



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

BRUNA VARANDA PESSOA

**CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO E DA FREQUÊNCIA
CARDÍACA, ÍNDICE BODE E A INFLUÊNCIA DE DOIS PROGRAMAS
DE TREINAMENTO FÍSICO EM PACIENTES COM DOENÇA
PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA**

ESTUDO I: Cinética-*on* do Consumo de Oxigênio e da Frequência Cardíaca de pacientes com DPOC: comparação entre cicloergômetro e equipamento elíptico

ESTUDO II: Índice BODE, composição corporal, força muscular periférica e cinética-*on* do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca em cicloergômetro e em equipamento elíptico em pacientes com DPOC: há correlação entre eles?

ESTUDO III: Efeitos do treinamento físico combinado e intervalado em equipamento elíptico na cinética-*on* do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca em pacientes com DPOC: estudo controlado, randomizado

BRUNA VARANDA PESSOA

**CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO E DA FREQUÊNCIA
CARDÍACA, ÍNDICE BODE E A INFLUÊNCIA DE DOIS PROGRAMAS
DE TREINAMENTO FÍSICO EM PACIENTES COM DOENÇA
PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Fisioterapia, área de concentração: Processos de Avaliação e Intervenção em Fisioterapia.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Jamami

São Carlos – SP

2012

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

P475cc

Pessoa, Bruna Varanda.

Cinética do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca, índice BODE e a influência de dois programas de treinamento físico em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica / Bruna Varanda Pessoa. -- São Carlos : UFSCar, 2012.

164 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.


1. Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC). 2. Cinética. 3. Consumo de oxigênio. 4. Frequência cardíaca. 5. Índice BODE. 6. Condicionamento físico. I. Título.

CDD: 615.836 (20^a)

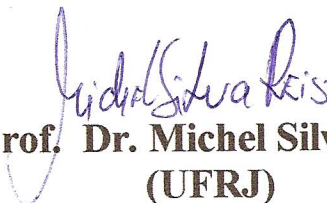
FOLHA DE APROVAÇÃO

Membros da banca examinadora para defesa de tese de doutorado de BRUNA VARANDA PESSOA, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, em 29 de Fevereiro de 2012

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Mauricio Jamami
(UFSCar)


Prof. Dr. Renata Gonçalves Mendes
(UFSCar)


Prof. Dr. Michel Silva Reis
(UFRJ)


Prof. Dr. Maycon de Moura Reboredo
(IFSEMG)


Prof.ª Dr.ª Priscila Cristina de Abreu Sperandio
(UNIFIEO/IDPC)

Investigação conduzida no Laboratório de Espirometria e Fisioterapia Respiratória, Unidade Especial de Fisioterapia Respiratória e no Laboratório de Fisioterapia Cardiopulmonar, Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico do Departamento de Fisioterapia, da Universidade Federal de São Carlos.

Apoio Financeiro: CAPES

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, pois sem Ele, nada seria possível. Pela presença incondicional, por me dar força para superar os obstáculos e por concretizar mais esse sonho.

Ao meu querido pai João Aparecido e a minha querida mãe Marli, pessoas admiráveis! Pelo apoio incondicional, amor, carinho, compreensão, incentivo e por terem tido paciência comigo nos momentos que precisei.

Ao meu querido irmão e amado Renan, pelo amor, carinho, compreensão, incentivo e apoio.

Ao meu querido esposo e amigo Moisés, pelo amor, companheirismo, apoio diário, incentivo, e por não ter me abandonado nos momentos mais difíceis.

Amo muito você!

Às minhas avós, Isaltina da Silva Varanda e Luiza Marcatto Pessoa, pelo amor incondicional e dedicação durante toda a minha existência.

A memória de meus avôs, João Varanda e Manoel Ribeiro Pessoa, que foram fãs incondicionais e verdadeiros amigos, em quase todo o meu percurso de vida, e sei que estão sempre ao meu lado.

Aos meus tios e tias, primos e primas, que contribuíram indiretamente, e por compreenderem a minha ausência, durante a realização deste trabalho.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, que apesar de muitas barreiras me fez crer que a força que vem Dele é mais forte. Obrigada por iluminar o meu caminho, pelo auxílio nas minhas escolhas e me confortar nas horas difíceis, pela paciência, persistência, orientação, coragem e discernimento para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Mauricio Jamami, que sempre demonstrou muita confiança em mim, meu carinho, gratidão e admiração, por sua dedicação, ensinamento, paciência e amizade, orientando-me com responsabilidade, segurança, companheirismo, e pelo conforto nas horas difíceis.

À minha querida e amiga, Profa. Dra. Valéria Amorim Pires Di Lorenzo, que transmitiu seus conhecimentos e experiências profissionais de vida com dedicação, por sua contribuição como pesquisadora, pela confiança e amizade.

À Profa. Dra. Audrey Borghi-Silva por ter me dado oportunidade e ter me acolhido no Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular e no Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico. Agradeço por compartilhar seu conhecimento científico, pelas contribuições, ensinamentos, amizade e respeito.

A Profa. Aparecida Maria Catai pelo apoio, amizade, dedicação e preocupação.

A equipe Nancy, Cilso e Victor pelo companheirismo e trabalho em equipe.

A amiga querida Glaucia Nancy Takara por ter me auxiliado muito durante o período de coleta dos dados, pela nossa valiosa amizade, sempre se mostrando solícita, preocupada e carinhosa. Pelos muitos almoços e açáís. Obrigada pela nossa amizade!

A toda equipe da Unidade Especial de Fisioterapia Respiratória: Ivana, Juliano, Kamilla, Diego, Renata, Eloisa, Samantha, Júlia, Adriana, Daniela, Alaís, Ivanize, Cilso, Nancy, Victor, Gualberto, Flávia, Roberta, Lélia, Camila, Amanda, e aos amigos do NUPEF, que sempre mostraram-se disponíveis para ajudar-me, pelo convívio, por todos os momentos felizes que passamos juntos, e por muito apoiarem-me na finalização desta etapa.

Ao amigo Thomas Beltrame, pelas nossas discussões científicas e pelo auxílio na elaboração dos gráficos e na redação do artigo! O meu muito obrigada, essas palavras são pouco para demonstrar toda a ajuda que me ofereceu!

