UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

ANÁLISE DE DIFERENTES VOLUMES DE HIIT SOBRE OS PARÂMETROS DE ESTRESSE OXIDATIVO E DANOS MUSCULARES

EVERTON SANTOS DE JESUS

São Cristóvão
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

ANÁLISE DE DIFERENTES VOLUMES DE HIIT SOBRE OS PARÂMETROS DE ESTRESSE OXIDATIVO E DANOS MUSCULARES

EVERTON SANTOS DE JESUS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Marques Vieira Souza
Co-Orientador: Prof. Dr. Jymmys Lopes dos Santos

São Cristóvão
2024

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Jesus, Everton Santos de
J58a Análise de diferentes volumes de HIIT sobre os parâmetros de estresse oxidativo e danos musculares / Everton Santos de Jesus ; orientador Lucio Marques Vieira Souza ; co-orientador Jymmys Lopes dos Santos. – São Cristóvão, SE, 2024.
49 f.

Dissertação (mestrado em Educação Física) – Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Educação física. 2. Exercícios físicos. 3. Periodização do treinamento físico. 4. Stress oxidativo . 5. Natação. 6. Sistema musculoesquelético – Ferimentos e lesões I. Souza, Lucio Marques Vieira, orient. II. Santos, Jymmys Lopes dos, co-orient. III. Título.

CDU 796.015.542

EVERTON SANTOS DE JESUS

ANÁLISE DE DIFERENTES VOLUMES DE HIIT SOBRE OS PARÂMETROS DE ESTRESSE OXIDATIVO E DANOS MUSCULARES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Física da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Educação Física.

Aprovada em___/___/___

_____

1° Examinador: Prof. Dr. Lúcio Marques Vieira Sousa

_____

2° Examinador: Prof. Dr. Darlan Tavares dos Santos

_____

3° Examinador: Prof. Dr. Luis Fabiano Barbosa

PARECER

_____

_____

_____

_____

_____

RESUMO

Introdução: O Treinamento Intervalado de Alta Intensidade (HIIT) é uma modalidade de treino com grande número de adeptos de hábitos saudáveis e praticantes de atividade física. Dessa forma, ao ser exposto a exercícios de alta intensidade o músculo esquelético é induzido a aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), o que por sua vez a depender da intensidade e volume aumentam o estresse oxidativo. **Objetivo**: O objetivo deste estudo foi analisar os efeitos de uma única sessão de dois protocolos de HIIT com diferentes volumes sobre marcadores de glicemia, lactato e dano hepático em ratos. **Métodos**: Foram utilizados 24 ratos Wistar machos, divididos em três grupos (n= 8/grupo): Grupo Controle (GC), HIIT com 14 períodos de natação com duração de 20 segundos cada, com intervalos de 10 segundos entre cada período, totalizando duração de 7 minutos (H1), e HIIT com 14 períodos de natação com duração de 35 segundos cada, com intervalos de 25 segundos entre cada período, totalizando 14 minutos de treino (H2). A normalidade dos dados foi testada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, utilizou-se ANOVA unidirecional com teste post-hoc de Bonferroni para analisar os dados dos marcadores de dano tecidual. O teste t de Student foi utilizado para análise dos dados de glicemia e lactato. O nível de significância foi fixado em $p<0,05$. Todos os dados foram analisados utilizando o software GraphPad Prism versão 7.0 (GraphPad Software, San Diego, CA, EUA). **Resultados**: Em relação à glicemia, não houve diferença significativa tanto no grupo H1 (113,00 ± 8,21 vs 123,25 ± 10,78; p=0,3303) quanto no grupo H2 (112,25 ± 12,55 vs 114,25 ± 8,77; p=0,9545), respectivamente. Em relação às concentrações de lactato, houve diferença significativa em ambos os grupos em relação ao controle (H1: 2,75 ± 0,55 vs 10,06 ± 1,93; p=0,0003 e H2: 2,65 ± 1,07 vs 9,99 ± 1,30; p=0,0001). Entretanto, não foi encontrada diferença na concentração de lactato entre os protocolos H1 e H2 (10,06 ± 1,93 vs 9,99 ± 1,30; p=0,9965), respectivamente. Quanto ao dano hepático, apenas o H1 apresentou redução de AST e ALT em comparação ao grupo GC (30% e 29,65%; $p<0,05$), respectivamente. Por outro lado, não houve diferenças significativas nos valores de AST [16,40 ± 1,91 (H2) vs 13,98 ± 1,06 (GC); -14,75%; p=0,0918] e [11,48 ± 1,59 (H1) vs 13,98 ± 1,06 (H2); p=0,0792]. Além disso, não foi observada diferença significativa nos valores de ALT entre os protocolos estudados [8,54 ± 1,70 (H1) vs 10,32 ± 0,78 (H2); p=0,1756]. **Considerações finais**: Uma única sessão de treinamento HIIT com diferentes volumes não induz alterações no marcador de glicemia; quanto ao lactato uma única sessão de HIIT foi capaz de aumentar significativamente em mais de 365% e 375% os valores plasmáticos de lactato nos grupos H1 e H2 em relação ao seu momento de repouso pré sessão de HIIT. Adicionalmente, não foi detectado diferença na concentração de lactato entre os protocolos H1 e H2. Além disso, o HIIT de curta duração causou alterações nos marcadores hepáticos AST e ALT em comparação ao grupo controle, ao passo que, na comparação entre os grupos estudados, não foram observadas alterações significativas após uma única sessão de HIIT.

Palavras-chave: Treino intervalado de alta intensidade; volume; espécies reativas de oxigênio.

ABSTRACT

Introduction: High-intensity interval training (HIIT) is an exercise modality that can induce reactive oxygen species (ROS) production in skeletal muscles, the extent of which depends on the intensity, duration, and volume of exercise, potentially leading to oxidative stress. **Objective**: To analyze the effects of a single session of two HIIT protocols with different intensity levels on the markers of blood sugar, lactate, and hepatic damage in rats. **Methods**: Overall, 24 male Wistar rats were included in the study and divided into three groups (n = 8/group): Control Group (CG); HIIT involving 14 swimming periods lasting 20 s each, with 10-s intervals between each period, totaling a duration of 7 min (H1); and HIIT involving 14 swimming periods lasting 35 s each, with 25-s intervals between each period, totaling a duration of 14 min (H2). **Results**: Regarding blood sugar levels, there were no significant differences in the H1 (113.00 ± 8.21 vs. 123.25 ± 10.78; $p = 0.3303$) and H2 (112.25 ± 12.55 vs. 114.25 ± 8.77; $p = 0.9545$) groups, respectively. Regarding lactate levels, there was a significant difference in both the groups compared with the CG (H1: 2.75 ± 0.55 vs. 10.06 ± 1.93; $p = 0.0003$; H2: 2.65 ± 1.07 vs. 9.99 ± 1.30; $p = 0.0001$). However, there was no difference in lactate levels between the H1 and H2 groups (10.06 ± 1.93 vs. 9.99 ± 1.30; $p = 0.9965$). Regarding hepatic damage, only H1 demonstrated a reduction in aspartate aminotransferase (AST) and alanine transaminase (ALT) levels compared with CG (30% and 29.65%, respectively; $p < 0.05$). Conversely, there were no significant differences in the AST levels between both the groups and CG (16.40 ± 1.91 [H2] vs. 13.98 ± 1.06 [CG]; −14.75%; $p = 0.0918$; 11.48 ± 1.59 [H1] vs. 13.98 ± 1.06 [H2]; $p = 0.0792$). Additionally, there was no significant difference in the ALT levels between the HIIT groups (8.54 ± 1.70 [H1] vs. 10.32 ± 0.78 [H2]; $p = 0.1756$). **Conclusion:** A single HIIT training session with different volumes does not induce changes in the glycemia marker, as for lactate, a single HIIT session was able to significantly increase plasma lactate values by more than 365% and 375% in groups H1 and H2 in relation to your pre-HIIT session rest time. However, no difference in lactate concentration was detected between protocols H1 and H2. Furthermore, short-term HIIT caused changes in liver markers AST and ALT compared to the control group. However, when comparing the groups studied, no significant changes were observed after a single HIIT session.

Keywords: High intensity interval training; volume; reactive oxygen species.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Determinação da concentração de glicose (A) e lactato plasmático (B) após HIIT H1 e H2. 43

Figura 2 – Determinação enzimática AST (A) e ALT (B) de lesão tecidual hepática induzida por dois protocolos de HIIT. 43

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros habitualmente utilizados na prescrição do treinamento intervalado e características associadas a taxa de intensidade (Adaptado de Evangelista).....32

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ACSM	Colégio Americano de Medicina do Esporte
AF	Atividade Física
AHA	Associação Americana do Coração
AVC	Acidente Vascular Cerebral
EF	Exercício Físico
HIIT	Treinamento Intervalado de Alta Intensidade
MICT	Treinamento Contínuo de Intensidade Moderada
$VO2_{máx}$	Consumo Máximo de Oxigênio
SIT	Treinamento de Intervalos de Sprints
TSR	Treinamento com Sprints Repetidos
ALT	Alanina Aminotransferase
AST	Aspartato Aminotransferase
AMP	Adenosina Monofosfato
GLUT-4	Transportador de Glicose
CK	Creatina Quinase
EROs	Espécies Reativas de Oxigênio
SOD	Superóxido Dismutase
CAT	Catalase
NOS	Óxido Nítrico Sintase
GPX	Glutationa Peroxidase
GST	Glutationa S-transferase
GCS	Ɣ-glutamilcisteína Sintetase
GR	Glutationa Redutase

TAC	Capacidade Total Antioxidante
IL-6	Interleucina-6
GC	Grupo Controle
H1	Grupo HIIT Curta Duração
H2	Grupo HIIT Duração Prolongada
CEUA	Comitê de Ética no Uso de Animais
UFS	Universidade Federal de Sergipe
COBEA	Diretrizes do Colégio Brasileiro de Experiências com Animais
NUPESIN	Núcleo de Pesquisa em Sinalização Intracelular

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16

2.1 Treinamento Intervalado de Alta Intensidade: conceito e príncipios para prescrição 16

2.2. Tipos de Treinamento Intervalado de Alta Intensidade e os efeitos induzidos pela prática 18

2.3 Glicemia, lactato, dano hepático e HIIT 21

2.4 HIIT e estresse oxidativo 25

3 QUESTÃO NORTEADORA DO ESTUDO 28

4 HIPÓTESE 29

5 JUSTIFICATIVA 30

6 OBJETIVOS 32

6.1 Objetivo geral 32

6.2 Objetivos Específicos 32

7 MATERIAL E MÉTODOS 33

7.1 Delineamento do estudo 33

7.2 Aspectos éticos 33

7.3 Amostra 33

7.4 Protocolos das sessões de HIIT 34

7.5 Análises da glicemia e do lactato 34

7.6 Coleta de materiais biológicos 34

7.7 Determinação enzimática de dano tecidual 35

7.8 Análise estatística 35

8 RESULTADOS 36

9 DISCUSSÃO 38

CONSIDERAÇÕES FINAIS 42

REFERÊNCIAS.....42

1 INTRODUÇÃO

O Treinamento Intervalado de Alta Intensidade (HIIT) é uma modalidade de treino com grande número de adeptos a hábitos saudáveis[1] e praticantes de atividade física[2] devido ao seu baixo volume e curto tempo de execução[3]. Esse modelo de treinamento consiste na realização de exercícios vigorosos e intermitentes, intercalados com pausas de repouso passivo ou intervalos de baixa intensidade com recuperação ativa[4].

Além das vantagens propiciadas pelo HIIT sobre a capacidade cardiopulmonar, redução do peso corporal e melhora da qualidade de vida, o método apresenta maior eficiência em função do menor tempo despendido em comparação a outros modelos de treinos[5,6].

O HIIT vem sendo utilizado nos estudos científicos com inúmeros protocolos, envolvendo diferentes níveis de intensidade e durações de estímulos dos momentos de atividade (esforço) e momentos de recuperação (pausa), o que torna a comparação do HIIT como algo complexo[7].

