

Universidade de Brasília – UNB
Faculdade de Educação Física
Programa de Pós-graduação em Educação Física
Laboratório de Fisiologia do Exercício

**ANÁLISE DA FUNÇÃO AUTONÔMICA CARDÍACA E DA RESPOSTA
CARDIOPULMONAR EM PRATICANTES DE *FUNCTIONAL FITNESS TRAINING*
EM DIFERENTES CONDIÇÕES FUNCIONAIS: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO-
DESCRITIVO**

Aluna: Michelle Teles Morlin

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Eckhardt Molina, MSc, PhD

Brasília

2023

**ANÁLISE DA FUNÇÃO AUTONÔMICA CARDÍACA E DA RESPOSTA
CARDIOPULMONAR EM PRATICANTES DE *FUNCTIONAL FITNESS TRAINING*
EM DIFERENTES CONDIÇÕES FUNCIONAIS: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO-
DESCRITIVO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade de Brasília, como pré-requisito para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Eckhardt Molina, MSc, PhD

Brasília

2023

AGRADECIMENTOS

Vivemos num mundo em que ter doutorado tem um menor valor monetário que ter milhares de seguidores em rede social e que o sucesso não é medido pela quantidade de diplomas e sim pela quantidade de contas alcançadas. Confesso que ao longo deste processo eu me questionei diversas vezes, tive *burnout* e até pensei em desistir (quem me conhece sabe que não desisto fácil das coisas) mas aqui estou eu, escrevendo os agradecimentos desse “filho” tão desejado.

Decidi começar agradecendo a ele: Ao tão sonhado DOUTORADO! Acredito que a humildade intelectual que me foi fomentada transpassará gerações e a capacidade de questionar cada texto à minha frente será estimulada com toda certeza!

Não posso deixar de agradecer ao Universo (Deus para alguns ou força maior para outros); viver e sobreviver aos altos e baixos da vida e ainda assim ter saúde e fé para continuar nessa “missão de passar positividade e gratidão”, me fazem acordar todos os dias com a consciência da divindade. Obrigada por tantos momentos e pessoas especiais na minha vida!

Mais uma vez foi precisar agradecer à toda a minha família pelo apoio e compreensão do isolamento necessário ao longo desses anos. Sei que a visita tem sido cada vez mais escassa, mas não os esqueci um só momento! Agradeço à minha mãe pelo amor e carinho de sempre, e principalmente pela energia forte e inabalável que me segurou em muitos momentos. Ao meu pai, agradeço todo o esforço para o meu crescimento intelectual e, mesmo em momentos inimagináveis, me fez estudar e me tornar uma profissional ainda melhor. Agradeço em especial à minha irmã...ah..se ela soubesse o quanto me sustenta! Obrigada pela parceria de vida, pelo crescimento conjunto, pelos conselhos e sobretudo por se colocar à frente nas questões familiares para que eu pudesse seguir o estudo sem preocupações! Ao meu cunhado, Brenno, te agradeço demais; você é um cara de sorte! Não posso esquecer da minha madrinha querida, Suely, obrigada pela paciência e principalmente por se fazer tão presente em minha vida!

Agradeço ao meu companheiro de vida, Saulo! Obrigada por me fazer desacelerar e observar que as pequenas coisas da vida fazem muito sentido; por lutar ao meu lado para construção de uma família e essencialmente pela torcida diária em todo o processo de doutorado. Agradeço aos meus sogros, Paulo e Edsandra, que também são família junto com Samea e Bia e tornaram este momento mais fervoroso e feliz.

Agradeço ao meu orientador, Guilherme Molina, por todas as reuniões regadas à conselhos de vida e desabafos, por todo o “processo” de crescimento intelectual, pela sabedoria de deixar o lado professor e sobressaltar o lado humano quando necessário. Com certeza é um amigo que espero que esteja presente na vida! Aos membros da banca examinadora, obrigada pelas contribuições, julgamentos e colaboração no meu crescimento profissional. Aos membros do GEAFS, alunos, professores, funcionários e voluntários que ajudaram ativa ou passivamente neste processo, em especial ao Freddy e Mayda pelo respeito, paciência e torcida.

Agradeço aos meus irmãos de vida Simone, Rafaela, Fernanda, Andrea Lino, Lorena, Robs, Pascotini e Liliane! Vocês foram e são essenciais na minha vida! O carinho, a torcida, a atenção, a compreensão, as confidências, as palavras de incentivo, o “vai valer a pena”..muito obrigada mesmo! Vocês me ajudaram nesse processo de mulher pesquisadora num mundo em que ainda não somos a classe dominante. Não posso esquecer de Aline, Didi e Débora que tornaram cada momento mais prazeroso.

Agradeço aos queridos amigos do trabalho com quem dividi angústias e perspectivas de vida, obrigada por facilitar a conclusão deste processo, agradeço cada palavra de incentivo!

Por fim, agradeço aos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste projeto de vida. Ninguém vence sozinho nessa vida!

Muito obrigada!

RESUMO

Do ponto de vista de saúde cardiovascular, já está bem documentado que a prática do exercício físico promove adaptações positivas na função autonômica cardíaca e na atividade cardiopulmonar na população em geral com conseqüente redução de risco cardiovascular. As diferentes adaptações fisiológicas, em especial cardiovasculares, induzidas pelo exercício físico, quando avaliadas, podem ser considerados importantes marcadores clínico-funcionais. Neste cenário, as tendências *fitness* destacam o *Functional Fitness Training* (FFT) como uma modalidade emergente e uma possível alternativa de exercício físico para manutenção e promoção de saúde cardiovascular na população. Entretanto, ainda são incipientes os estudos que analisam minuciosamente as adaptações fisiológicas autonômicas e cardiovasculares decorrentes da prática exclusiva de FFT. Assim, o objetivo do presente estudo foi analisar as dinâmicas da função autonômica cardíaca e cardiopulmonares durante o repouso, nas diferentes fases esforço incremental máximo e durante a recuperação imediatamente após esforço em praticantes de FFT. Trata-se de um estudo descritivo-exploratório realizado em indivíduos (n=17) do sexo masculino, clinicamente saudáveis e com idade entre 20 e 40 anos, atletas recreacionais de FFT (ex: Crossfit®). A função autonômica cardíaca foi avaliada por meio da variabilidade da frequência cardíaca (FC) (atividade, reatividade e reativação) e a resposta cardiopulmonar avaliada por meio das trocas gasosas (ergoespirometria). As variáveis relativas ao comportamento autonômico cardíaco (RMSSD e DFA alfa 1) e cardiopulmonares (FC, VO₂, Pulso de O₂ e VE/CO₂) foram obtidas e analisadas em diferentes estágios do repouso (posição supina e ortostática), durante o esforço incremental máximo (momento inicial do esforço, nos limiares ventilatórios e no esforço físico máximo) e ao longo de 5 minutos de recuperação imediatamente após o esforço. Para análise dos resultados foi aplicada estatística não paramétrica ao nível de significância de 5%. Os resultados demonstraram que as dinâmicas dos índices autonômicos e cardiopulmonares, obtidos nas diferentes condições funcionais (repouso-esforço-recuperação) apresentaram comportamento fisiológico esperado e seus valores variaram dentro dos intervalos de referência para a saúde cardiovascular conforme idade e sexo, independentemente dos períodos analisados. Ainda, com relação à interdependência das variáveis nas diferentes condições de análise (repouso e esforço), verificou-se correlação negativa entre a atividade parassimpática (RMSSD) no repouso supino com o VO₂ no limiar ventilatório 2 ($\rho = -0,67$; $p = 0,00$) e correlações positivas entre a reatividade RMSSD após mudança postural no repouso e a atividade do DFA alfa 1 na posição supina com o VO₂ no limiar ventilatório 2 ($\rho = 0,55 - 0,61$; $p = 0,02 - 0,01$). As associações entre esforço e recuperação apresentaram-se negativas entre a FC no primeiro minuto de recuperação com o pulso de oxigênio no início do esforço, no limiar ventilatório 1 e no pico do esforço ($\rho = -0,49 - 0,62$; $p = 0,00 - 0,04$). Por fim, um possível prejuízo na recuperação tardia da FC após o esforço foi observado nos praticantes de FFT. Dessa forma, conclui-se que as dinâmicas da função autonômica cardíaca e cardiopulmonares avaliados nas diferentes condições funcionais estão positivamente relacionadas com a saúde cardiovascular de atletas recreacionais de FFT.

Palavras-chave: Exercício Físico, Fisiologia Cardiovascular, Sistema Nervoso Autônomo.

ABSTRACT

In the context of cardiovascular health, it is already well documented that physical exercise promotes positive adaptations in cardiac autonomic function and cardiopulmonary activity in the general population with a consequent reduction in cardiovascular risk. When evaluated, the different physiological adaptations induced by physical exercise can be considered important clinical-functional markers. In this scenario, Functional Fitness Training (FFT) is an emerging modality and possible alternative for maintaining and promoting cardiovascular health in the population. However, a lack of studies thoroughly analyzing the autonomic and cardiovascular physiological adaptations resulting from the exclusive practice of FFT. Thus, the aim of the present study was to analyze the dynamics of cardiac autonomic function and cardiopulmonary behavior during rest, in the different phases of maximum incremental effort, and during recovery immediately after effort in FFT practitioners. This exploratory-descriptive study is realized in clinically healthy male individuals (n=17) aged between 20 and 40 years old, recreational FFT athletes (e.g., Crossfit®). Cardiac autonomic function was assessed by heart rate (HR) variability (activity, reactivity, and reactivation), and the cardiopulmonary response was assessed by gas exchange analysis (ergospirometry). The variables related to cardiac autonomic behavior (RMSSD and DFA alpha 1) and cardiopulmonary (HR, VO₂, O₂ pulse, and VE/CO₂) were obtained and analyzed at different stages of rest (supine and orthostatic position) during maximum incremental effort (initial moment of effort, at ventilatory thresholds and at maximum physical effort) and in 5 minutes of recovery immediately after effort. Statistical analysis employed non-parametric tests with two-tailed p value set at 5 %. The results demonstrated that the dynamics of the autonomic and cardiopulmonary indices, obtained in different functional conditions (rest-effort-recovery), presented expected physiological behavior, and their values varied within the reference ranges for cardiovascular health according to age and gender, regardless of the periods analyzed. Furthermore, regarding the interdependence of variables in the different conditions of analysis (rest and effort), a negative correlation was found between parasympathetic activity (RMSSD) in supine position with VO₂ at ventilatory threshold 2 ($\rho = -0.67$; $p = 0.00$) and positive correlations between RMSSD reactivity after postural change at rest and DFA alpha 1 activity in the supine position with VO₂ at ventilatory threshold 2 ($\rho = 0.55 - 0.61$; $p = 0.02 - 0.01$). The associations between effort and recovery were negative between HR in the first minute of recovery with the oxygen pulse at the beginning of the effort, at ventilatory threshold 1, and at peak effort ($\rho = -0.49 - 0.62$; $p = 0.00 - 0.04$). Finally, a possible impairment in the late recovery of HR after exertion was observed in FFT practitioners. Therefore, we concluded that the dynamics of cardiac autonomic function and cardiopulmonary evaluations in different functional conditions are positively related to the cardiovascular health of recreational FFT athletes.

Keywords: Exercise, Cardiovascular Physiology, Autonomic Nervous System.

LISTA DE SIGLAS

ATP – adenosina trifosfato

CO₂ – dióxido de carbônico

DFA - *detrended fluctuation analysis* ou análise de flutuação de tendência

ECG- eletrocardiograma

EPOC – excesso de consumo de oxigênio pós-exercício

FC- frequência cardíaca

FCR- frequência cardíaca de recuperação

FR- frequência respiratória

FFT – *functional fitness training*

HIIT – *high intensity interval training* ou treinamento intervalado em alta intensidade

IMC- índice de massa corpórea

OMS- organização mundial de saúde

PA- pressão arterial

PCO₂ – pressão de dióxido de carbono

PO₂- pressão de oxigênio

RMSSD - raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos RR normais adjacentes

SNA- sistema nervoso autônomo

TCLE- termo de consentimento livre e esclarecido

VE- ventilação

VE/VO₂ – equivalente ventilatório de oxigênio

VE/VCO₂ – equivalente de dióxido de carbônico

VFC – variabilidade de frequência cardíaca

VO₂ máximo – consumo máximo de oxigênio

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Critérios de inclusão	37
Tabela 2 Critérios de exclusão	38
Tabela 3 Caracterização antropométrica e funcional dos voluntários	40
Tabela 4 Aptidão cardiorrespiratória de acordo com consumo oxigênio	41
Tabela 5 Características eletrocardiográficas durante o repouso na posição supina	42
Tabela 6 Intervalo de tempo definido para análise de variáveis da variabilidade da frequência cardíaca	44
Tabela 7 Estatística descritiva amostral da frequência cardíaca e dos índices de VFC durante 5 minutos na posição supina e ortostática na condição de repouso	48
Tabela 8 Correlação entre os índices da VFC com a FC, ambos nas posições supina e ortostática na condição de repouso	49
Tabela 9 Estatística descritiva amostral da FC nas condições: inicial do esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo máximo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar	50
Tabela 10 Estatística descritiva amostral do consumo de oxigênio nas condições: inicial do esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo máximo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar	51
Tabela 11 Estatística descritiva amostral da velocidade nas condições: inicial do esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo máximo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar	52
Tabela 12 Estatística descritiva amostral do pulso de oxigênio nas condições: inicial do esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo máximo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar	52
Tabela 13 Estatística descritiva amostral do equivalente ventilatório de dióxido de carbono nas condições: inicial do esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo máximo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar	53

Tabela 14 Estatística descritiva amostral dos índices da VFC (RMSSD e DFA α 1) nas condições: inicial do esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo máximo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar	54
Tabela 15 Estatística descritiva amostral do comportamento da FC durante a fase de recuperação após o teste incremental cardiopulmonar máximo	55
Tabela 16 Estatística descritiva amostral dos índices da VFC durante a fase de recuperação após o teste incremental cardiopulmonar máximo	56
Tabela 17 Estatística descritiva amostral do consumo de oxigênio durante a fase de recuperação após o teste incremental cardiopulmonar máximo	56
Tabela 18 Correlação entre os índices da VFC nas posições supina e ortostática na condição de repouso com o consumo de oxigênio durante o esforço	63
Tabela 19 Correlação entre o pulso de oxigênio ao longo do esforço com a frequência cardíaca de recuperação ao longo da fase de recuperação	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema ilustrativo do desenho do estudo	39
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Análise comparativa do comportamento da FC no repouso, ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço	58
Gráfico 2 Análise comparativa do consumo de oxigênio ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço	59
Gráfico 3 Análise comparativa do pulso de oxigênio ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço	60
Gráfico 4 Análise comparativa do equivalente ventilatório de dióxido de carbono ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço	61
Gráfico 5 Análise comparativa do comportamento da variável RMSSD no repouso, ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço	61
Gráfico 6 Análise comparativa do comportamento da variável DFA α 1 no repouso, ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço	62

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	15
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	
2.1. Exercício físico e saúde cardiovascular	18
2.2. Exercício físico e alterações metabólicas no sistema cardiovascular	20
2.3. Exercício físico e alterações autonômicas cardíacas	26
2.4. <i>Functional Fitness Training</i> (FFT)	30
3.OBJETIVOS	
3.1. Objetivos gerais	35
3.2. Objetivos secundários	35
4.JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE DO ESTUDO	36
5.MATERIAIS E MÉTODOS	
5.1. Amostra.....	37
5.2. Desenho do estudo	38
5.3. Aspectos metodológicos gerais	39
5.4. Avaliação do eletrocardiograma de repouso	41
5.5. Caracterização da função autonômica cardíaca	42
5.6. Teste cardiopulmonar máximo	44
5.7. Caracterização da recuperação	46
5.8. Análise estatística	47
6.RESULTADOS	
6.1. Repouso	48
6.2. Esforço	49
6.2.1. Frequência cardíaca	49
6.2.2. Consumo de Oxigênio (VO ₂)	50
6.2.3 Velocidade	51
6.2.4. Pulso de Oxigênio	52
6.2.5. Eficiência ventilatória – Equivalente ventilatório de Dióxido de carbono (VE/VCO ₂)	53
6.2.6. Variabilidade da FC no esforço	53
6.3. Recuperação	54
6.3.1. Frequência cardíaca de recuperação	54

6.3.2. Variabilidade da frequência cardíaca	55
6.3.3. Consumo de oxigênio (VO ₂)	56
6.4. Análises comparativas do comportamento de variáveis autonômicas cardíacas e cardiopulmonares no repouso, ao longo do esforço incremental máximo e durante a recuperação imediatamente após o esforço	57
6.5. Análise da correlação entre os índices da VFC e cardiopulmonar nas diferentes condições funcionais	62
6.5.1. Correlação entre os índices da VFC no repouso com o consumo de oxigênio durante o esforço	62
6.5.2. Correlação entre o pulso de oxigênio ao longo do esforço com a frequência cardíaca de recuperação ao longo da fase de recuperação	63
7. DISCUSSÃO	
7.1. Repouso	64
7.2. Esforço	66
7.2.1. Frequência cardíaca	66
7.2.2. Consumo de Oxigênio (VO ₂)	67
7.2.3. Pulso de Oxigênio	70
7.2.4. Eficiência ventilatória – Equivalente ventilatório de Dióxido de carbono (VE/VCO ₂)	72
7.2.5. Variabilidade da frequência cardíaca	73
7.3. Recuperação	75
7.3.1. Frequência cardíaca de recuperação e Variabilidade da frequência cardíaca	75
7.3.2. Consumo de oxigênio (VO ₂)	77
7.4. Análise da correlação entre os índices da VFC e cardiopulmonar nas diferentes condições funcionais	78
7.4.1. Correlação entre os índices da VFC no repouso com o consumo de oxigênio durante o esforço	78
7.4.2. Correlação entre o pulso de oxigênio ao longo do esforço com a frequência cardíaca de recuperação ao longo da fase de recuperação	79
8. LIMITAÇÕES DO ESTUDO	81
9. CONCLUSÃO	82
10. APLICAÇÕES PRÁTICAS	83
11. REFERÊNCIAS	84
12. ANEXOS	
12.1. Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)	110
12.2. Parecer consubstanciado do comitê de ética e pesquisa	113

13. APÊNDICE	116
---------------------------	------------

1. INTRODUÇÃO

Numa perspectiva de saúde pública, as estimativas globais de saúde 2000-2019 da Organização Mundial da Saúde (OMS) mostram que as doenças cardiovasculares permanecem como a principal causa de morte em todo o mundo (1). Sabe-se que o exercício físico é uma das formas mais eficazes de reduzir o risco de doenças cardiovasculares na população; todavia, dados sugerem que pelo menos 31% da população mundial não atende às recomendações mínimas de atividade física (2). No Brasil, esta perspectiva é ainda mais alta na população adulta masculina onde 37,3% não realiza o mínimo de atividade física recomendado pela OMS (2–8). Neste cenário, a OMS, o Ministério da Saúde do Brasil e a Diretriz Brasileira de reabilitação cardiovascular (DBRC) de 2020 recomendam a combinação de exercícios aeróbicos e resistidos para manutenção de saúde por um período mínimo semanal de 150 minutos (9–13).

De fato, o efeito positivo do exercício físico na saúde cardiovascular já foi extensivamente comprovado na literatura e diversos estudos demonstraram associação negativa entre aptidão cardiorrespiratória e mortalidade por todas as causas (8,10,14–20). Assim, em uma perspectiva clínico-funcional, a melhora da aptidão cardiorrespiratória induzida pelo exercício físico fica evidente nas adaptações fisiológicas positivas agudas e crônicas em distintos sistemas fisiológicos, o que leva à redução da frequência cardíaca de repouso (ex. bradicardia), ao aumento da atividade cardiovagal no repouso e durante a recuperação imediatamente após exercício (ex. alta reativação cardiovagal) (14,15,21–36) além de alterações metabólicas como a maior eficiência no consumo de oxigênio (ex. elevado consumo de oxigênio ao final do esforço incremental máximo) (37,38).

Sabe-se que a resposta cardiopulmonar durante o exercício é síncrona à medida que a taxa de trabalho aumenta; assim, durante o esforço crescente, há aumento do consumo de oxigênio refletindo a capacidade de transporte de O₂ em todo o sistema incluindo pulmões, coração e musculatura envolvida no trabalho (39–41). Desta forma, estudos demonstram que a avaliação dos ajustes cardiopulmonares e das adaptações cardiometabólicas anátomo-funcionais (estruturais) e autonômicas são considerados poderosos e independentes marcadores de morbimortalidade na população (35,36,42–44). Adicionalmente, estudos demonstram que as avaliações podem apresentar diferentes respostas conforme o tipo de exercício físico praticado ou fase de treinamento físico (40,45–47). Por exemplo, nos exercícios de característica oxidativa (atividade aeróbica), observa-se que indivíduos treinados na modalidade *endurance*

normalmente podem atingir uma taxa máxima de consumo de oxigênio maior quando comparados a adultos jovens saudáveis do mesmo sexo e faixa etária (48) além de melhor reativação vagal após 12 semanas de treinamento (49); já em exercícios que combinam atividade aeróbica e resistida, observa-se melhor resposta metabólica e cardiovascular com maior aptidão cardiorrespiratória, saúde cardiovascular e controle autonômico cardíaco superior comparativamente ao exercício resistido realizado isoladamente como prática exclusiva de exercício (50–54). Assim, ao considerar os efeitos dos diferentes tipos de treinamento físico, deve-se observar os efeitos e respostas fisiológicas associados à modalidade ou fase do treinamento físico.

Ao considerar as inúmeras possibilidades de prática de exercício físico para manutenção e promoção de saúde cardiovascular além da busca de novas modalidades esportivas que propiciam maior engajamento do praticante, a variação de treinamento intervalado em alta intensidade (HIIT) e o exercício funcional ganharam destaque em 2007 e foram mantidas entre as tendências *fitness* emergentes para o ano de 2023 (55–57). Dessa forma, ao considerar a terminologia relacionada a uma destas principais tendências *fitness* e com vistas em padronizar e auxiliar o desenvolvimento de novas pesquisas, foi recentemente proposto o uso do termo *Functional Fitness Training* (FFT) (57) para definir um tipo específico de treinamento físico. Assim, o FFT é uma modalidade esportiva baseada nos princípios do treinamento concorrente que é caracterizado por uma variedade de movimentos, atividades (ginástica, levantamento de peso, treino de força, condicionamento aeróbico) e sistemas de fornecimento de energia (oxidativo, glicolítico e fosfagênio) realizados em alta intensidade.

A literatura aponta na direção de que os programas de FFT visam desenvolver os mesmos benefícios induzidos pelos programas de treinamento tradicionais (58–61), entretanto, poucos foram os estudos encontrados no cenário de saúde cardiovascular (53,62,63) sendo a maior parte deles voltados para análise de risco de lesão osteomuscular (64) e de respostas agudas e crônicas relativas ao desempenho e exercício (57,65–70). Além disso, observamos que as métricas mais utilizadas nos estudos são a concentração de lactato sanguíneo, a análise do comportamento da FC no repouso e esforço, o consumo de oxigênio máximo e a percepção do esforço (71).

Com relação a análise autonômica, em especial à função autonômica cardíaca, o único estudo com vertente para análise de risco cardiovascular que realizou avaliação da função autonômica cardíaca em diferentes domínios da variabilidade da frequência cardíaca em atletas recreacionais de FFT foi realizado no mestrado da autora do presente estudo (72). A análise

comparativa com atletas de *endurance* em repouso e na recuperação após esforço máximo, por meio da frequência cardíaca de recuperação, mostrou que ambas as modalidades demonstravam elevada atividade vagal no repouso em supino; por outro lado, foi observado prejuízo no decremento da FC de recuperação no grupo FFT comparativamente com o grupo *endurance* (73).

A possível superioridade do treinamento intervalado realizado em alta intensidade frente ao treinamento contínuo já foi destacada na literatura no tocante à aptidão cardiorrespiratória com fins de promoção e recuperação de saúde (74,75). Todavia, até o presente momento, não foram encontrados estudos que descrevessem os efeitos crônicos do FFT em parâmetros de saúde cardiovascular (incluindo aptidão cardiorrespiratória) em diferentes condições funcionais como no repouso, no esforço e na recuperação. Ainda, no melhor do nosso conhecimento, não há estudos que verificaram a interação/associação entre respostas autonômicas cardíacas com as respostas cardiometabólicas ao longo do repouso, do esforço e recuperação. Portanto, visto escassez de dados e crescente interesse da população no FFT, torna-se necessário estudo que descreva as adaptações fisiológicas do FFT a partir de uma perspectiva de saúde cardiovascular em diferentes condições funcionais.

Este conhecimento pode influenciar positivamente a indicação da prática do FFT como uma alternativa às modalidades tradicionais que sabidamente promovem saúde cardiovascular bem como incentivar estudos experimentais com foco na análise clínica de fatores de risco cardiovascular associados ao FFT.

Dessa forma, a nossa hipótese é de que encontraremos resultados positivos do ponto de vista clínico-cardiológico com boa aptidão cardiorrespiratória, eficiência ventilatória durante o exercício além de responsividade e reatividade autonômicas cardíaca nos atletas recreacionais de FFT. Além disso, também há hipótese de que estes sujeitos apresentarão responsividade e reatividade autonômicas compatíveis com a normalidade, ou seja, elevada atividade vagal no repouso, e maior decremento da frequência cardíaca de recuperação (FCR) ao longo da recuperação após o esforço máximo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Exercício físico e saúde cardiovascular

Os efeitos cardioprotetores da atividade física regular e do exercício físico são claros e se estendem por todas as idades, sexo e raça (14,15,21–31); além disso, diferentes estudos demonstram associação negativa entre a prática regular de atividade física e o desenvolvimento de doença cardiovascular (32,33). O mesmo é considerado para uma alta aptidão cardiorrespiratória, condição na maioria das vezes que acompanha um treinamento físico específico (76,77). Assim, com vistas em reduzir risco cardiovascular, a OMS recomenda a realização de atividade física moderada por mais de 300 minutos ou mais de 150 minutos de atividade física intensa, por semana, quando não houver contra indicação (10,11).

Dentre os exercícios mais recomendados para aumento de aptidão cardiorrespiratória podemos citar o exercício aeróbico (12), que em geral são caracterizados por movimentos cíclicos como a caminhada, corrida, remo, natação e ciclismo (13). Dessa forma, o exercício físico realizado regularmente é extremamente recomendado para redução de morbidade e mortalidade por todas as causas (8,10,14–20) e marcadores de aptidão cardiorrespiratória, do comportamento da frequência cardíaca e da atividade vagal considerados marcadores fisiológicos que representam boa saúde **cardiovascular** (35).

O consumo máximo de oxigênio é considerado o parâmetro mais importante associado ao condicionamento físico do indivíduo, sendo um indicador prognóstico objetivo e independente para doença cardiovascular (78) com a aptidão cardiorrespiratória inversamente associada ao alto risco de doença **cardiovascular** e mortalidade por todas as causas (79). Neste sentido, as pesquisas investigam as alterações fisiológicas consequentes ao treinamento físico a fim de confirmar se um determinado tipo de exercício é mais favorável à manutenção de saúde.

Em 2019, Lazic et al (80) estudaram 352 atletas de elite e observaram alterações cardíacas como o remodelamento e a função cardíaca, além da relação entre os parâmetros de remodelação do ventrículo direito e do átrio direito e índices de capacidade aeróbia (limiar ventilatório e consumo máximo de oxigênio). Os atletas foram divididos em grupos de futebol, basquete e polo aquático e os autores observaram diferenças entre os grupos com a adaptação cardíaca e a **aptidão cardiopulmonar** mais pronunciada em jogadores de futebol, apesar de,

segundo os autores, todos os atletas pertencerem ao mesmo grupo de esportes com estímulos aeróbios.

Já em 2020, Paulauskas et al (81) investigaram mudanças nas respostas fisiológicas (frequência cardíaca, lactato sanguíneo, índice de fadiga, saturação de oxigênio) de atletas de basquete frente a realização de diferentes protocolos de exercícios intervalados e observaram que as respostas da frequência cardíaca e de **aptidão** cardiorrespiratória mostraram uma atividade semelhante às reações aeróbicas nos diferentes exercícios sugerindo que ambos os tipos de exercícios podem estimular de forma análoga o metabolismo aeróbico.

Neste contexto, a avaliação da regulação nervosa autonômica cardíaca e do equilíbrio entre o estímulo simpático e parassimpático fornece uma base importante para a prevenção e tratamento da doença **cardiovascular** (82). Assim, como referimos anteriormente, a análise do comportamento da FC e atividade vagal também são considerados parâmetros importantes na análise da saúde cardiovascular. Quatro ensaios clínicos, demonstraram forte associação entre a disfunção autonômica parassimpática e morbimortalidade cardiovascular (35,36,42,43). Cole et al associou a redução de 12 batimentos por minuto ou menos durante o primeiro minuto de recuperação após exercício com maior **risco de mortalidade cardiovascular** (35). Já o estudo de Jouven (36), descreveu que indivíduos cuja diferença entre FC máxima e FC de repouso foi menor que 89 bpm e cuja queda de FC foi menor que 25 bpm após o primeiro minuto apresentavam maior risco relativo de morte súbita quando comparado ao grupo que apresentou diferença de 40 bpm neste último parâmetro. Dessa forma, estes estudos reforçam a importância de monitorizar a frequência cardíaca de recuperação a fim de analisar a resposta do organismo imediatamente após o exercício o que demonstra a capacidade de reativação vagal e possível retirada autonômica simpática.

Na análise de marcadores autonômicos, Mayo et al. em 2016 (83) observaram que o controle vagal cardíaco era afetado por exercícios de força e, quanto maior o número de repetições, maior era a redução dos parâmetros relativos ao controle autonômico cardíaco vagal após o exercício. Ainda em 2016, uma revisão sistemática que investigou os efeitos de diferentes esportes e carga de treinamento na atividade vagal sugeriu que diferentes atividades esportivas afetam a atividade parassimpática de forma diversa provavelmente refletindo diferentes demandas de treinamento - tais como aeróbico versus resistência, contínuo versus intervalado e proporção de treinamento para competição (84); resultado semelhante foi observado em estudo realizado por nosso grupo em que sugere-se que a bradicardia pode estar

relacionada ao tipo de modalidade esportiva (45). Assim, pode-se observar que as alterações fisiológicas favoráveis à redução do **risco cardiovascular** podem estar relacionadas à prática de exercício físico e sofrer influência de tipos de exercícios, modalidades esportivas e fases de treinamento. Portanto, na sessão subsequente abordaremos, de forma mais detalhada, as alterações metabólicas e cardiovasculares relacionadas ao exercício físico.

2.2 Exercício físico e alterações metabólicas no sistema cardiovascular

No repouso, as necessidades metabólicas do corpo são dominadas pelo cérebro, fígado e rins com uma taxa metabólica de consumo de oxigênio de aproximadamente 3,5 mL/kg.min, que é denominada 1 MET ou “equivalente metabólico”; entretanto, no exercício, há um aumento da demanda de oxigênio pelo músculo em atividade, de modo que mais de 80% do fluxo sanguíneo é redirecionado (85,86). Basicamente, o principal objetivo do sistema cardiovascular durante o esforço físico é fornecer adequado aporte de oxigênio ao músculo para atender às demandas metabólicas do organismo. É o grau dessa demanda que forma a base de categorização de esportes e atividades (87,88).

Durante o exercício, os principais mecanismos responsáveis por “atender” ao aumento da demanda metabólica muscular são o aumento do débito cardíaco (frequência cardíaca e volume sistólico) e a redução da resistência vascular periférica. O aumento da FC durante o exercício é regulado principalmente pelo sistema nervoso autônomo com possível redução parassimpática e aumento de estimulação simpática (89). Já o volume sistólico pode aumentar em torno de 2x no pico do exercício e pode ser influenciado pelo nível de condicionamento físico (89). No tocante à circulação periférica, as crescentes demandas metabólicas nos músculos em exercício exigem aumento do fluxo sanguíneo para o leito regional com redução do fluxo para circuitos renais, esplâncnico e cutâneos. Assim, observa-se aumento do fluxo sanguíneo periférico e redução da resistência vascular periférica consequente ao aumento de metabólitos do exercício (90).

Neste momento, cabe um adendo para explicar as vias metabólicas envolvidas no processo de fornecimento de energia durante o exercício. Existem, classicamente, três processos distintos e intimamente integrados que operam em conjunto para satisfazer aos requisitos de energia do músculo. O sistema de energia anaeróbia é dividido em componentes aláticos e lácticos, referindo-se aos processos envolvidos na divisão dos fosfagênios armazenados, ATP e fosfocreatina (PCr), além da “quebra” de carboidratos em ácido láctico através da glicólise. As vias anaeróbicas são capazes de regenerar ATP mas são limitadas pela quantidade de energia

que pode ser liberada em uma única sessão de exercício intenso; assim, uma rápida redução da PCr armazenada e um acúmulo de ácido láctico com uma redução concomitante do pH estão associados com a interrupção do exercício ou uma redução na produção de trabalho (91). Já o sistema de energia aeróbica refere-se à combustão de carboidratos, gorduras e até proteínas na presença de oxigênio; ele tem maior capacidade de fornecimento de energia embora com menor velocidade e limitação dos sistemas respiratório e cardiovascular para fornecimento de oxigênio (91).