A amiga Iolanda Vilella, pelo incentivo e apoio, e claro pelas gargalhadas proporcionadas no laboratório.

À secretária do PPG-Ft, Kelly pela amizade, convívio e por ser sempre gentil para ajudar.

Aos professores da banca examinadora. Prof. Dr. Michel Silva Reis, Prof. Dr. Maycon de Moura Reboredo, Prof. Dr. Marlus Karsten, Profa. Dra. Priscila Cristina de Abreu Sperandio, Profa. Dra. Valéria Amorim Pires Di Lorenzo, Profa. Dra. Renata Gonçalves Mendes, Profa. Dra. Karina Maria Cancelliero Gaiad, Profa. Dra. Eli Maria Pazzianotto Forti, por aceitarem o convite e pelas valiosas críticas e contribuições.

Aos pacientes e voluntários, pois sem eles não seria possível a realização deste trabalho!
Obrigada pela confiança, carinho, amizade, assiduidade e dedicação às avaliações e ao
tratamento, permitindo a concretização deste estudo.

Aos médicos Dra. Tatiana Coelho, Dr. Sérgio Prippas e Dr. Antônio Delfino por sempre
mostrarem dispostos a ajudar os pacientes e a contribuir com o nosso serviço de fisioterapia
respiratória.

À CAPES pelo apoio financeiro.

A toda a minha família que sempre me incentivaram e me proporcionaram momentos de
lazer, imprescindíveis ao bom andamento deste estudo.

Enfim, a todas as pessoas, que de alguma forma, contribuíram para esta etapa tornar-se
realidade!!!

RESUMO

A tese constou de três estudos descritos a seguir. O estudo I, intitulado: “Cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO_2) e da frequência cardíaca (FC) de pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC): comparação entre cicloergômetro e equipamento elíptico” teve como objetivo avaliar e comparar a cinética do VO_2 e da FC em testes de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE), em pacientes com DPOC e indivíduos saudáveis. Foram avaliados 18 homens com DPOC de obstrução moderada a muito grave (grupo DPOC) entre 55 e 78 anos e 18 homens aparentemente saudáveis (grupo controle: GC) pareados por idade, submetidos em dias alternados aos seguintes testes: 1) teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas; 2) TCC e 3) TCE ambos a 70% da intensidade máxima obtida no TI. Foram coletados os gases expirados em todos os testes, e a cinética do VO_2 e da FC foram analisadas. O grupo DPOC apresentou a *tau* (τ) e o tempo de resposta média (TRM) do VO_2 significativamente maiores no TCC em comparação ao GC ($p < 0,05$), porém sem diferenças significativas para o TCE. Em relação aos diferentes testes, no grupo DPOC a τ e o TRM foram significativamente maiores no TCC em comparação ao TCE ($p < 0,05$), em contraste, no GC, não foram observadas diferenças significativas entre os testes. Concluímos que a cinética do VO_2 é lentificada na DPOC, entretanto, a mesma depende do ergômetro testado. A cinética mais rápida encontrada no TCE no grupo DPOC pode estar relacionada aos efeitos da posição corporal adotada ou ao maior recrutamento de fibras musculares, bem como ao maior estresse ventilatório e cronotrópico observado neste teste. Na sequência, o estudo II, intitulado: “Índice BODE, composição corporal, força muscular periférica e cinética-*on* do VO_2 e da FC em cicloergômetro e em equipamento elíptico em pacientes com DPOC: há correlação entre eles?” objetivou verificar se há correlação entre a cinética-*on* do VO_2 e da FC no TCC e no TCE com o índice BODE e suas variáveis isoladas, massa muscular (MM), índice de massa

magra corporal (IMMC) e com a força muscular periférica (FMP) representada pelo teste de uma repetição máxima (1RM) em pacientes com DPOC. Foram avaliados 14 homens com DPOC de obstrução moderada a muito grave entre 55 e 78 anos, submetidos em dias alternados aos seguintes testes: 1) teste de caminhada de seis minutos (TC6); 2) TI; 3) TCC e 4) TCE ambos a 70% da intensidade máxima obtida no TI; 5) teste de uma repetição máxima (1RM) e 6) avaliação da composição corporal. Foram coletados os gases expirados no TI e TCC, e a cinética do VO_2 e da FC foram analisadas. O índice BODE foi calculado. Observou-se correlação moderada entre a τ e o TRM do VO_2 e da FC no TCC com o índice BODE ($r=0,55$ e $r=0,63$; $r=0,66$ e $r = 0,74$, respectivamente); e correlações negativas significativas entre a τ e o TRM do VO_2 no TCC com o VEF_1 ($r=-0,69$; $r=-0,68$), com a distância percorrida no TC6 (DP-TC6) ($r=-0,62$; $r=-0,65$) e com a DP-TC6 %prevista ($r=-0,64$; $r=-0,70$). Ainda a τ e o TRM da FC no TCC correlacionaram-se com a DP-TC6 ($r=-0,81$; $r=-0,82$) e a DP-TC6 %prevista ($r=-0,83$; $r=-0,65$). Esse mesmo comportamento não foi observado para a cinética do VO_2 e da FC no TCE. Não foram observadas correlações estatisticamente significativas entre a τ e o TRM do VO_2 e da FC em ambos os ergômetros com a MM, IMMC e FMP. Concluimos que a cinética-*on* do VO_2 e da FC no TCC correlacionou-se com o índice BODE, VEF_1 e DP-TC6, mostrando que a gravidade da doença, limitação ao fluxo aéreo e a capacidade ao exercício são refletidas pela lentificação da cinética, entretanto a mesma depende do ergômetro utilizado. Finalmente, o estudo III, intitulado: “Efeitos do treinamento físico aeróbio/resistido e intervalado na cinética-*on* do VO_2 e da FC em pacientes com DPOC: estudo controlado, randomizado” avaliou e comparou os efeitos do treinamento físico aeróbio/resistido (TFAR) e treinamento físico intervalado de alta intensidade em equipamento elíptico (TFI) na cinética-*on* do VO_2 e da FC no TCC e no TCE em pacientes com DPOC. Dezoito homens com DPOC, foram randomizados para: grupo de TFAR (n=9) e grupo TFI (n=9), e submetidos ao: 1) TI; 2) TCC e 3) TCE ambos a 70% da intensidade máxima obtida