Dessa forma, alguns estudos[8,9] usaram o HIIT com esforços vigorosos de intensidade vigorosa de 10 x 1 minuto em ~ 90% da frequência cardíaca de pico (FC_{pico}) intercalados com períodos de descanso de 1 minuto em três sessões por semana, caracterizado por ser um HIIT de curta duração. Enquanto outros[5,10] usaram protocolos de HIIT com maior duração dos estímulos, isto é, maior duração do tempo de esforço, menos repetições e intervalos de descanso mais longo, na oportunidade, envolveram sessões de 4 × 4 minutos a 90% da FC_{pico} com períodos de 3 minutos de recuperação ativa a 70% da FC_{pico}.

Além dos efeitos promovidos pelo HIIT após algumas sessões de treinamento, alguns autores[11,12] sugerem que já na primeira sessão do HIIT são desencadeadas diversas adaptações fisiológicas e bioquímicas, sobretudo nos marcadores de glicemia, lactato e danos hepáticos, uma vez que ao ser exposto a exercícios de alta intensidade o músculo esquelético é induzido a aumentar a produção de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) o que por sua vez a depender da intensidade e volume aumenta o estresse oxidativo.

Nessa perspectiva, ao realizar contrações musculares, observa-se um acréscimo na geração EROs, uma reação adaptativa das fibras musculares. No entanto, em situações de exercício físico extenuante, a produção de EROs pode

exceder a habilidade dos antioxidantes musculares em neutralizá-las, resultando em danos musculares e elevação dos níveis de estresse oxidativo e inflamação[12].

Conhecido por causar o desiquilíbrio redox, o estresse oxidativo ocorre quando existe uma desconformidade entre a produção de compostos oxidantes e a atuação dos sistemas de defesa antioxidantes[12]. Na grande maioria das vezes esse desequilíbrio pode ser potencializado pela falta de controle das variáveis do treinamento, a saber, periodização, intensidade, duração de estímulo, frequência e volume, uma vez que o exercício vigoroso ocasiona um desequilíbrio na homeostase intracelular entre os agentes pró e antioxidantes, levando ao aumento das EROs devido ao incremento do consumo de oxigênio para atender à elevação da demanda metabólica [12, 13].

Wang et al.[13] analisando em modelos animais os efeitos de dois tipos de treinamentos, o HIIT e o Treinamento Contínuo de Intensidade Moderada (MICT) no músculo esquelético, demonstram que tanto o HIIT quanto o MICT reduziram os níveis de lipídios no sangue, a produção de EROs e o conteúdo proteico de carbonila no músculo esquelético. Neste estudo, o HIIT de curta duração apresentou como benefício à redução de EROS no músculo esquelético.

Enquanto isso, aparentemente ainda não há um consenso na literatura científica em relação aos os danos no tecido hepático frente durações de estímulos de treinos diferentes, uma vez que a maioria dos estudos são realizados no tecido muscular[14]. Nos últimos anos o HIIT vem ganhando destaque por ser uma atividade com uma demanda de tempo relativamente curta, eficaz e pelos vários benefícios gerados[4]. Entretanto, ainda são bastante escassos os estudos que discutem os efeitos de sessões agudas com diferentes durações de estímulos do HIIT sobre os parâmetros de glicemia, lactato e Alanina Aminotransferase (ALT) e Aspartato Aminotransferase (AST)[12,14].

Não obstante, a manipulação correta do volume e da intensidade do treino tem influência direta na magnitude das respostas agudas e crônicas, e consequentemente, nos processos de adaptações[15]. Acredita-se que a utilização de um modelo de periodização, equalização do volume, duração de estímulo e intensidade do treinamento resulta numa otimização da sessão de treino, induzindo maiores performances, acelera os objetivos desejados pelos praticantes, bem como, potencializa a melhora nos dados da composição corporal de seus adeptos[16,17].

Embora exista um vasto constructo teórico e pesquisas cientificas sobre os

efeitos de diferentes modelos do HIIT com populações diversificadas[18,19], ainda são escassas pesquisas que buscam investigar os efeitos de diferentes durações de estímulos do HIIT curto em modelos animais, sobretudo, quando almeja-se investigar as respostas agudas do HIIT sobre o lactato, glicemia e danos hepáticos em modelos animais[20]. Até o momento, não é possível saber o real impacto dessas variações de durações de estímulos e se isso maximiza ou não os efeitos do treinamento nos parâmetros estudados[15]. Apesar de já existirem alguns estudos[12,13,21] que analisaram o HIIT e seus diversos efeitos sobre o organismo animal ou humano, diferentes níveis de intensidades ainda necessitam de maiores informações, respostas mais robustas sobre os parâmetros fisiológicos e bioquímicos dessa prática.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Treinamento Intervalado de Alta Intensidade: conceito e príncipios para prescrição

Diante das intensas exigências profissionais decorrentes do avanço da sociedade, indivíduos frequentemente apontam a falta de tempo como um dos fatores cruciais para não atingir os índices minímos de exercício físico proposto pela Organização Mundial da Saúde (OMS), isto é, pelo menos 75 a 150 minutos de atividade física aeróbica de vigorosa intensidade[22]. Neste cenário global de escassez de tempo, o HIIT surge com uma alternativa eficiente e promissora, capaz de trazer diversos benefícios aos seus praticantes[22,23].

OHIIT vem ganhando destaque e reconhecimento na comunidade científica devido sua versatilidade, vantagens e poucas exigências para a prática[24,25]. Estima-se que esse modelo de treinamento é usado há decadas por atletas de ponta com o intuito de melhorar o desempenho esportivo. Adicionando a isso, nos últimos anos o HIIT vem sendo utilizado para melhorar a capacidade cardiopulmonar, redução do peso corporal, melhora da qualidade de vida e dados da composição corporal da população em diferentes contextos e finalidades[5,6].

Nessa perspectiva, o HIIT, por definição, consiste na realização de exercícios vigorosos e intermitentes num período de estímulo pré estabelecido (esforço), intercalados com pausas de repouso passivo ou intervalos de baixa intensidade com recuperação ativa[4,5]. Corroborando, Gibala[26] afirma que o HIIT é caracterizado por ter determinados períodos de esforço, separados por momentos de recuperação, que pode ser passiva (parado) ou ativa (em baixa intensidade).

Sendo assim, um dos princípios cruciais quando se pensa na prescrição do HIIT está relacionado a sua alta intensidade, o que por sua vez exige do praticante diversas adaptações no sistema fisiológico[4,27]. Em outras palavras, a alta intensidade desse método exige que o sistema fisiológico atuem em condições acima de limiares pré-estabelecidos, como submáximos, máximos ou supramáximos[4,27]. Na tabela 1 desenvolvida por Evangelista[27] são descritos as medidas de prescrição, taxas de intensidade e característica pelas quais os protocolos populares baseados no conceito de HIIT são prescritos na atualidade.

Tabela 1. Parâmetros habitualmente utilizados na prescrição do treinamento intervalado e características associadas a taxa de intensidade (Adaptado de Evangelista [27])

Medida de prescrição	Intensidade	Característica
Frequência cardiaca máxima	80 a 95% 100%	Submáxima Máxima
Frequência cardíaca de reserva	85%	Submáxima
Percepção de esforço (6 a 20)	17 a 19 20	Submáxima Máxima
Percepção de esforço (0 a 10)	8 a 9 10	Submáxima Máxima
Intensidade associada ao VO2máx (iVO2máx)	85 a 95% 100% >100%	Submáxima Máxima Supra máxima
Consumo máximo de oxigênio (VO2máx)	75 a 90% 100%	Submáxima Máxima
All Out	Máxima capacidade de execução de determinada atividade	Supra máxima (Não parametrizado)

Abreviaturas: %: por cento; >: maior que; VO2máx: consumo máximo de oxigênio; iVO2máx: intensidade no consumo máximo de oxigênio; All out: esforço supra máximo.

Outro aspecto importante sobre a prescrição do HIIT é destacado por Buccheit e Laursen[28,29] que abordam nove fatores associados aos períodos de estímulos e recuperação durante as sessões HIIT que devem ser considerados na prescrição desse método, a saber: 1) intensidade do esforço; 2) duração do esforço; 3) intensidade da recuperação; 4) duração da recuperação; 5) duração total da sessão de treinamento; 6) número de séries; 7) modalidade de exercício utilizado; 8) duração das séries; 9) intervalo entre as séries, além de variáveis relacionadas ao contexto (ambientais), que são capazes de alterar respostas agudas e crônicas.

Além desses fatores, é de extrema importância ao organizar um programa com esse modelo de treinamento considerar o princípio da individualização, isto é, considerar cada indíviduo como único, com fisiologia diferente, nível de

condicionamento físico e aptidão física única[30]. Dessa forma, os programas de treinamento mais eficazes são desenvolvidos quando são adaptados às necessidades específicas de cada indivíduo, ou seja, é imprenscíndivel levar em consideração esse princípio[30].

Depreende-se disso tudo, que o HIIT apresenta diversos elementos ajustáveis e manipuláveis, bem como, vem sendo utilizado em diferentes contextos, populações e protocolos diferentes[31,32,33]. Esse é um aspecto que amplia as opções de variação nos treinos, desde que se tenha um pleno entendimento das características das variáveis e respostas relacionadas ao controle da intensidade em cada modelo.

2.2. Tipos de Treinamento Intervalado de Alta Intensidade e os efeitos induzidos pela prática

O HIIT tem se destacado como uma estratégia eficaz no atual panorama da sociedade, notabilizando por aprimorar a aptidão cardiovascular, melhorar dados da composição corporal[5,16] e favorecer o metabolismo de queima de gordura em detrimento aos modelos tradicionais de treino[34]. Mediante à busca por métodos de treinamento eficientes, diferentes tipos de HIIT têm sido explorados, oferecendo uma diversidade de abordagens para atender a distintos objetivos, populações e contextos[35].

Existem diversos tipos de HIIT, cada um com suas caracteristicas e especificidades, a partir desse ponto serão detalhados os principais protocolos utilizados nas pesquisas científicas, bem como, será enfatizado de forma sucinta as respostas e efeitos que cada modelo de treino induz ao praticante sobre alguns marcadores bioquimicos[26].

O HIIT longo é caracterizado pela execução de séries de estímulos que ultrapassam 1 minuto de duração, geralmente variando entre 2 e 5 minutos. Durante esses períodos, a intensidade é mantida entre 90% e 100% do VO2máx (ou acima), seguida por intervalos de recuperação que podem ser passivos, com duração de aproximadamente 1 a 3 minutos, ou ativos, envolvendo exercícios de baixa intensidade por 2 a 4 minutos (inferior a 65% do vVO2máx)[27].

Alguns estudos[5,10] usaram protocolos de HIIT longo, isto é, maior duração dos estímulos, menos repetições e intervalos de descanso mais longo, na oportunidade, envolveram sessões de 4 × 4 minutos a 90% da FC_{pico} com períodos de 3 minutos de recuperação ativa a 70% da FC_{pico}.

No estudo realizado por Groussard et al.[36] comparando o HIIT de longa duração com um protocolo de intensidade moderada os autores trazem resultados interessantes. Na oportunidade, o protocolo foi executado na esteira adaptadas para ratos por 10 semanas com 5 sessões, os autores dividiram em 3 grupos, grupo submetido ao MCIT correu por 12 minutos a 51 minutos, o grupo HIIT alternou de 3 a 4 minutos por 6 séries e o grupo controle sem exercício. Os desfechos após as 10 semanas de treinamentos caminham na direção de que tanto o HIIT quanto o MICT melhoram os níveis antioxidantes dos ratos.