Em outras palavras, pode-se dizer que a fonte imediata de energia para a contração muscular vem da hidrólise do ATP. Como o ATP existe em uma concentração muito baixa no músculo e os mecanismos reguladores parecem impedir sua degradação completa, o corpo desenvolveu vias químicas bem reguladas para “regenerar” o ATP e permitir que a contração muscular continue. O primeiro processo envolve a divisão do fosfagênio de alta energia, fosfocreatina (PCr), que junto com o ATP armazenado na célula fornece a energia imediata nos estágios iniciais de exercícios intensos ou explosivos. O segundo processo envolve a quebra não aeróbica de carboidratos, principalmente na forma de glicogênio muscular, em ácido pirúvico e depois em ácido láctico por meio da glicólise. Já o terceiro processo, metabolismo aeróbico ou oxidativo, envolve a combustão de carboidratos e gorduras e, em algumas circunstâncias, proteínas, na presença de oxigênio com ocorrência da oxidação de piruvato, do ciclo do ácido cítrico e da fosforilação oxidativa com envolvimento do ciclo de Krebs (91). Estima-se que a energia derivada dos estoques de ATP e PCr contribua entre 20-30% da liberação de energia anaeróbica durante o exercício intenso de 2 a 3 minutos de duração (92,93). Vale ressaltar que estudos mostram que os processos aeróbicos também contribuem significativamente para o suprimento de energia mesmo em esforços máximos tão curtos quanto 30 segundos (94,95).

Uma vez que explicamos as formas de fornecimento de energia no exercício, retornaremos ao raciocínio prévio das alterações metabólicas relativas ao exercício. Na parte inicial do exercício, a produção de lactato permanece próximo dos níveis de repouso, entretanto, à medida que o trabalho aeróbico aumenta, o alto fluxo glicolítico resulta não apenas no aumento do rendimento do ciclo de Krebs, mas também no aumento do metabolismo de piruvato e lactato (89). Essas alterações variam de acordo com a intensidade do exercício sendo prioritariamente via aeróbica se a intensidade for baixa ou moderada e, em casos de intensidade mais extenuante (80-85% VO_2 máx), a via glicolítica láctica seria priorizada pelo organismo para fornecimento de energia por se tratar de uma via metabólica rápida e independente de oxigênio (96).

A certa altura do esforço, a produção de lactato e acúmulo de íons H^+ excede a capacidade de eliminação e tamponamento do corpo e estas substâncias começam a acumular no organismo com consequente acidose. Estas alterações são comumente referidas como primeiro e segundo limiar ventilatório ou de lactato, ou “limiar anaeróbico”, dependendo de como ele é realmente medido (87,97,98) sendo inclusive recomendado, no estudo de Poole et al(97), que o termo limiar anaeróbico não seja mais utilizado.

A título de conhecimento, é importante ressaltar que anteriormente acreditava-se que o lactato era o principal responsável pelo aparecimento da acidose metabólica entretanto o seu papel de “vilão” perdeu destaque em função do maior entendimento do seu metabolismo (99). Um benefício adicional da produção de lactato diz respeito ao tamponamento metabólico de prótons, reduzindo o piruvato a lactato. Dessa forma, a produção de lactato retarda, e não causa, o desenvolvimento de acidose metabólica. Assim, a produção muscular de lactato é essencial para remover o piruvato e sustentar uma alta taxa de regeneração de ATP a partir da glicólise e contribuir para o tamponamento metabólico. É justo afirmar que não poderíamos sustentar exercícios de alta intensidade por muito mais tempo do que 10 a 15 segundos sem produção de lactato (100). Portanto, não há dúvida de que cada sistema é o mais adequado para fornecer energia para um tipo diferente de evento ou atividade, mas isso não significa exclusividade. Independentemente do mecanismo subjacente ou modelo específico que descreva este processo de adaptação ao exercício, as alterações fisiológicas associadas ao acúmulo de lactato tem importância para o desempenho cardiopulmonar, sejam acidose metabólica, hiperventilação e cinética de oxigênio alterada, contribuindo para alteração do desempenho no exercício físico (101).

No presente estudo as variáveis metabólicas foram analisadas com atenção aos ajustes cardiopulmonares, assim, ressaltamos atenção a este tópico. No tocante ao ajuste pulmonar no exercício, estudos sugerem que esteja relacionado à uma resposta relativamente lenta de mudanças no pH arterial da artéria carótida, responsável pelo fluxo neural, estimulando a ventilação (102,103). Em condições normais, a ventilação pode aumentar em 12 vezes, o que ocorre por um aumento na frequência respiratória e no volume corrente (39) em uma relação linear com o consumo de oxigênio (VE/VO_2) e eliminação de dióxido de carbono (VE/VCO_2). O acompanhamento das curvas de consumo de oxigênio e eliminação de dióxido de carbono, nos permite a análise do funcionamento metabólico no exercício (40). O teste cardiopulmonar é um teste importante que pode ser utilizado para diagnóstico, estratificação de **risco cardiovascular** e desempenho. A identificação em medição de troca gasosa durante o teste

incremental, respiração a respiração, permite a identificação de “pontos de inflexão” fundamentais para maior entendimento dos mecanismos de controle fisiológico durante o exercício (39,97).

O primeiro ponto de inflexão, fenômeno fisiológico frequentemente referido como o limiar de lactato, é conhecido como primeiro limiar ventilatório e corresponde ao início do acúmulo de lactato (97). O exercício abaixo deste limiar é sustentável sem fadiga cardiorrespiratória durante o exercício. O exercício de *endurance* cria adaptações cardiovasculares e musculoesqueléticas que prolongam o tempo de atividade aeróbica do metabolismo oxidativo antes do metabolismo anaeróbico ser necessário para gerar mais energia (104,105). Uma métrica para quantificar esta adaptação é o valor do consumo de oxigênio no primeiro limiar ventilatório; uma proporção normal é de 45% a 75% e atletas de *endurance* apresentam proporções mais altas aproximando-se de 80% a 90% (48,106–109). De antemão, o segundo ponto de inflexão é conhecido como ponto de compensação respiratória ou segundo limiar ventilatório e corresponde ao ponto em que o corpo não consegue mais tamponar o aumento de dióxido de carbono através do aumento da ventilação (39). O segundo limiar ventilatório mais alto permite maior duração da participação em exercícios de maior intensidade e, subsequentemente, maiores reduções no risco de doença **cardiovascular** (110).

Outro ponto que podemos observar é a relação entre ventilação pulmonar e VCO_2 como uma ferramenta de avaliação útil da eficiência ventilatória. Durante o exercício, a ventilação está fortemente relacionada ao VCO_2 visto que a ventilação parece ser impulsionada pela quantidade de dióxido de carbono produzido. Um VE/VCO_2 inferior a 30 é considerado normal para qualquer idade ou sexo (88) entretanto, valores de VE/VCO_2 superiores a 35 estão associados a uma variedade de cenários fisiológicos, incluindo incompatibilidade de ventilação/perfusão, diminuição do débito cardíaco, diminuição variabilidade da frequência cardíaca ou uma sensibilidade quimiorreceptora anormal, que exagera a resposta ventilatória ao exercício (87), muito embora estes valores devam ser observados com cautela em atletas (111).

O estímulo de exercício incremental deve ser suficientemente rápido para analisar se o início de uma acidose metabólica é dissociado de uma hiperventilação compensatória. (98,112,113). Sem isso, não é possível distinguir se o excesso de CO_2 resulta do tamponamento da acidose pelo bicarbonato ou da franca hiperventilação para reduzir a PCO_2 arterial (98,103). Ao analisar estudos que envolvem atletas, observa-se que atletas de *endurance* normalmente podem atingir uma taxa máxima de consumo de oxigênio (VO_2 max) de 50-100% maior que

adultos jovens saudáveis (48) e, como tal, a exigência de depuração de CO₂ pode se tornar um desafio (114). Para permitir a depuração de CO₂ em altas taxas metabólicas, os atletas de *endurance* devem atingir taxas de ventilação mais altas do que indivíduos saudáveis de condicionamento moderado. No entanto, alguns atletas de *endurance* parecem demonstrar uma limitação ventilatória em intensidades máximas de exercício, o que pode levar a hiperventilação compensatória inadequada e atenuar a resposta VE/VCO₂ (115–118). A resposta hiperventilatória nestes atletas é possivelmente secundária à restrição mecânica da ventilação, embora as contribuições potenciais da fadiga muscular respiratória e dos quimiorreflexos centrais e periféricos não possam ser excluídas (119). Assim, o conhecimento destes parâmetros observados no teste cardiopulmonar nos permite compreender o comportamento das variáveis envolvidas no fenômeno fisiológico de manutenção da homeostase e adaptação ao exercício.

Diferenças na fisiologia e na remodelação cardíaca induzida pelo exercício podem resultar em alterações nos parâmetros do teste cardiopulmonar quando comparados com valores normais da população em geral, sendo definidos como “anormais” apesar de nenhuma evidência de patologia cardiovascular ou pulmonar. Compreender a singularidade da fisiologia do exercício em atletas pode estabelecer perspectivas importantes para decifrar o significado e importância desses parâmetros (120).

Sabe-se que o VO₂ máximo está inversamente e independentemente associado a eventos de doença **cardiovascular**, mortalidade cardiovascular e mortalidade total em coortes epidemiológicas de larga escala (37,76). Evidências também sugerem que o pico de VO₂ agrega valor prognóstico adicional além dos fatores de risco estabelecidos na previsão de doença cardiovascular e risco de mortalidade (76,121). Uma coorte prospectiva realizada com homens finlandeses aparentemente saudáveis com idades entre 42 e 61 anos observou forte associação entre o VO₂ nos limiares ventilatórios e mortalidade cardiovascular e por todas as causas em análises ajustadas para fatores de risco cardiovascular (122). Além disso, alguns estudos mostram o valor prognóstico da análise do equivalente de O₂ (VE/VO₂) e pulso de O₂ durante o teste cardiopulmonar com desfecho para morte súbita (37) e risco cardiovascular (38). Ao que parece, um aumento de um equivalente metabólico (1 MET) no VO₂ máximo está associado à uma redução de 19% na mortalidade por todas as causas (76). Dessa forma, reforçamos a necessidade de análise das variáveis observadas no teste cardiopulmonar principalmente devido a sua natureza altamente prognóstica da saúde (123).

Ademais, não podemos esquecer de observar o comportamento das variáveis durante a recuperação. **Após o exercício**, o metabolismo do lactato parece ser direcionado principalmente para a produção de energia nas mitocôndrias. A elevada concentração de lactato presente no final do exercício pode ser vista como um "reservatório de carbono", que pode servir como fonte de produção de ATP oxidativo ou como fonte de carbono para a síntese de glicose, glicogênio e aminoácidos. A base metabólica do VO_2 elevado no pós-exercício pode ser compreendida em função daqueles fatores que influenciam direta ou indiretamente o consumo mitocondrial de O_2 . Incluídos entre esses fatores estão as catecolaminas, tiroxina, glicocorticóides, ácidos graxos, íons de cálcio e temperatura. Destes, a temperatura elevada é talvez o mais importante. Como não existe uma explicação completa do metabolismo pós-exercício, recomenda-se que o termo "débito de O_2 " seja usado para descrever um conjunto de fenômenos envolvidos na recuperação do exercício. O uso de termos alternativos, por exemplo, "excesso de consumo de oxigênio pós-exercício" (EPOC) e "recuperação de O_2 ", evitará a implicação de causalidade na descrição da elevação da taxa metabólica acima dos níveis de repouso após o exercício (124). Em outros termos, após o exercício, mas durante o período caracterizado pelo EPOC, o lactato sanguíneo acumulado durante o exercício é oxidado, as reservas de O_2 em hemoglobina e mioglobina são restauradas e as reservas de trifosfato de adenosina (ATP) e fosfocreatina (PCr) nos músculos e glicogênio retornam ao normal (124). A função cardiorrespiratória permanece alta para que oxigênio suficiente seja fornecido aos tecidos, permitindo assim que o organismo restabeleça sua linha de base. Existe um componente rápido entre 25s e 30s associado à ressíntese de fosfocreatina e à restauração do estoque muscular de O_2 , seguido de um componente lento por vários minutos para compensar os déficits de O_2 devido ao acúmulo de lactato no início do exercício (124).

Um estudo que investiga a recuperação observou o efeito do tipo de exercício no VO_2 e na resposta cinética da frequência cardíaca após exercício e referiu influência do tipo de exercício realizado até a exaustão nas respostas metabólicas e autonômicas. Do ponto de vista metabólico, o EPOC foi maior para movimentos como o agachamento em comparação com outros tipos como o supino e extensão de cotovelo na polia. Em relação à modulação autonômica, observou-se uma cinética de FC mais lenta durante o agachamento do que durante os demais, o que pode indicar uma reativação vagal atenuada possivelmente relacionada ao movimento que utiliza maior grupo muscular. Esse achado indica que o EPOC e a reativação vagal são direta e inversamente proporcionais, respectivamente, à massa envolvida no exercício (47).

Esses processos de resposta metabólica e cardiopulmonar específicos do esporte podem ser avaliados com análises de teste cardiopulmonar, imagens cardíacas e avaliação clínico cardiológica. Diferentes estímulos de treinamento são fatores pronunciados para variar individualmente a adaptação cardiofisiológica, inclusive, em revisão publicada por nosso grupo de estudos em 2019 (45) observou-se que diferentes esportes parecem produzir diferentes respostas cardíacas e os achados parecem depender do tipo de esforço, fase de treinamento ou modalidade esportiva praticada. Esta hipótese também foi observada em artigo publicado recentemente, em 2022, que analisou diferentes atletas de esportes de inverno de elite e encontrou diferenças na ventilação no segundo limiar ventilatório (46). Assim, reforçamos a importância de analisar as respostas cardiopulmonares em indivíduos que praticam modalidades esportivas diversas a fim de maior compreensão do comportamento metabólico cardiopulmonar além de análise de risco cardiovascular e natureza prognóstica de saúde.

2.3 Exercício físico e alterações autonômicas cardíacas

A rede de comando autonômico consiste em vias corticais e subcorticais, incluindo o córtex pré-frontal, o córtex cingulado anterior, a ínsula, o hipotálamo e o tronco cerebral. A saída primária da rede de comando autonômico é a atividade simpática e parassimpática que, por meio dos gânglios estrelados e do nervo vago, controlam o ritmo cardíaco através do nodo sinusal, provocando a variabilidade do tempo observada entre cada batimento cardíaco, conhecida como variabilidade da FC (125,126). Essa observação está de acordo com as previsões do modelo de “integração neurovisceral” (127) e seus avanços (125,128), sugerindo que a variabilidade da frequência cardíaca é capaz de indexar a integridade funcional da rede de comando autonômico que regula as respostas fisiológicas (125). Como resultado, o estímulo das estruturas cerebrais pré-frontais aumentam a variabilidade da FC, enquanto a hipotivação a reduz (129,130). Além disso, os estudos mostram que um controle predominantemente vagal do coração permite respostas rápidas e flexíveis às demandas ambientais e promove um desempenho mais eficaz (125,127–129) enquanto a influência simpática no coração é muito lenta para produzir alterações batimento a batimento (131). Esse “equilíbrio” autonômico cardíaco é uma forma do organismo favorecer a conservação de energia.

É importante ressaltar que somente o modelo de integração neurovisceral não explica o funcionamento autonômico cardíaco de modo geral; este modelo se concentra principalmente no controle vagal cardíaco tônico (125,127,128), enquanto os marcadores para análise respostas

adaptativas ao treinamento exigem medição durante o exercício (132). Aqui, chamamos atenção para a “teoria do tanque vagal” (133) que reforça que diferentes níveis de adaptabilidade do controle vagal cardíaco devem ser considerados (repouso, esforço e recuperação). Em particular, considerar a reatividade vagal cardíaca ao exercício físico é importante para entender a adaptabilidade do indivíduo e fenômenos envolvidos na capacidade de autorregulação (133).

De forma simplificada, o controle vagal cardíaco **em repouso** tem sido o foco da maior parte da literatura considerando o controle vagal cardíaco (125) e representa a base para a principal previsão do modelo de integração neurovisceral, com um maior controle vagal cardíaco em repouso e está associado a resultados positivos no quesito saúde (125). Já a reatividade representa a mudança entre a linha de base e um evento específico, como a conclusão de uma tarefa física, por exemplo, e é crucial em relação à adaptabilidade (tanto a retirada vagal baixa quanto a alta podem ser facilitadoras ao enfrentar demandas) (134). Ainda que o controle vagal cardíaco em repouso tenha sido o parâmetro mais investigado juntamente com a autorregulação, é importante saber que certos fenômenos se revelam apenas quando se considera a reatividade. Por fim, a recuperação é geralmente vista como um processo de restauração de uma condição anterior; à semelhança da reatividade, a recuperação desempenha um papel crucial no que diz respeito à adaptabilidade do organismo, para enfrentar um evento e depois regressar ao nível de repouso (135). A recuperação vagal é também denominada “rebote vagal” na literatura (136) e trata de saber se os indivíduos “enchem seu tanque” com rapidez suficiente para enfrentar outro estressor, a fim de ter capacidade suficiente de autorregulação e reação eficaz.

Uma vez que entendemos um pouco do funcionamento autonômico no repouso e a importância de avaliarmos o comportamento em momentos distintos, seguiremos esta seção com abordagem autonômica durante o esforço e recuperação visto que no repouso observa-se maior predominância vagal.

A frequência cardíaca responde ao **exercício** com um aumento progressivamente linear que é parcialmente devido a uma redução no tônus vagal, especialmente no início do exercício ou em intensidades relativamente baixas, e então é sustentado e aumentado pela ativação simpática e liberação de epinefrina(137). Uma revisão sistemática com meta-análise mostrou que a VFC mediada vagalmente é significativamente reduzida durante exercício cognitivo e/ou físico em comparação com o estado de repouso, indicando uma retirada parassimpática significativa em comparação com o repouso. As principais variáveis moderadoras dessas respostas incluíram a intensidade do exercício para exercícios físicos e as características do

participante (ou seja, nível de funcionamento cognitivo e aptidão física). Em particular, maiores demandas de tarefas foram relacionadas a maior reatividade da VFC. Melhor aptidão física e cognição foram associadas a menores reatividades de VFC (138).

Existem dois mecanismos principais possivelmente relacionados à redução do tônus vagal como resposta ao exercício: o comando central conforme citamos no início desta seção e o comando periférico através de feedbacks de fibras aferentes respondendo à estímulos mecânicos ou metabólicos com aumento de atividade simpática e aumento da FC (137). Ou seja, os mecanorreceptores ativados no início da contração muscular atuam na não excitação do barorreceptor e inibem atividade vagal, o que possibilita o aumento da FC. À medida que a exercício prossegue, o metabolismo muscular ativa os metaborreceptores que promovem retirada vagal mais gradual e quando atinge um determinado ponto, observa-se um predomínio da ativação da atividade simpática com conseqüente aumento do débito cardíaco (137,139). Subsequentemente a FC mantém o aumento até a FC máxima sob influência simpática e, até certo ponto, de hormônios circulantes mas permanece restrita por barorreceptores arteriais (140). Entretanto, ressalto que encontramos estudos que refutam a ideia de que há uma retirada vagal durante o exercício e, pelo contrário, observam aumento ou manutenção parassimpática durante o exercício e, mesmo em cargas altas, os estímulos vagais podem continuar a modular a função cardíaca juntamente com a atividade simpática intensificada (141,142).

Dentre os mecanismos responsáveis pela hiperventilação durante o exercício, outros fatores parecem afetar a ventilação como a temperatura e catecolaminas circulantes por exemplo e acredita-se que a modulação do controle da ventilação esteja relacionada à atividade simpatoadrenal (143,144). Um estudo mostrou que o indicador da atividade parassimpática reduz quando a intensidade excede 50% do pico de consumo de oxigênio enquanto o indicador de atividade simpática aumenta a aproximadamente 60% do pico de consumo de oxigênio (145). Esta observação também foi discutida no estudo de Yamamoto et al (143) que observou retirada quase completa do marcador parassimpático próximo ao primeiro limiar ventilatório e aumento nos indicadores de atividade simpatoadrenal acima deste limiar. Estas mudanças estiveram associadas ao aparecimento de componentes dinâmicos de baixa dimensão que podem refletir diferenças na complexidade da atividade autonômica (143). Existem componentes da VFC que representam atividade parassimpática que podem ser analisados de forma estacionária através dos domínios temporal e espectral; entretanto, há também componentes que apresentam uma característica não harmônica com dimensão fractal que indica o estado funcional dos centros autonômicos (parassimpático e simpático). No presente

estudo, utilizaremos as variáveis RMSSD (raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos RR adjacentes) do domínio temporal, que reflete atividade parassimpática de forma estacionária; entretanto, para compreensão integrada da fisiologia, precisamos do conhecimento acerca da dinâmica dos sistemas fisiológicos, assim, baseado na ‘teoria do caos’(146) , utilizaremos também a variável de análise de flutuação de tendência (DFA α 1) da VFC que reflete o estado fisiológico geral funcional autonômico (147). Esta variável corresponde à uma modificação da análise de raiz quadrada da média e mostrou baixa dependência da FC além de ser adequada para análise de fenômenos não estacionários de séries temporais e aplicada na avaliação de risco cardiovascular e prognóstico de mortalidade em análises clínicas (148–150) com valores de DFA α 1 que diferem de 1 associados a maior morbidade ou pior prognóstico (151).

Este breve resumo das alterações que acompanham o exercício permitem uma maior compreensão dos eventos cardíacos na **recuperação**. Ao cessar o exercício, a FC diminui rapidamente sendo a reativação parassimpática o principal mecanismo responsável. Uma diminuição tardia da frequência cardíaca após o exercício é um poderoso preditor de mortalidade geral independente de isquemia miocárdica ou alterações na frequência cardíaca durante o exercício. Apesar da falta de critérios padronizados, uma diminuição da frequência cardíaca inferior a 12 batimentos por minuto no 1º minuto após a interrupção do exercício é considerado anormal (35,87,152). Além da reativação parassimpática, ocorre uma redução lenta da estimulação simpática visto depuração lenta das catecolaminas circulantes e estimulação reflexa dos metaborreceptores (153). Em suma, a diminuição rápida da FC que ocorre prontamente quando o exercício cessa é inteiramente devido ao aumento da atividade vagal e a subsequente diminuição exponencial lenta da FC resulta da soma do efeito vagal inibitório crescente e de uma ação simpatoadrenal excitatória que diminui gradualmente (154). Este padrão também pode ser observado na análise da VFC durante a recuperação.

Uma vez que compreendemos o funcionamento autonômico cardíaco, vale a observação acerca dos efeitos dos diferentes tipos e intensidade de exercícios no controle autonômico cardíaco, assim como realizamos nas alterações metabólicas. Ao analisar a resposta aguda da FC após exercício de forma comparativa entre exercício de força versus *endurance*, observou-se que maiores elevações na frequência cardíaca após exercício de força podem estar relacionadas ao menor tônus parassimpático cardíaco (155). Já de Paula et al (156) investigaram o efeito agudo do treinamento de *endurance* e de força em indivíduos com disfunção autonômica cardíaca e observaram que os dois tipos de exercício parecem provocar alterações

na VFC e na sensibilidade barorreflexa com redução da modulação vagal, aumento no equilíbrio simpátovagal e recuperação retardada da sensibilidade barorreflexa durante a recuperação. Dessa forma, pode-se inferir que a resposta aguda ao exercício pode ser dependente do tipo ou intensidade do exercício.

Ao analisarmos respostas crônicas, um estudo que investigou o efeito o treinamento de *endurance* submáximo na VFC após 14 semanas observou controle simpático ligeiramente reduzido no repouso entretanto o controle vagal da FC permaneceu inalterado no repouso (157). No tocante à análise de reativação, Duarte et al investigaram o efeito do treinamento de *endurance* na reativação vagal após 12 semanas de treinamento aeróbico de baixa intensidade e observaram melhora na reativação vagal após teste máximo em esteira (49). Já na análise do efeito crônico do treinamento em atletas de alto nível de levantamento de peso observou-se diferença em relação à resposta geralmente encontrada em atletas de *endurance* mostrando uma mudança progressiva em direção à predominância parassimpática conforme a carga de treinamento se aproximava do máximo. Assim, os autores reforçaram que as adaptações do SNA ao treinamento em atletas de alto nível parecem ser específicas do esporte e dose individual (54). Mais uma vez, os achados encontrados em nossa revisão sistemática publicada em 2019 (45) se tornam mais robustos de forma a enfatizar que o padrão fisiológico de resposta pode ser dependente do tipo e intensidade de exercício.

2.4 *Functional Fitness Training* (FFT)

Uma vez observado que diferentes tipos de exercícios podem provocar respostas diversas do ponto de vista cardiometabólico e autonômico, faz-se necessária investigação detalhada das respostas relacionadas à diferentes formas de treinamento físico. O *Functional Fitness Training* (FFT) é uma tendência emergente que enfatiza variações diárias de movimentos funcionais multiarticulares, incluindo exercício aeróbico (ciclismo, remo e corrida por exemplo) e de força (agachamento, supino, levantamento terra e exercícios com peso corporal por exemplo) realizados em alta intensidade (55,62,158,159). Em outras palavras, o FFT é caracterizado por uma variedade de movimentos, atividades (ginástica, força, levantamento de peso, aeróbico) e sistemas de fornecimento de energia (ATP-CP, glicolítico e oxidativo)(57) e é um tipo de treinamento baseado nos princípios do treinamento concorrente com finalidade de melhorar tanto a aptidão cardiovascular e desempenho como parâmetros de força muscular. Ele pode ser adequado para população com nível de condicionamento diverso

e parece provocar redução de gordura corporal e controle de glicose (158,159). A caracterização do FFT foi bem detalhada em revisão recente que descreve o formato ou estrutura do treino, tipos ou classificação dos exercícios que compõem os treinos e variabilidade de estímulos visando preparação física de forma não linear (71).

O benefício de **saúde** relacionado ao exercício em alta intensidade já foi descrito na literatura anteriormente (160) e foi demonstrado que a participação em exercícios realizados em alta intensidade promove maiores benefícios à saúde cardiovascular quando comparados aos exercícios em baixa intensidade (161,162). De fato, a intensidade do exercício foi estabelecida como o aspecto mais importante da prescrição de exercícios aeróbicos para redução do risco cardiovascular e mortalidade por todas as causas (163). No FFT, o uso de métricas cardiometabólicas parecem resumir melhor a intensidade do treino e observamos que os indicadores fisiológicos mais utilizados nos estudos são a concentração de lactato, a frequência cardíaca, o consumo de oxigênio e a percepção do esforço (71).

Com destaque para o impacto na saúde pública, Feito et al (158) em 2018 salientaram a importância do desenvolvimento de pesquisas voltadas para análise de programas como o FFT, assim, ao considerar o foco em exercícios funcionais bem como o crescente interesse do público por esse tipo de treinamento (55), seguiremos os parágrafos abaixo de forma elucidativa a respeito dos achados na literatura científica frente ao FFT.

De acordo com levantamento bibliográfico realizado pela autora da presente pesquisa, poucos estudos abordam o aspecto de saúde cardiovascular relacionados ao FFT sendo a maioria deles relacionados à lesão osteomuscular e respostas agudas ao exercício com análise do desempenho. No tocante ao aspecto de saúde, encontramos uma revisão sistemática (62) publicada em 2018 que analisou 32 estudos com desfechos relativos à composição corporal, lesão músculo esquelética, aspectos de saúde bem como comportamento psicossocial e poucos foram os estudos com alto nível de evidência destacando que a prática de FFT estava associada com senso de comunidade, satisfação e motivação apesar do potencial alto risco de lesão musculoesquelética. A título de curiosidade, o risco de lesão foi inclusive alvo de estudo da revisão realizada por Serafim et al (64) que afirma que a incidência de lesão relacionada ao FFT é de 4,2/1000h e prevalência de 52,5%; semelhante a outras modalidades esportivas.

No tocante aos efeitos fisiológicos, foi observado que o FFT provoca benefício cardiovascular por aumento de angiogênese, vasodilatação e aumento de disponibilidade de oxigênio para as células além de aumento de força muscular pelo aumento de cálcio intracelular facilitando síntese proteica (164). Os autores desse estudo ainda (164) sugerem que pesquisas

são necessárias para maior entendimento dos mecanismos envolvidos na saúde cardiovascular desse tipo de treinamento.

A literatura suporta que os programas de FFT visam desenvolver os mesmos benefícios induzidos pelos programas de treinamento tradicionais (58). Ao pesquisarmos respostas agudas e crônicas ao FFT encontramos estudos que afirmam que o FFT pode induzir fadiga além do nível elevado de esforço com alto estresse metabólico e cardiovascular (57,65–67) embora sem prejuízo do desempenho (70). Entretanto, ao analisar somente respostas agudas relacionadas ao FFT também foram observadas contribuição substancial de componentes aeróbicos e anaeróbicos (165). Ao analisar 13 homens e mulheres com síndrome metabólica após uma única sessão de FFT (166) foram observados aumento de gasto energético, com aproximadamente 5% atribuído à produção anaeróbica, além de aumento de consumo de oxigênio próximo ao segundo limiar ventilatório indicando esforço com aumento no acúmulo de lactato; assim, pode-se dizer que o FFT promove alterações fisiológicas esperadas durante a realização de exercício físico com FC média de 90% da FC máxima e VO_2 de aproximadamente 55-65% do VO_2 máximo (165). Este acúmulo de lactato também foi observado em estudos recentes em análise de respostas agudas à realização de FFT (167–169). O efeito imediato do FFT também foi analisado com parâmetros fisiológicos, cognitivos e funcionais com destaque para efeitos positivos na performance cognitiva (170). Aqui, chamo atenção para o crescente desenvolvimento de estudos que associam FFT e performance cognitiva com resultado controverso imediatamente após exercício (165,170–172).

Já ao observar respostas crônicas, dois estudos diferentes (59,60) compararam as diferenças fisiológicas entre homens que praticavam as modalidades de FFT, *endurance* e treinamento de força e observaram que os praticantes de FFT apresentavam capacidade aeróbica semelhante ao grupo *endurance* e potência e força semelhante ao grupo do treinamento de força muito embora o estudo de Faelli et al (173) tenha encontrado resultado diferente. Resultado análogo ao primeiro estudo foi observado no estudo de Moghaddam et al (61) cuja adaptação aeróbica e anaeróbica foi semelhante com menor “tempo de treino” na comparação entre duas configurações de treinamento em alta intensidade. Já Sheykhloovand et al (174) avaliou 24 homens praticantes de canoagem e demonstrou melhora em parâmetros fisiológicos como volume sistólico máximo e consumo máximo de oxigênio, estrutura cardíaca e adaptações hemodinâmicas após realização de treino semelhante ao FFT por 8 semanas. Assim, os resultados observados nestes estudos reforçam a importância da realização do presente estudo no sentido de investigar o comportamento de variáveis fisiológicas durante e após o exercício.

No tocante à análise de saúde cardiovascular de adultos associado ao FFT nós encontramos um estudo ainda em fase de finalização que avaliará os efeitos do FFT nos fatores de risco cardiometabólico em homens e mulheres com síndrome metabólica (63) mas ainda sem resultados publicados até o momento; e uma revisão sistemática mostrando efeito positivo de exercício multimodal na saúde cardiovascular de idosos (53). Entretanto, se considerarmos o aspecto de alta intensidade, observa-se que o treinamento intervalado de alta intensidade pode atuar na saúde física e mental. Uma metanálise (175) sugere que o treinamento intervalado de alta intensidade melhora a aptidão cardiorrespiratória, medidas antropométricas, glicemia e controle glicêmico, complacência arterial e função vascular, função cardíaca, frequência cardíaca, alguns marcadores inflamatórios, capacidade de exercício e massa muscular, quando comparado à indivíduos controles não ativos. Além disso, observamos estudos que comprovam redução de risco cardiovascular associados à realização do treinamento em alta intensidade (176,177).

Já ao pesquisarmos a **recuperação** após FFT, dois estudos observaram presença de marcadores de dano muscular nas primeiras 24 horas após exercício (68,69). Neto et al (68) analisaram 8 homens após realização de um treino específico de Crossfit® e observaram aumento na concentração de creatina quinase (marcador de dano muscular) nas primeiras 24h após o treino com retorno ao nível basal nas 48 horas após exercício. Entretanto, não encontramos estudos com vertente voltada para análise de risco cardiovascular durante a recuperação.

A respeito da função autonômica cardíaca no FFT também encontramos poucos estudos (178,179). Um estudo de caso publicado em 2019 (178) analisou diariamente a carga interna e o marcador de variabilidade de frequência cardíaca RMSSD, ao longo de 38 semanas e observou maior risco de lesão por *overuse* quando baixos valores do marcador parassimpático RMSSD semanal eram notados. Além disso, estudo recente (179) também utilizou a análise de VFC, dentre as variáveis estavam DFA e RMSSD, para análise de carga interna de treinamento em dois dias de competição e observaram prejuízo no sistema nervoso autônomo ao final de cada dia de competição. Ainda neste aspecto, 4 estudos que analisam a resposta da VFC ao FFT observaram que a VFC após o exercício pode retornar para a linha de base entre 45-60min após cessar o exercício (180–182) embora outro estudo refira necessitar de maior tempo (179). No melhor do nosso conhecimento, o único estudo com vertente para análise de marcador de risco cardiovascular que analisou a função autonômica cardíaca em diferentes domínios da VFC de atletas recreacionais de Crossfit® foi realizado no mestrado da autora do presente estudo (72).