no TI; e 4) teste de uma repetição máxima (1RM); reavaliados após seis semanas de treinamento físico. O grupo TFAR realizou 30 minutos de cicloergômetro, com intensidade entre 60-70% da carga máxima atingida no TI, sendo aumentados 10% após três semanas de treinamento; e três séries de 15 repetições em leg-press com intensidade de 40-60% da carga máxima tolerada no teste de 1RM, sendo aumentado 10% a cada duas semanas de treinamento, e adotou-se intervalo de dois minutos entre as séries. Já, o grupo TFI realizou 30 minutos de treinamento em equipamento elíptico com carga máxima atingida no TI e intervalos de um minuto. Ambos os programas foram realizados 3x/semana por seis semanas, completando 18 sessões. Foram coletados os gases expirados no TI, TCC e TCE, e a cinética do VO_2 e da FC foram analisadas. Não foram observadas diferenças significativas na cinética do VO_2 após o treinamento físico no grupo TFAR, em ambos os testes. Entretanto, no grupo TFI, verificou-se lentificação da mesma no TCC e no TCE após o treinamento. Quanto à cinética-*on* da FC, não foram constatadas diferenças significativas nos dois grupos e testes, após os dois programas. Concluímos que a cinética-*on* do VO_2 é lentificada nos pacientes com DPOC, quando realizam TCC e TCE após o programa de TFI de alta intensidade. Entretanto, o programa de TFAR não proporcionou benefícios na cinética-*on* do VO_2 e da FC na DPOC, nos TCC e TCE.

Palavras-chave: DPOC; consumo de oxigênio; cinética; frequência cardíaca; tolerância ao exercício; resistência física; exercício físico; mortalidade; índice de gravidade de doença.

ABSTRACT

The thesis consisted of three studies described below. The study I, entitled: “Oxygen uptake and heart rate on-kinetics in patients with Chronic obstructive pulmonary disease (COPD): comparison between cycle ergometry and elliptical equipment” aimed to evaluate and compare the kinetics of both oxygen uptake (VO_2) and heart rate (HR) in constant work-rate tests on a cycle ergometer (CCT) and on an elliptical machine (ECT) in COPD patients and healthy individuals. Eighteen male COPD patients between 55 and 78 years old with moderate to very severe obstruction (COPD group) and 18 apparently healthy males (control group: CG) were evaluated; the subjects were paired by age and submitted to the following tests on alternate days: 1) symptom-limited incremental cycle ergometer test (IT); 2) CCT and 3) ECT, both at 70% of the maximum intensity obtained in the IT. Expired gases were collected in all tests, and the kinetics of VO_2 and HR were analyzed. The COPD group presented significantly higher τ (τ) and mean response time (MRT) for VO_2 on the CCT than the CG ($p < 0.05$); however, there was no significant difference on the ECT. Regarding the different tests, the COPD group had a significantly higher τ and MRT on the CCT than the ECT; on the other hand, no differences between the tests were observed in the CG. We conclude that VO_2 kinetics are slowed in COPD; however, this depends on the ergometer used for testing. The faster kinetics found on the ECT for the COPD group may be related to the effects of the body position or to higher recruitment of muscle fibers, as well as to the greater ventilatory and chronotropic stress observed in this test. Following, the study II, entitled: “BODE index, body composition, peripheral muscle strength and VO_2 and HR kinetics on a cycle ergometer and on elliptical equipment in COPD patients: there is relationship between them?” aimed to determine if there is a relationship between VO_2 and HR on-kinetics in constant work-rate exercise test on CCT and ECT with the BODE index and their isolated variables, muscle mass (MM), lean body mass index (LBMI) and with

peripheral muscle strength (PMS) represented by one-repetition maximum strength test (1RM) in patients with COPD. Fourteen men patients with moderate to very severe COPD (COPD group), between 55 and 78 years, were submitted to the following tests on alternate days: 1) six-minute walking test (6MWT); 2) IT; 3) CCT and 4) ECT at 70% of the maximum intensity obtained in CPT; 5) 1RM test and 6) body composition evaluation. Expired gases were collected in CPT, CCT and ECT, and response of the VO_2 and HR on-kinetics were analyzed. The BODE index was calculated. The BODE index was calculated. The Pearson correlation coefficient ($p < 0.05$) presented a moderate positive relationship between BODE index and τ and MRT of VO_2 and HR in CCT ($r = 0.55$ and $r = 0.63$; $r = 0.66$ and $r = 0.74$, respectively); and negative correlation between τVO_2 and MRT- VO_2 with FEV_1 ($r = -0.69$; $r = -0.68$), DW-6MWT ($r = -0.62$; $r = -0.65$) and DW-6MWT %predict ($r = -0.64$; $r = -0.70$). Still, significant negative correlations were observed between the τ -HR and MRT-HR with DW-6MWT ($r = -0.81$; $r = -0.82$) and DW-6MWT %predict ($r = -0.83$; $r = -0.65$). Significant correlations between the TRM and τ of VO_2 and of HR with MM, LBMI and PMS; and correlations with VO_2 and HR on-kinetics in ECT were not observed. In general, our data show that patients with moderate to very severe COPD have slowed VO_2 kinetics in the CCT compared the ECT. Furthermore, the VO_2 and HR on-kinetics in CCT has a moderate correlation with the classification of COPD severity assessed by the BODE index, FEV_1 and DW-6MWT, showing that COPD severity, airflow limitation and exercise capacity are reflected by the slowing of the on-kinetics in COPD patients, but it depends on the ergometer. Finally, the study III, entitled: "Effect of aerobic/resisted and interval physical training on oxygen uptake and heart rate on-kinetics in patients with COPD: randomized, controlled trial" evaluated and compared the effect of aerobic/resisted physical training (TFAR) and interval physical training program on elliptical equipment (TFI) of high intensity on VO_2 and HR on-kinetics during CCT and ECT in patients with COPD. Eighteen men patients with moderate to