Ahmad et al.[37] comparando os efeitos de diferentes volume do HIIT longo em mulheres com diabetes mellitus tipo 2, agrupadas em dois grupos: grupo HIIT de baixo volume (ou seja, 2 x 4 minutos de exercício em esteira de alta intensidade a 85%-90% da frequência cardíaca máxima (FCmáx), com um intervalo de recuperação ativa de 3 minutos entre eles) e grupo HIIT de alto volume (ou seja, 4 × 4 minutos de exercício em esteira de alta intensidade a 85%-90% da FCmáx, os autores concluiram que HIIT de baixo volume pode ser tão eficaz quanto o HIIT de alto volume para melhorar as medidas antropométricas de adiposidade, a qualidade de vida e os níveis de colesterol total, lipoproteína de alta densidade e a pressão arterial nas participantes do estudo. Todavia, o HIIT de alto volume poderia ter um impacto maior no controle glicêmico, triglicerideos, lipoproteina de baixa densidade e aptidão cardiorrespiratória nesse público.

Por outro lado, o HIIT de curta duração destaca-se pela execução de sequências de estímulos com uma duração que varia entre 10 e 60 segundos, mantendo uma intensidade superior a 100% do VO2máx. Os períodos de recuperação são distintos, com uma proporção flexível, apresentando menor tempo de recuperação em relação ao esforço (1:0,5) e, alternativamente, maior tempo de recuperação em relação ao esforço (1:4), ajustando-se conforme a intensidade aplicada[6,27].

Dessa forma alguns estudos[8,9] usaram o HIIT com esforços vigorosos de intensidade vigorosa de 10 x 1 minuto em ~ 90% da FC_{pico} intercalados com períodos de descanso de 1 minuto em três sessões por semana, caracterizado por ser um HIIT de curta duração.

Na revisão sistemática realizada por De Oliveira Teles et al.[38] cujo principal objetivo do estudo consistiu em avaliar os efeitos agudos de diferentes modelos do HIIT sobre parâmetros bioquímicos, os principais resultados evidenciaram que o HIIT com menor duração de volume parece ser uma alternativa segura e eficaz no controle

glicêmico e fatores associados, superior ao MCIT.

Wang et al.[13] analisando em modelo animal os efeitos de dois tipos de treinamentos, o HIIT e MICT no músculo esquelético, demonstram que tanto o HIIT quanto o MICT reduziram os níveis de lipídios no sangue, a produção de EROS e o conteúdo proteico de carbonila no músculo esquelético. No entanto, um ponto a ser destacado diz respeito aos benefícios do HIIT, em que os autores mencionam que o HIIT de curta duração teve maior eficiência devido à redução de EROS no músculo esquelético.

Adicionalmente, Tsirigkakis et al.[21] abordam no estudo que o HIIT de curta duração com 10 segundos de exercício em comparação com um modelo de duração de 60 segundos apresentou resultados mais satisfatórios no lactato de indivíduos obesos.

Outro modelo de HIIT que emerge como um protocolo frequentemente empregado para aprimorar o desempenho em diversas modalidades esportivas individuais é o Treinamento de Intervalos de Sprints (*Sprint Interval Training* - SIT)[4]. Essas sessões consistem em estímulos breves de intensidade supramáxima, realizados sem parametrização (*all-out*), demandando uma significativa contribuição do metabolismo anaeróbio para a produção de energia[39]. Normalmente, a duração de cada estímulo varia entre 30 e 45 segundos, seguido por intervalos de recuperação prolongados (aproximadamente 3 a 5 minutos ou mais) conduzidos de maneira passiva[29,40].

No estudo realizado por Kabasakalis et al.[41] com atletas competidores com o intuito de avaliar e comparar os efeitos de 2 séries de SIT sobre marcadores bioquímicos indicativos de metabolismo, estresse e capacidade antioxidante, foi constatado que duas séries de SIT induziram aumentos significativos de lactato, glicose, insulina, glucagon, cortisol e ácido úrico.

O SIT apesar de ser bastante utilizado por atletas de alto rendimento, vem sendo aplicado em diferentes contextos e finalidades, apresentando resultados animadores sobre os parâmetros de qualidade de vida e saúde da população não atleta. No estudo realizado por Adamson et al.[39], cujo o objetivo consistiu em determinar o efeito da frequência de treinamento do SIT na saúde e função física em idosos, os autores demostraram que uma sessão desse modelo de treino por semana produz efeitos significativos no controle da glicemia, bem como, concluiram que a aplicação do SIT semanal é suficiente para produzir benefícios à saúde.

Outro tipo de HIIT que merece destaque diz respeito ao Treinamento com Sprints Repetidos (TSR). Esse modelo envolve a execução repetida de sprints, caracterizando-se por esforços intensos de 3 a 7 segundos, nos quais o praticante se empenha ao máximo, isto é, numa intensidade *all out*. Os períodos de recuperação, por sua vez, podem ser passivos, envolvendo repouso sem atividade física, ou ativos, incorporando exercícios leves, e geralmente estendem-se por intervalos superiores a 60 segundos[29].

Macinnis e Gibala[42] afirmam que ao ser inserido em um programa de treinamento intervalado de sprint o indivíduo melhora diversos parâmetros associados com o desempenho e saúde, como, por exemplo, o V̇O2max. Adicionalmente, essa adesão ao programa TSR pode causar alterações no inflamação sistêmica que são induzidas pela prática exercícios físico em alta intensidade[42,43].

No estudo de revisão realizado por Bishop, Girard e Mendez-Villanueva[44] que investigaram a efetividade do TSR (>4 semanas), o uso do TSR tem emergido entre os pesquisadores, primeiramente por promover melhorias em multi-componentes da aptidão atlética[45], pela sua especificidade com os esportes coletivos de natureza intermitente[46], e por ser considerada uma estratégia de tempo-eficiência em relação a outras configurações do HIIT[47,48].

Diante dessas informações, nota-se que o HIIT tem sido explorado em pesquisas científicas por meio de diversos protocolos, que abrangem uma ampla gama de intensidades e durações tanto nos períodos ativos (exercício) quanto nos períodos passivos (recuperação). Essa diversidade de abordagens torna a comparação do HIIT uma tarefa complexa, como observada por François e Little[7].

2.3 Glicemia, lactato, dano hepático e HIIT

A prática regular de exercício físico está entre as principais recomendações para o tratamento de diversas patologias, como obesidade, esteatose hepática, diabetes e controle de fatores que podem desencadear complicações de saúde[32]. Dentre vários mecanismos influenciados pela prática regular de exercícios, destacam-se a glicemia, o lactato e os marcadores de danos hepáticos, ALT e AST, uma vez que esses biomarcadores tem relação direta com diversas doenças e processos inflamatórios no metabolismo[49].

Embora as evidências cientifícas apontem os diversos benefícios, como melhora da composição corporal[5,16], condições cardiovasculares[34], controle

glicêmico[35] induzidos pela prática do HIIT, a execução constante de um método de treino que exige alta intensidade pode resultar em riscos para os seus praticantes, sobretudo levar a fadiga central e periferica, a suscetibilidade a lesões e o aumento exarcebado do estresse oxidativo[50]. Dessa forma, é imprescíndivel analisar os efeitos do HIIT com as diferentes durações de estímulos e intensidade com intuito de otimizar os seus efeitos benefícios, amenizar e prevenir seus efeitos deletérios sobre a saúde de seus praticantes

A glicemia, desempenha um papel importante no equilíbrio energético do organismo, bem como, é um parâmetro relevante para a saúde metabólica[51]. Durante uma sessão de HIIT os níveis de glicemia podem apresentar variação que dependem de diversos fatores, incluindo a intensidade do exercício, a duração do treino, a duração do momento de esforço, o tempo de recuperação, o estado de saúde e aptidão do indivíduo e sua resposta fisiológica ao exercício[51].

Assim, ao ser induzido a prática de exercícios de alta intensidade, os músculos solicitam uma fonte rápida de energia para sustentar o esforço[51]. Nesse contexto, há uma mobilização intensa de glicose armazenada nos músculos, sob a forma de glicogênio, e do fígado, resultando em um aumento temporário nos níveis de glicose no sangue. Esse fenômeno é uma resposta adaptativa que fornece combustível imediato para atender à demanda energética crescente[51,52].

É importante enfatizar, que o músculo é amplamente presente e o maior tecido metabólico do corpo humano, fundamental para metabolização da glicose em repouso e durante o exercício, uma vez que no treino, o músculo esquelético utiliza o glicogênio muscular armazenado e glicose plasmática circulante como fontes de combustível, associado ao aumento da captação de glicose, proporcionando a glicólise e oxidação da glicose, bem como a hidrólise e volume de triglicerídeos intramuscular[53].

Este processo ocorre, pelo efeito da contração muscular, a concentração de Adenosina Monofosfato (AMP) aumenta, ativando a enzima denominada AMPK (proteína quinase ativada por AMP)[54]. Com o aumento da atividade da AMPK promove a translocação das vesículas contendo Transportadores de Glicose (GLUT-4), facilitando o transporte de glicose para o músculo de maneira semelhante ao da insulina, embora isso ocorra por vias de sinalização diferentes e independentes[54].

Nesse sentido, o tecido muscular assume um papel fundamental na resposta à insulina, revelando-se como o mais sensível a esse hormônio, no qual este tecido desempenha uma função crucial ao eliminar entre 70 a 90% da glicose pós-pandrial.

É relevante salientar que a expressiva parcela de 80% da captação de glicose, facilitada pela insulina, ocorre precisamente no músculo esquelético, contribuindo significativamente para a homeostase glicêmica, fatores que denotam a importância da massa magra nesse processo[55].

Paralelamente a esse processo de produção de energia ao ser submetido a uma sessão de treinamento intenso, o músculo utiliza predominantemente o sistema anaeróbio para produção de energia, como consequência ocorre a liberação e acúmulo de lactato na corrente sanguínea[56]. Desta forma, o lactato desempenha um papel crucial para o controle da intensidade do treinamento[56].

A mensuração da intensidade do treinamento pode ser realizada por meio do limiar glicêmico, constituindo uma alternativa ao tradicional limiar anaeróbio[51,52]. O limiar anaeróbio assinala o ponto em que a produção energética passa a ser predominantemente oriunda da glicólise anaeróbia, indicando, assim, a predominância do metabolismo anaeróbio. Além da abordagem pelo limiar glicêmico, diversas outras estratégias podem ser empregadas para identificar esse ponto crucial, incluindo a análise do limiar ventilatório, da frequência cardíaca e do limiar de lactato[51,52].

Cada uma destas metodologias proporciona abordagens distintas para avaliar a intensidade do esforço físico durante o treinamento, conferindo uma gama de opções para a personalização da análise da intensidade do exercício.

A relação entre exercício, regulação glicêmica e lactato tem sido extensivamente estudada e o HIIT emerge como uma modalidade de treinamento que potencialmente influencia de maneira significativa a homeostase glicêmica, bem como, aumenta os níveis de lactato e quando realizado de forma exarcebada pode impulsionar a ocorrência de lesões teciduais e aumentar o estresse oxidativo, fatores estes que podem ser mensurados de forma indireta através dos marcadores a seguir[50,56].

A ALT, conhecida também como transaminase glutâmico pirúvica (TGP), desempenha um papel essencial na geração de energia, assim como a AST[57]. Esta enzima é encontrada no citoplasma de vários tecidos corporais, sendo frequentemente associada ao fígado. A elevação dos seus níveis está sujeita a influência de diversos fatores, como a prática de exercícios físicos vigorosos, que resultam no aumento do catabolismo proteico[57].

No contexto hepático, a ALT desempenha uma função vital na regulação do

metabolismo proteico, sendo um marcador sensível de disfunção hepática[12,57]. Sua presença em outros tecidos também sugere sua relevância em processos metabólicos mais amplos. A relação entre a atividade da ALT e o exercício físico intenso é notável, destacando a importância de compreender as respostas enzimáticas durante o catabolismo proteico induzido pelo treinamento[12,57].

