18(4):90-99. doi: 10.18511/rbcm.v18i4.1363
34. Barbosa KBF, Costa NMB, Alfnas RCG, Paula SO, Minim VPR, Bressan J. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. *Rev Nutr*. 2010;23(4):629-43. doi: 10.1590/S1415-52732010000400013
35. Barreiros ALBS, David JM, David JP. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. *Quim Nova*. 2006;29(1):113-23. doi: 10.1590/S0100-40422006000100021
36. Groussard C, Rannou-Bekono F, Machefer G, Chevanne M, Vincent S, Sergent O, et al. Changes in blood lipid peroxidation markers and antioxidants after a single sprint anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2003;89(1):14-20. doi: 10.1007/s00421-002-0767-1
37. Gonçalves AC, Rodrigues LR, Terra MP, Sasaki JE, Portari GV. Exercício aeróbio exaustivo aumenta o estresse oxidativo em corredores fundistas treinados. *RBPFEEX - Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício* [Internet]. 2019;13(83):493-500. [cited 2024 Aug 12]. Available from: <http://www.rbpfef.com.br/index.php/rbpfef/article/view/1704>
38. Vazatta R, Tangerino LCS, Araújo GG, Melo MP, Cavaglieri CR, Verlengia R. Exercício físico e mecanismo antioxidante de defesa. *Saúde em Revista*. 2009;11(28-29):7-15. doi: 10.15600/2238-1244/sr.v11n-28-29p7-15
39. Yan Z, Spaulding HR. Extracellular superoxide dismutase, a molecular transducer of health benefits of exercise. *Redox Biology*. 2020. doi: 10.1016/j.redox.2020.101508
40. Boeno FP, Ramis TR, Farinha JB, Lemos LS de, Medeiros N da S, Ribeiro JL. Efeito agudo do exercício de força com restrição do fluxo sanguíneo sobre parâmetros antioxidantes em indivíduos jovens saudáveis. *J Vasc Bras*. 2018;17(2). doi: 10.1590/1677-5449.011017
41. Alessio HM, Hagerman AE, Fulkerson BK, Ambrose J, Rice RE, Wiley RL. Generation of reactive oxygen species after exhaustive aerobic and isometric exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;1576-81. doi: 10.1097/00005768-200009000-00008
42. Morillas-Ruiz J, Zafrilla P, Almar M, Cuevas MJ, López FJ, Abellán P, et al. The effects of an antioxidant-supplemented beverage on exercise-induced oxidative stress: results from a placebo-controlled double-blind study in cyclists. *Eur J Appl Physiol*. 2005;95(5-6):543-9. doi: 10.1007/s00421-005-0017-4
43. Morillas-Ruiz JM, Villegas García JA, López FJ, Vidal-Guevara ML, Zafrilla P. Effects of polyphenolic antioxidants on exercise-induced oxidative stress. *Clinical Nutrition*. 2006;25(3):444-53. doi: 10.1016/j.clnu.2005.11.007
44. Spanidis Y, Stagos D, Orfanou M, Goutzourelas N, Bar-or D, Spandidos D, et al. Variations in oxidative stress levels in 3 days follow-up in ultramarathon mountain race athletes. *J Strength Cond Res*. 2017;31(3):582-94. doi: 10.1519/JSC.0000000000001584
45. Lima D, Voltarelli F, Kietzer K. Verificação de um biomarcador de estresse oxidativo em atletas de natação em período específico de treinamento físico. *Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício* [Internet]. 2015;9:97-104. [cited 2024 Aug 15]. Available from: <https://www.rbpfef.com.br/index.php/rbpfef/article/view/746>
46. Varamenti E, Tod D, Pullinger SA. Redox homeostasis and inflammation responses to training in adolescent athletes: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med Open*. 2020;6(1):34. doi: 10.1186/s40798-020-00262-x
47. Thirupathi A, Pinho RA, Ugbolue UC, He Y, Meng Y, Gu Y. Effect of running exercise on oxidative stress biomarkers: a systematic review. *Front Physiol*. 2021;11. doi: 10.3389/fphys.2020.610112
48. Rodriguez MC, Rosenfeld J, Tarnopolsky MA. Plasma malondialdehyde increases transiently after ischemic forearm exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2003 Nov;35(11):1859-65. doi: 10.1249/01.MSS.0000093609.75937.70
49. Fortes M, Marson R, Martinez E. Comparação de desempenho físico entre homens e mulheres: revisão de literatura. *Revista Mineira de Educação Física* [Internet]. 2015;23:54-69. Available from: <https://periodicos.ufv.br/revminef/article/view/9964>
50. Hilário G, Abdalla PP, Carvalho A dos S, Júnior JRG. Condicionamento físico de participantes de crossfit®. *RBPFEEX - Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício* [Internet]. 2022;16:173-81. [cited 2024 August 15]. Available from: <http://www.rbpfef.com.br/index.php/rbpfef/article/view/2541>
51. Moran S, Booker H, Staines J, Williams S. Rates and risk factors of injury in CrossFit™: a prospective cohort study. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017 Jul;57(9). doi: 10.23736/S0022-4707.16.06827-4