very severe COPD, between 55 and 80 years, randomly divided into two groups: nine of the patients had been engaged in TFAR group, and nine in TFI group, were submitted to the following tests on alternate days: 1) IT; 2) CCT, and 3) ECT both at 70% of the maximum intensity obtained in IT, and one repetition maximum test (1RM), being reevaluated after six weeks physical training. program. The TFAR group consisted of aerobic training by thirty minutes, at 60-70% of the maximal intensity obtained in IT; and three sets of fifteen repetitions of resisted training in lower limbs on leg press at 40-60% of the maximal intensity obtained in 1RM test, separated by 2-min rest periods between sets. The TFI group realized training program on an elliptical equipment, by thirty minutes at 100% of the maximum intensity obtained in IT, separated by 1-min rest periods. The two training groups completed 6 week (3x/week) of exercise training, until completing a total of eighteen sessions. Expired gases were collected in in all tests, and response of the VO_2 and HR on-kinetics were analyzed. No significant difference post-training in the TFAR group both tests (CCT and ECT) were observed; but, the TFI group displayed slower VO_2 on-kinetics ($> \tau$ and $> MRT$) in the CCT and ECT after training. In relation HR on-kinetics, no significant difference in both groups and both constant workload exercise tests post-training were observed. We conclude that the interval physical training program on elliptical equipment lead to slower VO_2 kinetics the onset at high-intensity exercise (CCT and ECT) in patients with COPD. Furthermore, the TFAR program is no sufficient to improve the VO_2 and HR on-kinetics in the CCT and ECT.

Key-words: COPD; oxygen uptake; kinetics; heart rate; exercise tolerance; physical endurance; physical exercise; mortality; severity of illness index.

LISTA DE FIGURAS

ESTUDO I

Figura 1: Realização do teste de carga constante em cicloergômetro (TCC).....45

Figura 2: Ilustração do equipamento elíptico.....46

Figuras 3A e 3B: Realização do teste de carga constante em equipamento elíptico (TCE)....46

Figuras 4A e 4B: Coleta dos gases expirados com o paciente em repouso e ergoespirômetro (VO₂₀₀₀ MedGraphics®), máscara e pneumotacógrafo.....47

Figura 5: Fluxograma de participação dos pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e indivíduos saudáveis no estudo.....50

Figura 6: Ilustração das médias dos parâmetros da função da cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO₂) e frequência cardíaca (FC) em diferentes testes de carga constante em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e controles saudáveis.....57

ESTUDO II

Figuras 1A e 1B: Realização do teste de caminhada de seis minutos (TC6).....80

Figura 2: Realização do teste de carga constante em cicloergômetro (TCC).....83

LISTA DE FIGURAS

Figura 3: Ilustração do equipamento elíptico.....	84
Figuras 4A e 4B: Realização do teste de carga constante em equipamento elíptico (TCE)....	84
Figura 5: Realização do teste de uma repetição máxima (1RM) em Leg press horizontal.....	85
Figuras 6A e 6B: Coleta dos gases expirados com o paciente em repouso e ergoespirômetro (VO ₂₀₀₀ MedGraphics®), máscara e pneumotacógrafo.....	86
Figura 7: Fluxograma de participação dos pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) no estudo.....	88
Figuras 8A, 8B, 8C, 8D, 8E e 8F. Correlação entre a constante de tempo (τ) e o tempo de resposta médio (TRM) do VO ₂ com o Índice BODE, volume expiratório no primeiro segundo (VEF ₁) e distância percorrida no teste de caminhada de seis minutos (TC6) nos pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC).....	93

LISTA DE FIGURAS

Figuras 9A, 9B, 9C e 9D. Correlação entre a constante de tempo (τ) e o tempo de resposta médio (TRM) da FC com o Índice BODE e distância percorrida no teste de caminhada de seis minutos (TC6) nos pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC).....94

ESTUDO III

Figura 1: Realização do teste de carga constante em cicloergômetro (TCC).....118

Figura 2: Ilustração do equipamento elíptico.....119

Figuras 3A e 3B: Realização do teste de carga constante em equipamento elíptico (TCE)..120

Figuras 4A e 4B: Coleta dos gases com o paciente em repouso e a ilustração do ergoespirômetro (VO₂₀₀₀ MedGraphics®), máscara e pneumotacógrafo.....121

Figura 5: Realização do teste de teste de uma repetição máxima (1RM) em Leg press horizontal.....122

Figura 6: Fluxograma do programa de treinamento físico aeróbio associado ao resistido (TFAR).....124

LISTA DE FIGURAS

- Figura 7:** Realização do treinamento físico intervalado no equipamento elíptico (TFI).....124
- Figura 8:** Fluxograma do programa de treinamento intervalado no equipamento elíptico (TFI).....126
- Figura 9:** Fluxograma de participação dos pacientes no estudo.....128
- Figura 10:** Ilustração das médias dos parâmetros da função da cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO_2) e frequência cardíaca (FC) em diferentes testes de carga constante nos grupos treinamento físico aeróbio associado ao resistido (TFAR) e treinamento físico intervalado em equipamento elíptico (TFI).....138

LISTA DE TABELAS

ESTUDO I

- Tabela 1:** Características demográficas, antropométricas, espirométricas e do teste incremental em cicloergômetro do grupo doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e grupo controle (GC).....52
- Tabela 2:** Respostas metabólicas, ventilatórias, cardiovasculares e subjetivas no tempo máximo tolerado (T_{lim}) nos testes de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE) no grupo doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e indivíduos controles saudáveis (GC).....54
- Tabela 3:** Parâmetros da cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO₂) e da frequência cardíaca (FC) do grupo doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e grupo controle (GC) nos diferentes testes de carga constante.....56

ESTUDO II

- Tabela 1:** Características demográficas, antropométricas, espirométricas, do teste de caminhada de seis minutos e Índice BODE dos pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC).....90
- Tabela 2:** Parâmetros da cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO₂) e da frequência cardíaca (FC) no teste de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE) dos indivíduos estudados.....91