Em contrapartida, a AST, também conhecida como transaminase glutâmico oxalacética (TGO), é uma enzima essencial que desempenha um papel vital no metabolismo de aminoácidos[12,58]. Sua função principal reside na catalisação da transaminação entre o L-aspartato e o alfa-cetoglutarato, resultando na formação de oxalacetato e glutamato. Assim como a ALT, a AST pode ser influenciada por atividades físicas vigorosas por meio de vários mecanismos[12,58].

Ao contrário de algumas enzimas que exibem especificidade tecidual pronunciada, a AST é amplamente distribuída em vários tecidos do corpo[59]. No entanto, apesar da sua presença generalizada, as alterações nos níveis sanguíneos de AST têm sido associadas principalmente a distúrbios hepáticos ou musculares. Essa característica torna a AST uma importante biomolécula para avaliação da integridade funcional desses órgãos[59].

Quando há danos ao tecido hepático ou muscular, a AST é liberada na corrente sanguínea em quantidades detectáveis, tornando-se um marcador sensível de lesões nessas regiões específicas[58,59]. A análise dos níveis de AST, portanto, desempenha um papel significativo no diagnóstico e monitoramento de condições clínicas associadas ao fígado e músculos[58,59].

É interessante observar que, em comparação com outras enzimas como a Creatina Quinase (CK), que é frequentemente associada a lesões musculares, o aumento nos níveis de AST ocorre de maneira mais lenta[60]. Esse perfil cinético pode oferecer informações valiosas sobre a natureza e a extensão das lesões, além de contribuir para a compreensão mais aprofundada dos processos bioquímicos subjacentes[60].Dessa forma, o exercício físico programado e sistematizado é uma das melhores estratégias para o desenvolvimento da saúde e combate às doenças crônicas, degenerativas e inflamatórias[5,15]. No entanto, é essencial analisar as características, duração, intensidade e volume para diferentes grupos, por promover efeitos variados a depender das demandas fisiológicas de cada indivíduo, considerando o histórico, condições físicas e patologícas[61,62).

2.4 HIIT e estresse oxidativo

Está muito claro na comunidade cientifica que o HIIT induz vários benefícios, melhora da redução de gordura corporal[22], apitdão cardiovascular[34], otimização do tempo[3] aos praticantes, todavia, a alta intensidade desse método pode impulsionar diversos processos fisiológicos. É sabido que uma única sessão do HIIT desencadeia várias reações químicas, sobretudo aumenta a produção de EROs e danos musculares[12,34].

Desse modo, quando o praticante de HIIT é submetido a uma sessão de treino em alta intensidade ocorre uma maior geração de EROs, o que pode resultar em estresse oxidativo[12]. Responsável por causar o desiquilíbrio redox, o estresse oxidativo ocorre quando existe uma desconformidade entre a produção de compostos oxidantes e a atuação dos sistemas de defesa antioxidantes[12].

Na grande maioria das vezes esse desequilíbrio pode ser potencializado pela falta de controle das variáveis do treinamento, a saber, periodização, intensidade, duração de estímulo, frequência e volume, uma vez que o exercício vigoroso ocasiona um desequilíbrio na homeostase intracelular entre os agentes pró e antioxidantes, levando ao aumento das EROs devido ao incremento do consumo de oxigênio para atender à elevação da demanda metabólica[62,63].

O conceito de estresse oxidativo parte da desconformidade entre a produção de compostos oxidantes e a atuação dos sistemas de defesa antioxidantes[12]. O estresse oxidativo surge quando as EROs excedem a capacidade intracelular antioxidante para neutralizá-las. Em outras palavras, trata-se de um estado no qual o equilíbrio entre as reações de oxidação (indicativas do grau de estresse oxidativo) e as reações de antioxidação (representativas da capacidade antioxidante) é alterado, resultando em um ambiente propício para reações de oxidação. Simultaneamente, essa condição se revela desfavorável ao organismo[64,65,70].

Assim, o fenômeno do estresse oxidativo ocorre quando a geração de radicais livres e outras espécies reativas ultrapassa os níveis de defesa antioxidante. Essas substâncias são originadas por diferentes estruturas intracelulares, tais como a mitocôndria, o retículo endoplasmático e o peroxissoma[64,65,70]. Além disso, várias enzimas desempenham um papel conjunto nesse processo, incluindo as NADPH Oxidases (NOXs), as oxigenases e a Óxido Nítrico Sintase (NOS), as quais produzem espécies reativas como parte integrante de suas reações enzimáticas[65,70].

Nessa direção, o sistema de defesa do corpo humano é dividido em não-

enzimático e enzimático[66]. O sistema de defesa não-enzimático é composto por, polifenóis, vitamina C, vitamina E, (α-tocoferol), carotenoides, flavonoides, bilirrubina, ceruloplasmina, hormônios sexuais, melantonina, acido úrico, coenzima Q, compostos organosulfurados, minerais e cofatores que tem importante participação na manutenção da saúde humana[67]. Na via oposta, o sistema de defesa enzimático é formado por Superóxido Dismutase (SOD), Catalase (CAT), Glutationa Peroxidase (GPX), Glutationa S-transferase (GST), Ɣ-glutamilcisteína Sintetase (GCS) e Glutationa Redutase (GR)[66,67].

A prática do HIIT por ser um modelo de treino que exige alta intensidade, pode potencializar a produção de radicais livres, condição essa que pode favorecer de forma exarcebada o aumento do estresse oxidativo, danos teciduais e trazer algumas consequências negativas ao praticante, como exemplo, diminuição da performance e consequentemente levar a fadiga[30].

Partindo desse presuposto, faz-se necessário elucidar algumas evidências sobre o HIIT e estresse oxidativo. Destaca-se o estudo desenvolvido por Pimenta[68], na oportunidade foi constatado em estudo que ratas submetidas à remoção dos ovários (ooforectomia) e alimentadas com uma dieta rica em gorduras por 12 semanas, apresentaram melhora na capacidade antioxidante muscular após participarem de um programa de HIIT, realizado três vezes por semana, por 8 semanas. Esse achado foi evidenciado pelo aumento da expressão de enzimas antioxidantes como SOD, GPX, GR e CAT.

Na pesquisa conduzida por Cipryan[30] com jovens de diversas categorias de treinamento, o uso do HIIT com intervalos prolongados demonstrou um aumento significativo na Capacidade Total Antioxidante (TAC) em atletas bem treinados. Este aumento foi associado a um incremento no estresse oxidativo desses atletas. Em outro estudo pelo mesmo autor, utilizando três protocolos de HIIT com intervalos curtos (15/15, 30/30, 60/60), observou-se um aumento imediato em parâmetros como IL-6, TAC, CK, Mb e LDH[69].

Em relação ao HIIT e estresse oxidativo, os efeitos sobre o organismo são ambivalentes. Enquanto evidências apontam para aumentos no estresse oxidativo, diminuição do desempenho e fadiga, outros estudos indicam que as adaptações fisiológicas induzidas pelo HIIT podem trazer benefícios à saúde, especialmente em termos de capacidade antioxidante[68,69].

Contudo, são necessárias pesquisas mais aprofundadas que identifiquem e

esclareçam tanto os benefícios quanto os efeitos deletérios do HIIT em outros eventos intracelulares relacionados ao estresse oxidativo, sobretudo, que analise os impactos de algumas variáveis do treinamento, a saber, duração do esforço, duração do estímulo e volume de treinamento sobre os biomarcadores em questão[70].

3 QUESTÃO NORTEADORA DO ESTUDO

Devido à sua característica altamente dinâmica e à eficiência do tempo gerado em relação a outros métodos de treinamento, o HIIT tem se tornado uma estratégia utilizada em diferentes contextos[22,23]. Embora as evidências científicas apontem os diversos benefícios, como melhora da composição corporal[5,16], condições cardiovasculares[34], controle glicêmico[35] induzidos pela prática do HIIT, a execução constante de um método de treino que exige alta intensidade pode resultar em riscos para os seus praticantes, sobretudo levar a fadiga central e periferica, aumentar a suscetibilidade a lesões e aumentar de forma exarcebada o estresse oxidativo[50].

Apesar de existirem alguns estudos[12,13,21] que analisaram o HIIT e seus diversos efeitos sobre o organismo animal ou humano, evidências cientificas estudando os diferentes níveis de intensidades, durações de estímulos e os impactos do tempo de esforço de uma única sessão de HIIT sobre os marcadores de glicemia, lactato e danos hepáticos necessitam de dados mais robustos e concretos. Consubstanciados por essa lacuna, o presente trabalho partiu da seguinte pergunta norteadora, diferentes durações de estímulos do HIIT influenciam a glicemia, o lactato e os danos hepáticos em ratos *Wistar*?

4 HIPÓTESE

A hipótese sustentada nesse estudo, parte do princípio de que uma única sessão do HIIT com maior duração de estímulo apresentará diferença significativa nos parâmetros de glicemia e lactato em detrimento ao grupo com menor duração de estímulo e grupo controle. No que diz respeito aos marcadores de danos hepáticos, espera-se que os grupos com menor e maior duração de estímulo, apresentem efeitos agudos com significância estatística em comparação ao grupo controle, bem como, os efeitos sobre os parâmetros hepáticos avaliados serão mais evidentes no grupo submetido ao HIIT com maior duração de estímulo em comparação ao grupo controle e ao grupo HIIT com menor duração de estímulo.

5 JUSTIFICATIVA

Estudar os efeitos de diferentes volumes de treinamento sobre os marcadores de estresse oxidativo e danos musculares mostra-se relevante mediante a forte associação do estresse oxidativo com diversas patologias. Fatores que por si só, já reforçam o quanto é necessário aprofundar as discussões com essa temática, uma vez que o desenvolvimento desse projeto poderá reduzir os efeitos indesejáveis do estresse oxidativo e ajudar na prevenção de diversas patologias.

A descoberta, discussão e disseminação de informações no que se refere a orientação correta de profissionais de Educação Física na prescrição do treinamento é indispensável no contexto de saúde da população, uma vez que o número de adeptos à prática de exercício tem aumentado e consequentemente o interesse pela busca por profissionais tem acompanhado esse ritmo. Assim, o desenvolvimento dessa pesquisa irá orientar a prática dos profissionais de Educação Física, proporcionando uma visão ampliada do problema estudado e suas nuanças, resultando na melhora dos cuidados a serem desempenhados durante uma sessão de treino, sobretudo na prescrição e planejamento adequado do exercício físico.

Nesse contexto, o desenvolvimento desse estudo impacta diretamente a sociedade, com práticas condizentes e eficientes frente aos efeitos colaterais induzidos pelo excesso de volume de treino. Adicionalmente, a sociedade será beneficiada com a publicação futura dos dados, uma vez que se objetiva ao final do projeto contribuir com a literatura científica, por meio de publicação de artigos científicos em periódicos de alto fator de impacto. Dito isso, o desenvolvimento e publicação de estudos sobre a temática favorecem a esfera científica com pesquisas e discussões.

Cabe argumentar, ainda, que a escolha por fazer esse projeto em modelo animal, é decorrente da característica invasiva do estudo, bem como da complexidade que seria desenvolver essa pesquisa em humanos, a saber, controle dos participantes em relação a execução dos exercícios, controle da alimentação, controle do sono, possibilidade de perda de interesse com a pesquisa, perda da amostragem, limitações financeiras para realização de exames em humanos e controle das demais variáveis do treinamento.

Nessa perspectiva, a escolha por modelo animal justifica-se pela similaridade da fisiologia e da genética entre ratos e humanos, o que consequentemente favorece

que as respostas encontradas em modelo animal sejam semelhantes às encontradas em humanos. Assim, os resultados obtidos com roedores poderão produzir desfechos importantes que poderão ser conduzidos, em outro momento, com seres humanos.

A utilização de modelos animais em programas de treinamento pode ser uma ferramenta importante na manipulação das variáveis volume e intensidade, uma vez que o sistema fisiológico, bem como suas respostas ao exercício, é semelhante às encontradas em seres humanos. Pesquisar métodos de treinamento nesses animais possibilita melhor controle das respostas fisiológicas geradas em diferentes períodos do treinamento por meio de tratamento e análises bioquímicas mais precisas.