A análise comparativa com atletas de *endurance* em repouso e na recuperação após esforço máximo mostrou aumento da atividade vagal no repouso em ambos os grupos além do comportamento autonômico durante a recuperação suspeito para maior atividade simpática na fase tardia da recuperação para o grupo do Crossfit®(73).

Desse modo, uma vez explanados estudos relativos ao FFT com possíveis lacunas e exiguidade de pesquisas, seguiremos com os objetivos do presente estudo e justificativa.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

Descrever em homens praticantes de *Fitness Functional Training* (FFT)

3.1.1. A função autonômica cardíaca, baseada na variabilidade da frequência cardíaca no repouso em supino e ortostático; durante as diferentes fases do teste cardiopulmonar máximo, baseados nos limites ventilatórios e durante os 5 minutos imediatamente após o teste cardiopulmonar máximo;

3.1.2. A cinética de consumo de oxigênio, produção de dióxido de carbono e resposta cronotrópica no início do esforço, durante as diferentes fases do teste cardiopulmonar máximo baseados nos limiares ventilatórios e durante os 5 minutos imediatamente após o teste cardiopulmonar máximo

3.2 Objetivos secundários

3.2.1. Correlacionar à variabilidade da frequência cardíaca nas posições supina e ortostática com a variabilidade da frequência cardíaca durante as diferentes fases do esforço incremental máximo baseado nos limiares ventilatórios e durante os 5 minutos de recuperação imediatamente após o esforço incremental máximo;

3.2.2. Correlacionar à variabilidade da frequência cardíaca nas posições supina e ortostática com a cinética do consumo de oxigênio, da produção do dióxido de carbono durante as diferentes fases do esforço incremental máximo baseado nos limiares ventilatórios e durante os 5 min de recuperação imediatamente após o esforço incremental máximo.

3.2.3. Correlacionar a variabilidade da frequência cardíaca durante o esforço com a cinética de consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono durante as diferentes fases do esforço incremental máximo baseado nos limiares ventilatórios e durante os 5 min de recuperação imediatamente após o esforço incremental máximo.

4. JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE DO ESTUDO

A superioridade do treinamento intervalado quando realizado em alta intensidade frente ao treinamento contínuo é defendida à aptidão cardiorrespiratória sendo inclusive encorajado o uso desta modalidade com fins de promoção e recuperação de saúde (74,75). Além disso, no melhor do nosso conhecimento, não foram encontrados estudos acerca da análise autonômica em conjunto com o comportamento cardiometabólico de atletas recreacionais de FFT durante a realização do esforço máximo com objetivo de análise clínica cardiovascular.

A hipótese é de que encontraremos resultados positivos do ponto de vista clínico-cardiológico com boa aptidão cardiorrespiratória dos atletas recreacionais analisados, eficiência ventilatória durante o exercício além de responsividade e reatividade autonômicas cardíaca.

Este conhecimento talvez possa influenciar positivamente na indicação da prática desta modalidade esportiva com fins de promoção de saúde bem como incentivar novos estudos com foco na análise clínica visando análise de fatores de risco cardiovascular.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Amostra

Trata-se de um estudo descritivo-analítico, transversal composto por voluntários do sexo masculino, clinicamente saudáveis e idade entre 20 e 40 anos. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres humanos da Faculdade de Ciência da Saúde da Universidade de Brasília, conforme parecer número 1.151.967 (Anexo 2).

Para o cálculo amostral a priori foi utilizado o software G Power 3.1.9.7. Os parâmetros incluídos para o cálculo foram test t / wilcoxon / correlação na comparação de grupos dependentes, bicaudal, com alfa 0.05, *effect size* 0.80 e *power* de 0.80 (174). Como resultado encontramos os valores de 15/15 e 7 respectivamente para o tamanho amostral. Dessa forma, a amostra foi constituída de 17 homens (n = 17), adultos, clinicamente saudáveis, praticantes recreacionais de FFT (Crossfit®). Após as explicações do procedimento experimental e a informação quanto à possibilidade de desistência em qualquer fase do estudo, os voluntários assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo 1).

O procedimento de coleta de dados foi composto por anamnese clínica e histórico de estilo de vida; coleta de dados antropométricos (massa corporal e estatura); eletrocardiograma de repouso; caracterização das variáveis funcionais e autonômicas de repouso somente como parâmetro basal; realização do teste cardiopulmonar incremental máximo (análise de variáveis cardiopulmonares e autonômicas); recuperação imediatamente após o teste cardiopulmonar incremental máximo (análise de variáveis cardiopulmonares e autonômicas).

Como critérios de inclusão e exclusão foram adotados diferentes parâmetros que estão descritos nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Critérios de inclusão

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	LIMITES
Idade	20-40 anos
Sexo	Masculino
Fumante	Não
IMC	≤ 29 kg/m ²
Treinamento físico	Crossfit® acima de 1 ano

Tabela 2: Critérios de exclusão

CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	LIMITES
Ritmo cardíaco	Não apresentar ritmo sinusal ao longo de todos os registros de ECG
Estado emocional	Alterado, de acordo com relato do voluntário

Todos os voluntários eram praticantes exclusivos de FFT e foram derivados exclusivamente da verdadeira natureza da marca CrossFit®, incluindo a academia (mapa de afiliados na página oficial do Crossfit) com aulas oficiais de CrossFit® e treinadores certificados de CrossFit® (no mínimo, curso certificado de nível 1 e graduação em Educação Física).

Os dados foram coletados nos meses de dezembro e janeiro de 2018/2019 e nenhum dos voluntários estava em fase específica de treinamento físico. Antes dos testes, os sujeitos foram orientados a descansar e interromper o treinamento físico por 48 horas (135,183). É importante ressaltar que o período de coleta foi determinante para que os atletas realizassem 48 horas de descanso visto que a adesão seria baixa se a coleta de dados fosse realizada durante fase específica de treinamento.

Em relação ao treinamento, os praticantes recreacionais de Crossfit® (classificação RX) praticavam a modalidade em um tempo médio de 3,6 anos. Durante a coleta de dados, a rotina consistia em 1 sessão diária de atividades que variavam de resistência, musculação e exercício com peso do corpo de forma intervalada e em intensidade variada, seis dias por semana, totalizando uma média de 7 horas semanais. Destacamos que o número de horas de treinamento semanal é uma peculiaridade dessa modalidade esportiva. Nenhum voluntário incluído no estudo relatou sensação de fadiga, distúrbios do sono, apatia ou inquietação nos dias anteriores à coleta de dados. Por fim, com vista na melhor caracterização clínica-cardiológica e controle amostral, um cardiologista avaliou todos os voluntários previamente às avaliações.

5.2 Desenho do estudo

Com relação ao desenho do estudo destacamos 7 fases distintas, a saber: I) análise em supino na fase de repouso; II) análise em ortostatismo na fase de repouso; III) análise inicial do exercício; IV) análise da fase leve-moderada do exercício; V) análise da fase moderada-intensa do exercício; VI) análise da fase intensa do exercício; VII) análise das fases de recuperação após esforço máximo (figura 1).

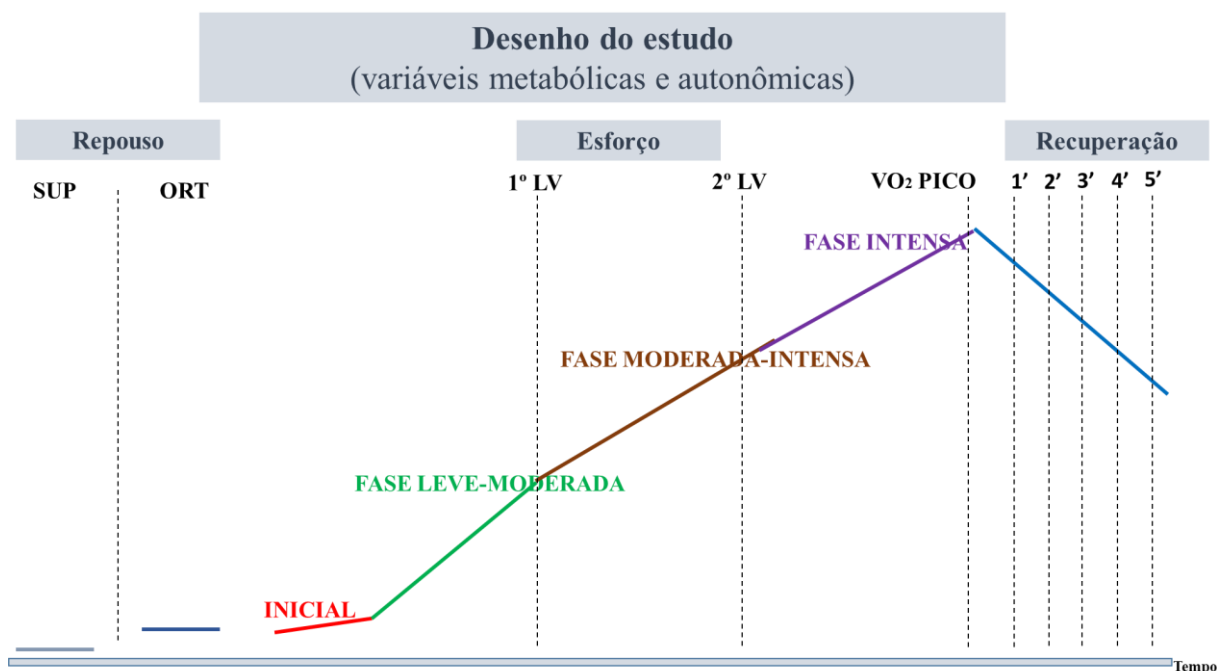


Figura 1: Esquema ilustrativo do desenho do estudo

5.3 Aspectos metodológicos gerais

A divulgação do presente estudo ocorreu por meio de redes sociais. O contato inicial foi realizado por telefone com vistas na caracterização amostral. Os possíveis voluntários responderam à anamnese constituída de questionamentos sobre dados pessoais, hábitos de vida como alimentação ou uso de estimulantes (café, chá, guaraná em pó, refrigerantes e xarope de guaraná), bem como informações sobre treinamento. Nenhum dos voluntários era tabagista ou fazia uso de anabolizantes (autorrelato).

Após contato inicial era agendada a avaliação no laboratório. Os voluntários foram orientados a não praticar exercício físico nas 48 horas que antecederam os testes (135,183) e a não fazer uso de recursos ergogênicos (café, energético, guaraná, refrigerante e xarope de guaraná) pelo mesmo período. Também foram orientados quanto ao período mínimo de sono de 6 horas na noite anterior ao teste. Para o desjejum, foram repassadas orientações quanto à ingestão de café da manhã “leve” com no mínimo 1 hora de intervalo da hora agendada. Todos os voluntários compareceram somente uma vez ao laboratório.

Os testes foram realizados no Laboratorio de Fisiologia do Exercício da Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília, em ambiente climatizado (21-24°C) sem interferência de sons ou ruídos externos. Todas as coletas foram realizadas pelo mesmo avaliador no período da manhã (entre 8:00-10:00). O procedimento de coleta de dados,

inicialmente, foi composto por uma anamnese, seguindo da coleta de medidas antropométricas, registro do eletrocardiograma de repouso, registro de variáveis autonômicas e funcionais basais em repouso, teste incremental máximo com registro simultâneo das variáveis cardiopulmonares e autonômicas durante o esforço e ao longo de todas as fases de recuperação (5 minutos) imediatamente após esforço máximo.

Sabemos que as tabelas 3, 4 e 5 deveriam estar incorporadas na seção de resultados mas, para fins de maior compreensão e didática, optamos por apresentá-las nesta seção.

As variáveis antropométricas e funcionais coletadas durante a avaliação inicial e o repouso estão descritas na tabela 3.

Tabela 3: Caracterização antropométrica e funcional dos voluntários (n=17)

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
IDADE (anos)	30,9	4,7	32,0	7,5	20,0	39,0
MASSA (Kg)	79,9	6,5	81,0	9,5	66	89
IMC (kg/m²)	25,4	1,9	26,1	3,1	21,3	28,1
PAS Sup (mmHg)	126,1	7,1	130,0	10,0	110,0	138,0
PAS Ort (mmHg)	121,3	7,6	120,0	12,5	110,0	138,0
PAD Sup (mmHg)	85,7	7,9	89,0	10,0	70,0	98,0
PAD Ort (mmHg)	80,4	8,8	80,0	12,5	65,0	98,0
FR Sup (irpm)	13,5	3,9	14,0	8,0	6,0	19,0
FR Ort (irpm)	13,9	3,6	14,0	6,0	9,0	20,0
TREINO (anos)	3,6	1,1	3,0	1,5	2,0	7,0

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartilica;IMC: índice de massa corporal; PAS: pressão arterial sistólica; PAD: pressão arterial diastólica; SUP: supino; Ort: ortostático; FR: frequência respiratória

Os voluntários também foram avaliados quanto à aptidão cardiorrespiratória e classificados, segundo a faixa etária, como ativos treinados (184). Portanto, ao considerar os valores de referência da população brasileira analisada em teste incremental máximo em esteira rolante (185), observamos que os sujeitos avaliados no presente estudo apresentam valores de consumo de oxigênio dentro dos valores de referência para população da população brasileira com idade entre 20-40 anos (tabela 4).

Tabela 4: Aptidão cardiorrespiratória de acordo com consumo de oxigênio, obtido no teste incremental máximo em esteira rolante

VOLUNTÁRIO	VO₂ PICO (ml/kg.min)	VALOR DE REFERÊNCIA
AR	46,8	45,0±7,5
AQ	50,0	45,0±7,5
BN	43,5	43,5±7,9
FO	53,0	43,5±7,9
FG	46,0	43,5±7,9
FJ	48,7	45,0±7,5
FS	50,8	43,5±7,9
FR	52,5	43,5±7,9
JR	61,6	43,5±7,9
LF	48,5	45,0±7,5
MR	51,5	43,5±7,9
PR	47,6	45,0±7,5
RG	44,8	43,5±7,9
TS	50,2	45,0±7,5
TV	56,7	43,5±7,9
TS	48,9	45,0±7,5
VR	44,2	45,0±7,5

5.4 Avaliação do eletrocardiograma de repouso

O registro de ECG de repouso foi realizado com o voluntário na posição supina, após 10 minutos de repouso em maca acolchoada. Na sequência, foi realizada a gravação dos traçados eletrocardiográficos de 12 derivações mais o traçado longo da derivação DII com velocidade de 25mm/s e calibração 1mV=1cm, por meio do eletrocardiógrafo digital (Wincardio Micromed®), com duração de 5 minutos. A interpretação clínica do eletrocardiograma foi realizada pelo Dr. Luiz Fernando Junqueira Jr, professor titular de cardiologia e clínica médica da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília-UNB, que possui vasta experiência na área.

Os traçados eletrocardiográficos mostraram ritmo sinusal em todos os indivíduos avaliados, com variantes de normalidade encontradas em atletas e indicadores de atividade

vagal como, por exemplo, a onda T apiculada e a presença de ondas U, conforme descrito na tabela 5.

Tabela 5: Características eletrocardiográficas durante repouso em posição supina.

VOLUNTÁRIO	ELETROCARDIOGRAMA
AR	Variante de normalidade, Ritmo sinusal
AQ	Ritmo sinusal, arritmia respiratória discreta, onda T apiculada (indicador de atividade vagal), bradicardia sinusal
BN	Ritmo sinusal, bradicardia sinusal, marcapasso mutável, arritmia respiratória
FO	Ritmo sinusal, bradicardia sinusal, repolarização precoce
FG	Ritmo sinusal, bradicardia sinusal, eixo verticalizado 80°, arritmia respiratória
FJ	Ritmo sinusal, eixo verticalizado 80°, onda T apiculada
FS	Ritmo sinusal, bradicardia sinusal, onda T apiculada, repolarização precoce
FR	Ritmo sinusal, onda U (hipertonía vagal)
JR	Ritmo sinusal, bradicardia sinusal, eixo verticalizado 90°, arritmia respiratória, onda T apiculada
LF	Ritmo sinusal, bradicardia sinusal, eixo verticalizado 90°, bloqueio incompleto do ramo D, variante de normalidade
MR	Ritmo sinusal, bradicardia sinusal, eixo indeterminado, repolarização precoce
PR	Ritmo sinusal, arritmia respiratória
RG	Ritmo sinusal, arritmia respiratória, onda T apiculada
TS	Ritmo sinusal, bradicardia sinusal, eixo verticalizado 90°, arritmia respiratória, retardo da condução pelo ramo D
TV	Ritmo sinusal, bradicardia sinusal, repolarização precoce, arritmia respiratória, onda T apiculada
TS	Ritmo sinusal, onda T apiculada
VR	Ritmo sinusal

5.5 Caracterização da função autonômica cardíaca

Neste estudo, a função autonômica cardíaca foi avaliada por meio do método da variabilidade da frequência cardíaca nas condições de repouso (somente para caracterização basal dos indivíduos), durante o esforço e imediatamente após o esforço na fase de recuperação. Portanto, para a gravação dos intervalos R-R e posterior análise da função autonômica cardíaca, foi utilizado o cardio-frequencímetro da marca Polar[®], modelo RS800CX, durante todas as fases da pesquisa (repouso-esforço-recuperação). A escolha para este registro se deu em razão de ser um instrumento anteriormente validado no Laboratório Cardiovascular (186) da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília como alternativa para este fim, além de sua facilidade de operação e potenciais desdobramentos de pesquisas futuras.

Após obtenção das séries individuais de intervalos R-R, os dados foram descarregados utilizando o software *Polar ProTrainer 5 for Windows* para aquisição dos iRR no formato "txt". Para o processamento digital dos dados (sinais) dos diferentes índices autonômicos da VFC utilizou-se o software *Kubios® HRV (version 2.2, Biosignal Analysis and Medical Imaging Group, Department of Physics, University of Kuopio, Kuopio, Finland)*.

O processamento e a interpretação dos dados nas diferentes condições funcionais seguiram as recomendações da Sociedade Européia de Cardiologia e a Sociedade Norte Americana de Eletrofisiologia e Marcapasso que apontam a análise da variabilidade como um método fidedigno, válido e reprodutível (187). Durante o repouso, supino e ortostático, utilizou-se gravação dos registros das séries dos intervalos R-R- conhecida como short-term (ST) (5min) da VFC. O esforço e a fase de recuperação, foi avaliada com base nas análises temporais e não lineares das gravações dos registros das séries dos intervalos R-R- conhecida como ultra-short term (UST), conforme estabelecido e validado na literatura (188,189) e descrito na tabela 6.

Portanto, no domínio do tempo, a variabilidade da frequência cardíaca (VFC), foi obtida por meio da variável RMSSD correspondente à raiz quadrada da média das diferenças sucessivas ao quadrado entre os intervalos R-R adjacentes normais do ECG que traduz a modulação exclusivamente parassimpática no nodo sinusal e não sofre influência da arritmia respiratória (190). Ainda, aplicamos a análise não linear da VFC por meio da análise de flutuação de tendência fractal com a variável DFA que quantifica as propriedades de correlação do tipo fractal dos dados do intervalo R-R (191). A flutuação quadrática média dos dados integrados e de tendência são medidos em janelas de observação de diferentes tamanhos e, em seguida, plotados em relação ao tamanho da janela em uma escala log-log. Esta análise apresenta uma variável chamada $DFA_{\alpha 1}$ que descreve flutuações de curto prazo (4-11 batimentos) (189); valores de $DFA_{\alpha 1}$ próximos a 0,5 são associados com ruído branco (sinal aleatório; não há correlação entre os valores), enquanto os valores próximos a 1,5 são associados com ruído Browniano (ilimitada e não estacionária). Valores próximos de 1,0 são característicos de processos fractal associados com o comportamento dinâmico de séries temporais gerados por sistemas complexos, como a regulação autonômica do ritmo sinusal de um sujeito saudável. A quebra da organização fractal de curto prazo na dinâmica da frequência cardíaca em humanos, derivada de DFA e expresso como redução do expoente de escala ($\alpha 1$), parece estar associada a um risco aumentado de mortalidade visto que revela uma coativação do fluxo vagal no momento de altos níveis de um transmissor de atividade simpática (noradrenalina) e pode revelar baixa atividade global da VFC (192–195). Observações destes

estudos sugerem que a medição da escala fractal expoente pode fornecer informações indiretas sobre os níveis circulantes de noradrenalina durante o período de 24 horas com redução progressiva de DFA $\alpha 1$ à infusão de droga vasoativa; além disso, sugere-se que valores mais altos de DFA $\alpha 1$ e distantes de 1,0 parecem representar diminuição parassimpática e modulação simpática aumentada no coração (195). Em outras palavras, um indivíduo saudável apresenta um DFA $\alpha 1$ com valores próximos a 1 e um sinal de degradação da saúde cardíaca é observado com o desvio do valor para 0,5 e 1,5.

As variáveis da VFC descritas acima foram coletadas e analisadas segundo protocolo estabelecido no estudo de Shaffer et al 2016 (188), tabela 6, que caracteriza o intervalo mínimo gravação dos intervalos R-R para adequada avaliação de cada variável da VCF. Dessa forma, a análise durante o esforço e ao longo da recuperação foi realizada a cada 1 minuto para a variável RMSSD e a cada 2 minutos para a variável DFA $\alpha 1$ (188,189,196) com base nos pontos descritos na figura 1.

Tabela 6: Intervalo de tempo definido para análise de variáveis da variabilidade da frequência cardíaca.

INTERVALO MÍNIMO	VARIÁVEL DA VFC
60 segundos	RMSSD
120 segundos	DFA $\alpha 1$

5.6 Teste cardiopulmonar máximo

Para o teste cardiopulmonar máximo, os voluntários recebiam orientações prévias quanto ao protocolo utilizado compreendendo tempo total de esforço entre 8-12 minutos e comunicação por sinais (devido uso de máscara) além de orientação quanto ao uso da escala subjetiva de esforço (escala de BORG).

O teste de esforço cardiopulmonar tinha como objetivo induzir estresse cardiovascular máximo para avaliação da cinética dos gases oxigênio e gás carbônico além da frequência cardíaca e do pulso de oxigênio nas fases descritas na figura 1. Ainda nestas fases, as variáveis autonômicas cardíacas (RMSSD e DFA $\alpha 1$), também foram coletadas.

O ergômetro utilizado foi uma esteira rolante (INBRASPORT – ATL), acoplada ao analisador de gases com análise metabólica de gases expirados em circuito aberto, disponível ao Laboratório de Fisiologia da Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília. Foi

utilizado um coletor de gases expirados em circuito aberto acoplado à máscara que envolvia boca e nariz do indivíduo avaliado, esta estava ligada ao analisador de gases (CORTEX-Metasoft) de calorimetria indireta. Todo o sistema estava sob controle de um microprocessador onde as informações foram repassadas, respiração a respiração, ao software para decodificação dos dados. Também foi realizado o acompanhamento cardiológico por meio do ECG contínuo (CM5) e gravação do registro da FC e dos intervalos R-R pelo Polar® RS800CX, durante todo o esforço físico e ao longo da fase de recuperação.

Após a adaptação do voluntário à máscara, era realizado o registro das variáveis em repouso, sentado por 2 minutos e, na posição ortostática por 1 minuto, conforme rotina do laboratório. Em seguida, iniciava-se o teste com velocidade média de 4,5 Km/h e inclinação fixa de 2,5%. O aumento da velocidade foi de acordo com o método de rampa (41) até atingir os critérios de interrupção do teste máximo. A razão de incremento da velocidade variou entre 1,0-1,4 km por minuto com duração entre 8-12 minutos. O teste era interrompido quando o voluntário atingia pelo menos três dos critérios a seguir: quociente respiratório (QR) $\geq 1,1$; pontuação na escala de BORG ≥ 17 (escala 6-20); manutenção da FC máxima com aumento de carga de trabalho; platô de consumo de oxigênio (VO₂) com aumento de carga de trabalho; e ocorrência de fadiga voluntária (197). Após finalização do teste, eram determinados os limiares ventilatórios e VO₂ pico conforme metodologia estabelecida previamente (41).

No presente estudo, as variáveis cardiopulmonares VO₂, VCO₂, Pulso de O₂, FC, e VE/VCO₂ foram escolhidas para análise minuciosa e foram determinados parâmetros ventilatórios inicial, primeiro limiar ventilatório (LV1), segundo limiar ventilatório (LV2) e VO₂ pico além do período de recuperação. Estes “pontos” foram analisados através da mediana dos 30 segundos anteriores a cada um destes parâmetros, exceto a fase inicial que foi calculada pela mediana dos 30 segundos posteriores deste ponto. Este protocolo é baseado em estudos encontrados na literatura que abordaram a avaliação de variáveis cardiopulmonares (41,123,198–202). Para a avaliação dos limiares ventilatórios, 2 avaliadores independentes (FG e MM) foram recrutados e, após definição dos limiares, foi realizada análise de concordância com o coeficiente de correlação intraclassa para o LV1, LV2 e VO₂ Pico com resposta de 0.78, 0.92 e 0.99 respectivamente. Foi necessária intervenção de terceiro avaliador (GM) em cinco voluntários para definição de primeiro limiar ventilatório e de um voluntário para definição do segundo limiar ventilatório. Foi realizada a média dos dois valores mais próximos e assim definido do ponto do limiar. (41,203).

Além da monitorização da dinâmica do consumo de oxigênio e produção de gás carbônico, também foram calculados e analisados parâmetros como VO_2 nos limiares ventilatórios em relação ao % do pico (relação ao total de oxigênio) e velocidade nas fases de esforço; variáveis também observadas em estudo anterior de Naylor et al em 2021 (198).

Para cálculo da FC máxima, foi utilizada fórmula de Tanaka (204) e com esta informação realizaremos a análise da reserva cronotrópica e da competência cronotrópica durante o esforço incremental. A reserva cronotrópica é caracterizada pela diferença entre a FC máxima e a FC de repouso, já a competência cronotrópica analisada pela razão entre a reserva cronotrópica e a FC máxima prevista reduzida pela FC de repouso (índice cronotrópico) (36,205–207).

5.7 Caracterização da recuperação

Imediatamente após esforço máximo, iniciava-se a fase chamada de recuperação. A fase de recuperação teve o objetivo de monitorar o grau de decremento das variáveis cardiopulmonares e dos ajustes autonômicos em direção aos valores de repouso. Portanto, durante todo este período, os participantes permaneciam na posição ortostática caminhando a uma velocidade de 2,4km/h e inclinação de 2,5%, conforme protocolo de Cole(34) durante 300 segundos (5min).

A frequência cardíaca de recuperação (FCR) foi monitorada ao longo de 5 minutos, minuto a minuto. Para obtenção do índice de FCR utilizou-se a subtração do valor da FC máxima pelo primeiro (FCR1), segundo (FCR2), terceiro (FCR3), quarto (FCR4) e quinto (FCR5) minutos, e assim caracterizando o valor absoluto de decremento do FC. Além disso, também utilizamos o valor relativo de decremento cronotrópico. As medidas utilizadas no presente estudo demonstram boa reprodutibilidade após o teste de esforço máximo e submáximo(42,43,207,209–212). Ainda neste período, as variáveis autonômicas (RMSSD e DFA α 1) e cardiometabólicas (VO_2 e FC) foram analisadas conforme desenho do estudo descrito nas seções.

5.8 Análise estatística

Para o processamento estatístico utilizamos o Microsoft Excel e Statistical Package Social Sciences (SPSS 22) e, para construção de gráfico o GraphPad Prism 6.

Para análise de normalidade dos dados foi utilizado o teste Shapiro-Wilk e 88% das variáveis foram consideradas normais; entretanto, devido tamanho da amostra ($n=17$), foi optado por utilizar testes não paramétricos neste estudo (213). Os dados descritivos das variáveis analisadas foram sintetizados em forma de tabelas e apresentados na seção de resultados nas três fases avaliadas, repouso, esforço máximo e recuperação.

As variáveis cardiopulmonares e autonômicas que apresentavam maior importância clínica, foram analisadas de forma comparativa entre fases através do teste de Wilcoxon com correção de Bonferroni (o valor de “p” pela razão do número de análises) nos casos de 2 análises com a mesma variável visto dependência entre as variáveis ($p \leq 0,025$) (214). As análises correlativas entre as fases de repouso e/ou esforço e/ou recuperação foram realizadas com uso do teste de correlação de Spearman (214).

Para cálculo de tamanho de efeito (ES) foi utilizada a razão entre o score Z e a raiz quadrada do tamanho da amostra com referência de classificação de acordo com Cohen cuja magnitude de efeito é pequena ($d=0.2-0.3$); média ($d=0.5-0.8$); e grande (d =maior que 0.8) (215,216).

As diferenças entre as comparações entre fases foram consideradas estatisticamente significativas quando às probabilidades bicaudais menores ou iguais a 5% ($p \leq 0,05$) com correção do valor de “p” conforme descrição acima.

6 RESULTADOS

Para melhor entendimento da linha de raciocínio dos achados do presente estudo, optamos por dividir os resultados em 5 blocos: a) Repouso; b) Esforço; c) Recuperação; d) Gráficos do comportamento de variáveis durante repouso, esforço e recuperação; e e) Correlações entre repouso x esforço x recuperação.

6.1 Repouso

Durante o repouso, nas posições supina e ortostática, foi observada a frequência cardíaca e os índices da VFC. Na tabela 7, podemos observar os dados descritivos do comportamento das variáveis cronotrópicas e autonômicas durante o repouso em supino e ortostático além de sua reatividade, expressa pelo delta de variação absoluto (Δ) supino-ortostático. Foi observada bradicardia no repouso em supino (mediana FC 55bpm) com redução mediana da atividade parassimpática (Δ RMSSD) de -32,2 ms após mudança postural e aumento mediano de 0,33 do grau de modulação do índice DFA α 1 após a mudança postural. Observamos também diferença estatisticamente significativa entre a FC ($p < 0,00$; ES=0,87-0,91; Po=0,90) e em ambos os índices da variabilidade da frequência cardíaca ($p < 0,00$; ES 0,82 – 0,88; Po 0,90) entre as posições supino e ortostático que poderão ser visualizados nos gráficos na seção de letra “d” do bloco de resultados.

Tabela 7: Estatística descritiva amostral (n=17) da frequência cardíaca (FC) e dos índices de VFC durante 5 minutos na posição supina e ortostática na condição de repouso.

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
FC Sup (bpm)	56,2	4,8	55,0	9,0	49,0	65,0
FC Ort (bpm)	70,4	8,7	72,0	15,0	54,0	87,0
Δ FC (bpm)	14,2	8,4	12,0	12,5	5,0	32,0
RMSSD Sup (ms)	76,2	32,9	76,2	55,3	25,0	137,8
RMSSD Ort (ms)	39,9	18,8	35,9	31,6	14,6	81,2
Δ RMSSD	-36,2	29,7	-32,3	46,3	-100,0	-1,1
DFA α 1 Sup	0,92	0,3	0,9	0,5	0,5	1,6
DFA α 1 Ort	1,3	0,2	1,4	0,4	0,9	1,6
Δ DF α 1	0,4	0,3	0,3	0,5	-0,2	1,1

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartílica; FC: frequência cardíaca; Sup: supino; Ort: ortostático

Na tabela 8 estão descritas as correlações entre os índices da VFC com a FC, ambas na condição de repouso, supino e ortostático. Observa-se correlação negativa moderada entre a retirada vagal (Δ RMSSD) com a FC na posição ortostática e com o Δ FC após a mudança postural ($\rho = -0,53 - 0,63$; $p < 0,05$); além disso, há correlação positiva moderada entre o índice da VFC DFA α 1 na posição supina com a FC em supino ($\rho = 0,53$; $p < 0,05$) e com sua variação postural ($\rho = 0,61$; $p < 0,05$).

Tabela 8: Correlação (n=17) entre os índices da VFC com a FC, ambos nas posições supina e ortostática na condição de repouso

VARIÁVEL	FC Sup ρ (p)	FC Ort ρ (p)	Δ FC ρ (p)
RMSSD Sup	-	-	-
RMSSD Ort	-	-	-
Δ RMSSD	-	-0,54 (p=0,026)	-0,64 (p=0,006)
DFA α 1 Sup	0,53 (p=0,030)	-	-
DFA α 1 Ort	-	-	-
Δ DFA α 1	-	-	0,61 (p=0,010)

FC: frequência cardíaca; Sup: supino; Ort: ortostática

Considerando que a VFC na condição de repouso e o consumo de oxigênio durante o esforço são poderosos e independentes marcadores de risco cardiovascular, verificamos a associação entre essas variáveis. Não foram observadas correlações entre os índices de VFC de repouso com o VO_2 pico no esforço ($p > 0,05$). Entretanto, destacamos a correlação positiva moderada entre o Δ de atividade vagal na variação postural (Δ RMSSD) com o VO_2 no LV2 ($\rho = 0,61$; $p < 0,01$).

6.2 Esforço

A análise dos resultados durante o esforço será apresentada por variável para facilitar a observação do comportamento de cada uma delas ao longo do teste cardiopulmonar máximo.

6.2.1 Frequência cardíaca

Ao longo do esforço incremental máximo foram realizados os registros de FC desde o período inicial do exercício até o máximo do esforço, conforme descrição na tabela 9. Os dados demonstraram que a FC registrada no primeiro limiar ventilatório atingiu 80% da FC máxima.

Já no segundo limiar ventilatório foi observado 97% da FC máxima e ao nível do VO₂ pico 98% da FC máxima.

A reserva cronotrópica, tabelas 7 (valores de repouso) e 9 (valores de esforço), apresentou valores medianos de 130 bpm com amplitude interquartílica de 12bpm ao longo do esforço.