LISTA DE TABELAS

ESTUDO III

- Tabela 1:** Características demográficas, antropométricas e espirométricas dos grupos estudados.....130
- Tabela 2:** Características no pico do teste incremental em cicloergômetro, da avaliação da composição corporal e da força muscular periférica dos grupos treinamento físico aeróbio associado ao resistido (TFAR) e treinamento físico intervalado em equipamento elíptico (TFI).....133
- Tabela 3:** Respostas metabólicas, ventilatórias, cardiovasculares, da dispneia e fadiga nos membros inferiores, e tempo máximo tolerado (T_{lim}) nos testes de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE) nos grupos treinamento físico aeróbio associado ao resistido (TFAR) e treinamento físico intervalado em equipamento elíptico (TFI).....135
- Tabela 4:** Parâmetros da cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO₂) e frequência cardíaca (FC) de pacientes com DPOC no teste de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE) pré e pós-treinamento físico.....137

LISTA DE ABREVIATURAS

ATS	<i>American Thoracic Society</i>
BL	<i>baseline</i>
BODE	<i>B - body mass index; O - airflow obstruction, D - dyspnea; E - exercise capacity</i>
COPD	<i>Chronic obstructive pulmonary disease</i>
CVF	Capacidade vital forçada
CG	<i>Control group</i>
CCT	<i>Constant work-rate test on cycle ergometer</i>
DPOC	Doença pulmonar obstrutiva crônica
ECT	<i>Constant work-rate test on an elliptical machine</i>
ERS	<i>European Respiratory Society</i>
FC	Frequência cardíaca
FC_{máx}	Frequência cardíaca máxima
FEV₁	<i>Forced expiratory volume in first second</i>
FR	Frequência respiratória
GC	Grupo controle
GOLD	<i>Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease</i>
HR	<i>Heart rate</i>
IMC	Índice de massa corpórea
IMMC	Índice de massa magra corporal, índice de depleção nutricional
IPAQ	<i>International Physical Activity Questionnaire</i>
IT	<i>Symptom-limited incremental cycle ergometer test</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

MM	Massa muscular magra
MRC	<i>Medical Research Council Dyspnea Scale</i>
MRT	<i>Mean response time</i>
PA	Pressão arterial
PAS	Pressão arterial sistólica
PAD	Pressão arterial diastólica
QO₂	Captação periférica de oxigênio mitocondrial
RC	Reserva cronotrópica
SpO₂	Saturação periférica de oxigênio
TI	Teste incremental em cicloergômetro limitado por sintomas
TCC	Teste de carga constante em cicloergômetro
TCE	Teste de carga constante em equipamento elíptico
TC6	Teste de caminhada de seis minutos
6MWT	Six-Minute Walk Test
TD	<i>Time Delay</i>
TFAR	Treinamento físico aeróbio associado ao resistido
TFI	Treinamento físico intervalado
Tlim	Tolerância máxima atingida no teste (tempo limite)
TRM	Tempo de resposta média
VE	Ventilação minuto
VE/VVM	Demanda ventilatória
VEF₁	Volume expiratório forçado no primeiro segundo

LISTA DE ABREVIATURAS

VEF₁/CVF	Razão volume expiratório forçado no primeiro segundo pela capacidade vital forçada
VCO₂	Produção de dióxido de carbono
VO₂	Consumo de oxigênio/ Oxygen consumption/ Oxygen uptake
VVM	Ventilação voluntária máxima
VC	Volume corrente
1RM	Teste de uma repetição máxima

SUMÁRIO

CONTEXTUALIZAÇÃO.....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
ESTUDO I.....	35
RESUMO.....	36
ABSTRACT.....	37
INTRODUÇÃO.....	38
MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
RESULTADOS.....	49
DISCUSSÃO.....	58
REFERÊNCIAS.....	65
ESTUDO II.....	70
RESUMO.....	71
ABSTRACT.....	73
INTRODUÇÃO.....	75
MATERIAIS E MÉTODOS.....	77
RESULTADOS.....	88
DISCUSSÃO.....	94
REFERÊNCIAS.....	100
ESTUDO III.....	106
RESUMO.....	107
ABSTRACT.....	109
INTRODUÇÃO.....	111
MATERIAIS E MÉTODOS.....	113
RESULTADOS.....	127
DISCUSSÃO.....	139
REFERÊNCIAS.....	147
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	157
DESDOBRAMENTOS FUTUROS.....	159
ANEXOS.....	161

CONTEXTUALIZAÇÃO

CONTEXTUALIZAÇÃO

A doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) é caracterizada por obstrução crônica progressiva ao fluxo aéreo e não totalmente reversível, associada a uma resposta inflamatória anormal dos pulmões à inalação de partículas e/ou gases nocivos, sobretudo ao tabagismo (II CONSENSO BRASILEIRO SOBRE DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA, 2004). Ainda é caracterizada pela perda de peso significativa (DOURADO et al., 2006; WOUTERS, 2000), redução da força e endurance dos músculos respiratórios, dos membros inferiores e superiores (DOURADO et al., 2006; OROZCO-LEVI, 2003), levando a diminuição da capacidade funcional e intolerância aos esforços (DOURADO et al., 2006), tendo importante implicação na qualidade de vida, número de hospitalizações e sobrevida (CASAS et al., 2005; CELLI et al., 2004).

A diminuição da capacidade de exercício deve-se a interação de múltiplos fatores, dentre eles, a limitação ventilatória, uma característica patofisiológica importante, responsável pela hipoxemia e dessaturação, principalmente nos estágios mais avançados da doença, além do sintoma de dispneia, que piora durante o exercício devido às inadequações da relação ventilação/perfusão (CASANOVA et al., 2008), à fraqueza dos músculos inspiratórios e à hiperinsuflação pulmonar (CASANOVA et al., 2008). Outro fator limitante é a disfunção muscular periférica, em que há predomínio do metabolismo anaeróbico, com maior lactacidemia, contribuindo para a hipoxemia e para o aumento da fadiga muscular (CASANOVA et al., 2008; CHIAPPA et al., 2008; DOURADO et al., 2006). Isso resulta em dispneia, fraqueza muscular e descondicionamento físico, e por consequência, uma espécie de círculo vicioso ou espiral negativo, que gera importantes limitações funcionais em indivíduos com DPOC (CASANOVA et al., 2008; DOURADO et al., 2006). Ainda esta diminuição da capacidade de exercício pode estar marcada pela lentificação da cinética do consumo de

oxigênio (VO_2) e da frequência cardíaca (FC) no início do exercício (PUENTE-MAESTU et al., 2003; CHIAPPA et al., 2008).