É importante esclarecer, que foram adotadas todas as recomendações do Comitê de Ética e Pesquisa com Animais (CEPA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), bem como a Diretriz Brasileira para o cuidado e a utilização de animais em atividades de ensino ou de pesquisa cientifica (DBCA).

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho foi analisar os efeitos de uma única sessão de dois protocolos de HIIT com diferentes durações de estímulos sobre os marcadores de glicemia, lactato e danos hepáticos em ratos *Wistar*.

6.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os efeitos de uma única sessão de dois protocolos HIIT com diferentes durações de estímulos sobre marcadores de glicemia em ratos *Wistar*;

- Comparar os efeitos de uma única sessão de dois protocolos HIIT com diferentes durações de estímulos sobre marcadores de lactato em ratos *Wistar*;

- Identificar os efeitos de uma única sessão de dois protocolos HIIT com diferentes durações de estímulos sobre os marcadores de ALT e AST em ratos *Wistar*.

7 MATERIAL E MÉTODOS

7.1 Delineamento do estudo

Foram utilizados 24 ratos machos da linhagem *Wistar,* com idade inicial de 60 dias (250g a 300g), oriundos do Biotério Setorial do Núcleo de Pesquisa em Sinalização Intracelular (NUPESIN) da UFS. Os animais foram divididos em três grupos com n=8 em cada: animais que não realizaram exercício intervalado de alta intensidade (GC); animais que realizaram exercício intervalado de alta intensidade com curta duração (H1) e animais que realizaram exercício intervalado de alta intensidade com duração mais prolongada entre os nados (H2).

Todos os grupos experimentais ficaram mantidos em gaiolas coletivas em grupos de 04 roedores e sob condições ambientais de temperatura de 21° a 24 °C e ciclo claro-escuro de 12 horas com acesso livre a água filtrada e alimentação específica para roedores (Purina®).

7.2 Aspectos éticos

Os procedimentos utilizados neste estudo foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFS sob o protocolo (15/2017), e de acordo com as Diretrizes do Colégio Brasileiro de Experiências com Animais (COBEA).

7.3 Amostra

Foram empregados 24 ratos do sexo masculino da linhagem *Wistar*, inicialmente com 60 dias de idade (pesando entre 250g e 300g), provenientes do Biotério Setorial do NUPESIN da UFS. Os ratos foram distribuídos em três grupos, cada um com n=8: um grupo de animais que não se envolveu em exercícios intervalados de alta intensidade (GC); um grupo que praticou exercícios intervalados de alta intensidade com duração mais curta (H1); e um grupo que realizou exercícios intervalados de alta intensidade com períodos de nado mais prolongados (H2).

Todos os grupos experimentais foram alojados em gaiolas coletivas, agrupados em conjuntos de 4 roedores, e mantidos em condições ambientais com temperatura entre 21°C e 24°C, sob um ciclo claro-escuro de 12 horas. Além disso, tinham acesso irrestrito a água filtrada e receberam uma dieta específica para roedores (Purina®).

7.4 Protocolos das sessões de HIIT

Previamente os animais foram submetidos à adaptação ao meio líquido, realizada durante 15 dias (5 vezes por semana durante 10 minutos), seguindo o protocolo adaptado de Contarteze[71] em um tanque cilíndrico de 80cm de profundidade x 80cm de diâmetro e temperatura da água de 25 ± 1°C com sobrecarga de chumbo (pequenos sacos de tecido algodão e Velcro ®) acondicionados próximos a região ventral de cada roedor, abaixo da região do pescoço distribuídos distalmente até a região torácica , com diferentes níveis de água, carga, intensidade e volume.

Após a adaptação os animais foram submetidos a dois protocolos agudos de exercício intervalado de alta intensidade de natação derivado do protocolo de Terada[72]. O grupo H1 fez uma única sessão com 14 períodos de natação com duração de 20 segundos e intervalos de 10 segundos entre cada período, totalizando uma duração de 07 minutos de treinamento. Já o H2 realizou uma única sessão com 14 períodos de natação com duração de 35 segundos e intervalos de 25 segundos entre cada período, totalizando 14 minutos de treinamento. Em ambos os casos de HIIT foi utilizada uma carga de 14% do peso corporal, com 60cm de profundidade.

7.5 Análises da glicemia e do lactato

Foram coletadas 25µL de amostras sanguíneas através de punção da extremidade caudal de cada animal e colocadas em tiras-teste para a quantificação de glicose (*Blood Glucose Sensor Electrode* – Medisense®) e lactato (BM-Lactate®). Em seguida estas tiras-teste contendo as amostras foram introduzidas imediatamente nos analisadores portáteis MediSense– Q.I.D. Precision® e Accutrend® Lactate para determinação das concentrações de glicose e lactato, respectivamente. O procedimento foi realizado antes e após os protocolos experimentais.

7.6 Coleta de materiais biológicos

Logo após a única sessão aguda os animais foram anestesiados com cetamina/xilazina (75mg/kg + 10mg/kg i.p), na qual uma parte do fígado (1g) de cada animal foi removido e em seguida, lavado 3 vezes com solução de KCl 1,15% (Vetec, LTDA, Rio de Janeiro, Brasil) seco e pesado. Logo após o fígado e o músculo foram homogeneizados cada grama de tecido foi misturada com 5mL de KCl, 10µL de fluoreto de fenilmetilsulfonilo (PMSF, 100mmol, Sigma-Aldrich, Steinheim, Alemanha) e 15µL de Triton 10%. Os homogenatos foram então centrifugados a 3.000 g durante

10 minutos a 4° C. Os sobrenadantes foram armazenados a -80° C até que análises adicionais de danos no tecido hepático fossem analisadas.

7.7 Determinação enzimática de dano tecidual

A quantificação do dano tecidual hepático causado pelo HIIT foi avaliada pela medição de marcadores enzimáticos de danos, como a ALT e AST. Para quantificação, um kit comercial (Labtest®, Santa Lagoa, Minas Gerais, Brasil) foi usado. Plasma (20 µL) de cada animal foi homogeneizado em reagentes específicos a 37 ± 0,2 ° C, e as leituras foram realizadas usando um espectrofotômetro (Bioespectro Modelo SP-22 UV / Visible, Minas Gerais, Brasil) a um comprimento de onda de 340 nm.

7.8 Análise estatística

As normalidades dos dados foram testadas pelo teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, foi utilizada Anova One Way com *post-hoc* de Bonferroni para analisar os dados de marcadores dos danos teciduais. Para as análises dos dados de Glicemia e Lactato foi utilizado o teste *t* de Student. Foi adotado o nível de significância para $p<0,05$. Todos os dados foram analisados através programa estatístico GraphPad Prism versão 7.0 (GraphPad Software, San Diego, CA, E.U.A).

8 RESULTADOS

As concentrações plasmáticas de glicose foram avaliadas nos grupos H1 e H2 (**figura 1A**), a primeira avaliação glicêmica foi realizada antes da sessão de exercício (PRE) e a segunda ao final da sessão de HIIT (POST). Não houve diferença significativa entre os momentos PRE e POST tanto no grupo H1 (113.00 ± 8.21mg/dl **vs** 123.25 ± 10.78 mg/dl; p=0,3303) como no H2 (112.25 ± 12.55 mg/dl **vs** 114.25 ± 8.77 mg/dl; p=0,9545), respectivamente.

Quanto às concentrações de lactato plasmático (LA), uma única sessão de HIIT foi capaz de aumentar significativamente em mais de 365% e 375% os valores plasmático de LA nos grupos H1 e H2 em relação ao momentos PRE e POST em ambos os grupos H2 (2.75 ± 0.55 mM **vs** 10.06 ± 1.93 mM; p=0,0003) e H2 (2.65 ± 1.07 mM **vs** 9.99 ± 1.30 mM; p=0,0001), respectivamente, **figura 1B**. No entanto, não foi encontrada diferença na concentração de LA entre os protocolos H1 e H2 (10.06 ± 1.93 mM **vs** 9.99 ± 1.30 mM; p= 0,9965, respectivamente).

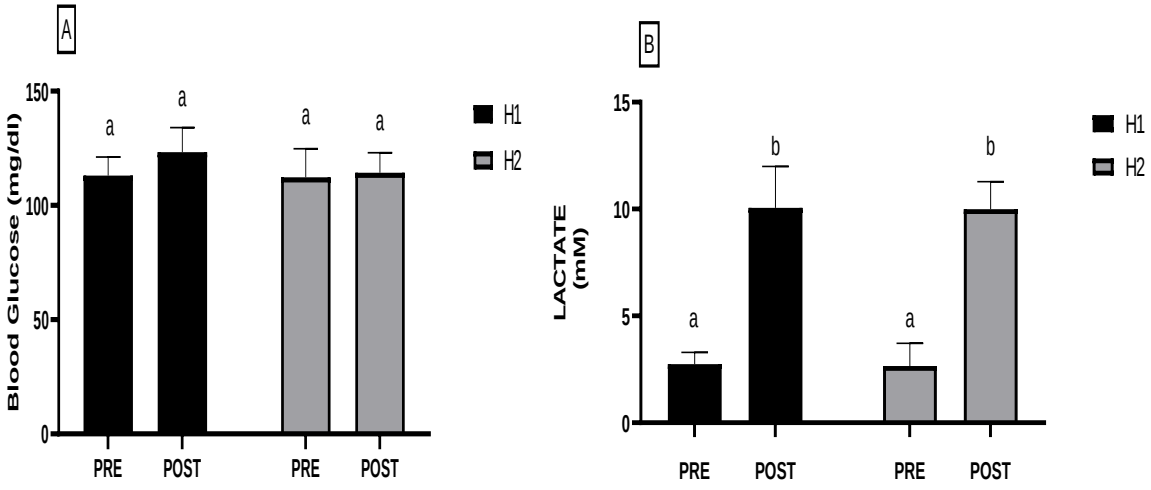

Figura 1. *Determinação da concentração de glicose (A) e lactato plasmático (B) após HIIT H1 e H2. H1: animais que se exercitaram com baixo volume de trabalho (7 min); H2: animais que se exercitaram com alto volume de trabalho (14 min). Valores apresentados como média ± erro padrão da média de Glicemia (mg/dL) e Lactato (mM). *letras diferentes na figura representam diferença estatística significativa para p<0,05 entre os grupos H1 e H2. Teste t de Student.*

O tecido hepático foi analisado quanto ao possível dano gerado pelos protocolos H1 e H2 de HIIT. A **figura 2A,** apresenta o marcador enzimático de lesão tecidual AST o qual foi reduzido significativamente [16.40 ± 1.91 U/l (CG) **vs** 11.48 ± 1.59 U/l (H1); -30%; p=0,001]. No entanto, não houve diferença significativa [16.40 ± 1.91 U/l (GC) **vs** 13.98 ± 1.06 U/l (H2); -14.75%; p= 0,0918] e [11.48 ± 1.59 U/l (H1) **vs** 13.98 ± 1.06

U/l (H2); p=0,0792]. Na **figura 2B**, analisando o marcador enzimático de lesão tecidual ALT observou que o protocolo H1 reduziu significativamente o biomarcador em relação ao GC (12.14 ± 1.39 U/l **vs** 8.54 ± 1.70 U/l; -29,65%; p= 0,0035, respectivamente). Porém, apesar de reduzir os valores de ALT [12.14 ± 1.39 U/l (GC) **vs** 10.32 ± 0.78 U/l (H2); -15%; p=0,1615), não apresenta diferença significativa. Além disso, também não foi observado diferença significativa nos valores de ALT entre os protocolos estudados [8.54 ± 1.70 U/l (H1) **vs** 10.32 ± 0.78 U/l (H2); p=0,1756].