Tabela 9: Estatística descritiva amostral (n=17) da frequência cardíaca (FC) nas condições: inicial de esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
FC Inicial (bpm)	98,9	8,2	97,0	8	82,0	115,0
FC LV1 (bpm)	145,3	12,9	146,0	15,5	110,0	167,0
FC LV2 (bpm)	172,3	8,2	176,0	16,5	156,0	185,0
FC VO₂Pico (bpm)	177,1	6,8	179,0	11,5	166,0	187,0
FC Max (bpm)	184,5	7,7	182,0	12	169,0	195,0
RC (bpm)	128,3	8,1	130,0	12	114,0	141,0

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartílica; FC: frequência cardíaca; Max: máxima; RC: reserva cronotrópica

Com relação às análises de associação, não observamos correlações significativas entre o comportamento da FC durante o esforço com os índices da VFC no repouso, supino e ortostático ou ao longo de todo o esforço. Entretanto, verificamos correlação negativa entre a FC inicial com o índice DFA α 1 registrado no VO₂ pico ($\rho = - 0,543$; $p = 0,024$) indicando, possivelmente, que uma maior FC no início do exercício pode estar associada a um menor valor de DFA α 1 no esforço máximo, ou vice-versa.

6.2.2 Consumo de Oxigênio (VO₂)

Observamos aumento progressivo e linear do consumo de oxigênio ao longo de todo o esforço. O consumo de oxigênio no primeiro limiar ventilatório foi de aproximadamente 72% do VO₂ pico (tabela 10) na velocidade média de 9 km/h (tabela 11) e no segundo limiar ventilatório foi atingido a 97% do VO₂ pico a uma velocidade média de 13 km/h. No VO₂ pico observamos uma velocidade média de 14 km/h com duração média de 573 segundos do teste de esforço.

O gráfico 2 mostra as análises comparativas entre as fases analisadas do consumo de oxigênio.

Tabela 10: Estatística descritiva amostral (n=17) do consumo de oxigênio (VO₂) nas condições: inicial de esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
VO ₂ Inicial (mL/Kg.min)	15,1	1,9	15,1	1,6	11,3	19,3
VO ₂ LV1 (mL/Kg.min)	36,1	5,4	35,5	8,8	25,9	46,5
VO ₂ LV2 (mL/Kg.min)	47,6	3,5	46,9	4,8	43,2	56,1
VO ₂ Pico (mL/Kg.min)	49,7	4,4	48,9	5,6	43,5	61,6
%VO ₂ LV1	72,8	9,6	72,2	16,4	53,2	89,3
%VO ₂ LV2	96,0	3,6	97,2	4,8	88,8	99,8

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartílica

Ao analisar as correlações do VO₂ pico com variáveis autonômicas, foi observada correlação negativa moderada entre o delta de VO₂ (inicial-máximo) durante o esforço e a atividade vagal no segundo limiar ventilatório, RMSSD LV2 ($\rho = -0,57$; $p = 0,02$).

6.2.3 Velocidade

A título de conhecimento, optamos por incorporar uma seção sobre velocidade, mesmo que o escopo do presente estudo seja clínico e não *performance*. Na tabela 11 pode-se observar a variação da velocidade durante o teste de esforço máximo com um delta mediano de 10,1 km/h entre a velocidade inicial e final. O delta de velocidade entre o início e o primeiro limiar ventilatório foi de 4,2 km/h; entre o início e o segundo limiar foi de 8,6 km/h; e entre o início e a velocidade do VO₂ pico foi de 9,5 km/h.

Tabela 11: Estatística descritiva amostral (n=17) da velocidade nas condições: inicial de esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
Velocidade Inicial	4,75	0,36	4,75	0,58	4,20	5,25
Velocidade LV1	9,04	1,03	8,95	1,53	7,10	11,00
Velocidade LV2	13,16	0,82	13,40	1,28	11,60	14,60
Velocidade VO₂ Pico	14,22	0,73	14,30	1,18	12,55	15,30
Velocidade final	14,84	1,03	14,90	1,2	12,70	17,60

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartílica; RC: reserva cronotrópica

6.2.4. Pulso de Oxigênio

O comportamento do pulso de oxigênio durante o teste incremental máximo apresentou aumento progressivo atingindo o maior valor próximo ao final do exercício, no momento em que se atinge o VO₂ pico, conforme esperado (mediana 23,25 ml/b).

Tabela 12: Estatística descritiva amostral (n=17) do pulso de oxigênio nas condições: inicial de esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
Pulso O₂ Inicial (ml/b)	12,21	2,33	12,25	3,4	8,40	16,90
Pulso O₂ LV1 (ml/b)	20,01	3,42	19,70	6,13	13,10	26,30
Pulso O₂ LV2 (ml/b)	22,55	3,86	21,00	4,18	17,90	31,70
Pulso O₂ VO₂ Pico (ml/b)	22,64	3,10	23,25	4,68	18,25	29,80

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartílica;

Com relação as análises de associação podemos verificar correlação negativa moderada a forte entre pulso de oxigênio durante o exercício e a FC max. Para o Pulso de O₂ inicial x FC max ($\rho = - 0,78$; $p = 0,00$); para Pulso de O₂ no LV1 x FC max ($\rho = - 0,71$; $p = 0,00$); para Pulso de O₂ LV2 x FC max ($\rho = - 0,61$; $p = 0,01$); e para Pulso de O₂ no VO₂ pico x FC max ($\rho = - 0,52$; $p = 0,03$).

Ao analisar as correlações entre pulso de oxigênio e os índices da VFC durante o esforço, verificamos correlação moderada positiva entre Pulso de O₂ no LV1 com o índice DFA α 1 no VO₂ pico ($\rho = 0,53$; $p = 0,03$).

6.2.5. Eficiência Ventilatória - Equivalente Ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO₂)

A análise da tabela 13 mostra que os valores de VE/VCO₂ estão em valor mediano de 28,1 durante o esforço máximo com amplitude interquartílica 4,4.

Tabela 13: Estatística descritiva amostral (n=17) do equivalente ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO₂) nas condições: inicial de esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
VE/VCO₂ inicial	26,7	2,5	26,1	4,5	23,0	31,1
VE/VCO₂ LV1	25,1	2,0	25,2	2,7	21,8	28,6
VE/VCO₂ LV2	27,5	3,4	27,9	3,4	20,3	34,9
VE/VCO₂ VO₂ Pico	28,6	3,2	28,1	4,4	24,4	36,9

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartílica

A variável VE/VCO₂ no LV2 apresentou correlação moderada positiva ($\rho = 0,64$; $p = 0,00$) com a atividade parassimpática (RMSSD) no mesmo ponto de análise do esforço. Este mesmo marcador parassimpático se correlacionou positivamente com o VE/VCO₂ inicial e VE/VCO₂ no LV1 ($\rho = 0,52$; $p = 0,03$ e $\rho = 0,52$; $p = 0,03$ respectivamente). Além disso, a variável parassimpática (RMSSD inicial) se correlacionou positivamente com VE/VO₂ no LV1 ($\rho = 0,51$; $p = 0,04$).

6.2.6. Variabilidade da FC no esforço

Na tabela 14 pode-se observar o padrão de comportamento dos índices da VFC (RMSSD e DFA α 1) ao longo do exercício incremental máximo. Foi observada progressiva redução da atividade parassimpática (-38,7%) e redução do índice DFA α 1 (-30,8%) do início ao final do esforço.

Tabela 14: Estatística descritiva amostral (n=17) dos índices da VFC (RMSSD e DFA α 1) nas condições: inicial de esforço, nos limiares ventilatórios 1 e 2, no consumo de oxigênio pico e no máximo do esforço durante o teste incremental cardiopulmonar

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
RMSSD inicial (ms)	10,9	5,4	10,1	4,4	4,3	28,5
RMSSD LV1 (ms)	4,7	2,7	3,4	1,9	2,5	12,3
RMSSD LV2 (ms)	3,7	1,0	3,6	1,3	2,4	5,9
RMSSD VO₂ Pico (ms)	4,2	1,0	4,1	2	2,5	6,2
DFA α 1 Inicial	1,2	0,2	1,2	0,3	0,5	1,6
DFA α 1 LV1	0,9	0,4	0,9	0,6	0,4	1,9
DFA α 1 LV2	0,4	0,1	0,4	0,2	0,1	0,6
DFA α 1 VO₂ Pico	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1	0,6

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartílica

6.3 Recuperação

A análise dos resultados durante a recuperação será apresentada em 3 blocos tendo em vista o maior aprofundamento e análise das variáveis selecionadas.

6.3.1. Frequência cardíaca de recuperação

Durante a fase de recuperação observamos que a FC apresentou redução ao longo dos 5 minutos com maior queda no primeiro minuto (23 bpm) e menor queda do 4º para o 5º minuto (1 bpm). A análise do padrão de queda pode ser melhor observada nas variáveis FCR absoluta e relativa a cada minuto da recuperação na tabela 15.

Tabela 15: Estatística descritiva amostral (n=17) do comportamento da FC durante a fase de recuperação após o teste incremental cardiopulmonar máximo

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
FCR 1 (bpm)	158,8	11,6	160,0	19,5	134,0	175,0
FCR 2 (bpm)	136,1	12,9	136,0	23,5	116,0	157,0
FCR 3 (bpm)	123,2	12,0	120,0	23	103,0	141,0
FCR 4 (bpm)	116,8	10,8	114,0	18	97,0	138,0
FCR 5 (bpm)	115,2	10,9	113,0	15	96,0	135,0
FCR Abs1 (bpm)	-25,7	7,4	-23,0	15,5	-38,0	-16,0
FCR Abs 2 (bpm)	-48,4	9,9	-49,0	11	-66,0	-24,0
FCR Abs 3 (bpm)	-61,3	9,6	-61,0	14,5	-85,0	-43,0
FCR Abs 4 (bpm)	-67,7	8,6	-66,0	12,5	-85,0	-52,0
FCR Abs 5 (bpm)	-69,3	9,3	-69,0	14,5	-85,0	-48,0
FCR Rel 1 (bpm)	-13,9	4,1	-13,4	9,3	-20,7	-8,8
FCR Rel 2 (bpm)	-26,3	5,5	-26,9	8,2	-34,1	-13,2
FCR Rel 3 (bpm)	-33,3	5,2	-33,5	8,4	-43,6	-23,7
FCR Rel 4 (bpm)	-36,7	4,7	-36,9	7,3	-43,6	-28,1
FCR Rel 5 (bpm)	-37,6	5,0	-38,0	7,5	-44,5	-26,5

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartílica; FCR: frequência cardíaca de recuperação; Abs: absoluta; Rel: relativa

Ao analisarmos as correlações, observamos que a variável RMSSD no VO₂ pico apresentou correlação positiva com a FCR absoluta e relativa no 1º minuto, $\rho = 0,55$; $p = 0,02$ e $\rho = 0,58$; $p = 0,01$, respectivamente. Já o DFA α 1 no VO₂ pico também apresentou correlação significativa, embora negativa com a FCR relativa no 1º minuto, $\rho = -0,51$; $p = 0,04$.

6.3.2. Variabilidade da frequência cardíaca

Durante a recuperação, observa-se o padrão de reativação vagal com aumento do marcador RMSSD de 4,7 no 1º minuto para 5,68 no 5º minuto. Além disso, a variável DFA α 1 também apresenta tendência ao retorno aos valores de repouso, com valor já próximo a 1 no 4º minuto de recuperação (tabela 16).

Tabela 16: Estatística descritiva amostral (n=17) dos índices da variabilidade da frequência cardíaca (RMSSD e DFA α 1) durante a fase de recuperação após o teste incremental cardiopulmonar máximo

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
RMSSD Rec1 (ms)	4,98	1,65	4,70	1,53	2,46	10,13
RMSSD Rec2 (ms)	5,75	2,42	5,35	4,59	2,57	10,00
RMSSD Rec3 (ms)	6,13	2,99	5,29	5,12	2,73	12,19
RMSSD Rec4 (ms)	8,04	6,55	6,19	5,1	2,93	26,06
RMSSD Rec5 (ms)	7,82	6,16	5,68	5,96	2,84	29,13
DFA α 1 Rec 2	0,50	0,19	0,45	0,33	0,23	0,85
DFA α 1 Rec 4	0,83	0,34	0,73	0,66	0,32	1,33

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartílica; RC: reserva cronotrópica

À análise de correlação, a variável RMSSD no 5º minuto apresentou correlação negativa significativa com a FCR absoluta e relativa no mesmo seguimento de análise ($\rho = - 0,56$; $p = 0,02$ e $\rho = - 0,54$; $p = 0,02$).

6.3.3. Consumo de oxigênio (VO₂)

Na tabela 17 observamos a progressiva redução do consumo de oxigênio ao longo da recuperação com queda de aproximadamente 20,7 mL/Kg.min entre o 1º e 5º minutos. No 5º minuto, observamos um valor semelhante ao valor de consumo de oxigênio inicial (15,1 mL/kg.min).

Tabela 17: Estatística descritiva amostral (n=17) do consumo de oxigênio (VO₂) durante a fase de recuperação após o teste incremental cardiopulmonar máximo

VARIÁVEL	MEDIA	DP	MEDIANA	A-I	MÍNIMO	MÁXIMO
VO₂ Rec1 (mL/Kg.min)	38,95	4,13	38,22	3,4	30,19	50,32
VO₂ Rec2 (mL/Kg.min)	24,81	2,99	24,82	2,85	20,11	33,95
VO₂ Rec3 (mL/Kg.min)	20,00	2,58	19,92	3,07	15,28	27,64
VO₂ Rec4 (mL/Kg.min)	18,36	2,16	18,41	2,37	14,57	24,52
VO₂ Rec5 (mL/Kg.min)	17,62	2,09	17,55	2,36	14,49	23,74

DP: desvio padrão; A-I: amplitude interquartílica

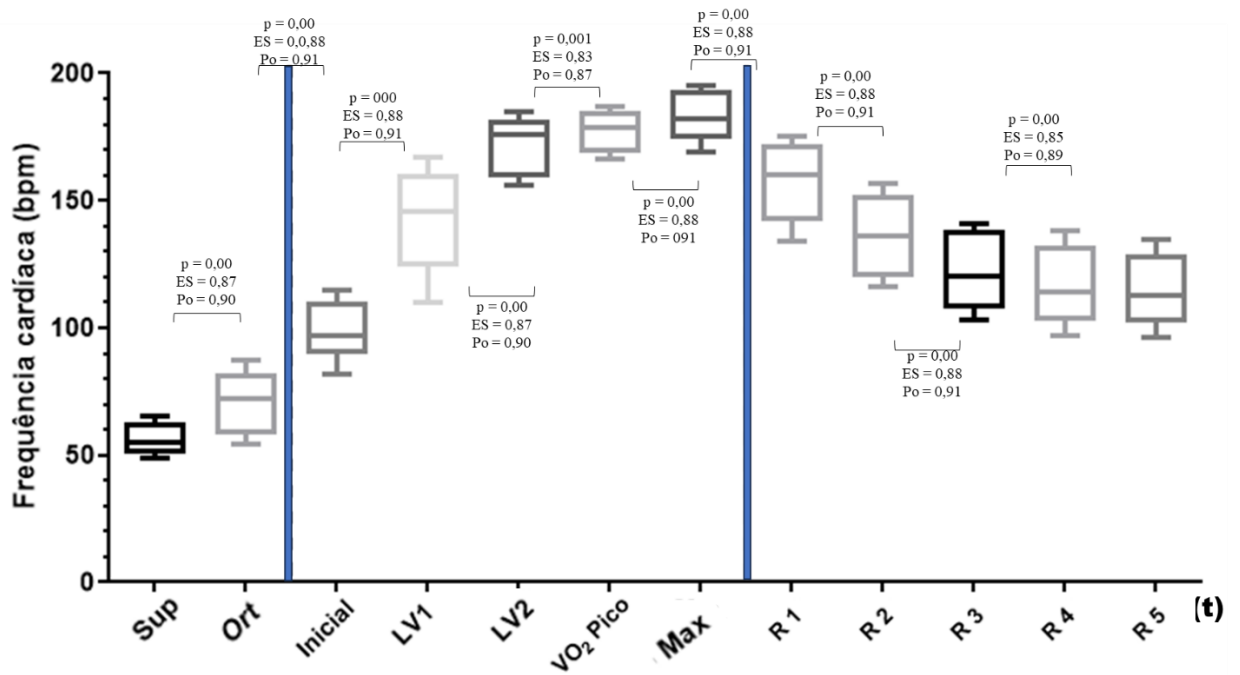
A análise de correlação mostra correlação entre o consumo de oxigênio no 2º de minuto de recuperação com a FCR no 2º minuto ($\rho = 0,54$; $p = 0,02$); FCR absoluta no 2º minuto ($\rho = 0,52$; $p = 0,03$); e DFA α 1 no 2º minuto ($\rho = - 0,658$; $p = 0,004$). Também observamos estas correlações no 3º minuto de recuperação entre o VO₂ Rec3 com a FCR no 3º minuto ($\rho = 0,50$; $p = 0,04$); VO₂ Rec3 com a FCR absoluta 3º minuto ($\rho = 0,54$; $p = 0,02$); e VO₂ Rec3 com o DFA α 1 no 3º minuto de recuperação ($\rho = - 0,56$; $p = 0,02$).

6.4 Análises comparativas do comportamento de variáveis autonômicas cardíacas e cardiopulmonares no repouso, ao longo do esforço incremental máximo e durante a recuperação imediatamente após o esforço

Nesta seção, são apresentados os gráficos com o comportamento das variáveis autonômicas cardíacas e cardiopulmonares no repouso, ao longo do esforço e da recuperação. Neste sentido, foi realizada a análise estatística comparativa durante as distintas fases ao longo do procedimento experimental. Para fins comparativos, foi utilizado o teste de Wilcoxon e considerado $p \leq 0,025$ (correção de Bonferroni), conforme já relatado na seção de procedimento estatístico.

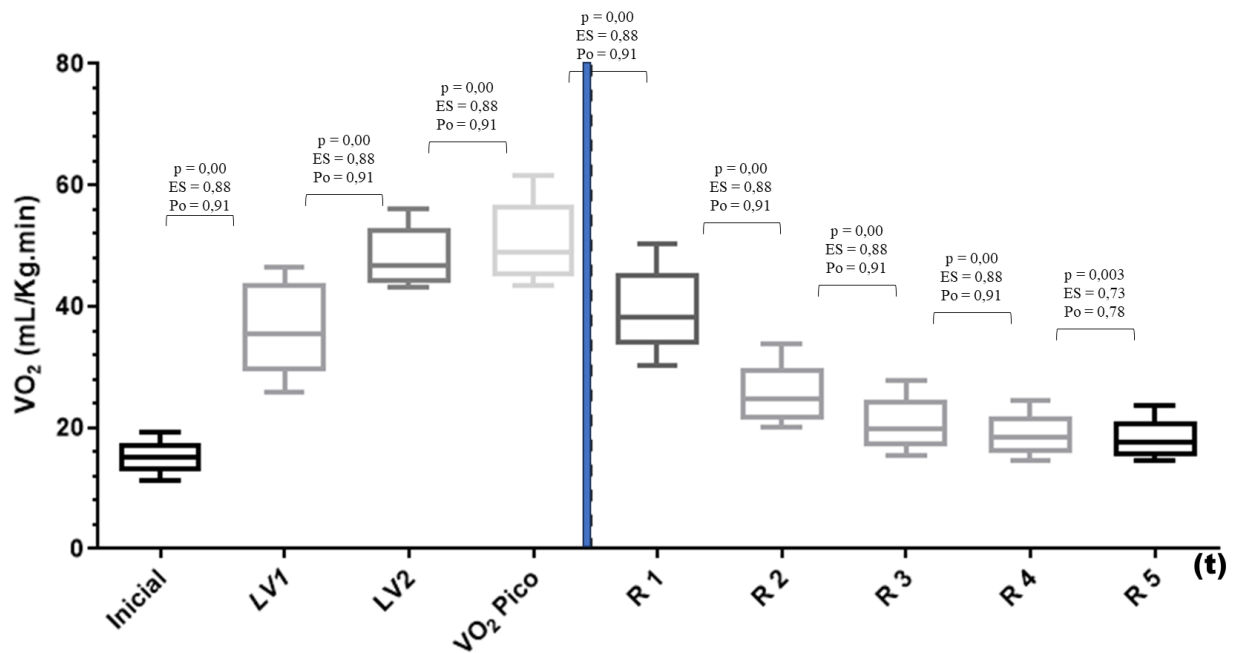
Ao observar o comportamento da FC durante o repouso e recuperação observamos diferença estatística ($p < 0,01$) entre todos os momentos analisados com tamanho de efeito grande ($ES > 0.8$) e alto poder observado ($Po > 0.8$) exceto na comparação entre a FCR no 4º e 5º minutos (gráfico 1).

Gráfico 1: Análise comparativa do comportamento da FC no repouso, ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço (n=17).



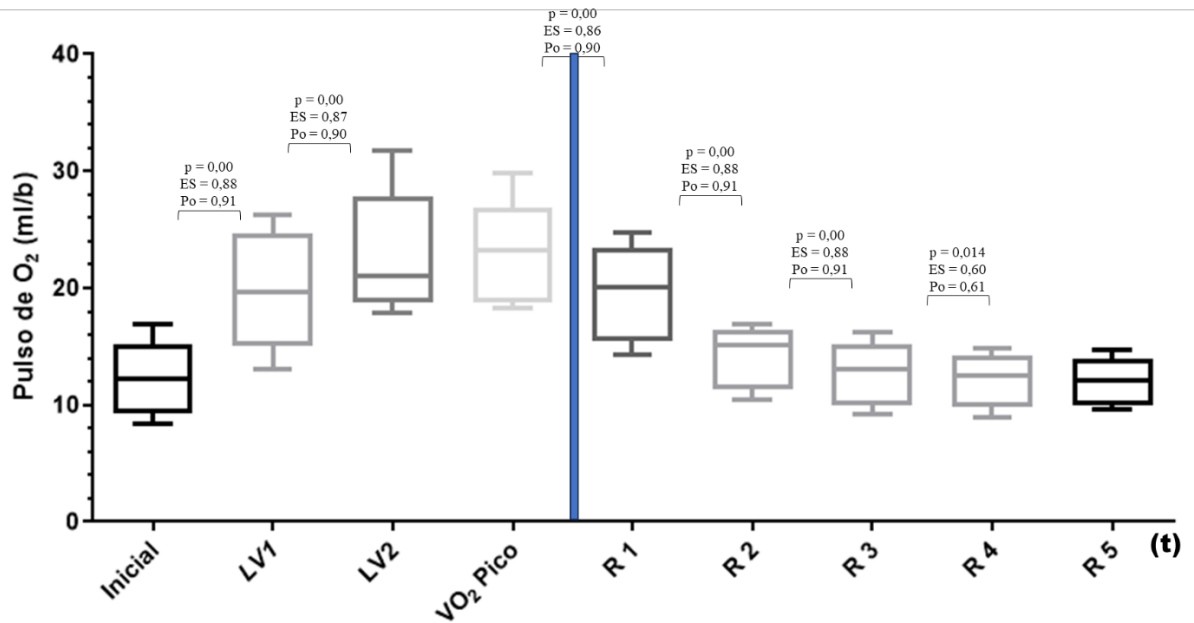
O gráfico 2 mostra o comportamento do consumo de oxigênio (VO_2) ao longo das análises (esforço e recuperação) com as suas respectivas comparações entre fases. Observamos diferença estatisticamente significativa entre todas as fases analisadas ao longo dos seguimentos do teste.

Gráfico 2: Análise comparativa do consumo de oxigênio (VO_2) ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço (n=17).



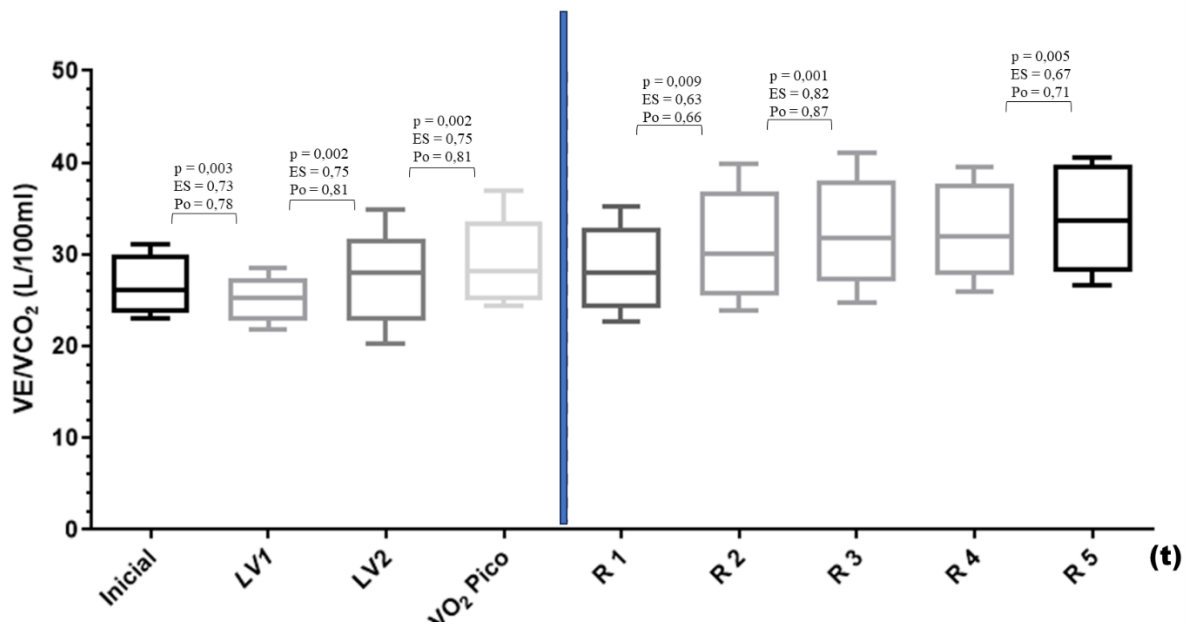
No gráfico 3 é possível observar o comportamento do pulso de oxigênio ao longo do esforço e da recuperação com diferença significativa entre as fases iniciais do esforço e recuperação com $p < 0,05$ e $ES > 0,08$ exceto na recuperação entre 3° e 4° minuto.

Gráfico 3: Análise comparativa do pulso de oxigênio ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço (n=17).



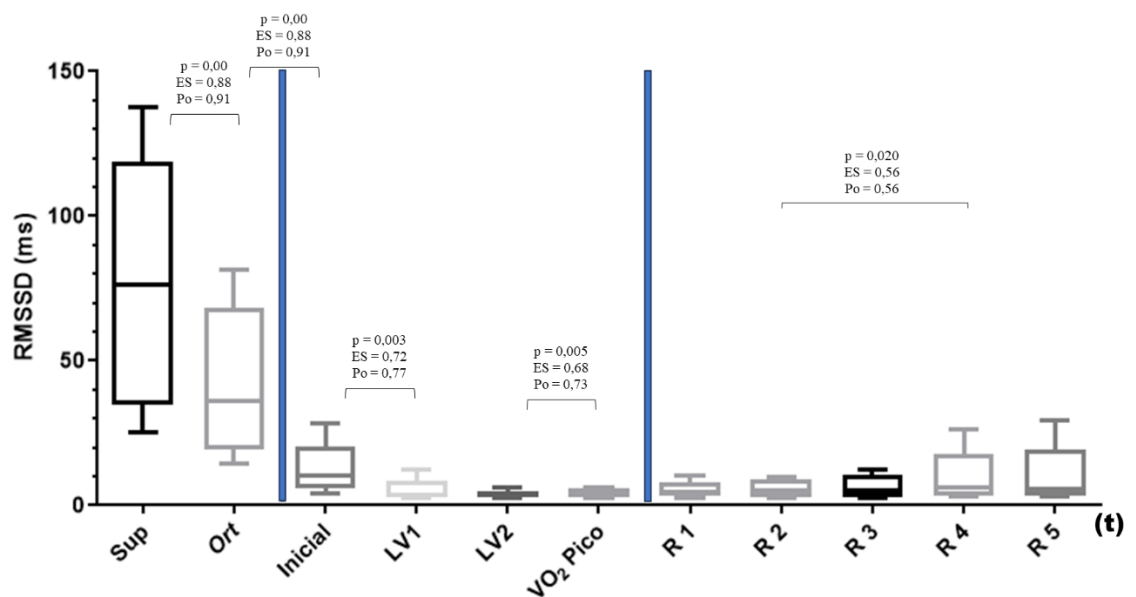
O gráfico 4 refere-se à eficiência ventilatória (VE/VCO_2) e observamos diferença entre todas as fases exceto entre o pico e 1º minuto de recuperação e entre o 3º e 4º minutos de recuperação. Os valores se mantêm estáveis, com aumento estatisticamente significativo no LV2 durante o esforço e ao longo da fase de recuperação.

Gráfico 4: Análise comparativa do equivalente ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO₂) ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço (n=17).



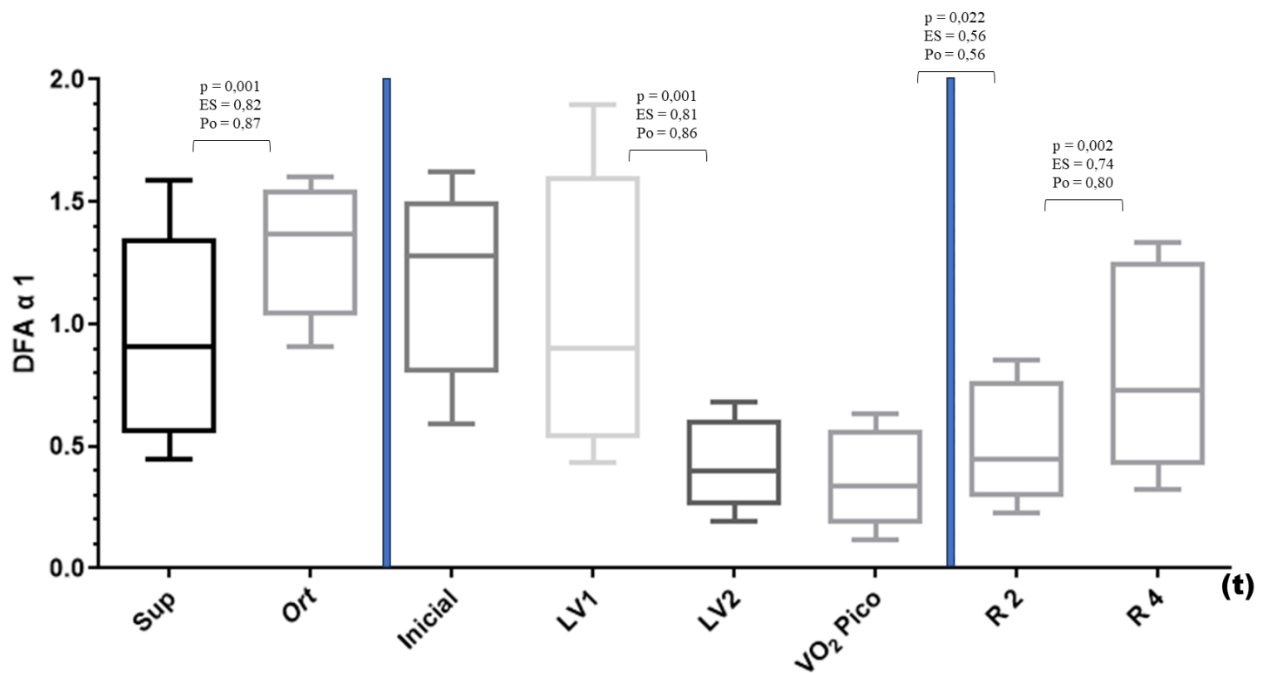
No gráfico 5 pode-se observar diferença significativa do índice parassimpático da VFC (RMSSD) entre as posições supina e ortostática e nas fases inicial e final do esforço ($p < 0,05$ e ES 0,91-0,73); sem diferença entre as fases de recuperação, exceto entre o 2º e 4º minutos de recuperação ($p = 0,02$ e ES 0,56).

Gráfico 5: Análise comparativa do comportamento da variável RMSSD no repouso, ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço (n=17).



Já no gráfico 6 o comportamento do DFA α 1 ao longo da análise, observamos diferença entre as posições supino e ortostático e entre os limiares LV1 e LV2 ($p < 0,05$ e $ES > 0,8$) no esforço. Na recuperação, observamos diferenças entre as fases analisadas ($p < 0,05$ e $ES 0,56-0,8$).

Gráfico 6: Análise comparativa do comportamento da variável DFA α 1 no repouso, ao longo do esforço incremental máximo e recuperação imediatamente após o esforço (n=17).



6.5 Análise de correlação entre os índices da variabilidade da frequência cardíaca e cardiopulmonares nas diferentes condições funcionais

6.5.1. Correlação entre os índices da variabilidade da frequência cardíaca no repouso com o consumo de oxigênio durante o esforço

Na tabela 18 observamos que a variável de consumo de oxigênio no segundo limiar ventilatório correlacionou-se negativamente com marcador de atividade vagal RMSSD em supino ($\rho = -0,67$; $p = 0,00$) e positivamente na variação supino-ortostático ($\rho = 0,61$; $p = 0,010$); além de DFA α 1 na posição supina ($\rho = 0,55$; $p = 0,02$).