Existem inúmeros fatores que são responsáveis por essa lentificação da cinética do VO_2 e da FC nos pacientes com DPOC tais como: o acúmulo de metabólitos que aumentam a fadiga muscular periférica (CHIAPPA et al., 2009; CHIAPPA et al., 2008), densidade mitocondrial reduzida (CHIAPPA et al., 2009; CHIAPPA et al., 2008; POOLE et al., 2007) e o desarranjo nas reações biomecânicas que estimulam a captação periférica de oxigênio (QO_2) mitocondrial (LAVENEZIANA et al., 2005; SOMFAY et al., 2002), bem como a vasodilatação periférica e a resposta cardíaca prejudicada (CHIAPPA et al., 2009; CHIAPPA et al., 2008).

Dessa maneira, torna-se necessário avaliar a cinética-*on* do VO_2 e da FC, pois têm sido considerados parâmetros essenciais na avaliação da capacidade aeróbia e de exercício (JONES, CARTER, 2000). A cinética do VO_2 e da FC tem sido estudada em testes de carga constante de moderada ou alta intensidade em cicloergômetro ou em esteira rolante (JONES, BURNLEY, 2005). Entretanto, o equipamento elíptico é um ergômetro que recentemente tem sido utilizado na reabilitação de pacientes com doenças crônicas (KIM, NHO, WHALEY, 2008) e indivíduos saudáveis (MISIC et al., 2009; EGANA, DONNE, 2004), e simula o movimento de pedalar em pé em uma bicicleta (LU, CHIEN, CHEN, 2007). Sabe-se que a postura adotada durante o exercício e os efeitos da gravidade podem influenciar o comportamento da cinética do VO_2 (WILLIAMSON, RAVEN, WHIPP, et al., 1996; KOGA et al., 1999; HUGHSON, COCHRANE, BUTLER 1993) e da FC (JONES, BURNLEY, 2005; SCHNEIDER, WING, MORRIS, et al. 2002). Porém, não se sabe se o comportamento cinético do VO_2 e da FC pode ser sensível às diferenças apresentadas por este tipo de ergômetro em relação ao cicloergômetro.

Nesse sentido, na tentativa de avaliar e comparar a cinética do VO_2 e da FC no cicloergômetro e no equipamento elíptico, em pacientes portadores de DPOC e indivíduos saudáveis, realizou-se o estudo I intitulado “Cinética-*on* do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca de pacientes com DPOC: comparação entre cicloergômetro e equipamento elíptico”, o qual foi submetido ao Periódico *Respirology* (Anexo I).

Por outro lado, a reduzida capacidade de exercício tem influenciado fortemente a sobrevida desses pacientes. Devido à gravidade das alterações citadas anteriormente, Celli et al. (2004) realizaram um estudo multicêntrico para avaliar fatores determinantes do risco de mortalidade dos pacientes com DPOC, e assim desenvolveram o índice BODE (*Body mass index, airflow Obstruction, Dyspnea, Exercise capacity*), o qual fornece informação prognóstica da gravidade da DPOC, além de refletir a incapacidade funcional induzida pela mesma.

Os pacientes com DPOC apresentam lentificação da cinética-*on* do VO_2 e da FC no TCC comparado a indivíduos saudáveis pareados por idade. Essa lentificação da cinética do VO_2 e da FC nos pacientes com DPOC está associada à hipoxemia, ventilação em volume pulmonar mais alto, distúrbios na mecânica da respiração, ineficiência da distribuição de oxigênio durante a transição repouso-exercício (LAVENEZIANA et al., 2011; CHIAPPA et al., 2009; CHIAPPA et al., 2008; POOLE et al., 2007; SOMFAY et al., 2002), desequilíbrio autonômico e a redistribuição do fluxo sanguíneo para os músculos periféricos e respiratórios (CHIAPPA et al., 2008). Entretanto não se sabe se esta lentificação apresenta correlação com o índice preditor de mortalidade BODE e suas variáveis isoladas, com a massa muscular magra (MM), índice de massa magra corporal (IMMC) e com a força muscular periférica (FMP) avaliada pelo teste de uma repetição máxima (1RM). Dessa maneira, com o intuito de verificar se há correlação entre a cinética-*on* do VO_2 e da FC com o índice BODE e suas variáveis isoladas, com a MM, IMMC e com a FMP, realizou-se o estudo II intitulado:

“Índice BODE, composição corporal, força muscular periférica e cinética-*on* do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca em cicloergômetro e em equipamento elíptico em pacientes com DPOC: há correlação entre eles?”, o qual foi submetido à Revista Brasileira de Fisioterapia (Anexo II).

Os programas de treinamento físico de membros inferiores, além de apresentarem evidência científica “A”, constituem componentes importantes, na reversão das manifestações decorrentes da DPOC, resultando em ganho na capacidade ao exercício (PUENTE-MAESTU et al., 2001), bem como a aceleração da cinética-*on* do VO_2 e da FC em pacientes com DPOC (PUENTE-MAESTU et al., 2003; OTSUDA et al., 1997), em atletas (NORRIS; PETERSEN, 1998) e em pacientes com diabetes tipo 2 (BRANDENBURG et al., 1999). Para tanto, deve ser levado em consideração a escolha de um programa individualizado adequado às limitações e a gravidade da doença.