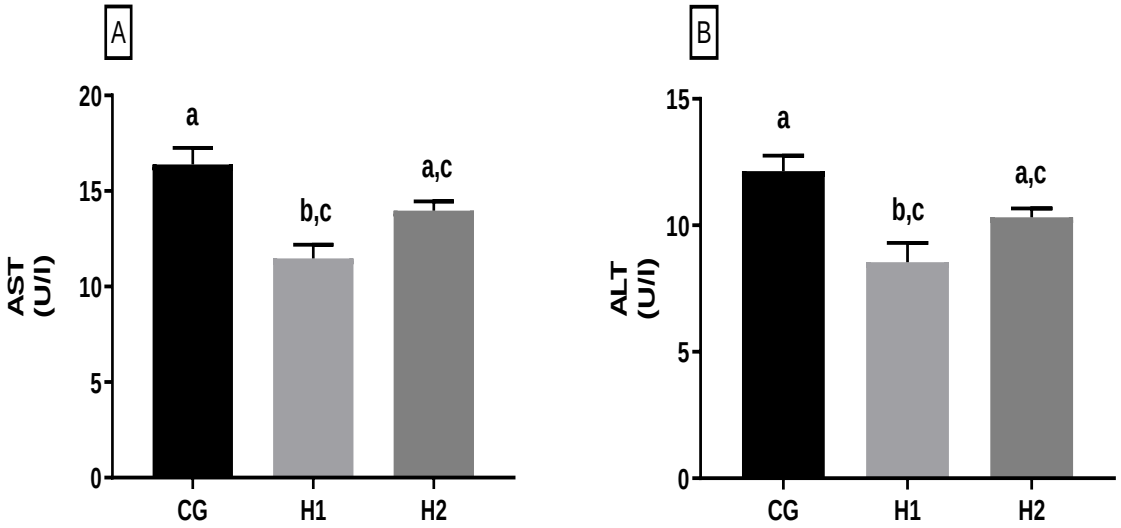

Figura 2. *Determinação enzimáticas AST (**A**) e ALT (**B**) de lesão tecidual hepática induzida por dois protocolos de HIIT. CG: grupo controle; H1: animais que se exercitaram com baixo volume de trabalho (7 min); H2: animais que se exercitaram com alto volume de trabalho (14 min). Valores apresentados como média ± erro padrão da média e expressos em U/l. *letras diferentes na figura representam diferença estatística significativa para p<0,05 entre os grupos H1 e H2 em comparação ao CG. Anova One Way com post-hoc de Bonferroni.*

9 DISCUSSÃO

O presente estudo avaliou os efeitos de uma única sessão de dois protocolos de HIIT com diferentes níveis de intensidade sobre os níveis de glicemia, lactato e danos hepáticos em ratos *Wistar*. Em relação a glicemia plasmática os resultados encontrados foram semelhantes nos grupos H1 e H2 comparados aos valores obtidos na situação de repouso dos animais, quanto ao lactato uma única sessão de HIIT foi capaz de aumentar significativamente em mais de 365% e 375% os valores plasmáticos de LA nos grupos H1 e H2 em comparação ao seu momento de repouso pré sessão de HIIT. No entanto, não foi detectado diferença na concentração de LA entre os protocolos H1 e H2. Seguindo a mesma tendência, não foi observada diferença significativa para os marcadores de lesão hepática AST e ALT entre os grupos H1 e H2.

Nessa perspectiva, os principais resultados do presente estudo demonstram que a glicemia dos grupos estudados não apresentou alteração conforme o volume de treinamento. Entretanto, no protocolo realizado por Chavanelle et al.[73] cujo principal objetivo consistia em comparar os efeitos de MICT com HIIT no metabolismo da glicose e na função mitocondrial em camundongos com 10 semanas de treinamento utilizando um protocolo de treino diferente do nosso estudo. Na ocasião, foi utilizado a esteira adaptada para ratos, em que os animais foram divididos em 2 grupos, um grupo submetido ao MICT corrida por 80 minutos e o Grupo HIIT corria treze vezes por 4 minutos numa inclinação de 20º. Os autores concluíram que o HIIT parece melhorar o metabolismo da glicose de forma mais eficiente do que o MICT em camundongos diabéticos.

Rahmati-Ahmadabad et al.[74] executaram um protocolo de treinamento comparando os efeitos do HIIT em detrimento ao MICT sobre os transportadores de glicose (GLUT4) em ratos obesos. Na oportunidade os autores utilizaram a esteira adaptada para roedores durante 6 semanas e 5 sessões de treinos por semana e em ambos os modelos de treinamento aumentaram significativamente a expressão de GLUT4 em comparação ao grupo controle.

O presente estudo demonstrou que em modelo animal o treinamento HIIT com diferentes volume não apresentou diferença estatística no nível glicêmico, entretanto, em outros[75,77] com modelos humanos vêm demonstrando que o HIIT em comparação ao modelo de baixa intensidade tem efeitos melhores no controle glicêmico, sobretudo

nos parâmetros bioquímicos e estado inflamatório.

Estudo realizado por RezkAllah e Takla[78] com o objetivo de comparar o efeito do HIIT de baixo volume com o HIIT de alto volume na glicemia de jejum em adultos com sobrepeso e pré-diabetes, corroboram os estudos mencionados nessa pesquisa, o HIIT com alto volume de treinamento foi mais eficaz no controle glicêmico em detrimento ao grupo submetido com baixo volume. Outro fator importante desse estudo diz respeito aos efeitos sobre o grupo controle (não fez exercício), os autores encontraram diferenças significativas nos valores de glicemia em jejum tanto no grupo de baixo volume, quanto no alto volume de HIIT.

Na revisão sistemática realizada por De Oliveira Teles et al.[38] cujo principal objetivo do estudo consistiu em avaliar os efeitos agudos de diferentes modelos do HIIT sobre parâmetros bioquímicos, os principais resultados desse estudo evidenciam que o HIIT com menor duração de volume parece ser uma alternativa segura e eficaz no controle glicêmico e fatores associados, superior ao MCIT. Porém, os autores não informaram o volume, mas somente que o HIIT de alta intensidade em comparação ao de moderada intensidade apresentou melhores resultados no controle glicêmico.

Corroborando essas evidências, Mendes et al.[33] comparando as respostas agudas do HIIT e MCIT no controle glicêmico reforçam a eficácia do HIIT versus MCIT sobre os indicadores de glicemia. De acordo com os autores, o HIIT de caminhada em esteira parece uma estratégia de exercício segura e mais eficaz no controle glicêmico agudo imediato em comparação com MICT em pacientes de meia-idade e idosos com Diabetes Mellitus tipo 2 (DM2).

Diante do exposto parece que o modelo HIIT com pouco volume de duração e intensidade mais alta parece ser mais eficiente para o controle glicêmico em detrimento ao modelo MCIT em estudos com humanos. No entanto, quando foram analisadas as pesquisas com modelo animal sobre as respostas agudas de diferentes volumes do HIIT, aparentemente ainda há uma lacuna científica nas respostas e dessa forma gerando dúvidas sobre qual modelo de treinamento é mais eficaz, especialmente para solucionar as dúvidas quanto ao volume de treinamento aceitável.

Corroborando os resultados do presente estudo, De Araújo et al.[14] desenvolveram um protocolo com ratos no meio líquido com o objetivo de comparar os efeitos do HIIT de curta duração e o HIIT de longa duração sobre o lactato. Os resultados do estudo são similares aos desfechos, pois em ambos os treinamentos apresentaram aumento no lactato em comparação ao grupo controle. Todavia, não

foram encontradas diferenças quando se comparou a interação entre os grupos de curto e longo prazo do HIIT.

No que se refere aos danos oxidativos, no protocolo realizado por Wang et al.[13] comparando o HIIT e o MICT sobre os danos de estresse oxidativo no músculo esquelético em ratos obesos, mostram que tanto o HIIT quanto o MICT reduziram os níveis de lipídios no sangue, a produção de EROs e o conteúdo proteico de carbonila no músculo esquelético. No entanto, um ponto a ser destacado diz respeito aos benefícios do HIIT, pois os autores mencionam que o HIIT se mostrou mais eficiente devido a redução de EROs no músculo esquelético.

Groussard et al.[36] utilizaram um protocolo na esteira adaptadas para ratos por 10 semanas com 5 sessões, na ocasião os autores dividiram em 3 grupos, grupo submetido ao MICT correu por 12 a 51 minutos, o grupo HIIT alternou 3 a 4 minutos por 6 séries e o grupo controle sem exercício. Os desfechos após as 10 semanas de treinamentos demonstraram na direção de que tanto o HIIT quanto o MICT melhoraram os níveis antioxidantes dos ratos.

Quando são analisados os efeitos agudos de diferentes volumes de HIIT sobre o lactato em modelos humanos depreende-se uma contrariedade aos resultados encontrados no presente estudo. Exemplo é o de Tsirigkakis et al.[21] que marcam resultados sobre o impacto do HIIT na condição metabólica de indivíduos obesos, segundo o referido estudo o HIIT de curta duração com 10 segundos de exercício em comparação com um modelo de longa duração de 60 segundos apresentou resultados mais satisfatórios no lactato de indivíduos obesos.

No estudo realizado por Sabouri et al.[79] comparando o efeito de diferentes tipos de HIIT em indivíduos com DM2, os autores concluíram que os grupos que foram submetidos ao HIIT apresentaram melhoras significativas nos fatores antioxidantes, perfil lipídico e parâmetros glicêmicos. Adicionalmente, todos os grupos do estudo apresentaram melhoras no estado geral inflamatório e antioxidante.

Outro resultado interessante no presente estudo sobre os efeitos induzidos por diferentes volumes do HIIT no tecido hepático foi não haver diferença significativa dos marcadores de lesão celular hepática AST e ALT entre os grupos H1 e H2. Surpreendentemente, há escassas evidências discorrendo sobre as respostas agudas no tecido hepático com diferentes modelos de HIIT. No protocolo realizado por Motta[80] utilizando 20 segundos de exercício por 10 segundos de pausa em ratos encontraram uma diminuição significativa nos marcadores AST e ALT, porém

diferentemente do presente estudo, os autores realizaram 36 sessões de exercício, 3 vezes por semana durante 12 semanas e com o aumento do incremento de carga iniciando em 10% e terminando em 15%.

Righi et al.[81] utilizando um modelo de HIIT com moderada intensidade observaram que não houve diferenças nestes marcadores entre os grupos controle e treinado, evidenciando assim a eficácia do HIIT em não gerar danos hepáticos. Enquanto isso, Souza[64] apresentou resultados similares aos desfechos da presente pesquisa sobre a AST e ALT, na oportunidade os autores executaram 14 sessões de natação com duração de 20 segundos e intervalos de 10 segundos entre cada sessão, durante 12 dias seguidos, concluindo que o HIIT curto não promove aumento no estresse oxidativo e danos hepáticos.

Nesse contexto, ainda são necessárias maiores investigações sobre a temática, sobretudo quando pensar na aplicabilidade prática a importância do volume de treino adequado, bem como de possíveis efeitos ocasionados em parâmetros bioquímicos. Desse modo, a dificuldade em encontrar artigos com propostas similares ao presente estudo desenvolvido reforça a necessidade da ampliação da base teórica, discussão e a realização de pesquisas futuras, principalmente sobre os efeitos agudos de sessões de HIIT.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O percurso investigativo no qual esta pesquisa foi delineada buscou revelar os impactos que giram em torno do problema de pesquisa inicialmente apresentado: diferentes durações de estímulos do HIIT influenciam a glicemia, lactato e danos hepáticos em ratos *Wistar*? Nessa perspectiva, os principais desfechos da sessão aguda de HIIT com diferentes durações de estímulos, apontam que uma única sessão de HIIT com uma duração de estímulo mais curta e outro modelo mais prolongado não são suficientes para alterar os valores de glicemia em ratos *Wistar*.

Em relação ao lactato, uma única sessão de HIIT provocou um aumento significativo de mais de 365% e 375% nos níveis plasmáticos de lactato nos grupos H1 e H2, comparados ao período de repouso pré sessão HIIT. No entanto, não foi observada diferença estatística na concentração de lactato entre os protocolos H1 e H2. Quanto aos danos hepáticos, não foram observadas diferença estátísca para os marcadores de lesão celular hepática AST e ALT entre os grupos H1 e H2.