Tabela 18: Correlação (n=17) entre os índices da variabilidade da frequência cardíaca, nas posições supina e ortostática na condição de repouso com o consumo de oxigênio durante o esforço

VARIÁVEL	RMSSD Sup ρ (p)	RMSSD Ort ρ (p)	Δ RMSSD ρ (p)	DFA α 1 Sup ρ (p)	DFA α 1 Ort ρ (p)	Δ DFA α 1 ρ (p)
VO ₂ LV1	-	-	-	0,59 (p= 0,01)	-	-0,59 (p= 0,01)
VO ₂ LV2	-0,67 (p= 0,00)	-	0,61 (p= 0,01)	0,55 (p= 0,02)	-	-
VO ₂ Pico	-	-	-	-	-	-

* Correlação de Spearman; Sup: supino; Ort: ortostático

6.5.2. Correlação entre o pulso de oxigênio ao longo do esforço com a frequência cardíaca de recuperação ao longo da fase de recuperação

Na tabela 19 pode-se observar que o pulso de oxigênio apresenta correlações negativas significativas com o decremento da FC ao longo da recuperação. Destacamos que principalmente o registro do pulso de oxigênio no primeiro limiar ventilatório e no VO₂ pico com ρ variando de - 0,56 a - 0,67 e p variando de 0,00 a 0,02 no LV1; e no VO₂ pico ρ variando de - 0,49 a - 0,54 e p variando de 0,02 a 0,04.

Tabela 19: Correlação (n=17) entre o pulso de oxigênio ao longo do esforço com a frequência cardíaca de recuperação ao longo da fase de recuperação

VARIÁVEL	Pulso inicial	Pulso LV1	Pulso LV2	Pulso VO ₂ Pico
FCR 1	-0,59(p=0,01)	-0,62(p=0,00)	-	-0,49(p=0,04)
FCR 2	-	-0,56(p=0,02)	-	-
FCR 3	-	-0,57(p=0,01)	-	-0,50(p=0,04)
FCR 4	-0,49(p=0,04)	-0,67(p=0,00)	-	-0,54(p=0,02)
FCR 5	-	-0,56(p=0,02)	-	-

* Correlação de Spearman; FCR: frequência cardíaca de recuperação

7 DISCUSSÃO

Este é o primeiro estudo que analisa descritivamente e correlaciona dados cardiopulmonares e autonômicos em indivíduos praticantes exclusivamente de FFT. Os resultados encontrados mostram que, no tocante à análise dos diferentes parâmetros fisiológicos indicativos de risco cardiovascular, os sujeitos avaliados apresentaram indicadores de saúde cardiovascular dentro dos valores de referência estabelecidos pela literatura nas diferentes condições funcionais (repouso-esforço-recuperação). Entretanto, quando analisados com dados encontrados na literatura de indivíduos treinados em outras modalidades esportivas, parecem apresentar respostas atenuadas principalmente durante a recuperação tardia (posterior ao 3º minuto na fase de recuperação). Os resultados serão discutidos em forma de blocos visando o melhor entendimento das diferentes análises visto que também é necessário explorar os resultados das correlações entre variáveis autonômicas e metabólicas em alguns momentos para explicação dos achados.

7.1 Repouso

A associação entre FC no repouso e mortalidade por doenças cardiovasculares foi estudada inicialmente na década de 80 (217) e comprovada em pesquisas subsequentes sendo considerado um poderoso preditor independente de risco cardiovascular e mortalidade na população em geral (218–224). A literatura indica que uma FC superior a 80 bpm aumenta significativamente o risco de complicações cardiovasculares, morbidade e mortalidade (225) e valores entre 50-80 bpm pode-se considerar normal para indivíduos ativos saudáveis excluindo-se bradicardia patológica (226). No presente estudo, observamos que a FC de repouso na posição supina apresentou mediana de 55 bpm (tabela 7) e, de acordo com literatura, seria considerada normal frente a uma análise clínica.

Nesse contexto, a ciência mostra que a FC de repouso é sustentada pelo equilíbrio autonômico com predominância de atividade vagal (125,127–129,141,227). No presente estudo observamos que a variável indicativa de atividade vagal cardíaca (RMSSD) apresentou valor mediano de 76,15 ms em supino, valor que chega a ser superior ao encontrado nos valores de referências e em outros estudos envolvendo indivíduos saudáveis e atletas de *endurance* (179,228–232). Além disso, ao analisar as correlações no repouso entre a FC e variáveis autonômicas (tabela 8), foi possível observar correlação positiva entre a variável DFA α 1 em supino e a FC em supino, indicando que a FC estaria associada ao marcador global de VFC cujo valor de 0,92 parece indicar boa saúde cardíaca, apesar da ausência de um ponto de corte

definitivo até o presente momento na literatura (151). A correlação entre VFC e FC de repouso também foi observada em outro estudo com resultado positivo e magnitude semelhante aos nossos achados, todavia em outra população (233). A presença desta correlação pode ser possivelmente relacionada às alterações elétricas e morfológicas do coração consequente ao exercício ou relativa ao aumento dos neurônios corticais responsáveis pela bradicardia (141,233,234).

Para maior entendimento da dinâmica autonômica, frente ao estresse agudo, analisamos a mudança postural de supino para ortostático; essa manobra clínica demonstra o grau de reatividade do sistema autônomo frente ao estresse agudo. Observamos um aumento de 30% da FC (72 bpm) após a mudança postural, o que corresponde ao esperado em adultos saudáveis cujo aumento, segundo a literatura, fica em torno de 30% a 35% além de positiva correlação com tônus simpático mais alto (227,235). Ainda, ao analisar a reatividade, observamos queda de 47,5% na atividade vagal RMSSD e aumento de 42,3% na atividade global da VFC (DFA α 1). Este padrão de aumento de componente DFA α 1 (valor de 1,31 em ortostatismo) e redução do marcador RMSSD ao ficar em pé também foi observado nos estudos de Tulppo et al e de Souza et al (195,236), em homens e mulheres respectivamente, que sugerem que o valor de DFA α 1 acima de 1 seria indicativo de baixa atividade parassimpática (194).

A relação da FC de repouso e valores de VFC com a capacidade aeróbica e aptidão cardiorrespiratória foram observados previamente (228) e este fenômeno também foi observado no presente estudo na análise de correlação entre o consumo de oxigênio (VO_2) e parâmetros da VFC com correlação moderada positiva entre a retirada vagal, após a mudança postural no repouso com o VO_2 no segundo limiar ventilatório. Sabe-se que o exercício regular, considerando intensidade, duração e tipo de atividade, induz a redução da FC de repouso e aumento da aptidão cardiorrespiratória favorecendo a sobrevida. Alguns estudos analisaram os efeitos crônicos do exercício físico regular sobre fatores de risco cardiovascular e FC de repouso em diferentes tipos de esportes e observaram que o exercício físico aeróbico regular reduz a FC de repouso e melhora parâmetros de saúde cardiovascular (237–242), entretanto parece não haver alteração aparente na FC de repouso para indivíduos que realizaram somente treinamento de força além de resultados conflitantes no treinamento intervalado (243–245). Vale ressaltar, que os mecanismos de bradicardia parecem estar relacionados ao tipo de esporte e treinamento (45) e assim é interessante observarmos os estudos que investigam os efeitos do FFT.

Ao pesquisarmos as alterações cronotrópicas relacionadas ao FFT, um estudo observou queda de FC de repouso após 6 semanas de realização de FFT em direção ao valor médio de 69 ± 9 bpm após intervenção(246). Ainda neste contexto, (247) outro estudo investigou variáveis fisiológicas como a FC de repouso e VO_2 após 4 semanas de FFT e também foi observada melhora destes parâmetros relacionados à saúde cardiovascular. Este mesmo benefício também foi relatado no estudo de caso publicado recentemente por Brandt et al (248) reforçando o efeito crônico positivo do FFT sobre a FC de repouso e pressão arterial além do aspecto motivacional (248). Entretanto, poucos estudos prospectivos que analisaram a VFC em praticantes de FFT foram encontrados para a presente discussão, assim, sugere-se observar que a atividade vagal pode variar ao longo da fase de treinamento (178). Destacamos que, neste poucos estudos, o efeito agudo do FFT observado foi de redução de função parassimpática imediatamente após exercício com recuperação em até 48 horas (178–182) e maior associação ao risco de lesão em caso de manutenção da redução do marcador vagal (249). No entanto, encontramos resultados controversos no tocante a outras modalidades como, por exemplo, um estudo que analisou o efeito do treinamento concorrente após 16 semanas e não observou alterações na VFC do repouso nos indivíduos avaliados apesar da tendência para efeitos positivos (250); já um estudo que analisou o efeito de circuito de treinamento de força observou melhora nos parâmetros de VFC após 12 semanas (251).

7.2 Esforço

7.2.1. Frequência cardíaca

Ao analisarmos o comportamento da FC destacamos a reserva cronotrópica e a competência cronotrópica; parâmetros que parecem estar relacionados aos indicadores de saúde cardiovascular (207,252–254). Valores de reserva cronotrópica inferiores a 89 bpm e de índice cronotrópico inferior a 80% são considerados indicativos de incompetência cronotrópica (36,205,206) e associados ao maior risco cardiovascular (207,252). No presente estudo, observamos uma reserva cronotrópica de 130 bpm e um índice cronotrópico de 97% o que parece indicar boa saúde cardiovascular de acordo com a literatura. Valor semelhante de índice cronotrópico foi encontrado em outro estudo especificamente no grupo sem histórico de doenças e considerados normais (255).

A prática de exercício físico provoca aumento da FC máxima e reserva cronotrópica crônicos mesmo em modalidades diversas (256,257). Durante sessões de FFT observam-se o aumento de FC acima de 90% e registro de FC máxima acima de 174 bpm (169,258–264) entretanto sem referência à reserva cronotrópica. Valores de aumento da FC acima de 85% da basal apresentam um bom valor prognóstico para risco cardiovascular e são considerados normais para adultos (207,265). Em nossa pesquisa, os sujeitos atingiram valores de FC máxima semelhantes aos observados nos estudos de FFT (169,258–264), caracterizando boa saúde cardiovascular dentro dos valores de normalidade.

Não foram encontrados estudos que relataram a reserva cronotrópica de praticantes de FFT durante o teste de esforço máximo em esteira ou durante outro exercício para possível comparação com o presente estudo; no entanto, encontramos 1 estudo que investigou a reserva cronotrópica em teste máximo em esteira após 16 semanas de treinamento intervalado em alta intensidade com diferentes volumes de treino e foi observado melhora da competência cronotrópica associada à prática desta modalidade (266). Recentemente, outro estudo (267) com análise de reserva cronotrópica foi realizado mas com teste em cicloergômetro e observou valores de reserva de FC $46,6 \pm 5$ bpm em adultos nigerianos, valores estes que são menores que os encontramos no presente estudo (128 ± 8 bpm) possivelmente por ser um teste realizado em cicloergômetro e não em esteira (265).

Suspeita-se que a incompetência cronotrópica estaria relacionada à liberação prejudicada de norepinefrina (207) reduzindo a resposta ao exercício. Assim, ao analisarmos as nossas variáveis, chama atenção a presença de menor valor de DFA α 1 no pico do exercício (mediana de 0,34) cuja relação com níveis de catecolaminas circulantes (195,268) poderia ser uma possível explicação para a resposta cronotrópica positiva encontrada nos indivíduos analisados no presente estudo.

7.2.2. Consumo de Oxigênio (VO_2)

A cinética do consumo de oxigênio (VO_2) reflete a saúde intrínseca e a função coordenada do sistema cardiovascular, pulmões e músculo esquelético(41,85,269). Ela pode ser avaliada em diferentes domínios de intensidade no exercício e recuperação e está intimamente ligada às propriedades musculares que refletem o grau de perturbação metabólica decorrente de mudanças nas demandas de energia e tolerância ao exercício (270,271), no entanto, no presente estudo, iremos abordar a relação entre a cinética de oxigênio e risco cardiovascular. A prática

de exercício físico está associada à menor mortalidade por todas as causas (76,79) e estudos sugerem prejuízo nas respostas cardiopulmonares e cinética de oxigênio associado à doenças (255,272,273). Uma capacidade aeróbica máxima com equivalente metabólico abaixo de 7,9 METS, parece estar associada a piores desfechos de mortalidade por todas as causas (76). Nos indivíduos analisados neste estudo, observamos uma capacidade de aproximadamente 14 METS, o que poderia corresponder a menor risco de mortalidade.

Além disso, observamos um valor médio de VO_2 pico de $49,70 \pm 4,5$ nos indivíduos praticantes recreacionais de FFT com idade média de $31 \pm 4,7$. Em 2022 foi atualizada a tabela com valores de referência para população dos EUA que mostrava valores de VO_2 pico variando entre 45.2 ± 11.8 e 40.0 ± 11.8 para homens de 20-40 anos (274). Já no estudo realizado com a população brasileira (185), os valores de referência foram 45.0 ± 7.5 e 43.5 ± 7.9 para indivíduos do sexo masculino com idade entre 20-40 anos. Ao levarmos em consideração este padrão de referência, os resultados encontrados em nosso estudo mostram-se superiores, muito embora o protocolo utilizado no teste com população brasileira seja diferente do utilizado no presente estudo, ambos em esteira. Não temos dados que mostrem a relação entre morbidade ou mortalidade e capacidade cardiorrespiratória no Brasil, mas um estudo anterior (275) mostrou que devem ser considerados “inaptos” os indivíduos que apresentarem resultados 20% abaixo dos valores de referência de VO_2 pico e “adequados” os que apresentarem valores acima de 80% do esperado. No presente estudo, todos os indivíduos apresentaram valores acima de 80% considerando os valores da população brasileira e poderiam ser considerados adequados no quesito capacidade cardiorrespiratória.

A título de curiosidade, ao analisarmos valores de referências para atletas, Petek et al (276) mostram valores de referência de VO_2 pico para a população de atletas de *endurance* (5hrs ou mais por semana de atividade aeróbica com objetivo competitivo) do sexo masculino com teste realizado em esteira, e a variação entre 65 ± 11 e $52,8 \pm 7,6$ ml/kg.min na faixa etária de 18-45 anos foi encontrada (277) valores que podemos considerar acima do encontrado no presente estudo possivelmente por se tratar de atletas recreacionais.

Além do VO_2 pico, o consumo de oxigênio no primeiro limiar ventilatório também parece estar associado ao risco cardiovascular e mortalidade por todas as causas(122). Tem sido sugerido que esta medida poderia ser um determinante de aptidão fisiológica por avaliar a capacidade de realizar atividade aeróbica sustentada e deveria ser incluída nas avaliações clínicas (278). No presente estudo encontramos um valor aproximado de 36 ml/kg.min para o VO_2 no primeiro limiar ventilatório; valor acima do encontrado em estudo anterior após

acompanhamento de 25 anos e correlação com mortalidade (24 ml/kg.min)(122). Vale ressaltar que esse valor foi encontrado numa população maior de 40 anos e com teste submáximo, assim, não poderíamos considerar o valor por si para classificar nossos atletas recreacionais.

Uma proporção normal de VO_2 no primeiro limiar ventilatório é de 45% a 65% em indivíduos não treinados e de próximo a 90% do $\text{VO}_{2\text{max}}$ em atletas altamente treinados de *endurance* (107–109,277). Em nosso estudo, o valor de 72% foi observado e acreditamos que condiz com o esperado visto ser maior que não treinados e menor que atletas tanto de *endurance* quanto de atletas profissionais, que claramente apresentam maior quantidade de fibras do tipo I e assim maior capacidade oxidativa e com conseqüente maior limiar ventilatório (46,48). Em estudo que compara atletas avançados e recreacionais de FFT, foi observado valor semelhante no tocante ao percentual no primeiro e segundo limiar ventilatório entre os grupos muito embora com valor bem abaixo do presente estudo visto que o teste foi realizado em cicloergômetro (279). No entanto, ao considerar o valor absoluto de VO_2 , observam-se valores superiores ao presente estudo visto se tratar de praticantes de FFT com nível de competição nacional ou regional (60,279).

Neste contexto, observamos que os sujeitos avaliados no presente estudo apresentaram aproximadamente 292 segundos até o primeiro limiar com tempo total de teste de aproximadamente 586 segundos. Já em relação à fase isocápnica, definida como a fase entre o primeiro e segundo limiar ventilatórios(280), indicativa de função cardiopulmonar periférica, observamos um tempo de 225 segundos entre as fases. Sabe-se que este parâmetro também é relacionado ao risco cardiovascular e um menor tempo entre estas fases está relacionado ao maior risco, apesar de não encontrarmos valores de referência para testes em esteira(281–283).

De fato, dentre os vários fatores que afetam o consumo de oxigênio, a modalidade do exercício é muito citada (108,277,278). A modalidade desempenha um grande papel no mecanismo utilizado para geração de energia necessária durante o exercício. Por exemplo, atletas de corrida de longa distância realizam grande parte do seu treinamento em intensidades que não ultrapassa a capacidade das vias aeróbicas (oxidativas); já atletas de levantamento de peso, por exemplo, permanecem mais tempo em atividades “explosivas” que dependem de vias anaeróbicas (glicolíticas + ATP-PCr) e menos tempo em esforços mais baixos (oxidativo). Assim, defende-se que o treinamento induz adaptação fisiológica compatível com estímulos e especificidade de treinamento e possivelmente afetará as respostas esperadas no testes de esforço cardiopulmonar (46,284,285).

No que se refere ao treinamento com mais de um tipo de exercício, encontramos recomendações de realizar exercício físico combinado (*endurance* e resistido) com objetivo de redução de risco cardiovascular e melhora da capacidade aeróbica (9,52,286). Pesquisamos estudos que envolvem o FFT e observamos relatos de melhora na capacidade aeróbica entretanto algumas pesquisas enfatizam uma magnitude modesta para algumas adaptações ou redução desta capacidade (174,287–289). Recentemente dois estudos compararam homens saudáveis das modalidades FFT, *endurance* e treinamento de força e observou que o grupo FFT apresentava capacidade aeróbica semelhante ao grupo *endurance* (59,60). Como citamos anteriormente, o grupo de indivíduos analisados no presente estudo apresentou valor inferior de capacidade aeróbica quando comparado à estudos de atletas de *endurance*.

Por fim, na seção de resultados, também analisamos a associação entre variáveis metabólicas e autonômicas e encontramos correlação negativa moderada entre o delta de VO_2 durante o esforço e a atividade vagal no segundo limiar ventilatório, RMSSD LV2 ($\rho = -0,56$; $p = 0,01$). De fato, a retirada vagal já foi observada em estudos anteriores em que a redução do marcador de atividade vagal reduz progressivamente até atingir valores acima de 50% do VO_2 pico ou 60% do limiar ventilatório (143,145) e até o momento, essa interação nunca foi estudada em praticantes de FFT. É importante reforçar que correlação não apresenta relação de causa e efeito e, portanto, não é possível supor que a retirada vagal provoca maior capacidade aeróbica muito embora estas duas características costumam acompanhar o efeito crônico do exercício.

7.2.3. Pulso de Oxigênio

O pulso de oxigênio tem se mostrado um indicador de mudanças no volume sistólico durante o exercício em indivíduos treinados e não treinados (290,291) e a análise do comportamento do pulso de oxigênio ao longo do exercício associado às trocas gasosas e outros fatores parece fornecer um parâmetro adicional de prognóstico para doença cardíaca (284,292). Este comportamento tem um perfil típico com rápida elevação durante os estágios iniciais do exercício e lenta aproximação a um perfil plano ao final do exercício (108). Assim, um achatamento ou diminuição da curva de pulso de oxigênio parece refletir a incapacidade de aumentar o volume sistólico para atender às demandas em indivíduos com isquemia miocárdica extensa (293). De fato, a estabilização da variável pulso de oxigênio após o primeiro limiar ventilatório associado ao aumento da FC tem sido apontado como um sinal patológico característico de disfunção miocárdica induzível pelo teste cardiopulmonar (38). No presente

estudo observamos aumento do pulso de O₂ durante todo o esforço com diferença significativa entre início, primeiro limiar e segundo limiar ventilatório além de padrão “plano” confirmado pela ausência de diferença significativa entre o LV2 e o pico do esforço (gráfico 3). Este padrão também foi observado em outros estudos que analisam atletas e indivíduos não treinados com padrão de aumento linear contínuo da variável pulso de oxigênio (294). Dessa forma, considerando o presente estudo, pode-se considerar a dinâmica do comportamento do pulso de oxigênio ao longo do teste cardiopulmonar incremental máximo compatível com a normalidade em atletas recreacionais de FFT.

Os valores de referência para a variável pulso de oxigênio são descritos como correspondentes a 14ml/b na intensidade de 50% do VO₂ pico, 18ml/b na intensidade de 75% do VO₂ pico e 20ml/b na intensidade de 100% do VO₂ pico (277); dessa forma, os valores observados no presente estudo estão dentro dos valores de referência. Ainda, ao considerar o valor predito, classifica-se como normal o valor de pulso acima de 80% do predito(265,284) e em nosso estudo observamos o valor de 115%. Valores semelhantes ao que encontramos no presente estudo foram observados em atletas master de *endurance* com teste cardiopulmonar normal tanto no repouso quanto no pico do esforço (295) e em atletas de Ski tanto no LV2 quanto no pico mesmo com menor faixa etária (46). Atletas de futebol, polo aquático e basquete (80) apresentaram valores de pulso de oxigênio de respectivamente 21.5 ± 2.6 , 23.8 ± 3.6 e 26.2 ± 3.7 , após teste cardiopulmonar máximo em esteira sendo observado remodelamento de ventrículo direito em atletas de futebol, o que poderia ser indicativo de que as alterações estruturais cardíacas teriam relação com a modalidade esportiva.

A categoria esportiva parece ser um fator importante na determinação da adaptação cardíaca (45,296) e, conforme observado no parágrafo acima, diferentes valores de pulso de oxigênio são encontrados em diferentes modalidades esportivas(80). Os indivíduos treinados na categoria *endurance* parecem apresentar aumento progressivo do volume sistólico por aumento do enchimento diastólico, aumento da contratilidade (hipertrofia excêntrica), maior volume sanguíneo e diminuição da pós carga; já indivíduos não treinados apresentam aumento do volume sistólico devido aumento do volume sanguíneo que ocorre naturalmente durante o esforço (294). Não encontramos estudos com análise de pulso de oxigênio em atletas avançados ou recreacionais praticantes de FFT, assim, não foi possível comparação com esta população até o momento; não obstante, estudos envolvendo treinamento intervalado (297–299) observaram que o aumento de VO₂ estaria associado ao aumento de pulso de O₂ e função cardíaca devido ao aumento da capacidade oxidativa do músculo esquelético por aumento na

atividade citrato sintase (enzima presente nas mitocôndrias)(300). Assim, adaptações centrais e periféricas estariam relacionadas ao aumento do pulso de oxigênio no exercício (277). No presente estudo, observamos correlações positivas entre pulso de O₂ e consumo de oxigênio durante o exercício, corroborando para esta hipótese.

As correlações entre pulso de oxigênio e variáveis autonômicas serão melhor discutidas na seção de variáveis autonômicas.

7.2.4. Eficiência ventilatória - Equivalente Ventilatório de Dióxido de carbono (VE/VCO₂)

Acredita-se que a eficiência ventilatória reflita a função ventrículo direito-pulmão durante o exercício (301). A inclinação da curva VE/VCO₂ é utilizada na avaliação de pacientes com insuficiência cardíaca visto implicações prognósticas(118,302), assim, observa-se que o valor de VE/VCO₂ menor que 130% do valor predito está associado a melhor sobrevida em um ano (303). No presente estudo observamos o valor de 116% do valor predito, o que pode demonstrar normalidade. Ainda neste aspecto, observa-se que é definido como normal um valor entre 25-30 e a variação de VE/VCO₂ acima de 35 e menor que 20 durante o exercício identifica maior risco cardiovascular (87,254,265,304,305) muito embora esta variação seja caracterizada como um aumento que pode ser não linear, com acentuação da inclinação após o primeiro limiar ventilatório (306). Este padrão também foi observado no presente estudo com valores abaixo de 30 durante o exercício, característico de normalidade(307). Não havia na literatura uma definição de qual parte da inclinação do VE/VCO₂ durante o exercício melhor avaliaria as populações atléticas (284) apesar da afirmação de que o menor valor da inclinação (anterior ao segundo limiar ventilatório) seria indicativo em testes submáximos(119); entretanto, recentemente, foi indicado o uso do valor inicial até o primeiro limiar ventilatório como indicativo de eficiência ventilatória em atletas(111) uma vez que o valor máximo poderia ser interpretado como anormalidade.

Segundo Petek et al (276) os valores normativos de VE/VCO₂ para atletas de *endurance* de 18-45 anos variam de 28,7 ± 5,2 a 27,4 ± 4,8; já no primeiro limiar ventilatório, este valor varia de 25,3 3,9 a 24,2 2,8. Estes valores são semelhantes aos encontrados no presente estudo, muito embora seja de conhecimento prévio que a eficiência ventilatória não é afetada pela aptidão aeróbica em indivíduos jovens e saudáveis. Além disso, observa-se que esta variável não apresenta diferença entre indivíduos atletas e ativos (277,308) ou não treinados, qualquer

que seja a fase de análise da curva de inclinação no exercício (119). Entretanto, vale ressaltar que encontramos referências que afirmam que atletas de elite podem apresentar uma resposta atenuada da relação VE/VCO_2 devido hiperventilação compensatória inadequada (117) possivelmente secundária à restrição ventilatória mecânica(119); ou uma resposta acentuada (VE/VCO_2 maior que 34) possivelmente por hiperventilação adequada (111).

Não encontramos estudos que avaliaram a eficiência ventilatória em praticantes de FFT entretanto encontramos 4 estudos que analisam esta variável no HIIT e não observaram diferenças na eficiência ventilatória após treinamento mesmo em atletas (309–311) com exceção para população com síndrome metabólica (312).

Ao analisarmos as correlações entre a variável VE/VCO_2 e variáveis autonômicas observamos correlações moderadas positivas com o RMSSD durante o exercício (inicial e LV2); assim, podemos conjecturar que esta associação pode reforçar a ideia de que o nervo vago exerce influência nos músculos respiratórios uma vez que sua aferência estimula o centro respiratório e conseqüentemente diafragma e intercostais externo promovendo maior expansão da caixa torácica e pulmão e assim maior eficiência ventilatória(313).

7.2.5. Variabilidade da frequência cardíaca

A análise autonômica relacionada ao risco cardiovascular geralmente está ligada à análise inicial da recuperação ou ao repouso, entretanto, nesta seção, analisaremos o comportamento autonômico durante o exercício. O padrão de comportamento autonômico durante o exercício é de redução do tônus vagal, geralmente no início do exercício, com aumento progressivo da atividade simpática associada a liberação de epinefrina (87,142). Este padrão foi observado no presente estudo em que a atividade parassimpática (RMSSD) reduz durante o exercício com menor valor registrado entre as fases de LV2 e VO_2 pico correspondendo a 3,66 e 4,14 ms; esse ligeiro aumento do RMSSD registrado no momento de maior intensidade foi descrito anteriormente no estudo de Michael et al(314) e pode sugerir coativação simultânea de ambos os ramos autonômicos o que levaria à uma função cardíaca mais eficiente e maior débito cardíaco(141). Além disso, observa-se que a variável DFA α 1 também apresenta menor valor nestas fases com valores de 0,40 e 0,34 o que parece ser representativo de maior atividade simpática. À medida que a carga de exercício aumenta,

observam-se aumentos paralelos no comando central nervoso e os reflexos periféricos levando ao “reset” do barorreflexo arterial, que por sua vez atua na redução da resposta parassimpática (142).

Sabe-se que valores de DFA α 1 de 0,5 estão associados à maior atividade simpática e valores acima de 1 estão associados a menor atividade parassimpática (194) durante o repouso com maior morbidade ou pior prognóstico (151); entretanto, não foram encontrados estudos com valores de referência durante a fase de exercício, embora seja descrito que o valor de DFA α 1 de 0,5 parece estar associado ao limiar anaeróbico (LV1)(315). No presente estudo, observamos que o DFA α 1 variou de 0,90 a 0,40 entre o primeiro e segundo limiar o que parece corresponder ao descrito na literatura.

A medida que a intensidade aumenta, observa-se que o DFA α 1 diminui para valores abaixo de 0,5 no nível mais alto de trabalho e este padrão também foi observado em outro estudo (315). Este é um mecanismo de autocorreção associado à falha de regulação hemodinâmica que só pode ser tolerado por curtos períodos de tempo (316), possivelmente em consequência de alterações na função do marcapasso sinoatrial sob controle do equilíbrio entre os ramos recíprocos do SNA (314).

De fato, anteriormente observou-se uma relação entre o limiar ventilatório e a atuação autonômica com retirada parassimpática quase completa abaixo do primeiro limiar ventilatório e aumento da atividade simpática, sugerindo que mudanças neste perfil devem ser investigadas devido risco de instabilidade elétrica cardíaca (143). No presente estudo, observamos que as correlações entre VO_2 e variáveis autonômicas são significativas no primeiro limiar ventilatório, o que pode ser indicativo de ausência deste risco. Além disso, em análise extra oficial, observamos que os percentis mais baixos de atividade parassimpática apresentam menor consumo de oxigênio no segundo limiar ventilatório e nos percentis maiores, maior consumo de oxigênio; assim, poderíamos conjecturar que uma maior atividade vagal nesta fase auxilia o “enchimento” cardíaco proporcionando maior volume sistólico e, conseqüentemente, pulso de oxigênio. Retomaremos este assunto na última seção desta tese.

Embora haja controvérsia, sugere-se que a modalidade do exercício pode modificar a VFC (314) muito embora a influência da modalidade seja confundida com intensidade. Ainda, faltam informações sobre o comportamento durante o exercício da VFC em condições específicas do esporte (315) e não encontramos estudos que analisaram comportamento dinâmico de variáveis autonômicas durante o exercício em praticantes de FFT; no entanto, encontramos somente um estudo durante exercício de *endurance* na esteira que sugere que o

valor de DFA α 1 de 0,75 está associado ao primeiro limiar ventilatório (317). No presente estudo o valor de 0,9 foi observado o que representa maior “equilíbrio” simpato-vagal neste momento.

7.3. Recuperação

7.3.1. Frequência cardíaca de recuperação e Variabilidade de frequência cardíaca

A análise do comportamento da FC após esforço é considerada um marcador prognóstico de risco cardiovascular e mortalidade(35). De fato, o comportamento nos 1º, 2º e 5º minutos após o exercício tem apresentado valores de corte para maior risco cardiovascular com valores menores que 12-25 bpm, 42 bpm e 50 bpm, respectivamente (42,43,152,207,209–212). Em contraste, atletas altamente treinados podem apresentar uma recuperação mais rápida com queda de 30-50 bpm no primeiro minuto após exercício extenuante(318). No presente estudo foram observados valores medianos de 23 bpm no 1º minuto, 49 bpm no 2º minuto e 69 bpm no 5º minuto; valores considerados acima dos mencionados na literatura com valor prognóstico. Assim, é possível considerar que os indivíduos analisados no presente estudo não apresentam sinais de risco cardiovascular devido ao padrão de recuperação da FC que parece dentro dos valores de normalidade entretanto ao comparar com atletas de *endurance* os valores de FCR estão bem abaixo dos encontrados na literatura (233,319).

Sabe-se que a fase inicial da recuperação da FC tem sido atribuída à reativação parassimpática (35,154,318) ou à força do tônus vagal cardíaco no final do exercício(141) e que a medida que a recuperação continua, uma fase lenta de desaceleração cardíaca é observada, provavelmente mediada pela reativação vagal progressiva e retirada simpática. Acredita-se que esses ajustes autonômicos mais lentos sejam provocados pela combinação de intensidade de depuração gradual do metabólito (redução do metaborreflexo) e redução de catecolaminas circulantes além de fatores termorreguladores(314). No presente estudo, os sujeitos avaliados apresentaram um perfil de função autonômica dentro dos valores de normalidade, assim, ao analisarmos o gráfico 5 foi possível observar uma reativação vagal ao final do esforço máximo com padrão de aumento progressivo ao longo da recuperação; ao mesmo tempo, no gráfico 6 foi observado aumento progressivo da variável DFA α 1 com tendência a valor próximo a 1 (correspondente ao “equilíbrio”) no 4º minuto de recuperação.

O padrão de recuperação da FC pode oferecer uma ferramenta eficiente para identificação de atletas com alterações adaptativas do sistema nervoso autônomo (320). Há relatos de que as adaptações autonômicas são específicas do tipo de esporte e dose de treinamento (54) e observa-se que a reativação vagal após exercício pode ser melhorada após realização de treinamento aeróbico por 12 semanas (49). De fato, ao observar o efeito agudo do exercício aeróbico e de força, verifica-se maior FC na recuperação (menor decremento da FC) após o exercício de força que estaria possivelmente relacionada à reativação vagal mais lenta (155). Outro estudo mostra que o exercício aeróbico parece provocar uma maior redução da VFC quando comparado ao exercício de força durante a recuperação possivelmente relacionado ao volume do exercício(156). Em estudo (320) que compara a FCR em atletas de elite de diferentes modalidades esportivas foi observado que os valores de FC no 1º minuto de recuperação foram semelhantes ao encontrado no presente estudo entretanto, ao observar a FCR no 3º minuto, observa-se que o valor do presente estudo está bem acima dos atletas analisados, indicando um possível “atraso” na recuperação. Este padrão também foi observado anteriormente em estudo publicado por nosso grupo de pesquisa(73) e este “atraso” nos praticantes de FFT pode estar associado à termorregulação e maior predominância catecolaminérgica durante a fase de recuperação lenta da FC.