O treinamento físico aeróbio contínuo associado ao resistido (TFAR) tem sido considerado uma opção benéfica, uma vez que o exercício aeróbio parece ser efetivo na reversão das anormalidades morfológicas e funcionais da musculatura esquelética, no entanto, apresenta pouco ou nenhum efeito sobre a redução de força e atrofia muscular (SILVA, DOURADO, 2007; PUHAN et al., 2005; SPRUIT et al., 2002). Assim o treinamento de força e resistência musculares mostrarem-se opções racionais (SILVA, DOURADO, 2007; PUHAN et al., 2005; SPRUIT et al., 2002). Entretanto, o treinamento físico intervalado (TFI) está sendo aplicado em pacientes em estágios avançados da doença, porém depende da intensidade e duração, para determinar as adaptações fisiológicas (KORTIANOU, 2010), ainda reduz a dispnéia e a fadiga de membros inferiores, melhorando dessa forma a capacidade funcional. Estudos mostraram que o TFI em cicloergômetro de seis semanas de alta intensidade é tão benéfico quanto o treinamento contínuo, na aceleração da cinética-*on* do VO_2 e da FC em pacientes com DPOC (PUENTE-MAESTU et al., 2000; OTSUDA et al., 1997; CASABURI

et al., 1997), em indivíduos saudáveis (BERGER et al., 2005), atletas (NORRIS; PETERSEN, 1998), e em mulheres com diabetes tipo II (BRANDEBURG et al., 1999). Entretanto, não se sabe se o treinamento físico intervalado de alta intensidade em equipamento elíptico pode ser sensível às análises do comportamento cinético do VO_2 e da FC, bem como o treinamento físico aeróbio associado ao resistido, justificando assim a realização do estudo III, intitulado: “Efeitos do treinamento físico aeróbio/resistido e intervalado na cinética-*on* do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca em pacientes com DPOC: estudo controlado, randomizado”, o qual teve por objetivo avaliar e comparar os efeitos do TFAR e TFI na cinética-*on* do VO_2 e da FC em diferentes testes de exercício de carga constante em pacientes com DPOC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

II Consenso Brasileiro sobre doença pulmonar obstrutiva crônica – DPOC. **J Bras Pneumol**, v.30, n.5, p.S1-42, 2004.

BERGER, N.J.A. et al. Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. **Med Sci Sports Exerc**, 504-512, 2006.

BRANDENBURG, S. et al. Effects of exercise training on oxygen uptake kinetic responses in women with type 2 diabetes. **Diabetes Care**, v.22, p.1640–1646, 1999.

CASABURI, R. et al. Physiologic benefits of exercise training in rehabilitation of patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. **Am J Respir Crit Care Med**, v.155, p.1541–1551, 1997.

CASANOVA, C. et al. Distance and oxygen desaturation during the 6-min walk test as predictors of long-term mortality in patients with COPD. **Chest**, v.134, p.746-752, 2008.

CASAS, A. et al. Encouraged 6-min walking test indicates maximum sustainable exercise in COPD patients. **Chest**, v.128, p.55-61, 2005.

CELLI, B.R. et al. The Body-Mass Index, Airflow Obstruction, Dyspnea, and Exercise Capacity Index in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. **N Engl J Med**, v.350, p.1005-1012, 2004.

CHIAPPA, G.R. et al. Kinetics of muscle deoxygenation are accelerated at the onset of heavy-intensity exercise in patients with COPD: relationship to central cardiovascular dynamics. **J Appl Physiol**, v.104, p.1341-1350, 2008.

CHIAPPA, G.R. et al. Heliox improves oxygen delivery and utilization during dynamic exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. **Am J Respir Crit Care Med**, v.179, n.11, p.1004-1010, 2009.

DOURADO, V.Z. et al. Manifestações sistêmicas na doença pulmonar obstrutiva crônica. **J Bras Pneumol**, v.32, n.2, p.161-71, 2006.

EGANA, M.; DONNE, B. Physiological changes following a 12 week gym based stair climbing, elliptical trainer and treadmill running program in females. **J Sports Med Phys Fitness**, v.44, p.141-146, 2004.

HUGHSON, R.L.; COCHRANE, J.E., BUTLER, G.C. Faster O₂ uptake kinetics at onset of supine exercise with than without lower body negative pressure. **J Appl Physiol**, v.75, p.1962-1967, 1993.

JONES, A.M.; BURNLEY, M. Chapter 4: Effect of exercise modality on VO₂ kinetics. In: **Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine**. Routledge London and New York, 2005, p.95-114.

JONES, A.M.; CARTER, H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. **Sports Medicine**, v.29, n.6, p.373-386, 2000.

KIM, J.; NHO, H.; WHALEY, M. Inter-modal comparisons of acute energy expenditure during perceptually based exercise in obese adults. **J Nutr Sci Vitaminol**, v.54, p.39-45, 2008.

KOGA, S. et al. Kinetics of oxygen uptake during supine and upright exercise. **J Appl Physiol**, v.87, p.253-260, 1999.

KORTIANOU, E.A. et al. Effectiveness of interval exercise training in patients with COPD. **Cardiopulmonary Physical Therapy Journal**, v.21, n.3, p.12-19, 2010.

LAVENEZIANA, P. et al. Effect of heliox on heart rate kinetics and dynamic hyperinflation during high-intensity exercise in COPD. **Eur J Appl Physiol**, v.111, p.225-234, 2011.

LU, T.; CHIEN, H.; CHEN, H. Joint loading in the lower extremities during elliptical exercise. **Med Sci Sports Exerc**, p.1651-1658, 2007.

MISIC, M.M., et al. Impact of training modality on strength and physical function in older adults. **Gerontology**, v.55, p.411-416, 2009.

NORRIS, S.R.; PETERSEN, S.R. Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. **J Sports Sci**, v.16, p.733-738; 1998.

OROZCO-LEVI, M. Structure and function of the respiratory muscles in patients with COPD: impairment or Adaptation? **Eur Respir J**, v.22, Suppl. 46, p.41-51S, 2003.

OTSUDA, T. et al. Effect of exercise training and detraining on gas exchange kinetics in patients with chronic obstructive disease. **Clinical Physiology**, v.17, p.287-297, 1997.

POOLE, D.C. et al. The final frontier: oxygen flux into muscle at exercise onset. **Exerc Sport Sci Rev**, v.35, p.166–173, 2007.

PUENTE-MAESTU, L. et al. Reproducibility of the parameters of the on-transient cardiopulmonary responses during moderate exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. **Eur J Appl Physiol**, v.85, p.434–441, 2001.

PUENTE- MAESTU, L. et al. Training improves muscle oxidative capacity and oxygenation recovery kinetics in patients with chronic obstructive pulmonary disease. **Eur J Appl Physiol**, v.88, p.580-587, 2003.

PUHAN, M.A. et al. How should COPD patients exercise during respiratory rehabilitation? Comparison of exercise modalities and intensities to treat skeletal muscle dysfunction. **Thorax**, v.60, p.367-375, 2005.