Dessa forma, os resultados obtidos foram contrários a hipótese traçada nessa pesquisa, uma vez que esperava-se resultados significativos na sessão aguda de HIIT com maior duração de estímulo nos parâmetros de glicemia, lactato e danos hepáticos em comparação aos demais grupos na pesquisa, sobretudo na comparação dos grupos H1 e H2.

Conclui-se que a descoberta, discussão e aplicabilidade desses achados são imprescíndiveis para montagem de programas de treinamento, sobretudo para apontar direcionamento nos parâmetros e variáveis da prescrição, a saber, duração de estímulo, volume, uma vez que esses indicadores têm influências na lesão tecidual, estresse oxidativo, controle glicêmico e lactato. Mediante o exposto, é crucial o desenvolvimento de outros estudos que avaliem os mesmos biomarcadores nas respostas agudas, tendo em vista que os desfechos encontrados abrem perspectivas para novos estudos.

REFERÊNCIAS

1. Pesquisa mundial da Thompson WR sobre tendências de fitness para 2018: edição CREP. ACSM Saúde Fitness J. 2017; 21 :10–19.

2. Atakan MM, Güzel Y, Bulut S, Koşar ŞN, McConell GK, Turnagöl HH. Six high-intensity interval training sessions over 5 days increases maximal oxygen uptake, endurance capacity, and sub-maximal exercise fat oxidation as much as 6 high-intensity interval training sessions over 2 weeks. J Sport Health Sci. 2021 Jul;10(4):478-487. doi: 10.1016/j.jshs.2020.06.008. Epub 2020 Jun 18. PMID: 32565243; PMCID: PMC8343121.

3. Menz V, Marterer N, Amin SB, Faulhaber M, Hansen AB, Law- ley JS. Functional Vs. Running Low-Volume High-Intensity In- terval Training: Effects on VO_2max and Muscular Endurance. Journal of Sports Science & Medicine. 2019; 18: 497–504.

4. Laursen P, Buchheit M. Science and application of high-intensity interval training. Champaign: Human Kinetics Publishers; 2019. 672 p.

5. Ryan BJ, Schleh MW, Ahn C, Ludzki AC, Gillen JB, Varshney P, Van Pelt DW, Pitchford LM, Chenevert TL, Gioscia-Ryan RA, Howton SM, Rode T, Hummel SL, Burant CF, Little JP, Horowitz JF. Moderate-Intensity Exercise and High-Intensity Interval Training Affect Insulin Sensitivity Similarly in Obese Adults. J Clin Endocrinol Metab. 2020 Aug 1;105(8):e2941–59. doi: 10.1210/clinem/dgaa345.

6. Viana RB, de Lira CAB, Naves JPA, Coswig VS, Del Vecchio FB, Gentil P. Tabata protocol: a review of its application, variations and outcomes. Clin Physiol Funct Imaging 2019;39:1–8. https://doi.org/10.1111/cpf.12513.

7. Francois ME, Little JP. Effectiveness and safety of high-intensity interval training in patients with type 2 diabetes. Diabetes Spectr. 2015 Jan;28(1):39-44. doi: 10.2337/diaspect.28.1.39.

8. Little JP, Jung ME, Wright AE, Wright W, Manders RJ. Effects of high-intensity interval exercise versus continuous moderate-intensity exercise on postprandial glycemic control assessed by continuous glucose monitoring in obese adults. Appl Physiol Nutr Metab. 2014 Jul;39(7):835-41. doi: 10.1139/apnm-2013-0512. Epub 2014 Feb 18.

9. Jung ME, Locke SR, Bourne JE, Beauchamp MR, Lee T, Singer J, MacPherson M, Barry J, Jones C, Little JP. Cardiorespiratory fitness and accelerometer-etermined physical activity following one year of free-living high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training: a randomized trial. Int J Behav Nutr Phys Act. 2020 Feb 26;17(1):25. doi: 10.1186/s12966-020-00933-8.

10. Weston KS, Wisløff U, Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-nalysis. Br J Sports Med. 2014 Aug;48(16):1227-34. doi: 10.1136/bjsports-2013-092576. Epub 2013 Oct 21.

11. Jurgenson J, Serg M, Kampus P, Kals J, Zagura M, Viru M, Zilmer K, Zilmer M, Eha J, Unt E. Oxidative stress parameters and its associations with arterial stiffness in competitive powerlifting athletes after 12-week supervised strength training. J Strength Cond Res 2019;33: 1816-1822.

12. Vieira-Souza LM, Aidar FJ, Matos DG, Silva AN, Miguel-dos- Santos R, Santos JL dos, et al. Short-term HIIT does not promote oxidative stress or muscle damage. Brazilian Journal of Sports Medicine. Brasileira de Medicina do Esporte. 2021; 27: 138–141.

13. Wang, L.; Lavier, J.; Hua, W.; Wang, Y.; Gong, L.; Wei, H.; Wang, J.; Pellegrin, M.; Millet, G.P.; Zhang, Y. High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training Attenuate Oxidative Damage and Promote Myokine Response in the Skeletal Muscle of ApoE KO Mice on High-Fat Diet. Antioxidants 2021, 10, 992. https:// doi.org/10.3390/antiox10070992.

14. De Araujo GG, Papoti M, Dos Reis IG, de Mello MA, Gobatto CA. Short and Long Term Effects of High-Intensity Interval Training on Hormones, Metabolites, Antioxidant System, Glycogen Concentration, and Aerobic Performance Adaptations in Rats. Front Physiol. 2016 Oct 28;7:505. doi: 10.3389/fphys.2016.00505.

15. Gomes G. K., Franco C. M., Nunes P. R. P., Orsatti F. L. (2019). High-frequency resistance training is not more effective than low-frequency resistance training in increasing muscle mass and strength in well-trained men. J. Strength Cond. Res. 33 (Suppl. 1), S130–S139.

16. Zaroni, R. S. et. al. (2019). High resistance-training frequency enhances muscle thickness in resistance-trained men. J. Strength Cond. Res. 33 (Suppl. 1) S140–S15.

17. Schoenfeld BJ, Contreras B, Krieger J, Grgic J, Delcastillo K, Belliard R, Alto A. Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. Med Sci Sports Exerc. 2019 Jan;51(1):94-103. doi: 10.1249/MSS.0000000000001764. PMID: 30153194; PMCID: PMC6303131.

18. Hamarsland, H. et. al. Equal-Volume Strength Training With Different Training Frequencies Induces Similar Muscle Hypertrophy and Strength Improvement in Trained Participants. Front Physiol. 2022 Jan 5;12:789403.

19. Moesgaard L, Beck MM, Christiansen L, Aagaard P, Lundbye-Jensen J. Effects of Periodization on Strength and Muscle Hypertrophy in Volume-Equated Resistance Training Programs: A Systematic Review and Meta-analysis. Sports Med. 2022 Jul;52(7):1647-1666. doi: 10.1007/s40279-021-01636-1.

20. Johnsen, E.; Tillaar, R. V. D. Effects of training frequency on muscular strength for trained men under volume matched conditions. PeerJ. 2021 Feb 18;9:e10781.

21. Tsirigkakis S, Koutedakis Y, Mastorakos G, Stavrinou PS, Mou- gios V, Bogdanis GC. Physiological, perceptual and affective responses to high-intensity interval

training using two work- matched programs with different bout duration in obese males. Journal of Exercise Science and Fitness. 2022; 20: 199–205.

22. Organização Mundial da Saúde (2020). Diretrizes da OMS sobre atividade física e comportamento sedentário. Disponível online em: https://apps.who.int/iris/handle/10665/336656.

23. de Oliveira-Nunes SG, Castro A, Sardeli AV, Cavaglieri CR, Chacon-Mikahil MPT. HIIT vs. SIT: What Is the Better to Improve V˙O2max? A Systematic Review and Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2021 Dec 12;18(24):13120. doi: 10.3390/ijerph182413120. PMID: 34948733.

24. Amaral PC, Palma DD. Brazil and Argentina survey of fitness trends for 2020. ACSM's Heal Fit J 2019;23(6):36-40. doi: 10.1249/FIT.00000000000005258.

25. Thompson WR. Worldwide survey of fitness trends for 2020. ACSM's Heal Fit J 2019;23(6):10–8. doi: 10.1249/FIT.0000000000000526.

26. Gibala MJ. Interval Training for Cardiometabolic Health: Why Such A HIIT? Curr Sports Med Rep. 2018 May;17(5):148-150. doi: 10.1249/JSR.0000000000000483.

27. Evangelista AL, La Scala Teixeira CV, Brandão LHA, Machado A, Bocalini DS, Santos LM, Da Silva-Grigolleto, ME. Treinamento intervalado de alta intensidade: uma breve revisão sobre o conceito e diferentes aplicações. Rev Bras Fisiol Exerc 2021;20(6):665-676. doi: 10.33233/rbfex.v20i6.4338.

28. Laursen P, Buchheit M. Science and application of high-intensity interval training. Champaign: Human Kinetics Publishers; 2019.

29. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle part I : Cardiopulmonary emphasis. Sport Med 2013;43(5):313-38. doi: 10.1007/s40279-013-0029-x.

30. Cipryan L. The effect of fitness level on cardiac autonomic regulation, IL-6, total antioxidant capacity, and muscle damage responses to a single bout of high-intensity interval training. J Sport Health Sci 2018;7:363–71. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.11.001.

31. Yu P, Zhu Z, He J, Gao B, Chen Q, Wu Y, Zhou J, Cheng Y, Ling J, Zhang J, Shi A, Huang H, Sun R, Gao Y, Li W, Liu X, Yan Z. Effects of high-intensity interval training, moderate-intensity continuous training, and guideline-based physical activity on cardiovascular metabolic markers, cognitive and motor function in elderly sedentary patients with type 2 diabetes (HIIT-DM): a protocol for a randomized controlled trial. Front Aging Neurosci. 2023 Aug 15;15:1211990. doi: 10.3389/fnagi.2023.1211990. PMID: 37649720.

32. Wang Y, Guo Y, Xu Y, Wang W, Zhuang S, Wang R, Xiao W. HIIT Ameliorates Inflammation and Lipid Metabolism by Regulating Macrophage Polarization and Mitochondrial Dynamics in the Liver of Type 2 Diabetes Mellitus Mice. Metabolites.

2022 Dec 21;13(1):14. doi: 10.3390/metabo13010014.

33. Mendes R, Sousa N, Themudo-Barata JL, Reis VM. High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training in Middle-Aged and Older Patients with Type 2 Diabetes: A Randomized Controlled Crossover Trial of the Acute Effects of Treadmill Walking on Glycemic Control. Int J Environ Res Public Health. 2019 Oct 28;16(21):4163. doi: 10.3390/ijerph16214163.

34. Rosenblat MA, Perrotta AS, Thomas SG. Effect of High-Intensity Interval Training Versus Sprint Interval Training on Time-Trial Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. Sports Med. 2020 Jun;50(6):1145-1161. doi: 10.1007/s40279-020-01264-1.

35. Abassi W, Ouerghi N, Nikolaidis PT, Hill L, Racil G, Knechtle B, Feki M, Bouassida A. Interval Training with Different Intensities in Overweight/Obese Adolescent Females. Int J Sports Med. 2022 May;43(5):434-443. doi: 10.1055/a-1648-4653. Epub 2021 Nov 8.

36. Groussard C, Maillard F, Vazeille E, Barnich N, Sirvent P, Otero YF, Combaret L, Madeuf E, Sourdrille A, Delcros G, Etienne M, Teixeira A, Sauvanet P, Pialoux V, Boisseau N. Tissue-Specific Oxidative Stress Modulation by Exercise: A Comparison between MICT and HIIT in an Obese Rat Model. Oxid Med Cell Longev. 2019 Jul 14;2019:1965364. doi: 10.1155/2019/1965364.