Ainda no estudo de Durmic et al (320) chamou-se atenção para a FCR absoluta no 1º minuto na avaliação de risco em atletas de elite e possível relação com hipertrofia adaptativa do ventrículo esquerdo. Observamos que os atletas recreacionais de FFT do presente estudo apresentaram valor semelhante aos atletas de elite de *endurance*, velocistas e jogadores de esporte com bola na FCR absoluta no 1º minuto entretanto, na FCR absoluta no 3º minuto, apresentaram novamente valores inferiores. Já em comparação com atletas de *endurance*(321,322), observamos valores superiores ao encontrados no presente estudo no 1º minuto, mostrando que, mais uma vez, os indivíduos avaliados não podem ser considerados atletas de elite.

Atualmente o número de estudos que avaliam a recuperação no FFT é limitado e estes abordam concentração de lactato, cortisol, creatina quinase, ácido úrico ou capacidade de salto e (68,173,260) parece que a recuperação pode ser específica não apenas em função do exercício e das regiões corporais envolvidas mas também em termos de recuperação de fatores neuromusculares(260). No tocante ao SNA, encontramos um estudo que aborda a VFC durante a recuperação após treinamento com FFT e observa padrão semelhante nos índices derivados da VFC na fase pré, imediatamente após o exercício e 30 minutos após e atribuem este achado

ao aumento da atividade simpática pré exercício devido ansiedade e possível inibição do rebote vagal após exercício(182). Resultado semelhante foi observado ao analisar o SNA após sessões curtas e longas de FFT em que foram observados redução da atividade parassimpática (RMSSD) com aumento simultâneo do catecolaminas após exercício de alta intensidade(180). Não encontramos estudos clínicos que avaliaram a recuperação de sujeitos praticantes ou atletas de FFT após teste cardiopulmonar máximo para possível comparação com padrão observado no presente estudo, exceto pesquisa acima citada realizada por nosso grupo de estudos(73) muito embora haja evidências de que o padrão de recuperação parece semelhante ao exercício intenso aeróbico de corrida e ciclismo no tocante à biomarcadores metabólicos (323).

No tocante à correlação entre a VFC e FCR, observamos que no 5° minuto de recuperação, a FC está negativamente associada ao índice vagal RMSSD no 5° minuto, assim, parece que no 5° minuto a FC mais baixa indicaria maior atividade vagal. Este padrão é encontrado na literatura reforçando que a atividade vagal aumenta após o exercício muito embora seja mais relatado na fase inicial da recuperação. A relação com a atividade vagal pode ser explicada por possível alteração no tamanho do coração como efeito crônico do exercício devido remodelação morfológica e elétrica do coração, dessa forma, maior quantidade de sangue é bombeado com menor FC (233,234,324). Vale ressaltar que, como discutido no início desta seção, a FCR no 5° minuto também é utilizada como indicador de risco cardiovascular.

7.3.2. Consumo de oxigênio (VO_2)

Sabe-se que, em indivíduos saudáveis, o consumo de oxigênio diminui rapidamente após o exercício(325) e esta cinética está relacionada à recuperação de estoques de energia em músculos ativos (326) com recuperação prolongada após o exercício em indivíduos com insuficiência cardíaca congestiva(327) . Assim, achamos interessante abordar a dinâmica de oxigênio na recuperação após exercício máximo e observamos que poucos são os artigos que abordam este tema e, quando abordam, utilizam a variável tempo para atingir 50% do valor de consumo máximo de oxigênio. Dessa forma, abordaremos esta variável durante a discussão.

No presente estudo observamos que foi atingido 50% do VO_2 máximo ocorreu aproximadamente no 2° minuto da recuperação. O estudo de Cohen-Solal (328) observou que, após esforço máximo em bicicleta em indivíduos saudáveis correspondente ao grupo controle, o tempo de 57 ± 6 segundos foi necessário para que 50% do VO_2 máximo fosse atingido. Podemos atribuir este tempo mais precoce à modalidade de teste que foi utilizado no estudo. Já de forma mais recente, outro estudo pesquisou a cinética de oxigênio na recuperação após

esforço máximo em esteira mas envolvendo sobreviventes de COVID-19 e um grupo controle(255) e foi observado o tempo de 89 (85-103) segundos no grupo controle e prejuízo no grupo COVID-19. O resultado do presente estudo parece semelhante ao grupo controle do estudo de Longobardi et al (255), o que aparenta reposição normal dos estoques de energia nos músculos periféricos durante a recuperação.

No melhor do nosso conhecimento, não foram encontrados estudos que envolvessem a cinética de consumo de oxigênio na recuperação em atletas recreacionais ou atletas de elite de nenhuma modalidade esportiva ou FFT na literatura, o que impossibilita a comparação com esta população. Este é o primeiro estudo com esta abordagem na população de atletas recreacionais de FFT. Além disso, não abordamos o EPOC nesta população uma vez que não possuímos o valor basal de consumo de oxigênio no repouso e assim não podemos afirmar qual seria o “excesso” de consumo de oxigênio apesar de conhecermos a influência direta e inversamente proporcional entre EPOC e atividade vagal respectivos à massa envolvida no exercício(47).

Com relação às análises de correlação, não observamos correlações entre o consumo de oxigênio no 1º minuto, entretanto no 2º e 3º minutos há correlação positiva com a FCR e negativa com o DFA α 1 indicando que uma maior FCR estaria associada à maior consumo de oxigênio e que o maior consumo de oxigênio estaria possivelmente relacionado à maior predominância simpática e maior quantidade de catecolaminas circulantes, entretanto não podemos estabelecer relação de causa-efeito. Estas conjecturas talvez respondam os achados destas correlações tendo em vista a maior necessidade periférica (oxigênio para contração e recuperação muscular) durante a recuperação e assim maior atividade simpática e maior FCR.

7.4. Análise de correlação entre os índices da variabilidade da frequência cardíaca e cardiopulmonares nas diferentes condições funcionais

7.4.1. Correlação entre os índices da variabilidade da frequência cardíaca no repouso com o consumo de oxigênio durante o esforço

Uma maior aptidão cardiorrespiratória parece estar associada à maior atividade e reatividade da VFC em adultos (233,329–331) entretanto ainda há uma dissonância neste contexto uma vez que níveis crescentes de atividade física não parecem influenciar a VFC no repouso (332,333). Este resultado possivelmente está relacionado ao funcionamento já adequado do controle autonômico cardíaco independentemente da aptidão e poderiam sofrer influência de outros fatores como a sensibilidade barorreflexa e a pressão arterial por exemplo

(332–334). No presente estudo foram observadas correlações significativas entre a variável RMSSD em supino e sua variação após a mudança postural, representativa de atividade e reatividade vagal, com o VO_2 no segundo limiar ventilatório indicando que o maior consumo de oxigênio neste momento está negativamente correlacionado com menor atividade parassimpática em supino e positivamente correlacionado com maior retirada vagal na mudança postural. De fato, ao analisarmos nossos dados (tabela 14), observamos que o menor valor de RMSSD ocorre no LV2 e o valor de DFA α 1 não difere significativamente entre o LV2 e o VO_2 máximo o que poderia ser indicativo de maior atividade simpática neste momento; assim, a menor influência parassimpática parece acontecer no LV2, e esta poderia ser uma possível explicação para encontrarmos a correlação negativa e significativa entre estes fatores(319,335,336).

Este é o primeiro estudo que analisa a correlação entre a VFC no repouso e consumo de oxigênio durante o esforço em atletas recreacionais de FFT e podemos afirmar que o padrão encontrado parece ser semelhante ao encontrado na literatura para bombeiros em que uma associação entre aptidão cardiorrespiratória e VFC em repouso (incluindo índice RMSSD) foi descrita indicando maior VFC geral e modulação parassimpática entre os indivíduos com melhor aptidão cardiorrespiratória(337) muito embora a aptidão tenha sido medida por questionário. Não encontramos outros estudos semelhantes ao presente estudo que realizaram esta análise de correlação, o que confirma mais uma vez o ineditismo desta tese.

7.4.2. Correlação entre o pulso de oxigênio ao longo do esforço com a frequência cardíaca de recuperação ao longo da fase de recuperação

De acordo com nossos resultados, a correlação negativa entre as variáveis de pulso de oxigênio durante o esforço máximo e a FC de recuperação mostra que, um maior valor de pulso de oxigênio parece estar associado a um menor valor de FC na recuperação. Como discutido na seção anterior, poderíamos conjecturar que, como o exercício promove alterações cardíacas com remodelamento morfológico e elétrico, uma maior atividade vagal aconteceria de forma concomitante com uma maior quantidade de sangue no volume sistólico resultando em menor FC(234). De fato, o padrão de aumento do ventrículo esquerdo como resultado de períodos prolongados de treinamento de *Endurance* já foi comprovado anteriormente e é parcialmente devida ao crescimento de células miocárdicas induzido pelo estresse como consequência à

sobrecarga de volume (maior retorno venoso) experimentada pelo coração durante o exercício, mas também pode ser consequência de um aumento no tempo de enchimento associado a uma FC de repouso mais baixa para uma carga de trabalho induzida pelo treinamento (154,338–340).

De forma mais recente, encontramos um único estudo que envolve atletas e analisou a associação entre pulso de oxigênio e o diâmetro do ventrículo direito em atletas de elite de esportes mistos e uma correlação positiva significativa indicou que um maior pulso de oxigênio estaria associado ao maior diâmetro do ventrículo direito; além disso, foram observadas correlações negativas significativas entre o diâmetro do ventrículo direito e a FCR no 1º e 3º minutos (80). Estes resultados foram semelhantes ao presente estudo em que correlações foram encontradas no 1º, 3º e 4º minutos, conforme descrito na tabela 18.

Ressaltamos que este é o primeiro estudo que aborda o pulso de oxigênio em atletas recreacionais de FFT e analisa a relação entre esforço e recuperação, dessa forma, não é possível comparação do presente estudo com outros realizados em população semelhante.

8 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A análise do repouso, reatividade e reativação da atividade autonômica cardíaca além do comportamento cardiopulmonar podem trazer informações essenciais e complementares com indicação de boa autorregulação individual reforçando sua importância nos avanços da análise clínica e indicação da prática esportiva. A demonstração de uma associação entre parâmetros da fisiologia e o esporte não é equivalente a uma relação de causa e efeito resultante de treinamento (341) embora todos os indivíduos avaliados apresentaram sinais clínicos indicativos de boa saúde, assim, novos estudos precisam ser realizados para responder esta questão. Outrossim, sabe-se que o treinamento resistido também pode atuar na redução do risco cardiovascular (342) e influenciar cinética das variáveis analisadas no presente estudo; assim, como sabemos que os praticantes de FFT realizam alguns exercícios com peculiaridade do treinamento de força, destacamos a limitação do presente estudo em não avaliar a força muscular dos sujeitos visto que a força muscular pode influenciar pós-carga e possivelmente levam a alteração de parâmetros cardiovasculares. Além disso, acreditamos que a presença de um grupo controle sedentário e/ou de um grupo praticante de outra modalidade esportiva poderia aumentar a robustez do presente estudo. Estes resultados não podem ser extrapolados para outros grupos (mulheres ou outras modalidades esportivas), todavia é importante ressaltar os achados deste estudo podem influenciar de forma positiva o desenvolvimento de estudos experimentais e epidemiológicos com a população de praticantes de FFT.

9 CONCLUSÃO

As variáveis de frequência cardíaca e atividade autonômica no repouso; o comportamento de frequência cardíaca, consumo de oxigênio, equivalente ventilatório de dióxido de carbono e pulso de oxigênio ao longo do esforço máximo; e a frequência cardíaca e atividade autonômica na recuperação indicam normalidade no quesito risco cardiovascular. Entretanto, no tocante ao consumo de oxigênio e recuperação da frequência cardíaca, a resposta parece atenuada.

Os atletas recreacionais de FFT analisados apresentaram marcadores clínicos positivos, todavia não é possível concluir que o FFT é uma modalidade de treinamento salutar no sentido geral de exercício físico.

Este foi o primeiro estudo que analisou descritivamente e correlacionou dados cardiopulmonares e autonômicos em indivíduos praticantes exclusivamente de FFT, destacando o ineditismo desta tese.

São necessários novos estudos experimentais e prospectivos que investiguem a indicação da prática do FFT na promoção de saúde com análise clínica e avaliação de fatores de risco cardiovascular comparado a outras modalidades esportivas. Por fim, pode-se considerar a realização de estudos epidemiológicos visando a análise de marcadores metabólicos e autonômicos em praticantes da modalidade FFT com valores de referência para esta população.

10 APLICAÇÕES PRÁTICAS

O FFT parece oferecer uma opção potencial para atender às recomendações de saúde pública para resultados cardiorrespiratórios e autonômicos de maneira eficaz no grupo analisado no presente estudo. Este conhecimento pode servir de base para realização de outros estudos visando construção de valores de referência para esta população ou para possível indicação de prática de FFT.

Além disso, o uso da tecnologia vestível para monitorização remota de indivíduos com fins voltados para a saúde é uma realidade (343) e o presente estudo parece mostrar que a análise de VFC com tecnologia vestível pode estar associada aos parâmetros indicativos de saúde cardiovascular. Assim, após realização de estudos mais robustos, o uso desta tecnologia pode ser cada vez mais implementado na prática clínica e análise de população adulta.

11 REFERÊNCIAS

1. World Health Organization. The top 10 causes of death [Internet]. 09 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>. Acesso em 01 de outubro de 2022.
2. World Health Organization. Enfermedades no transmisibles [Internet]. 16 de setembro de 2022. Disponível em: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>. Acesso em 18 de outubro de 2022.
3. Claas SA, Arnett DK. The Role of Healthy Lifestyle in the Primordial Prevention of Cardiovascular Disease. *Curr Cardiol Rep*. 2016;18(6):56.
4. Schuler G, Adams V, Goto Y. Role of exercise in the prevention of cardiovascular disease: results, mechanisms, and new perspectives. *Eur Heart J*. 2013;34(24):1790–9.
5. Kohl HW, Craig CL, Lambert EV, Inoue S, Alkandari JR, Leetongin G, et al. The pandemic of physical inactivity: global action for public health. *Lancet Lond Engl*. 2012;380(9838):294–305.
6. Pesquisa Nacional de Saúde: 2019 informações sobre domicílios, acesso e utilização dos serviços de saúde: Brasil, grandes regiões e unidades da federação/IBGE, coordenação de Trabalho e Rendimento. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 85p.11.
7. Dumith SC, Hallal PC, Reis RS, Kohl HW. Worldwide prevalence of physical inactivity and its association with human development index in 76 countries. *Prev Med*. 2011;53(1–2):24–8.
8. From S, Liira H, Leppävuori J, Remes-Lyly T, Tikkanen H, Pitkälä K. Effectiveness of exercise intervention and health promotion on cardiovascular risk factors in middle-aged men: a protocol of a randomized controlled trial. *BMC Public Health*. 2013;13:125.
9. Carvalho T de, Milani M, Ferraz AS, Silveira AD da, Herdy AH, Hossri CAC, et al. Diretriz Brasileira de Reabilitação Cardiovascular – 2020. *Arq Bras Cardiol*. 2020;114(5):943–87.
10. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med*. 2020;54(24):1451–62.
11. Ministério da saúde. Guia de Atividade Física Para A População Brasileira — Português (Brasil) [Internet]. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/guias-e-manuais/2021/guia-de-atividade-fisica-para-a-populacao-brasileira.pdf/view>. Acesso em 5 de janeiro de 2023.
12. Fox K. At least five a week: Evidence on the impact of physical activity and its relationship to health – A report from the Chief Medical Officer. Senior Scientific Editor for Department of Health; 2004.
13. Prasad DS, Das BC. Physical inactivity: a cardiovascular risk factor. *Indian J Med Sci*. 2009;63(1):33–42.

14. Lavie CJ, Ozemek C, Carbone S, Katzmarzyk PT, Blair SN. Sedentary Behavior, Exercise, and Cardiovascular Health. *Circ Res.* 2019;124(5):799–815.
15. Lee DC, Pate RR, Lavie CJ, Sui X, Church TS, Blair SN. Leisure-time running reduces all-cause and cardiovascular mortality risk. *J Am Coll Cardiol.* 2014;64(5):472–81.
16. Arija V, Villalobos F, Pedret R, Vinuesa A, Jovani D, Pascual G, et al. Physical activity, cardiovascular health, quality of life and blood pressure control in hypertensive subjects: randomized clinical trial. *Health Qual Life Outcomes.* 2018;16(1):184.
17. Cabral-Santos C, Giacon TR, Campos EZ, Gerosa-Neto J, Rodrigues B, Vanderlei LCM, et al. Impact of High-intensity Intermittent and Moderate-intensity Continuous Exercise on Autonomic Modulation in Young Men. *Int J Sports Med.* 2016;37(6):431–5.
18. Alansare A, Alford K, Lee S, Church T, Jung HC. The Effects of High-Intensity Interval Training vs. Moderate-Intensity Continuous Training on Heart Rate Variability in Physically Inactive Adults. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15(7):E1508.
19. Reimers AK, Knapp G, Reimers CD. Effects of Exercise on the Resting Heart Rate: A Systematic Review and Meta-Analysis of Interventional Studies. *J Clin Med.* 2018;7(12):E503.
20. 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.
21. O'Donovan G, Stamatakis E, Stensel DJ, Hamer M. The Importance of Vigorous-Intensity Leisure-Time Physical Activity in Reducing Cardiovascular Disease Mortality Risk in the Obese. *Mayo Clin Proc.* 2018 Aug;93(8):1096-1103.
22. Nes BM, Gutvik CR, Lavie CJ, Nauman J, Wisløff U. Personalized Activity Intelligence (PAI) for Prevention of Cardiovascular Disease and Promotion of Physical Activity. *Am J Med.* 2017;130(3):328–36.
23. El Saadany T, Richard A, Wanner M, Rohrmann S. Sex-specific effects of leisure-time physical activity on cause-specific mortality in NHANES III. *Prev Med.* 2017;101:53–9.
24. Kubota Y, Iso H, Yamagishi K, Sawada N, Tsugane S, JPHC Study Group. Daily Total Physical Activity and Incident Stroke: The Japan Public Health Center-Based Prospective Study. *Stroke.* 2017;48(7):1730–6.
25. Lear SA, Hu W, Rangarajan S, Gasevic D, Leong D, Iqbal R, et al. The effect of physical activity on mortality and cardiovascular disease in 130 000 people from 17 high-income, middle-income, and low-income countries: the PURE study. *Lancet Lond Engl.* 2017;390(10113):2643–54.
26. Fishman EI, Steeves JA, Zipunnikov V, Koster A, Berrigan D, Harris TA, et al. Association between Objectively Measured Physical Activity and Mortality in NHANES. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(7):1303–11.

27. Soares-Miranda L, Siscovick DS, Psaty BM, Longstreth WT, Mozaffarian D. Physical Activity and Risk of Coronary Heart Disease and Stroke in Older Adults: The Cardiovascular Health Study. *Circulation*. 2016;133(2):147–55.
28. Bell EJ, Lutsey PL, Windham BG, Folsom AR. Physical activity and cardiovascular disease in African Americans in Atherosclerosis Risk in Communities. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(5):901–7.
29. Shortreed SM, Peeters A, Forbes AB. Estimating the effect of long-term physical activity on cardiovascular disease and mortality: evidence from the Framingham Heart Study. *Heart Br Card Soc*. 2013;99(9):649–54.
30. Gulsvik AK, Thelle DS, Samuelsen SO, Myrstad M, Mowé M, Wyller TB. Ageing, physical activity and mortality--a 42-year follow-up study. *Int J Epidemiol*. 2012;41(2):521–30.
31. Santos-Lozano A, Barrán AT, Fernández-Navarro P, Valenzuela PL, Castillo-Garcia A, Ruilope LM, et al. Association between physical activity and cardiovascular risk factors: Dose and sex matter. *J Sport Health Sci*. 2021;10(5):604–6.
32. Ekelund U, Steene-Johannessen J, Brown WJ, Fagerland MW, Owen N, Powell KE, et al. Does physical activity attenuate, or even eliminate, the detrimental association of sitting time with mortality? A harmonised meta-analysis of data from more than 1 million men and women. *Lancet Lond Engl*. 2016;388(10051):1302–10.
33. Moore SC, Patel AV, Matthews CE, Berrington de Gonzalez A, Park Y, Katki HA, Linet MS, Weiderpass E, Visvanathan K, Helzlsouer KJ, Thun M, Gapstur SM, Hartge P, Lee IM. Leisure time physical activity of moderate to vigorous intensity and mortality: a large pooled cohort analysis. *PLoS Med*. 2012;9(11):e1001335. doi: 10.1371/journal.pmed.1001335. Epub 2012 Nov 6. PMID: 23139642; PMCID: PMC3491006.
34. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med*. 1999;341(18):1351–7.
35. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med*. 1999;341(18):1351–7.
36. Jouven X, Empana JP, Schwartz PJ, Desnos M, Courbon D, Ducimetière P. Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death. *N Engl J Med*. 2005;352(19).
37. Laukkanen JA, Savonen K, Hupin D, Araújo CGS, Kunutsor SK. Cardiorespiratory optimal point during exercise testing and sudden cardiac death: A prospective cohort study. *Prog Cardiovasc Dis*. 2021;68:12–8.
38. Smith DL, Graham EL, Douglas JA, Jack K, Conner MJ, Arena R, et al. Subclinical Cardiac Dysfunction is Associated with Reduced Cardiorespiratory Fitness and Cardiometabolic Risk Factors in Firefighters. *Am J Med*. 2022;135(6):752-760.e3.

39. Wasserman K. Breathing during exercise. *N Engl J Med.* 1978;298(14):780–5.
40. Wasserman K, Whipp BJ. Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Respir Dis.* 1975;112(2):219–49.
41. Wasserman K, Hansen J, Sue E, Darryl Y, Stringer W, Whipp BJ. *Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications.* Edição: Fifth. Philadelphia, Pa.: LWW; 2011.
42. Nishime EO, Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Lauer MS. Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. *JAMA.* 2000;284(11):1392–8.
43. Cole CR, Foody JM, Blackstone EH, Lauer MS. Heart rate recovery after submaximal exercise testing as a predictor of mortality in a cardiovascularly healthy cohort. *Ann Intern Med.* 2000;132(7):552–5.
44. Tsao CW, Gona PN, Salton CJ, Chuang ML, Levy D, Manning WJ, et al. Left Ventricular Structure and Risk of Cardiovascular Events: A Framingham Heart Study Cardiac Magnetic Resonance Study. *J Am Heart Assoc.* 2015;4(9):e002188.
45. Morlin M, Cruz C, Melo P, Lopes G, Soares E, Porto L, et al. Bradicardia em atletas: a modalidade esportiva importa? - Uma revisão sistemática. *Rev Bras Med Esporte.* 2020;26(5):449–53.
46. Zimmermann P, Wüstenfeld J, Zimmermann L, Schöffl V, Schöffl I. Physiological Aspects of World Elite Competitive German Winter Sport Athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(9):5620.
47. Vianna JM, Werneck FZ, Coelho EF, Damasceno VO, Reis VM. Oxygen uptake and heart rate kinetics after different types of resistance exercise. *J Hum Kinet.* 2014;42:235–44.
48. Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol.* 2008;586(1):35–44.
49. Duarte A, Soares PP, Pescatello L, Farinatti P. Aerobic training improves vagal reactivation regardless of resting vagal control. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(6):1159–67.
50. Davidson LE, Hudson R, Kilpatrick K, Kuk JL, McMillan K, Janiszewski PM, et al. Effects of exercise modality on insulin resistance and functional limitation in older adults: a randomized controlled trial. *Arch Intern Med.* 2009;169(2):122–31.
51. Church TS, Blair SN, Cocroham S, Johannsen N, Johnson W, Kramer K, et al. Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A1c levels in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *JAMA.* 2010;304(20):2253–62.
52. Ho SS, Dhaliwal SS, Hills AP, Pal S. The effect of 12 weeks of aerobic, resistance or combination exercise training on cardiovascular risk factors in the overweight and obese in a randomized trial. *BMC Public Health.* 2012;12:704.

53. Grässler B, Thielmann B, Böckelmann I, Hökelmann A. Effects of Different Training Interventions on Heart Rate Variability and Cardiovascular Health and Risk Factors in Young and Middle-Aged Adults: A Systematic Review. *Front Physiol.* 2021;12:657274.
54. Iellamo F, Lucini D, Volterrani M, Casasco M, Salvati A, Gianfelici A, et al. Autonomic nervous system responses to strength training in top-level weight lifters. *Physiol Rep.* 2019;7(20):e14233.
55. Thompson WR. Worldwide Survey of Fitness Trends for 2023. *ACSMs Health Fit J.* 2023;27(1):9.
56. Thompson WR. Worldwide Survey Reveals Fitness Trends for 2007. *ACSMs Health Fit J.* 2006;10(6):8.
57. Dominski FH, Tibana RA, Andrade A. “Functional Fitness Training”, CrossFit, HIMT, or HIFT: What Is the Preferable Terminology? *Front Sports Act Living.* 2022;4:882195.
58. Ide BN, Silvatti AP, Marocolo M, Santos CPC, Silva BVC, Oranchuk DJ, et al. Is There Any Non-functional Training? A Conceptual Review. *Front Sports Act Living.* 2022;3:803366.
59. Green ES, Williams ER, Feito Y, Jenkins NT. Physiological and Anthropometric Differences Among Endurance, Strength, and High-Intensity Functional Training Participants: A Cross-Sectional Study. *Res Q Exerc Sport.* 2023;94(1):131–42.
60. Adami PE, Rocchi JE, Melke N, De Vito G, Bernardi M, Macaluso A. Physiological profile comparison between high intensity functional training, endurance and power athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2022;122(2):531–9.
61. Moghaddam M, Estrada CA, Muddle TWD, Magrini MA, Jenkins NDM, Jacobson BH. Similar Anaerobic and Aerobic Adaptations After 2 High-Intensity Interval Training Configurations: 10:5 s vs. 20:10 s Work-to-Rest Ratio. *J Strength Cond Res.* 2021;35(6):1685–92.
62. Claudino JG, Gabbett TJ, Bourgeois F, Souza H de S, Miranda RC, Mezêncio B, et al. CrossFit Overview: Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med - Open.* 2018;4(1):11.
63. Smith LE, Van Guilder GP, Dalleck LC, Harris NK. The effects of high-intensity functional training on cardiometabolic risk factors and exercise enjoyment in men and women with metabolic syndrome: study protocol for a randomized, 12-week, dose-response trial. *Trials.* 2022;23:182.
64. Serafim TT, de Oliveira ES, Maffulli N, Migliorini F, Okubo R. Which resistance training is safest to practice? A systematic review. *J Orthop Surg.* 2023;18(1):296.
65. Tibana RA, de Sousa NMF. Are extreme conditioning programmes effective and safe? A narrative review of high-intensity functional training methods research paradigms and findings. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2018;4(1):e000435.

66. Sharp T, Grandou C, Coutts AJ, Wallace L. The Effects of High-Intensity Multimodal Training in Apparently Healthy Populations: A Systematic Review. *Sports Med - Open*. 2022;8(1):43.
67. Tibana RA, Prestes J, DE Sousa NMF, DE Souza VC, DE Tolêdo Nobrega O, Baffi M, et al. Time-Course of Changes in Physiological, Psychological, and Performance Markers following a Functional-Fitness Competition. *Int J Exerc Sci*. 2019;12(3):904–18.
68. Sousa Neto IV de, Sousa NMF de, Neto FR, Falk Neto JH, Tibana RA. Time Course of Recovery Following CrossFit® Karen Benchmark Workout in Trained Men. *Front Physiol*. 2022;13
69. Tibana RA, de Sousa Neto IV, de Sousa NMF, Dos Santos WM, Prestes J, Neto JHF, et al. Time-course effects of functional fitness sessions performed at different intensities on the metabolic, hormonal, and BDNF responses in trained men. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2022;14(1):22.
70. Tibana RA, de Almeida LM, Frade de Sousa NM, Nascimento D da C, Neto IV de S, de Almeida JA, et al. Two Consecutive Days of Crossfit Training Affects Pro and Anti-inflammatory Cytokines and Osteoprotegerin without Impairments in Muscle Power. *Front Physiol*. 2016;7:260.
71. McDougle JM, Mangine GT, Townsend JR, Jajtner AR, Feito Y. Acute physiological outcomes of high-intensity functional training: a scoping review. *PeerJ*. 2023;11:e14493.
72. Morlin MT. Função autonômica cardíaca no repouso e na recuperação imediatamente após esforço máximo : um estudo comparativo entre atletas de Triathlon e Crossfit®. 2019. 100f. Dissertação (Mestrado em Educação Física)- Universidade de Brasília , 2019.
73. Morlin MT, da Cruz CJG, Guimarães FER, da Silva RAS, Porto LGG, Molina GE. High-Intensity Interval Training Combined with Different Types of Exercises on Cardiac Autonomic Function. An Analytical Cross-Sectional Study in CrossFit® Athletes. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;20(1):634.
74. Papathanasiou J, Dimitrova D, Dzhafer N, Kanalev K, Dionyssiotis Y, Ferreira AS, et al. Are group-based high-intensity aerobic interval training modalities the future of the cardiac rehabilitation? *Hell J Cardiol HJC Hell Kardiologike Epitheorese*. 2020;61(2):141–4.
75. Milanović Z, Sporiš G, Weston M. Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO2max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Med Auckl NZ*. 2015;45(10):1469–81.
76. Kodama S, Saito K, Tanaka S, Maki M, Yachi Y, Asumi M, et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA*. 2009;301(19):2024–35.
77. Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med*. 2002;346(11):793–801.

78. Kokkinos P, Myers J. Exercise and physical activity: clinical outcomes and applications. *Circulation*. 2010;122(16):1637–48.
79. Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS, Després JP, Franklin BA, et al. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2016;134(24):e653–99.
80. Lazic JS, Tadic M, Antic M, Radovanovic D, Nesic D, Rakocevic R, et al. The relationship between right heart and aerobic capacity in large cohort of young elite athletes. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2019;35(6):1027–36.
81. Paulauskas R, Kamarauskas P, Nekriošius R, Bigwood NM. Physical and Physiological Response to Different Modes of Repeated Sprint Exercises in Basketball Players. *J Hum Kinet*. 2020;72:91–9.
82. Zang WJ, Sun L, Yu XJ, Lv J, Chen LN, Liu BH. [Vagal control of cardiac functions and vagal protection of ischemic myocardium]. *Sheng Li Xue Bao*. 2008;60(4):443–52.
83. Mayo X, Iglesias-Soler E, Carballeira-Fernández E, Fernández-Del-Olmo M. A shorter set reduces the loss of cardiac autonomic and baroreflex control after resistance exercise. *Eur J Sport Sci*. 2016;16(8):996–1004.
84. Kiss O, Sydó N, Vargha P, Vágó H, Czibalmos C, Édes E, et al. Detailed heart rate variability analysis in athletes. *Clin Auton Res Off J Clin Auton Res Soc*. 2016;26(4):245–52.
85. Bassett Jr. DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(1):70–84.
86. Levine BD. $\dot{V}O_2$: What do we know, and what do we still need to know? *J Physiol*. 2008;586(1):25–34.
87. Opondo MA, Sarma S, Levine BD. The Cardiovascular Physiology of Sports and Exercise. *Clin Sports Med*. 2015;34(3):391–404.
88. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, Forman D, Franklin B, Guazzi M, Gulati M, Keteyian SJ, Lavie CJ, Macko R, Mancini D, Milani RV; American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Peripheral Vascular Disease; Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010 13;122(2):191-225.
89. Weiner DA. Normal hemodynamic, ventilatory, and metabolic response to exercise. *Arch Intern Med*. 1983;143(11):2173–5.
90. Zelis R, Nellis SH, Longhurst J, Lee G, Mason DT. Abnormalities in the regional circulations accompanying congestive heart failure. *Prog Cardiovasc Dis*. 1975;18(3):181–99.

91. Gastin PB. Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Med.* 2001;31(10):725–41.
92. Bangsbo J, Gollnick PD, Graham TE, Juel C, Kiens B, Mizuno M, et al. Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *J Physiol.* 1990;422:539–59.
93. Medbø JI, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1988;64(1):50–60.
94. Withers RT, Sherman WM, Clark DG, Esselbach PC, Nolan SR, Mackay MH, et al. Muscle metabolism during 30, 60 and 90 s of maximal cycling on an air-braked ergometer. *Eur J Appl Physiol.* 1991;63(5):354–62.
95. Medbø JI, Tabata I. Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1989;67(5):1881–6.
96. Dafoe W. Principles of Exercise Testing and Interpretation. *Can J Cardiol.* 2007;23(4):274.
97. Poole DC, Rossiter HB, Brooks GA, Gladden LB. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *J Physiol.* 2021;599(3):737–67.
98. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol.* 1986;60(6):2020–7.
99. Santos G. Lactato: De vilão a mocinho. *Rev Bras Nutr Func.* 2019;42:23–30.
100. Baker JS, McCormick MC, Robergs RA. Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise. *J Nutr Metab.* 2010;2010:e905612.
101. Myers J, Ashley E. Dangerous curves. A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest.* 1997;111(3):787–95.
102. Buckler KJ, Vaughan-Jones RD, Peers C, Lagadic-Gossmann D, Nye PC. Effects of extracellular pH, PCO₂ and HCO₃⁻ on intracellular pH in isolated type-I cells of the neonatal rat carotid body. *J Physiol.* 1991 Dec;444:703-21.
103. Wasserman DH, Whipp BJ. Coupling of ventilation to pulmonary gas exchange during nonsteady-state work in men. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1983 ;54(2):587-93.
104. Jamnick NA, Pettitt RW, Granata C, Pyne DB, Bishop DJ. An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity. *Sports Med.* 2020;50(10):1729–56.
105. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: How valid are they? *Sports Med.* 2009;39(6):469–90.
106. Sarma S, Levine BD. Exercise physiology for the clinician. *Em: Exercise and Sports Cardiology.* 2018. p. 23–62.

107. Sarma S, Levine BD. Beyond the Bruce Protocol: Advanced Exercise Testing for the Sports Cardiologist. *Cardiol Clin*. 2016;34(4):603–8.
108. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. Clinician’s Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults. *Circulation*. 2010;122(2):191–225.
109. Myers J, Arena R, Cahalin LP, Labate V, Guazzi M. Cardiopulmonary Exercise Testing in Heart Failure. *Curr Probl Cardiol*. 2015;40(8):322–72.
110. Martini AD, Dalleck LC, Mejuto G, Larwood T, Weatherwax RM, Ramos JS. Changes in the Second Ventilatory Threshold Following Individualised versus Standardised Exercise Prescription among Physically Inactive Adults: A Randomised Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(7):3962.
111. Petek BJ, Churchill TW, Gustus SK, Schoenike MW, Naylor M, Moulson N, et al. Characterization of ventilatory efficiency during cardiopulmonary exercise testing in healthy athletes. *Eur J Prev Cardiol*. 2023;30(5):e21–4.
112. Whipp BJ, Ward SA, Lamarra N, Davis JA, Wasserman K. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol*. 1982;52(6):1506–13.
113. Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol*. 1981;50(1):217–21.
114. Stringer W, Casaburi R, Wasserman K. Acid-base regulation during exercise and recovery in humans. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1992;72(3):954–61.
115. Caillaud C, Anselme F, Mercier J, Préfaut C. Pulmonary gas exchange and breathing pattern during and after exercise in highly trained athletes. *Eur J Appl Physiol*. 1993;67(5):431–7.
116. Gore CJ, Hahn AG, Scroop GC, Watson DB, Norton KI, Wood RJ, et al. Increased arterial desaturation in trained cyclists during maximal exercise at 580 m altitude. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1996;80(6):2204–10.
117. Johnson BD, Saupe KW, Dempsey JA. Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1992;73(3):874–86.
118. Phillips DB, Collins SÉ, Stickland MK. Measurement and Interpretation of Exercise Ventilatory Efficiency. *Front Physiol*. 2020;11:659.
119. Collins SÉ, Phillips DB, Brotto AR, Rampuri ZH, Stickland MK. Ventilatory efficiency in athletes, asthma and obesity. *Eur Respir Rev Off J Eur Respir Soc*. 2021;30(161):200206.
120. Husaini M, Emery MS. Cardiopulmonary Exercise Testing Interpretation in Athletes: What the Cardiologist Should Know. *Cardiol Clin*. 2023;41(1):71–80.
121. Gupta S, Rohatgi A, Ayers CR, Willis BL, Haskell WL, Khera A, et al. Cardiorespiratory fitness and classification of risk of cardiovascular disease mortality. *Circulation*. 2011;123(13):1377–83.

122. Kunutsor SK, Kurl S, Khan H, Zaccardi F, Laukkanen JA. Associations of cardiovascular and all-cause mortality events with oxygen uptake at ventilatory threshold. *Int J Cardiol.* 2017;236:444–50.
123. Laveneziana P, Adir Y, Palange P. The ventilatory efficiency and its clinical and prognostic value in cardiorespiratory disorders. *Eur Respir Rev.* 2021;30(159):200244.
124. Gaesser GA, Brooks GA. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16(1):29–43.
125. Thayer JF. Heart Rate Variability: A Neurovisceral Integration Model. Em: Squire LR, organizador. *Encyclopedia of Neuroscience* [Internet]. Oxford: Academic Press; 2009 p. 1041–7.
126. Autonomic Interactions in Cardiac Control - *Annals of the New York Academy of Sciences* - Wiley Online Library LEVY - 1990. Disponível em: <https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1749-6632.1990.tb37302.x>
127. Thayer JF, Lane RD. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *J Affect Disord.* 2000;61(3):201–16.
128. Smith R, Thayer JF, Khalsa SS, Lane RD. The hierarchical basis of neurovisceral integration. *Neurosci Biobehav Rev.* 2017;75:274–96.
129. Thayer JF, Ahs F, Fredrikson M, Sollers JJ, Wager TD. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neurosci Biobehav Rev.* 2012;36(2):747–56.
130. Thayer JF, Sternberg E. Beyond heart rate variability: vagal regulation of allostatic systems. *Ann N Y Acad Sci.* 2006;1088:361–72.
131. Jose AD, Collison D. The normal range and determinants of the intrinsic heart rate in man. *Cardiovasc Res.* 1970;4(2):160–7.
132. Impellizzeri FM, Marcora SM, Coutts AJ. Internal and External Training Load: 15 Years On. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019;14(2):270–3.
133. Laborde S, Mosley E, Mertgen A. Vagal Tank Theory: The Three Rs of Cardiac Vagal Control Functioning – Resting, Reactivity, and Recovery. *Front Neurosci.* 2018;12.
134. Beauchaine TP, Gatzke-Kopp L, Mead HK. Polyvagal Theory and developmental psychopathology: emotion dysregulation and conduct problems from preschool to adolescence. *Biol Psychol.* 2007;74(2):174–84.
135. Stanley J, Peake JM, Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sports Med Auckl NZ.* 2013;43(12):1259–77.
136. Nederend I, Schutte NM, Bartels M, Ten Harkel ADJ, de Geus EJC. Heritability of heart rate recovery and vagal rebound after exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116(11–12):2167–76.

137. Coote JH, Bothams VF. Cardiac vagal control before, during and after exercise. *Exp Physiol.* 2001;86(6):811–5.
138. Manser P, Thalmann M, Adcock M, Knols RH, de Bruin ED. Can Reactivity of Heart Rate Variability Be a Potential Biomarker and Monitoring Tool to Promote Healthy Aging? A Systematic Review With Meta-Analyses. *Front Physiol.* 2021;12.
139. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Seppänen T, Laukkanen RT, Huikuri HV. Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. *Am J Physiol.* 1998;274(2):H424-429.
140. Raven PB, Fadel PJ, Ogoh S. Arterial baroreflex resetting during exercise: a current perspective. *Exp Physiol.* 2006;91(1):37–49.
141. Korsak A, Kellett DO, Aziz Q, Anderson C, D’Souza A, Tinker A, et al. Immediate and sustained increases in the activity of vagal preganglionic neurons during exercise and after exercise training. *Cardiovasc Res.* 2023;cvad115.
142. White DW, Raven PB. Autonomic neural control of heart rate during dynamic exercise: revisited. *J Physiol.* 2014;592(12):2491–500.
143. Yamamoto Y, Hughson RL, Nakamura Y. Autonomic nervous system responses to exercise in relation to ventilatory threshold. *Chest.* 1992;101(5 Suppl):206S-210S.
144. Cunningham DJC, Robbins PA, Wolff CB. Integration of Respiratory Responses to Changes in Alveolar Partial Pressures of CO₂ and O₂ and in Arterial pH. Em: *Comprehensive Physiology.* John Wiley & Sons, Ltd; 2011 p. 475–528.
145. Nakamura Y, Yamamoto Y, Muraoka I. Autonomic control of heart rate during physical exercise and fractal dimension of heart rate variability. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1993;74(2):875–81.
146. Sharma V. Deterministic chaos and fractal complexity in the dynamics of cardiovascular behavior: perspectives on a new frontier. *Open Cardiovasc Med J.* 2009;3:110–23.
147. Schaffarczyk M, Rogers B, Reer R, Gronwald T. Fractal correlation properties of HRV as a noninvasive biomarker to assess the physiological status of triathletes during simulated warm-up sessions at low exercise intensity: a pilot study. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2022;14(1):203.
148. Gronwald T, Rogers B, Hoos O. Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability: A New Biomarker for Intensity Distribution in Endurance Exercise and Training Prescription? *Front Physiol.* 2020;11:550572.
149. Tapanainen JM, Thomsen PEB, Køber L, Torp-Pedersen C, Mäkikallio TH, Still AM, et al. Fractal analysis of heart rate variability and mortality after an acute myocardial infarction. *Am J Cardiol.* 2002;90(4):347–52.
150. Mäkikallio TH, Høiber S, Køber L, Torp-Pedersen C, Peng CK, Goldberger AL, et al. Fractal analysis of heart rate dynamics as a predictor of mortality in patients with

- depressed left ventricular function after acute myocardial infarction. TRACE Investigators. TRAndolapril Cardiac Evaluation. *Am J Cardiol.* 1999;83(6):836–9.
151. Sen J, McGill D. Fractal analysis of heart rate variability as a predictor of mortality: A systematic review and meta-analysis. *Chaos Woodbury N.* 2018;28(7):072101.
 152. Lauer M, Froelicher ES, Williams M, Kligfield P. Exercise testing in asymptomatic adults: A statement for professionals from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology, Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention. *Circulation.* 2005;112(5):771–6.
 153. Hart E, Dawson E, Rasmussen P, George K, Secher NH, Whyte G, et al. Beta-adrenergic receptor desensitization in man: insight into post-exercise attenuation of cardiac function. *J Physiol.* 2006;577(Pt 2):717–25.
 154. Coote JH. Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. *Exp Physiol.* 2010;95(3):431–40.
 155. Heffernan KS, Kelly EE, Collier SR, Fernhall B. Cardiac autonomic modulation during recovery from acute endurance versus resistance exercise. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil Off J Eur Soc Cardiol Work Groups Epidemiol Prev Card Rehabil Exerc Physiol.* 2006;13(1):80–6.
 156. de Paula T, Neves MF, da Silva Itaborahy A, Monteiro W, Farinatti P, Cunha FA. Acute Effect of Aerobic and Strength Exercise on Heart Rate Variability and Baroreflex Sensitivity in Men With Autonomic Dysfunction. *J Strength Cond Res.* 2019;33(10):2743–52.
 157. Martinmäki K, Häkkinen K, Mikkola J, Rusko H. Effect of low-dose endurance training on heart rate variability at rest and during an incremental maximal exercise test. *Eur J Appl Physiol.* 2008;104(3):541–8.
 158. Feito Y, Heinrich KM, Butcher SJ, Poston WSC. High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and Research Implications for Improved Fitness. *Sports Basel Switz.* 2018;6(3):76.
 159. Soriano MA, Boullosa D, Amaro-Gahete F. Editorial: Functional fitness/high intensity functional training for health and performance. *Front Physiol.* 2022;13:1024809.
 160. Ghosh AK. Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport. *Malays J Med Sci MJMS.* 2004;11(1):24–36.
 161. Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(4):665–71.
 162. Slentz CA, Aiken LB, Houmard JA, Bales CW, Johnson JL, Tanner CJ, et al. Inactivity, exercise, and visceral fat. STRRIDE: a randomized, controlled study of exercise intensity and amount. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985.* 2005;99(4):1613–8.

163. Wisløff U, Nilsen TIL, Drøyvold WB, Mørkved S, Slørdahl SA, Vatten LJ. A single weekly bout of exercise may reduce cardiovascular mortality: how little pain for cardiac gain? “The HUNT study, Norway”. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil Off J Eur Soc Cardiol Work Groups Epidemiol Prev Card Rehabil Exerc Physiol.* 2006;13(5):798–804.
164. Ben-Zeev T, Okun E. High-Intensity Functional Training: Molecular Mechanisms and Benefits. *NeuroMolecular Med.* 2021;23(3):335–8.
165. de Souza RAS, da Silva AG, de Souza MF, Souza LKF, Roschel H, da Silva SF, et al. A Systematic Review of CrossFit® Workouts and Dietary and Supplementation Interventions to Guide Nutritional Strategies and Future Research in CrossFit®. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2021;31(2):187–205.
166. Smith LE, Van Guilder GP, Dalleck LC, Harris NK. The Effects of a Single Session of High Intensity Functional Training on Energy Expenditure, VO₂, and Blood Lactate. *J Sports Sci Med.* 2022;21(4):545–54.
167. Forte LDM, Freire YGC, Júnior JS, Melo DA, Meireles CLS. Physiological responses after two different CrossFit workouts. *Biol Sport.* 2022;39(2):231–6.
168. Toledo R, Dias MR, Toledo R, Erotides R, Pinto DS, Reis VM, et al. Comparison of Physiological Responses and Training Load between Different CrossFit® Workouts with Equalized Volume in Men and Women. *Life Basel Switz.* 2021;11(6):586.
169. Tibana RA, De Sousa NMF, Prestes J, Voltarelli FA. 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.
170. Molinaro L, Taborri J, Pauletto D, Guerra V, Molinaro D, Sicari G, et al. Measuring the Immediate Effects of High-Intensity Functional Training on Motor, Cognitive and Physiological Parameters in Well-Trained Adults. *Sensors.* 2023;23(8):3937.
171. Rivas-Campo Y, Aibar-Almazán A, Afanador-Restrepo DF, García-Garro PA, Vega-Ávila GC, Rodríguez-López C, et al. Effects of High-Intensity Functional Training (HIIT) on the Functional Capacity, Frailty, and Physical Condition of Older Adults with Mild Cognitive Impairment: A Blind Randomized Controlled Clinical Trial. *Life Basel Switz.* 2023;13(5):1224.
172. Ballester-Ferrer JA, Carbonell-Hernández L, Pastor D, Cervelló E. COVID-19 Quarantine Impact on Wellbeing and Cognitive Functioning During a 10-Week High-Intensity Functional Training Program in Young University Students. *Front Behav Neurosci.* 2022;16:822199.
173. Faelli E, Bisio A, Codella R, Ferrando V, Perasso L, Panasci M, et al. Acute and Chronic Catabolic Responses to CrossFit® and Resistance Training in Young Males. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(19):7172.
174. Sheykhlovand M, Arazi H, Astorino TA, Suzuki K. Effects of a New Form of Resistance-Type High-Intensity Interval Training on Cardiac Structure, Hemodynamics, and Physiological and Performance Adaptations in Well-Trained Kayak Sprint Athletes. *Front Physiol.* 2022;13.

175. Martland R, Mondelli V, Gaughran F, Stubbs B. Can high-intensity interval training improve physical and mental health outcomes? A meta-review of 33 systematic reviews across the lifespan. *J Sports Sci.* 2020;38(4):430–69.
176. Toohey K, Pumpa KL, Arnolda L, Cooke J, Yip D, Craft PS, et al. A pilot study examining the effects of low-volume high-intensity interval training and continuous low to moderate intensity training on quality of life, functional capacity and cardiovascular risk factors in cancer survivors. *PeerJ.* 2016;4:e2613.
177. Ramos JS, Dalleck LC, Ramos MV, Borrani F, Roberts L, Gomersall S, et al. 12 min/week of high-intensity interval training reduces aortic reservoir pressure in individuals with metabolic syndrome: a randomized trial. *J Hypertens.* 2016;34(10):1977–87.
178. Tibana RA, Sousa NMF de, Prestes J, Feito Y, Ferreira CE, Voltarelli FA. Monitoring Training Load, Well-Being, Heart Rate Variability, and Competitive Performance of a Functional-Fitness Female Athlete: A Case Study. *Sports Basel Switz.* 2019;7(2):E35.
179. Zecchin A, Puggina EF, Granacher U, Hortobágyi T. Two days of simulated CrossFit competition affect autonomic nervous system but not anaerobic power or fatigue. *J Sports Med Phys Fitness.* 2022;62(12):1592–9.
180. Kliszczewicz B, Williamson C, Bechke E, McKenzie M, Hoffstetter W. Autonomic response to a short and long bout of high-intensity functional training. *J Sports Sci.* 2018;36(16):1872–9.
181. Kliszczewicz BM, Esco MR, Quindry JC, Blessing DL, Oliver GD, Taylor KJ, et al. Autonomic Responses to an Acute Bout of High-Intensity Body Weight Resistance Exercise vs. Treadmill Running. *J Strength Cond Res.* 2016;30(4):1050–8.
182. Mangine GT, Kliszczewicz BM, Boone JB, Williamson-Reisdorph CM, Bechke EE. Pre-Anticipatory Anxiety and Autonomic Nervous System Response to Two Unique Fitness Competition Workouts. *Sports Basel Switz.* 2019;7(9):E199.
183. 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.
184. Yazbek Júnior P, Battistella LR. Do atleta ao transplantado condicionamento físico: aspectos multiplinares na prevenção e reabilitação cardíaca. Em: *Do atleta ao transplantado condicionamento físico: aspectos multiplinares na prevenção e reabilitação cardíaca.* 1994 p. 220–220.
185. Rossi Neto JM, Tebexreni AS, Alves ANF, Smanio PEP, de Abreu FB, Thomazi MC, et al. Cardiorespiratory fitness data from 18,189 participants who underwent treadmill cardiopulmonary exercise testing in a Brazilian population. *PLoS ONE.* 2019;14(1):e0209897.
186. Porto LGG, Junqueira LF. Comparison of time-domain short-term heart interval variability analysis using a wrist-worn heart rate monitor and the conventional electrocardiogram. *Pacing Clin Electrophysiol PACE.* 2009;32(1):43–51.

187. ACC/AHA task force report. Special report: guidelines for perioperative cardiovascular evaluation for noncardiac surgery. Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines (Committee on Perioperative Cardiovascular Evaluation for Noncardiac Surgery). *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 1996;10(4):540–52.
188. Shaffer F, Shearman S, Meehan ZM. The Promise of Ultra-Short-Term (UST) Heart Rate Variability Measurements. *Biofeedback.* 2016. 44 (4):229–33.
189. Shaffer F, Meehan ZM, Zerr CL. A Critical Review of Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Norms Research. *Front Neurosci.* 2020;14:594880.
190. Billman GE. Heart rate variability - a historical perspective. *Front Physiol.* 2011;2:86.
191. Peng CK, Havlin S, Stanley HE, Goldberger AL. Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos Woodbury N.* 1995;5(1):82–7.
192. Vigo DE, Nicola Siri L, Ladrón De Guevara MS, Martínez-Martínez JA, Fahrer RD, Cardinali DP, et al. Relation of depression to heart rate nonlinear dynamics in patients > or =60 years of age with recent unstable angina pectoris or acute myocardial infarction. *Am J Cardiol.* 2004;93(6):756–60.
193. Tulppo MP, Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kallio M, Seppänen T, Mäkikallio TH, et al. Physiological Background of the Loss of Fractal Heart Rate Dynamics. *Circulation.* 2005;112(3):314–9.
194. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Seppänen T, Shoemaker K, Tutungi E, Hughson RL, et al. Effects of pharmacological adrenergic and vagal modulation on fractal heart rate dynamics. *Clin Physiol Oxf Engl.* 2001;21(5):515–23.
195. de Souza AC, Cisternas JR, de Abreu LC, Roque AL, Monteiro CB, Adami F, et al. Fractal correlation property of heart rate variability in response to the postural change maneuver in healthy women. *Int Arch Med.* 2014;7:25.
196. Tanoue Y, Komatsu T, Nakashima S, Matsuda T, Michishita R, Higaki Y, et al. The ratio of heart rate to heart rate variability reflects sympathetic activity during incremental cycling exercise. *Eur J Sport Sci.* 2021;1–10.
197. American College of Sports Medicine. Diretrizes do ACSM para os Testes de Esforço e sua Prescrição. Guanabara Koogan. 2018
198. Naylor M, Chernofsky A, Spartano NL, Tanguay M, Blodgett JB, Murthy VL, et al. Physical activity and fitness in the community: the Framingham Heart Study. *Eur Heart J.* 2021;42(44):4565–75.
199. Shah RV, Schoenike MW, Armengol de la Hoz MÁ, Cunningham TF, Blodgett JB, Tanguay M, et al. Metabolic Cost of Exercise Initiation in Patients With Heart Failure With Preserved Ejection Fraction vs Community-Dwelling Adults. *JAMA Cardiol.* 2021;6(6):653–60.

200. Unnithan V, Rowland TW. Use of Oxygen Pulse in Predicting Doppler-Derived Maximal Stroke Volume in Adolescents. *Pediatr Exerc Sci.* 2015;27(3):412–8.
201. Hirano, M., Yamada, Y., Hibi, M., Katashima, M., Higaki, Y., Kiyonaga, A., & Tanaka, H. Simultaneous multiple-subject analysis of respiratory gas exchange in humans. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine.* 2014; 3, 269-279.
202. Reinhard U, Müller PH, Schmülling RM. Determination of anaerobic threshold by the ventilation equivalent in normal individuals. *Respir Int Rev Thorac Dis.* 1979;38(1):36–42.
203. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med.*2016;15(2):155–63.
204. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol.* 2001;37(1):153–6.
205. von Scheidt F, Meier S, Krämer J, Apitz A, Siaplaouras J, Bride P, et al. Heart Rate Response During Treadmill Exercise Test in Children and Adolescents With Congenital Heart Disease. *Front Pediatr.* 2019;7:65.
206. Cheng YJ, Lauer MS, Earnest CP, Church TS, Kampert JB, Gibbons LW, et al. Heart rate recovery following maximal exercise testing as a predictor of cardiovascular disease and all-cause mortality in men with diabetes. *Diabetes Care.* 2003;26(7):2052–7.
207. Brubaker PH, Kitzman DW. Chronotropic incompetence: causes, consequences, and management. *Circulation.* 2011;123(9):1010–20.
208. Balke B, Ware RW. An experimental study of physical fitness of Air Force personnel. *U S Armed Forces Med J.* 1959;10(6):675–88.
209. Lachman S, Terbraak MS, Limpens J, Jorstad H, Lucas C, Scholte Op Reimer W, et al. The prognostic value of heart rate recovery in patients with coronary artery disease: A systematic review and meta-analysis. *Am Heart J.* 2018;199:163–9.
210. Lahiri MK, Kannankeril PJ, Goldberger JJ. Assessment of autonomic function in cardiovascular disease: physiological basis and prognostic implications. *J Am Coll Cardiol.* 2008;51(18):1725–33.
211. Shetler K, Marcus R, Froelicher VF, Vora S, Kalisetti D, Prakash M, et al. Heart rate recovery: validation and methodologic issues. *J Am Coll Cardiol.*2001;38(7):1980–7.
212. Dhoble A, Lahr BD, Allison TG, Kopecky SL. Cardiopulmonary Fitness and Heart Rate Recovery as Predictors of Mortality in a Referral Population. *J Am Heart Assoc Cardiovasc Cerebrovasc Dis.* 2014;3(2):e000559.
213. Kim TK, Park JH. More about the basic assumptions of t-test: normality and sample size. *Korean J Anesthesiol.* 2019;72(4):331–5.
214. Field, Andy. *Descobriendo a Estatística Usando o SPSS.* 2^a ed. 2009.

215. Field, Andy. *Discovering statistics using IBM SPSS statistics: North American edition*. 5^a ed. 2017
216. Cohen J. CHAPTER 1 - The Concepts of Power Analysis. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Academic Press; 1977. p. 1–17.
217. Dyer AR, Persky V, Stamler J, Paul O, Shekelle RB, Berkson DM, et al. Heart rate as a prognostic factor for coronary heart disease and mortality: findings in three Chicago epidemiologic studies. *Am J Epidemiol*. 1980;112(6):736–49.
218. Benetos A, Rudnichi A, Thomas F, Safar M, Guize L. Influence of heart rate on mortality in a French population: role of age, gender, and blood pressure. *Hypertens Dallas Tex* 1979. 1999;33(1):44–52.
219. Zhang D, Shen X, Qi X. Resting heart rate and all-cause and cardiovascular mortality in the general population: a meta-analysis. *CMAJ Can Med Assoc J J Assoc Medicale Can*. 2016;188(3):E53–63.
220. Habibi M, Chahal H, Greenland P, Guallar E, Lima JAC, Soliman EZ, et al. Resting Heart Rate, Short-Term Heart Rate Variability and Incident Atrial Fibrillation (from the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA)). *Am J Cardiol*. 2019;124(11):1684–9.
221. Liu HM, Chen SH, Wu YT, Zheng XM, Huang Z, Liu X, et al. [A cohort study on the association between resting heart rate and the risk of new-onset heart failure]. *Zhonghua Xin Xue Guan Bing Za Zhi*. 2020;48(5):413–9.
222. Jing FY, Wang XL, Song JL, Gao Y, Cui JL, Xu W, et al. Association between clustering of cardiovascular risk factors and resting heart rate in Chinese population: a cross-sectional study. *J Geriatr Cardiol JGC*. 2022;19(6):418–27.
223. Palatini P. Resting Heart Rate as a Cardiovascular Risk Factor in Hypertensive Patients: An Update. *Am J Hypertens*. 2021;34(4):307–17.
224. Zambach C, Fedorowski A, Borné Y, Johnson LSB, Gerward S, Hamrefors V, et al. Cardiovascular risk factors and autonomic indices in relation to fatal and non-fatal coronary events. *Open Heart*. 2021;8(1):e001445.
225. Palatini P, Julius S. Heart rate and the cardiovascular risk. *J Hypertens*. 1997;15(1):3–17.
226. Seravalle G, Grassi G. Heart rate as cardiovascular risk factor. *Postgrad Med*. 2020;132(4):358–67.
227. Valentini M, Parati G. Variables Influencing Heart Rate. *Prog Cardiovasc Dis*. 2009;52(1):11–9.
228. Grant CC, Murray C, Janse van Rensburg DC, Fletcher L. A comparison between heart rate and heart rate variability as indicators of cardiac health and fitness. *Front Physiol*. 2013;4:337.
229. Molina GE, Fontana KE, Porto LGG, Junqueira LF. Post-exercise heart-rate recovery correlates to resting heart-rate variability in healthy men. *Clin Auton Res Off J Clin Auton Res Soc*. 2016;26(6):415–21.

230. Danieli A, Lusa L, Potočnik N, Meglič B, Grad A, Bajrović FF. Resting heart rate variability and heart rate recovery after submaximal exercise. *Clin Auton Res Off J Clin Auton Res Soc.* 2014;24(2):53–61.
231. Nunan D, Sandercock GRH, Brodie DA. A Quantitative Systematic Review of Normal Values for Short-Term Heart Rate Variability in Healthy Adults. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2010;33(11):1407–17.
232. Deus LA, Sousa CV, Rosa TS, Filho JMS, Santos PA, Barbosa LD, et al. Heart rate variability in middle-aged sprint and endurance athletes. *Physiol Behav.* 2019;205:39–43.
233. Latorre-Román PÁ, García-Pinillos F, Salas Sánchez J, Jiménez MM, Serrano Huete V, Martínez Redondo M, et al. A New Approach for Evaluation of Cardiovascular Fitness and Cardiac Responses to Maximal Exercise Test in Master Runners: A Cross-Sectional Study. *J Clin Med.* 2022;11(6):1648.
234. Herzig D, Asatryan B, Brugger N, Eser P, Wilhelm M. The Association Between Endurance Training and Heart Rate Variability: The Confounding Role of Heart Rate. *Front Physiol.* 2018;9:756.
235. Smith JJ, Porth CM, Erickson M. Hemodynamic Response to the Upright Posture. *J Clin Pharmacol.* 1994;34(5):375–86.
236. Tulppo MP, Hughson RL, Mäkikallio TH, Airaksinen KE, Seppänen T, Huikuri HV. Effects of exercise and passive head-up tilt on fractal and complexity properties of heart rate dynamics. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2001;280(3):H1081-7.
237. Cramer H, Lauche R, Haller H, Steckhan N, Michalsen A, Dobos G. Effects of yoga on cardiovascular disease risk factors: a systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol.* 2014;173(2):170–83.
238. Huang G, Shi X, Davis-Brezette JA, Osness WH. Resting heart rate changes after endurance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(8):1381–6.
239. Zheng G, Li S, Huang M, Liu F, Tao J, Chen L. The effect of Tai Chi training on cardiorespiratory fitness in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. *PloS One.* 2015;10(2):e0117360.
240. Lu Y, Wiltshire HD, Baker JS, Wang Q, Ying S. The effect of Tabata-style functional high-intensity interval training on cardiometabolic health and physical activity in female university students. *Front Physiol.* 2023;14:1095315.
241. Keytsman C, Hansen D, Wens I, O Eijnde B. Impact of high-intensity concurrent training on cardiovascular risk factors in persons with multiple sclerosis - pilot study. *Disabil Rehabil.* 2019;41(4):430–5.
242. Cruz CJG da, Molina GE, Porto LGG, Junqueira LF. Resting Bradycardia, Enhanced Postexercise Heart Rate Recovery and Cardiorespiratory Fitness in Recreational Ballroom Dancers. *Res Q Exerc Sport.* 2017;88(3):371–6.

243. Mishra B, S V, Mondal H. Effect of Three-Month Weight Training Program on Resting Heart Rate and Blood Pressure in Healthy Young Adult Males. *Cureus*. 2023;15(1):e34333.
244. Li D, Chen P, Zhu J. The Effects of Interval Training and Continuous Training on Cardiopulmonary Fitness and Exercise Tolerance of Patients with Heart Failure-A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(13):6761.
245. Słomko W, Słomko J, Kowalik T, Klawe JJ, Tafil-Klawe M, Cudnoch-Jędrzejewska A, et al. Long-term high intensity sport practice modulates adaptative changes in athletes' heart and in the autonomic nervous system profile. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018;58(7–8):1146–52.
246. DeBlauw JA, Drake NB, Kurtz BK, Crawford DA, Carper MJ, Wakeman A, et al. High-Intensity Functional Training Guided by Individualized Heart Rate Variability Results in Similar Health and Fitness Improvements as Predetermined Training with Less Effort. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2021;6(4):102.
247. Brisebois MF, Rigby BR, Nichols DL. Physiological and Fitness Adaptations after Eight Weeks of High-Intensity Functional Training in Physically Inactive Adults. *Sports Basel Switz*. 2018;6(4):146.
248. Brandt T, Schinköthe T, Schmidt A. CrossFit Motivates a 41-Year-Old Obese Man to Change His Lifestyle and Achieve Long-Term Health Improvements: A Case Report. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2023;8(2):58.
249. Williams S, Booton T, Watson M, Rowland D, Altini M. Heart Rate Variability is a Moderating Factor in the Workload-Injury Relationship of Competitive CrossFit™ Athletes. *J Sports Sci Med*. 2017;16(4):443–9.
250. Pedro RE, Guariglia DA, Okuno NM, Deminice R, Peres SB, Moraes SMF. Effects of 16 Weeks of Concurrent Training on Resting Heart Rate Variability and Cardiorespiratory Fitness in People Living With HIV/AIDS Using Antiretroviral Therapy: A Randomized Clinical Trial. *J Strength Cond Res*. 2016;30(12):3494–502.
251. Oliveira-Junior SA, Boullosa D, Mendonça MLM, Vieira LFC, Mattos WW, Amaral BOC, et al. Effects of Circuit Weight-Interval Training on Physical Fitness, Cardiac Autonomic Control, and Quality of Life in Sedentary Workers. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(9):4606.
252. Khan MN, Pothier CE, Lauer MS. Chronotropic incompetence as a predictor of death among patients with normal electrograms taking beta blockers (metoprolol or atenolol). *Am J Cardiol*. 2005;96(9):1328–33.
253. Lauer MS. Autonomic function and prognosis. *Cleve Clin J Med*. 2009;76 Suppl 2:S18–22.
254. Robbins M, Francis G, Pashkow FJ, Snader CE, Hoercher K, Young JB, et al. Ventilatory and heart rate responses to exercise : better predictors of heart failure mortality than peak oxygen consumption. *Circulation*. 1999;100(24):2411–7.

255. Longobardi I, do Prado DML, Goessler KF, Meletti MM, de Oliveira Júnior GN, de Andrade DCO, et al. Oxygen uptake kinetics and chronotropic responses to exercise are impaired in survivors of severe COVID-19. *Am J Physiol - Heart Circ Physiol*. 2022;323(3):H569–76.
256. Conte D, Lukonaitiene I, Matulaitis K, Snieckus A, Kniubaite A, Kreivyte R, et al. Recreational 3 × 3 basketball elicits higher heart rate, enjoyment, and physical activity intensities but lower blood lactate and perceived exertion compared to HIIT in active young adults. *Biol Sport*. 2023;40(3):889–98.
257. Grace F, Herbert P, Elliott AD, Richards J, Beaumont A, Sculthorpe NF. High intensity interval training (HIIT) improves resting blood pressure, metabolic (MET) capacity and heart rate reserve without compromising cardiac function in sedentary aging men. *Exp Gerontol*. 2018;109:75–81.
258. Meier N, Schlie J, Schmidt A. Physiological effects of regular CrossFit® training and the impact of the COVID-19 pandemic-A systematic review. *Front Physiol*. 2023;14:1146718.
259. Box AG, Feito Y, Petruzzello SJ, Mangine GT. Mood State Changes Accompanying the Crossfit Open™ Competition in Healthy Adults. *Sports*. 2018;6(3):67.
260. Maté-Muñoz JL, Budurin M, González-Lozano S, Heredia-Elvar JR, Cañuelo-Márquez AM, Barba-Ruiz M, et al. Physiological Responses at 15 Minutes of Recovery after a Session of Functional Fitness Training in Well-Trained Athletes. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(14):8864.
261. Leitão L, Dias M, Campos Y, Vieira JG, Sant’Ana L, Telles LG, et al. Physical and Physiological Predictors of FRAN CrossFit® WOD Athlete’s Performance. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(8):4070.
262. García-Fernández P, Cimadevilla E, Guodemar-Pérez J, Cañuelo-Márquez AM, Heredia-Elvar JR, Fernández-Rodríguez T, et al. Muscle Recovery after a Single Bout of Functional Fitness Training. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(12):6634.
263. Carreker JD, Grosicki GJ. Physiological Predictors of Performance on the CrossFit “Murph” Challenge. *Sports Basel Switz*. 2020;8(7):92.
264. Dias MR, Vieira JG, Pissolato JC, Heinrich KM, Vianna JM. Training load through heart rate and perceived exertion during Crossfit®. *Rev Bras Med Esporte*. 2022;28:315–9.
265. Glaab T, Taube C. Practical guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. *Respir Res*. 2022;23(1):9.
266. Jayo-Montoya JA, Jurio-Iriarte B, Aispuru GR, Villar-Zabala B, Blanco-Guzman S, Maldonado-Martín S. Chronotropic Responses to Exercise and Recovery in Myocardial Infarction Patients Taking β -Blockers Following Aerobic High-Intensity Interval Training: An interfact study. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2022;42(1):22–7.