37. Ahmad AM, Mahmoud AM, Serry ZH, Mohamed MM, Abd Elghaffar HA. Effects of low-versus high-volume high-intensity interval training on glycemic control and quality of life in obese women with type 2 diabetes. A randomized controlled trial. J Exerc Sci Fit. 2023 Oct;21(4):395-404. doi: 10.1016/j.jesf.2023.08.003. Epub 2023 Aug 30.

38. De oliveira teles, G. et al. Acute effects of high-intensity interval training on diabetes mellitus: A systematic review. Int. J. Environ. Res. Public Health v. 19, n. 7049, p. 1–14 , 9 jun. 2022.

39. Adamson S, Kavaliauskas M, Lorimer R, Babraj J. The Impact of Sprint Interval Training Frequency on Blood Glucose Control and Physical Function of Older Adults. Int J Environ Res Public Health. 2020 Jan 10;17(2):454. doi:10.3390/ijerph17020454.

40. Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high--intensity interval training in health and disease. J Physiol 2012;590(5):1077-84. doi: 10.1113/jphy-siol.2011.224725.

41. Kabasakalis A, Nikolaidis S, Tsalis G, Mougios V. Response of Blood Biomarkers to Sprint Interval Swimming. Int J Sports Physiol Perform. 2020 Sep 22;15(10):1442-1447. doi: 10.1123/ijspp.2019-0747.

42. MacInnis, MJ; Gibala, MJ. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. J Physiol. 2017; 595(9):2915-2930.

43. Richardson, AJ; Relf, RL; Saunders, A; Gibson, OR. Similar Inflammatory Responses following Sprint Interval Training Performed in Hypoxia and Normoxia. Front Physiol. 2016; 7.

44. Bishop D, Girard O, Mendez-Villanueva A. Repeated-sprint ability - part II: recommendations for training. Sport Med. 2011;41(9):741–56.

45. Taylor J, Macpherson T, Spears I, Weston M. The effects of repeated-sprint training on field-based fitness measures: a meta-analysis of controlled and non-Controlled trials. Sport Med. 2015;45(6):881–91.

46. Teixeira AS, Arins FB, De Lucas RD, Carminatti LJ, Dittrich N, Nakamura FY, et al. Comparative effects of two interval shuttle-run training modes on physiological and performance adaptations in female professional futsal players. J Strength Cond Res. 2017.

47. Bravo D, Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Bishop D, Wisloff U. Sprint vs. interval training in football. Int J Sports Med. 2008;29(8):668–74.

48. Fernandez-Fernandez J, Zimek R, Wiewelhove T, Ferrauti A. High-intensity interval training vs. repeated-sprint training in tennis. J Strength Cond Res. 2012;26(1):53–62.

49. Souza, LMV.; Costa, R. de A.; Santos, JDM dos; Santos, JL dos; Costa, LS; Oliveira, JU de; Silva, RJ dos S.; Estevam, C. dos S. Treinamento intervalado de alta intensidade e estresse oxidativo: uma breve apresentação. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento , [S. l.] , v. 8, pág. e741986478, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.6478.

50. Lewis, N. A., Redgrave, A., Homer, M., Burden, R., Martinson, W., Moore, B., & Pedlar, C. R. (2018). Alterations in Redox Homeostasis During Recovery From Unexplained Underperformance Syndrome in an Elite International Rower. International journal of sports physiology and performance, 13 (1), 107–111.

51. Marquezi ML, Uzunian MA, Gimenez R, Souza MT. Padrões de oxidação de substratos durante o exercício cardiorrespiratório prescrito prescritos por métodos direto e indireto. Revista Brasileira de Educação Física e Esporte. 2017; 31(2): 373-383. doi: 10.11606/1807-5509201700020373.

52. Simões HG, Grubert Campbell CSG, Kokubun E, Denadai Bs, Baldissera V. Blood glucose responses in humans mirror lactate responses for individual anaerobic threshold and for lactate minimum in track test. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1999; 80 (1):34-40. doi: 10.1007 / s004210050555

53. Thyfault, John P.; Bergouignan, Audrey. Exercise and metabolic health: beyond skeletal muscle. Diabetologia, v. 63, n. 8, p. 1464-1474, 2020.

54. Sociedade Brasileira do Diabetes. Dados epidemiológicos. Departamento de Saúde Pública. Bianca de Almeida Pititto, Luciana Bahia, Karla Melo. SBD 2023.

55. Haines MS, Leong A, Porneala BC, Meigs JB, Miller KK. Association between muscle mass and diabetes prevalence independent of body fat distribution in adults under 50 years old. Nutr Diabetes. 2022 May 28;12(1):29. doi: 10.1038/s41387-022-00204-4.

56. Simões, HG., Campbell, CSG., Baldissera, V., Denadai, BS., & Kokubum, E. Determinação do limiar anaeróbio por meio de dosagens glicêmicas e lactacidêmicas em testes de pista para corredores. Revista Paulista de Educação Física. 1998; 12(1):17-30. doi:10.11606/issn.2594- 5904.rpef.1998.139529.

57. Nazari Y, Mohamadimofrad A, Nazari A, Jamshidi R, Asiodi F. Response of liver enzymes to acute aerobic exercise in sedentary human subjects. New York Science Journal. 2014; 7(4): 89-92.

58. Capitelli R, Crosta L. Overview of psittacine blood analysis and comparative retrospective study of clinical diagnosis, hematology and blood chemistry in selected psittacine species. Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice. 2013; 16(1): 71-120. doi: 10.1016/j.cvex.2012.10.002.

59. Gonçalves JA. Avaliação de condicionamento físico em equinos de concurso completo de equitação submetidos a treinamento intervalado. 2018. (Dissertação de mestrado, Programa de pós-graduação em medicina animal: equinos). Faculdade de Veterinária, Porto Alegre.

60. Babtistella MF. Atividade sérica das enzimas aspartato aminotrasferase, creatinoquna e lactato desidrogenase em eqüinos submetidos a diferentes intensidades de exercícios. Anuário da Produção de Iniciação Científica Discente. 2009; 12(13): 33-42.

61. American Heart Association. Recommendations for Physical Activity in Adults and Kids. Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report and the Physical Activity Guidelines for Americans, 2nd edition. Acesso em 02 ago 2021. Disponível em: https://www.heart.org/en/healthy-living/fitness/fitness-basics/aha-recs-for-physical-activity-in-adults.

62. Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MTD, Mazur M, Telser J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. Int J Biochem Cell Biol 2007;39:44–84. https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001.

63. Finaud J, Lac G, Filaire E. Oxidative Stress. Sports Medicine 2006;36:327–58. https://doi.org/10.2165/00007256-200636040-00004.

64. Vieira-Souza LM, Aidar FJ, de Matos DG, Marçal AC, De Souza RF, Dos Santos JL, et al. Analysis of oxidative stress in Wistar rats submitted to high-intensity interval training. Motricidade. 2020; 16: 174–181.

65. Pisoschi AM, Pop A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. Eur J Med Chem 2015;97:55–74. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040.

66. Ramos D, Martins EG, Viana-Gomes D, Casimiro-Lopes G, Salerno VP. Biomarkers of oxidative stress and tissue damage released by muscle and liver after a single bout of swimming exercise. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism 2013;38:507–11. https://doi.org/10.1139/apnm2012-0302.

67. Christofidou-Solomidou M, Muzykantov VR. Antioxidant Strategies in Respiratory Medicine. Treat Respir Med 2006;5:47–78. https://doi.org/10.2165/00151829-200605010-00004.

68. Pimenta, M., Bringhenti, I., Souza-Mello, V., Dos Santos Mendes, I. K., Aguila, M. B., & Mandarim-de-Lacerda, C. A. (2015). High-intensity interval training beneficial effects on body mass, blood pressure, and oxidative stress in diet induced obesity in ovariectomized mice. Life sciences, 139, 75–82.

69. Cipryan L. (2017). IL-6, Antioxidant Capacity and Muscle Damage Markers Following High-Intensity Interval Training Protocols. Journal of human kinetics, 56, 139–148.

70. Maruoka H, Fujii K, Inoue K, Kido S. Long-term Effect of Ubiquinol on Exercise Capacity and the Oxidative Stress Regulation System in SAMP1 Mice. Journal of Physical Therapy Science. 2014; 26(3): 367-371.

71. Contarteze RVL, Manchado FB, Gobatto CA, Mello MAR. Biomarcadores de estresse em ratos exercitados por natação em intensidades igual e superior à máxima fase estável de lactato. Brazilian Journal of Sports Medicine. 2007; 13: 169–174.

72. Terada S, Tabata I. Effects of acute bouts of running and swimming exercise on PGC-1alpha protein expression in rat epitrochlearis and soleus muscle. American Journal of Physiol- ogy. Endocrinology and Metabolism. 2004; 286: E208–E216.

73. Chavanelle V, Boisseau N, Otero YF, Combaret L, Dardevet D, Montaurier C, Delcros G, Peltier SL, Sirvent P. Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on glycaemic control and skeletal muscle mitochondrial function in db/db mice. Sci Rep. 2017 Mar 16;7(1):204. doi: 10.1038/s41598-017-00276-8.

74. Rahmati-Ahmadabad S, Rostamkhani F, Meftahi GH, Shirvani H. Comparative effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on soleus muscle fibronectin type III domain-containing protein 5, myonectin and glucose transporter type 4 gene expressions: a study on the diabetic rat model. Mol Biol Rep. 2021 Aug;48(8):6123-6129. doi: 10.1007/s11033-021-06633-1.

75. Winding KM, Munch GW, Iepsen UW, Van Hall G, Pedersen BK, Mortensen SP. The effect on glycaemic control of low-volume high-intensity interval training versus endurance training in individuals with type 2 diabetes. Diabetes Obes Metab. 2018 May;20(5):1131-1139. doi: 10.1111/dom.13198.

76. Hayes LD, Herbert P, Sculthorpe N, Grace F. High intensity interval training (HIIT) produces small improvements in fasting glucose, insulin, and insulin resistance in

sedentary older men but not masters athletes. Exp Gerontol. 2020 Oct 15;140:111074. doi: 10.1016/j.exger.2020.111074.

77. Kozłowska-Flis M, Rodziewicz-Flis E, Micielska K, Kortas J, Jaworska J, Borkowska A, Sansoni V, Perego S, Lombardi G, Ziemann E. Short and long-term effects of high-intensity interval training applied alone or with whole-body cryostimulation on glucose homeostasis and myokine levels in overweight to obese subjects. Front Biosci (Landmark Ed). 2021 Nov 30;26(11):1132-1146. doi: 10.52586/5015.

78. RezkAllah SS, Takla MK. Effects of Different Dosages of Interval Training on Glycemic Control in People With Prediabetes: A Randomized Controlled Trial. Diabetes Spectr. 2019 May;32(2):125-131. doi: 10.2337/ds18-0024.

79. Sabouri, M., Hatami, E., Pournemati, P., & Shabkhiz, F. (2021). Infammatory, antioxidant and glycemic status to diferent mode of high-intensity training in type 2 diabetes mellitus. Molecular Biology Reports (2021) 48:5291–5304.

80. Motta, V. F.; Aguila, M. B. & Mandarim-De-Lacerda, C. A. Highintensity interval training (swimming) significantly improves the adverse metabolism and comorbidities in diet-induced obese mice. J. Sports Med. Phys. Fitness. 2015.

81. Righi, T. De Carvalho, C.A., Ribeiro, L.M., Da Cunha, D.N.Q., Paiva, A.C.S., Natali, A.J., Pereira, E.T., Lima, LM. Alcohol consumption and the influence of physical exercise on enzyme activity of wistar rats. Rev Bras Med Esporte. 2016;22(1):40-44.

82. Gomes EC, Silva AN, Oliveira MR De. Oxidants, antioxidants, and the beneficial roles of exercise-induced production of reactive species. Oxid Med Cell Longev. 2012;2012.