267. Dimkpa U, Godswill RC, Okonudo P, Ikwuka D. Heart Rate Responses at Rest, during Exercise and after Exercise Periods in Relation to Adiposity Levels among Young Nigerian Adults. *J Obes Metab Syndr.* 2023;32(1):87–97.
268. Bao X, Liu F, Gu Y, Lu CM, Ziegler MG. Impaired chronotropic response to exercise in mice lacking catecholamines in adrenergic cells. *Ann N Y Acad Sci.*2008;1148:297–301.
269. Guazzi M, Adams V, Conraads V, Halle M, Mezzani A, Vanhees L, et al. EACPR/AHA Scientific Statement. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Circulation.* 2012;126(18):2261–74.
270. Goulding RP, Rossiter HB, Marwood S, Ferguson C. Bioenergetic Mechanisms Linking $\dot{V}O_2$ Kinetics and Exercise Tolerance. *Exerc Sport Sci Rev.* 2021;49(4):274–83.
271. Grassi B. Delayed metabolic activation of oxidative phosphorylation in skeletal muscle at exercise onset. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(9):1567–73.
272. Chatterjee NA, Murphy RM, Malhotra R, Dhakal BP, Baggish AL, Pappagianopoulos PP, et al. Prolonged mean $\dot{V}O_2$ response time in systolic heart failure: an indicator of impaired right ventricular-pulmonary vascular function. *Circ Heart Fail.*2013;6(3):499–507.
273. Hepple RT, Liu PP, Plyley MJ, Goodman JM. Oxygen uptake kinetics during exercise in chronic heart failure: influence of peripheral vascular reserve. *Clin Sci Lond Engl* 1999;97(5):569–77.
274. Kaminsky LA, Arena R, Myers J, Peterman JE, Bonikowske AR, Harber MP, et al. Updated Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured with Cardiopulmonary Exercise Testing: Data from the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database (FRIEND). *Mayo Clin Proc.* 2022;97(2):285–93.
275. Farrell SW, Finley CE, Radford NB, Haskell WL. Cardiorespiratory Fitness, Body Mass Index, and Heart Failure Mortality in Men. *Circ Heart Fail.* 2013;6(5):898–905.
276. Petek BJ, Tso JV, Churchill TW, Guseh JS, Loomer G, DiCarli M, et al. Normative cardiopulmonary exercise data for endurance athletes: the Cardiopulmonary Health and Endurance Exercise Registry (CHEER). *Eur J Prev Cardiol.*2022;29(3):536–44.
277. Mazaheri R, Schmied C, Niederseer D, Guazzi M. Cardiopulmonary Exercise Test Parameters in Athletic Population: A Review. *J Clin Med.* 2021;10(21):5073.
278. Guazzi M, Arena R, Halle M, Piepoli MF, Myers J, Lavie CJ. 2016 focused update: clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Eur Heart J.* 2018;39(14):1144–61.
279. Mangine GT, Stratton MT, Almeda CG, Roberts MD, Esmat TA, VanDusseldorp TA, et al. Physiological differences between advanced CrossFit athletes, recreational CrossFit participants, and physically-active adults. *PloS One.* 2020;15(4):e0223548.
280. Yen YS, Su DCJ, Yuan KS, Chen PW, Chow JC, Chou W. Isocapnic buffering phase: a useful indicator of exercise endurance in patients with coronary artery disease. *Phys Sportsmed.* 2018;46(2):228–32.

281. Carriere C, Corrà U, Piepoli M, Bonomi A, Salvioni E, Binno S, et al. Isocapnic buffering period: From physiology to clinics. *Eur J Prev Cardiol.*2019;26(10):1107–14.
282. Tanehata M, Adachi H, Oshima S, Taniguchi K, Itoh H, Hasegawa A, et al. The time from anaerobic threshold (AT) to respiratory compensation point reflects the rate of aerobic and anaerobic metabolism after the AT in chronic heart failure patients. *Jpn Circ J.* 1999;63(4):274–7.
283. Kominami K, Imahashi K, Katsuragawa T, Murakami M, Akino M. The Ratio of Oxygen Uptake From Ventilatory Anaerobic Threshold to Respiratory Compensation Point Is Maintained During Incremental Exercise in Older Adults. *Front Physiol.* 2022;13:769387.
284. Petek BJ, Gustus SK, Wasfy MM. Cardiopulmonary Exercise Testing in Athletes: Expect the Unexpected. *Curr Treat Options Cardiovasc Med.* 2021;23(7):49.
285. Levine BD, Baggish AL, Kovacs RJ, Link MS, Maron MS, Mitchell JH, et al. Eligibility and Disqualification Recommendations for Competitive Athletes With Cardiovascular Abnormalities: Task Force 1: Classification of Sports: Dynamic, Static, and Impact: A Scientific Statement From the American Heart Association and American College of Cardiology. *Circulation.* 2015;132(22):e262-266.
286. Jacob N, Novaes JS, Behm DG, Vieira JG, Dias MR, Vianna JM. Characterization of Hormonal, Metabolic, and Inflammatory Responses in CrossFit® Training: A Systematic Review. *Front Physiol.* 2020;11:1001.
287. Zagdsuren B, Evans GS, Inman C, Stone W, Arnett S, Schafer M, et al. Crossfit Vs. Circuit-training: Effects Of A Ten-week Training Program On Aerobic, Anaerobic And Flexibility Indicators.: 2924 Board #239 May 29, 3: 30 PM - 5: 00 PM. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(5S):801.
288. Baker J, Brock S, Dalleck L, Goulet E, Gotshall R, Hutchison A, et al. Effects of Short-Term CrossFit Training: A Magnitude-Based Approach. *Journal of Exercise Physiology Online.* 2017. 20(2):111-113.
289. Crawford DA, Drake NB, Carper MJ, DeBlauw J, Heinrich KM. Are Changes in Physical Work Capacity Induced by High-Intensity Functional Training Related to Changes in Associated Physiologic Measures? *Sports Basel Switz.* 2018;6(2):26.
290. Bhambhani Y, Norris S, Bell G. Prediction of stroke volume from oxygen pulse measurements in untrained and trained men. *Can J Appl Physiol Rev Can Physiol Appl.*1994;19(1):49–59.
291. Evangelista M, Boveri S, Alfonzetti E, Bandera F, Guazzi M. Abstract 12231: Accuracy of Methods for Stroke Volume Measures by O₂-pulse During Gas Exchange Analysis and Clinical Implications. *Circulation.* 2019;140(Suppl_1):A12231–A12231.
292. Laukkanen JA, Kurl S, Salonen JT, Lakka TA, Rauramaa R. Peak oxygen pulse during exercise as a predictor for coronary heart disease and all cause death. *Heart Br Card Soc.* 2006;92(9):1219–24.

293. Munhoz EC, Hollanda R, Vargas JP, Silveira CW, Lemos AL, Hollanda RMK, et al. Flattening of oxygen pulse during exercise may detect extensive myocardial ischemia. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(8):1221–6.
294. Vella CA, Robergs RA. A review of the stroke volume response to upright exercise in healthy subjects. *Br J Sports Med.* 2005;39(4):190–5.
295. Van De Sande DAJP, Schoots T, Hoogsteen J, Doevendans PA, Kemps HMC. O₂ Pulse Patterns in Male Master Athletes with Normal and Abnormal Exercise Tests. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51(1):12–8.
296. Luijkx T, Cramer MJ, Prakken NHJ, Buckens CF, Mosterd A, Rienks R, et al. Sport category is an important determinant of cardiac adaptation: an MRI study. *Br J Sports Med.* 2012;46(16):1119–24.
297. Astorino TA, Allen RP, Roberson DW, Jurancich M. Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO₂max, and muscular force. *J Strength Cond Res.* 2012;26(1):138–45.
298. Farzad B, Gharakhanlou R, Agha-Alinejad H, Curby DG, Bayati M, Bahraminejad M, et al. Physiological and performance changes from the addition of a sprint interval program to wrestling training. *J Strength Cond Res.* 2011;25(9):2392–9.
299. Sheykhloovand M, Khalili E, Gharaat M, Arazi H, Khalafi M, Tarverdizadeh B. Practical Model of Low-Volume Paddling-Based Sprint Interval Training Improves Aerobic and Anaerobic Performances in Professional Female Canoe Polo Athletes. *J Strength Cond Res* 2018;32(8):2375–82.
300. Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJF, Bradwell SN, Gibala MJ. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985.2005;98(6):1985–90.
301. Lewis GD, Shah RV, Pappagianopolas PP, Systrom DM, Semigran MJ. Determinants of ventilatory efficiency in heart failure: the role of right ventricular performance and pulmonary vascular tone. *Circ Heart Fail.* 2008;1(4):227–33.
302. Ritt LE, Oliveira RB, Myers J, Arena R, Peberdy MA, Bensimhon D, et al. Patients with heart failure in the “intermediate range” of peak oxygen uptake: additive value of heart rate recovery and the minute ventilation/carbon dioxide output slope in predicting mortality. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2012;32(3):141–6.
303. Kleber FX, Vietzke G, Wernecke KD, Bauer U, Opitz C, Wensel R, et al. Impairment of ventilatory efficiency in heart failure: prognostic impact. *Circulation.* 2000;101(24):2803–9.
304. Arena R, Myers J, Abella J, Peberdy MA, Bensimhon D, Chase P, et al. Development of a ventilatory classification system in patients with heart failure. *Circulation.* 2007;115(18):2410–7.

305. MacGowan GA, Janosko K, Cecchetti A, Murali S. Exercise-Related Ventilatory Abnormalities and Survival in Congestive Heart Failure. *Am J Cardiol.* 1997;79(9):1264–6.
306. Sun XG, Hansen JE, Garatachea N, Storer TW, Wasserman K. Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166(11):1443–8.
307. Arena R, Myers J, Harber M, Phillips SA, Severin R, Ozemek C, et al. The V'E/V'co2 Slope During Maximal Treadmill Cardiopulmonary Exercise Testing: Reference standards from FRIEND (FITNESS REGISTRY AND THE IMPORTANCE OF EXERCISE: A NATIONAL DATABASE). *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2021;41(3):194–8.
308. Salazar-Martínez E, de Matos TR, Arrans P, Santalla A, Orellana JN. Ventilatory efficiency response is unaffected by fitness level, ergometer type, age or body mass index in male athletes. *Biol Sport.* 2018;35(4):393–8.
309. Cardozo GG, Oliveira RB, Farinatti PTV. Effects of high intensity interval versus moderate continuous training on markers of ventilatory and cardiac efficiency in coronary heart disease patients. *ScientificWorldJournal.* 2015;2015:192479.
310. Siddiqi TJ, Rashid AM, Javaid SS, Siddiqi AK, Usman MS, Hervir O, et al. High-Intensity Interval Training Versus Moderate Continuous Training in Patients With Heart Failure With Preserved Ejection Fraction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Curr Probl Cardiol.* 2023;48(8):101720.
311. Salazar-Martínez E, Santalla A, Orellana JN, Strobl J, Burtscher M, Menz V. Influence of high-intensity interval training on ventilatory efficiency in trained athletes. *Respir Physiol Neurobiol.* 2018;250:19–23.
312. Guio de Prada V, Ortega JF, Morales-Palomo F, Ramirez-Jimenez M, Moreno-Cabañas A, Mora-Rodriguez R. Women with metabolic syndrome show similar health benefits from high-intensity interval training than men. *PLoS One.* 2019;14(12):e0225893.
313. West John B. *Fisiologia Respiratória - Princípios Básicos.* 9ª. Artmed Editora; 2013. 240 p.
314. Michael S, Graham KS, Davis GM. Cardiac Autonomic Responses during Exercise and Post-exercise Recovery Using Heart Rate Variability and Systolic Time Intervals-A Review. *Front Physiol.* 2017;8:301.
315. Rogers B, Gronwald T. Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability as a Biomarker for Intensity Distribution and Training Prescription in Endurance Exercise: An Update. *Front Physiol.* 2022;13:879071.
316. Karasik R, Sapir N, Ashkenazy Y, Ivanov PC, Dvir I, Lavie P, et al. Correlation differences in heartbeat fluctuations during rest and exercise. *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys.* 2002;66(6 Pt 1):062902.

317. Rogers B, Giles D, Draper N, Hoos O, Gronwald T. A New Detection Method Defining the Aerobic Threshold for Endurance Exercise and Training Prescription Based on Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability. *Front Physiol.* 2021;11:596567.
318. Imai K, Sato H, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, Yokoyama H, et al. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 1994;24(6):1529–35.
319. Suzic Lazic J, Dekleva M, Soldatovic I, Leischik R, Suzic S, Radovanovic D, et al. Heart rate recovery in elite athletes: the impact of age and exercise capacity. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2017;37(2):117–23.
320. Durmić T, Đjelić M, Gavrilović T, Antić M, Jeremić R, Vujović A, et al. Usefulness of heart rate recovery parameters to monitor cardiovascular adaptation in elite athletes: The impact of the type of sport. *Physiol Int.* 2019;106(1):81–94.
321. Lee CM, Mendoza A. Dissociation of heart rate variability and heart rate recovery in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(7):2757–66.
322. Bentley RF, Vecchiarelli E, Banks L, Gonçalves PEO, Thomas SG, Goodman JM. Heart rate variability and recovery following maximal exercise in endurance athletes and physically active individuals. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab.* 2020;45(10):1138–44.
323. Kliszczewicz B, Buresh R, Bechke E, Williamson C. Metabolic biomarkers following a short and long bout of high-intensity functional training in recreationally trained men. *Journal of Human Sport and Exercise.* 2017;12(3):710–718.
324. Javorka M, Zila I, Balhárek T, Javorka K. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Braz J Med Biol Res Rev Bras Pesqui Medicas E Biol.* 2002;35(8):991–1000.
325. Margaria R, Edwards HT, Dill DB. The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the rôle of lactic acid in muscular contraction. *Am J Physiol-Leg Content.* 1933;106(3):689–715.
326. Harris RC, Edwards RHT, Hultman E, Nordesjö LO, Ny Lind B, Sahlin K. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflug Arch.* 1976;367(2):137–42.
327. Massie BM, Conway M, Rajagopalan B, Yonge R, Frostick S, Ledingham J, et al. Skeletal muscle metabolism during exercise under ischemic conditions in congestive heart failure. Evidence for abnormalities unrelated to blood flow. *Circulation.* 1988;78(2):320–6.
328. Cohen-Solal A, Laperche T, Morvan D, Geneves M, Caviezel B, Gourgon R. Prolonged Kinetics of Recovery of Oxygen Consumption After Maximal Graded Exercise in Patients With Chronic Heart Failure. *Circulation.* 1995;91(12):2924–32.
329. Chen LY, Zmora R, Duval S, Chow LS, Lloyd-Jones DM, Schreiner PJ. Cardiorespiratory Fitness, Adiposity, and Heart Rate Variability: The Coronary Artery Risk Development in Young Adults Study. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51(3):509–14.

330. M B, C G. Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2006;291(1).
331. Hautala AJ, Mäkikallio TH, Kiviniemi A, Laukkanen RT, Nissilä S, Huikuri HV, et al. Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2003;285(4):H1747-1752.
332. Dutra SGV, Pereira APM, Tezini GCSV, Mazon JH, Martins-Pinge MC, Souza HCD. Cardiac autonomic modulation is determined by gender and is independent of aerobic physical capacity in healthy subjects. *PloS One*. 2013;8(10):e77092.
333. Facioli TP, Philbois SV, Gastaldi AC, Almeida DS, Maida KD, Rodrigues JAL, et al. Study of heart rate recovery and cardiovascular autonomic modulation in healthy participants after submaximal exercise. *Sci Rep*. 2021;11(1):3620.
334. Facioli TP, Gastaldi AC, Dutra SGV, Felix ACS, Philbois SV, Sánchez-Delgado JC, et al. The blood pressure variability and baroreflex sensitivity in healthy participants are not determined by sex or cardiorespiratory fitness. *Blood Press Monit*. 2018;23(5):260–70.
335. Iellamo F, Legramante JM, Pigozzi F, Spataro A, Norbiato G, Lucini D, et al. Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. *Circulation*. 2002;105(23):2719–24.
336. Robinson S, Percy M, Brueckman FR, Nicholas JR, Miller DI. Effects of atropine on heart rate and oxygen intake in working man. *J Appl Physiol*. 1953;5(9):508–12.
337. Porto LGG, Schmidt ACB, de Souza JM, Nogueira RM, Fontana KE, Molina GE, et al. Firefighters' basal cardiac autonomic function and its associations with cardiorespiratory fitness. *Work Read Mass*. 2019;62(3):485–95.
338. Ehsani AA, Hagberg JM, Hickson RC. Rapid changes in left ventricular dimensions and mass in response to physical conditioning and deconditioning. *Am J Cardiol*. 1978;42(1):52–6.
339. Moore RL, Korzick DH. Cellular adaptations of the myocardium to chronic exercise. *Prog Cardiovasc Dis*. 1995;37(6):371–96.
340. Rowell LB. *Human Cardiovascular Control*. Oxford University Press; 1993. p 522.
341. Dankel SJ, Buckner SL, Jessee MB, Grant Mouser J, Mattocks KT, Abe T, et al. Correlations Do Not Show Cause and Effect: Not Even for Changes in Muscle Size and Strength. *Sports Med Auckl NZ*. 2018;48(1):1–6.
342. Cornelissen VA, Fagard RH, Coeckelberghs E, Vanhees L. Impact of resistance training on blood pressure and other cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomized, controlled trials. *Hypertens Dallas Tex* 1979. 2011;58(5):950–8.
343. Alugubelli N, Abuissa H, Roka A. Wearable Devices for Remote Monitoring of Heart Rate and Heart Rate Variability-What We Know and What Is Coming. *Sensors*. 2022;22(22):8903.

12 ANEXO

12.1 ANEXO 1



Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE

Projeto de pesquisa

FUNÇÃO AUTONÔMICA CARDÍACA E AVALIAÇÃO ERGOESPIROMÉTRICA EM ASSOCIAÇÃO COM ECODOPPLERCARDIOGRAMA EM ADULTOS ATLETAS DE DIFERENTES MODALIDADES

Pesquisadora

Michelle Teles Morlin

(aluna de Especialização do Programa de Pós-Graduação e Fisiologia do Exercício FEF- UnB)

Orientador

Prof. Dr. Guilherme Eckhardt Molina

(Profº Adjunto da Faculdade de Educação Física – Laboratório de Fisiologia do Exercício FEF –UnB)

Local de realização

Laboratório de Fisiologia do Exercício da Faculdade de Educação Física da UnB

Convidamos o(a) Senhor(a) _____ a participar do projeto de pesquisa Função autonômica cardíaca e Avaliação ergoespirométrica em associação com Ecodopplercardiograma em adultos atletas de diferentes modalidades, sob a responsabilidade do pesquisador Michelle Teles Morlin, sob orientação do Professor Dr. Guilherme Eckhardt Molina. O projeto verificará a relação dos aspectos da Função Autonômica Cardíaca e variáveis Ergoespirométricas, no repouso, exercício e na recuperação pós-exercício, em indivíduos atletas em diversas modalidades, clinicamente saudável, assintomático, em pleno gozo de suas atribuições pessoais e profissionais.

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar os diferentes mecanismos fisiológicos que podem estar envolvidos com a bradicardia (frequência cardíaca lenta no repouso) encontrados em atletas de diferentes modalidades por meio da avaliação da função autonômica cardíaca, ergoespirometria e ecodopplercardiograma, ou seja, maior compreensão quanto aos mecanismos de adaptação do coração de atletas frente ao exercício físico de diferentes modalidades.

O(a) senhor(a) receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa e lhe asseguramos que seu nome não aparecerá sendo mantido o mais rigoroso sigilo pela omissão total de quaisquer informações que permitam identificá-lo(a)

A sua participação se dará por meio de duas etapas básicas. Inicialmente atendimento pelo pesquisador a fim de proceder a uma anamnese (entrevista sobre características e hábitos pessoais), medida de dados antropométricos (peso, altura, composição corporal, frequência cardíaca e pressão arterial de repouso) e teste de avaliação da função autonômica cardíaca, em sala apropriada no Laboratório de Fisiologia do Exercício da Faculdade de Educação Física da UnB. Antes de proceder à avaliação da função autonômica, os voluntários serão submetidos à avaliação médica a fim de verificar condição clínico-cardiológica. Para as análises, serão utilizados dois aparelhos comuns, que são o eletrocardiograma e o freqüencímetro, para registro de eletrocardiograma e contagem do número de batimentos do coração (frequência cardíaca), na posição deitada, em cama de exame

médico, e na posição de pé ao lado da cama. Em cada uma das situações de exame, o eletrocardiograma e a contagem dos batimentos do coração terão a duração de 5 minutos, com intervalo de alguns minutos entre uma situação e outra. Ainda na primeira etapa, (na mesma semana da primeira etapa), serão encaminhados ao Hospital Universitário HuB, para realizar exames bioquímicos (sangue) e por imagem, como o ecodopplercardiograma com intuito de levantar mais informações sobre o estado de saúde. Após esta avaliação e não sendo detectada nenhuma contra-indicação à realização de teste de esforço máximo, será realizado um teste ergoespirométrico em esteira rolante (respirando numa máscara que mede os gases da respiração), para avaliação de capacidade física, de caráter máximo, que será sempre interrompido num ponto chamado de consumo máximo de oxigênio, que é normalmente associado a um grau de esforço físico intenso. Esta última etapa será desenvolvida, com data e hora marcadas, no Laboratório de Fisiologia do Exercício da Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília – FEF, pela equipe daquele laboratório e, sempre na presença do pesquisador responsável.

Os riscos decorrentes de sua participação na pesquisa para os procedimentos de avaliação que ocorrerão na condição de repouso são a sensação de tontura e/ou desmaio durante a mudança da posição corporal de deitada para a posição de pé na avaliação da função autonômica cardíaca. Caso o voluntário apresente estes sintomas, ao retornar a posição deitada os mesmos desaparecem. Com relação aos riscos durante o teste ergoespirométrico máximo, em geral trata-se de um exame muito seguro por informar de forma coordenada e integrada por meio de variáveis fisiológicas cardiovasculares, ventilatórias, metabólicas e de percepção subjetiva do esforço momento-a-momento as modificações fisiológicas com o esforço crescente. Este conjunto de informações permite o examinador proceder à interrupção do teste previamente a qualquer intercorrência. Outra condição que reduz o risco durante o teste ergoespirométrico relaciona-se com a característica dos voluntários que são atletas acostumados a se exercitarem frequentemente em níveis máximos de esforço físico. Por fim, a ocorrência de complicações graves (exemplo: infarto do miocárdio ou arritmias cardíacas graves ao esforço) na população geral, é de cerca de 0,05%, ou seja, uma complicação em cada 2.000 exames.

Os benefícios serão o conhecimento da condição clínico-funcional por meio do método padrão ouro de análise (margem de erro $\pm 3\%$) além da determinação dos limites ventilatórios da potência e resistência aeróbia, variáveis de relevância para o diagnóstico e prescrição do exercício físico e a verificação da presença de sinais que indicam over-training.

O(a) Senhor(a) pode se recusar a responder (ou participar de qualquer procedimento) qualquer questão que lhe traga constrangimento, podendo desistir de participar da pesquisa em qualquer momento sem nenhum prejuízo para o(a) senhor(a). Sua participação é voluntária, isto é, não há pagamento por sua colaboração.

Todas as despesas que você tiver relacionadas diretamente ao projeto de pesquisa (passagem para o local da pesquisa, alimentação no local da pesquisa ou exames para realização da pesquisa) serão cobertas pelo pesquisador responsável.

Caso haja algum dano direto ou indireto decorrente de sua participação na pesquisa, você poderá ser indenizado, obedecendo-se as disposições legais vigentes no Brasil.

Os resultados da pesquisa serão divulgados na Universidade de Brasília podendo ser publicados posteriormente. Os dados e materiais utilizados na pesquisa ficarão sob a guarda do pesquisador por um período de no mínimo cinco anos, após isso serão destruídos ou mantidos na instituição.

Se o(a) Senhor(a) tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, por favor telefone para: Michelle Teles Morlin, no telefone 61 8172-1575 ou com o Prof. Dr. Guilherme Eckhardt Molina 61 9202-3240.

Este projeto foi Aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde (CEP/FS) da Universidade de Brasília. O CEP é composto por profissionais de diferentes áreas cuja função é defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. As dúvidas com relação à assinatura do TCLE ou os direitos do participante da pesquisa podem ser obtidos através do telefone: (61) 3107-1947 ou do e-mail cepfs@unb.br ou cepfsunb@gmail.com, horário de atendimento de 10:00hs às 12:00hs e de 13:30hs às 15:30hs, de segunda a sexta-feira, ou no endereço: Faculdade Ciências da Saúde – Campus Darcy Ribeiro – Universidade de Brasília – DF 70904-970 Brasil.

Este documento foi elaborado em duas vias, uma ficará com o pesquisador responsável e a outra com o Senhor(a).

Nome / assinatura

Ft. Michelle Teles Morlin

Pesquisador Responsável

Prof. Dr. Guilherme Eckhardt Molina

Professor Orientador

Brasília, ___ de _____ de _201_.

12.2 ANEXO 2



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA - CEP/FS-UNB



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: FUNÇÃO AUTÔNOMICA CARDÍACA, AVALIAÇÃO ERGOESPIROMÉTRICA E ECODOPPLERCARDIOGRAMA EM ADULTOS ATLETAS DE DIFERENTES MODALIDADES

Pesquisador: MICHELLE TELES MORLIN

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 43690515.4.0000.0030

Instituição Proponente: Faculdade de Educação Física - UnB

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.151.967

Data da Relatoria: 12/08/2015

Apresentação do Projeto:

"Resumo:

A bradicardia, normalmente consequente à atividade física prolongada e de alta intensidade, é vista como uma adaptação cardioprotetora resultando em maior expectativa de vida e redução dos riscos cardiovasculares. Todavia, ainda é necessária maior compreensão quanto ao nível e ao mecanismo de adaptação cardíaca em atletas profissionais. É encontrado na literatura que estes mecanismos estão relacionados à modalidade esportiva e, a depender desta, os atletas apresentam alterações autonômicas e não autonômicas que levam a redução da frequência cardíaca. Dessa forma, o objetivo do estudo é verificar a correlação entre os mecanismos de bradicardia e alterações estruturais cardíacas por meio da análise da variabilidade da frequência cardíaca e ecodopplercardiograma, respectivamente em adultos atletas de diferentes modalidades esportivas. Será realizado um estudo transversal e observacional com atletas de alto rendimento de diferentes modalidades através da realização de avaliação de função autonômica cardíaca e ergoespirométrica e correlacionar-se-á com alterações observadas em ecodopplercardiograma a fim de maior entendimento dos mecanismos de bradicardia."

"Desenho:

Inicialmente os voluntários serão atendidos pelo pesquisador a fim de proceder a uma anamnese

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde - Campus Darcy Ribeiro
Bairro: Asa Norte **CEP:** 70.910-900
UF: DF **Município:** BRASÍLIA
Telefone: (61)3107-1947 **E-mail:** cepfsunb@gmail.com



Continuação do Parecer: 1.151.967

(entrevista sobre características e hábitos pessoais), medida de dados antropométricos (peso, altura, composição corporal, frequência cardíaca e pressão arterial de repouso) e teste de avaliação da função autonômica cardíaca, em sala apropriada no Laboratório de Fisiologia do Exercício da Faculdade de Educação Física da UnB. Antes de proceder à avaliação da função autonômica, os voluntários serão submetidos à avaliação médica a fim de verificar condição clinicocardiológica. Para as análises, serão utilizados dois aparelhos comuns, que são o eletrocardiograma e o freqüencímetro, para registro de eletrocardiograma e contagem do número de batimentos do coração (frequência cardíaca), na posição deitada, em cama de exame médico, e na posição de pé ao lado da cama. Em cada uma das situações de exame, o eletrocardiograma e a contagem dos batimentos do coração terão a duração de 5 minutos, com intervalo de alguns minutos entre uma situação e outra. Ainda na primeira etapa, (na mesma semana da primeira etapa), serão encaminhados ao Hospital Universitário HuB, para realizar exames bioquímicos (sangue) e por imagem, como o ecodopplercardiograma com intuito de levantar mais informações sobre o estado de saúde. Após esta avaliação e não sendo detectada nenhuma contra-indicação à realização de teste de esforço máximo, será realizado um teste ergoespirométrico em esteira rolante (respirando numa máscara que mede os gases da respiração), para avaliação de capacidade física, de caráter máximo, que será sempre interrompido num ponto chamado de consumo máximo de oxigênio, que é normalmente associado a um grau de esforço físico intenso. Esta última etapa será desenvolvida, com data e hora marcadas, no Laboratório de Fisiologia do Exercício da Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília – FEF, pela equipe daquele laboratório e, sempre na presença do pesquisador responsável."

"Critério de Inclusão:

Serão incluídos 30 indivíduos do sexo masculino, entre 20 e 40 anos, com prática em treino competitivo há pelo menos 3 anos, não-fumantes, que não façam uso de ergogênicos. Período de avaliação será de 48 horas de repouso durante fase básica de treinamento

Critério de Exclusão:

Serão excluídos os voluntários que apresentem condições que sabidamente interferem na função autonômica cardíaca como etilismo, ingestão regular de bebidas estimulantes e com manifesto estado emocional alterado."

Objetivo da Pesquisa:

"Objetivo Primário:

Verificar a correlação entre os mecanismos de bradicardia e alterações estruturais cardíacas por meio da análise da variabilidade da frequência cardíaca e ecodopplercardiograma, respectivamente

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde - Campus Darcy Ribeiro

Bairro: Asa Norte

CEP: 70.910-900

UF: DF

Município: BRASÍLIA

Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com



Continuação do Parecer: 1.151.967

Documentos apresentados em atendimento às pendências apontadas no parecer No. 1.090.978:

- Informações Básicas do Projeto - "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_479306.pdf", postado em 22/06/2015;
- Carta de resposta às pendências apontadas no parecer No. 1.090.978 - "carta - pendências.pdf", postado em 22/06/2015;
- TCLE - Modelo de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - "TCLE_ajustado_.doc", postado em 22/06/2015.

Recomendações:

Não se aplica.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Análise das respostas às pendências apontadas no parecer No. 1.090.978:

1. Quanto ao TCLE:

- 1.a) O objetivo da pesquisa foi reescrito. PENDÊNCIA ATENDIDA
- 1.b) O endereço do CEP/FS foi informado. PENDÊNCIA ATENDIDA.
- 1.c) O nome do professor orientador e seu número de telefone móvel foi informado. PENDÊNCIA ATENDIDA
- 2. A pesquisadora informa que "O Dr. Daniel França Vasconcelos não fará parte da equipe de pesquisadores. Será colaborador de pesquisa.". PENDÊNCIA ATENDIDA
- 3. Foram incluídos os riscos da ergoespirometria máxima e como os dados que são gerados podem permitir ao examinador proceder à interrupção do teste previamente ante a qualquer intercorrência. PENDÊNCIA ATENDIDA

Pendências atendidas.

Protocolo de pesquisa em conformidade com a Resolução CNS 466/2012 e complementares.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Em acordo com a Resolução 466/12 CNS, itens X.1.- 3.b. e XI.2.d, os pesquisadores responsáveis deverão apresentar relatórios parcial semestral e final do projeto de pesquisa, contados a partir da data de aprovação do protocolo de pesquisa.

Endereço: Faculdade de Ciências da Saúde - Campus Darcy Ribeiro
Bairro: Asa Norte CEP: 70.910-000
UF: DF Município: BRASÍLIA
Telefone: (61)3107-1947

E-mail: cepfsunb@gmail.com

13 APÊNDICE

ANAMNESE

ATLETA

Número do Voluntário:

Data de Nascimento:

Contato:

Questionário

Peso:

Altura:

Fumante () Não fumante ()

Uso de suplementos alimentares (cafeína, guaraná e pré treino):

Uso de medicação:

Alimentação prévia:

Estado emocional:

Noite de Sono:

Uso de bebida alcoólica:

Ano que começou exercício físico (ano/mês):

Ano que iniciou Crossfit (ano/mês):

Número de sessões de treino por semana:

Variabilidade de Frequência Cardíaca

Eletrocardiograma:

SUPINO

FC

FR

PA

ORTOSTATISMO

FC

FR

PA