SCHNEIDER, D.A.; WING, A.N.; MORRIS, N.R. Oxygen uptake and heart rate kinetics during heavy exercise: a comparison between arm cranking and leg cycling. **Eur J Appl Physiol**, v.88, p.100-106, 2002.

SILVA, E.G.; DOURADO, V.Z. Treinamento de força para pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica. **Rev Bras Med Esporte**, v.14, n.3, p.231-238, 2008.

SOMFAY, A. et al. Effect of hyperoxia on gas exchange and lactate kinetics following exercise onset in nonhypoxemic COPD patients. **Chest**, v.121, p.393-400, 2002.

SPRUIT, M.A. et al. Resistance versus endurance training in patients with COPD and peripheral muscle weakness. **Eur Respir J**, v.19, p.1072-1078, 2002.

WILLIAMSON, J.W.; RAVEN, P.B.; WHIPP, B.J. Unaltered oxygen uptake kinetics at exercise onset with lower body positive pressure. **Experimental Physiology**, v.81, p.695-705, 1996.

WOUTERS, E.F.M. Nutrition and metabolism in COPD. **Chest**, v.117, n.5, Suppl.1, p.274-80S, 2000.

Estudo I

Cinética-*on* do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca de pacientes com DPOC: comparação entre cicloergômetro e equipamento elíptico

Oxygen uptake and heart rate on-kinetics in patients with COPD: comparison between cycle ergometry and elliptical equipment

Pessoa BV, Takara GN, Beltrame T, Pires Di Lorenzo VA, Catai AM, Borghi-Silva A, Jamami M.

Periódico: Respirology (Submetido)

Estudo I

RESUMO

Objetivos: avaliar e comparar a cinética do consumo de oxigênio (VO_2) e da frequência cardíaca (FC) em testes de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE), em pacientes com DPOC e indivíduos saudáveis. **Métodos:** Foram avaliados 18 homens com DPOC obstrução moderada a muito grave (grupo DPOC) entre 55 e 78 anos e 18 homens aparentemente saudáveis (grupo controle: GC) pareados por idade, submetidos em dias alternados aos seguintes testes: 1) teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas; 2) TCC e 3) TCE ambos a 70% da intensidade máxima obtida no TI. Foram coletados os gases expirados em todos os testes, e a cinética do VO_2 e da FC foram analisadas. Para a análise dos dados foi aplicado o teste *t* não-pareado e ANOVA *two-way* com *post hoc* de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). **Resultados:** O grupo DPOC apresentou a *tau* (τ) e o tempo de resposta média (TRM) do VO_2 significativamente maiores no TCC em comparação ao GC ($p < 0,05$), porém sem diferenças significativas para o TCE. Em relação aos diferentes testes, no grupo DPOC a τ e o TRM foram significativamente maiores no TCC em comparação ao TCE ($p < 0,05$), em contraste, no GC, não foram observadas diferenças significativas entre os testes. Quanto à cinética da FC, somente no grupo DPOC observou-se que a amplitude final foi significativamente menor no TCC comparado ao TCE. **Conclusão:** A cinética do VO_2 é lentificada na DPOC, entretanto, a mesma depende do ergômetro testado. A cinética mais rápida encontrada no TCE no grupo DPOC pode estar relacionada aos efeitos da posição corporal adotada ou ao maior recrutamento de fibras musculares, bem como ao maior estresse ventilatório e cronotrópico observado neste teste.

Palavras-chave: doença pulmonar obstrutiva crônica; consumo de oxigênio; cinética; frequência cardíaca; tolerância ao exercício.

ABSTRACT

Objectives: to evaluate and compare the kinetics of both oxygen consumption (VO_2) and heart rate (HR) in constant work-rate tests on a cycle ergometer (CCT) and on an elliptical machine (ECT) in COPD patients and healthy individuals. **Methods:** Eighteen male COPD patients between 55 and 78 years old with moderate to very severe obstruction (COPD group) and 18 apparently healthy males (control group: CG) were evaluated; the subjects were paired by age and submitted to the following tests on alternate days: 1) symptom-limited incremental cycle ergometer test (IT); 2) CCT and 3) ECT, both at 70% of the maximum intensity obtained in the IT. Expired gases were collected in all tests, and the kinetics of VO_2 and HR were analyzed. A paired *t*-test and two-way ANOVA with Tukey-Kramer's post-hoc were applied for data analysis ($p < 0.05$). **Results:** The COPD group presented significantly higher *tau* (τ) and mean response time (MRT) for VO_2 on the CCT than the CG ($p < 0.05$); however, there was no significant difference on the ECT. Regarding the different tests, the COPD group had a significantly higher τ and MRT on the CCT than the ECT ($p < 0.05$); on the other hand, no differences between the tests were observed in the CG. Regarding HR kinetics, the final amplitude in COPD was significantly smaller on the CCT than the ECT. **Conclusions:** VO_2 kinetics is slowed in COPD; however, this depends on the ergometer used for testing. The faster kinetics found on the ECT for the COPD group may be related to the effects of the body position or to higher recruitment of muscle fibers, as well as to the greater ventilatory and chronotropic stress observed in this test.

Keywords: chronic obstructive pulmonary disease; oxygen uptake; kinetics; heart rate; exercise tolerance.

INTRODUÇÃO

Os pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) apresentam intolerância ao exercício físico devido às manifestações pulmonares e sistêmicas. Esta intolerância pode ser marcada pela lentificação da cinética do consumo de oxigênio (VO_2) e da frequência cardíaca (FC) durante a transição repouso-exercício (fase *on*)^{1,2}. Ainda, a cinética do VO_2 nesta transição sofre também influência do sistema cardiovascular, que tem como função primordial ofertar oxigênio para a musculatura ativa^{1,2,3}. A explicação fisiológica do comportamento do VO_2 definida pela entrega e/ou utilização do oxigênio tem sido discutida na literatura em pacientes com DPOC⁴.

O aumento dinâmico do VO_2 no início do exercício nos pacientes com DPOC é lentificado em comparação a idosos saudáveis pareados por idade^{2,3}, podendo estar associado a ineficiência da distribuição de oxigênio durante a transição repouso-exercício, desarranjo nas reações biomecânicas que estimulam a captação periférica de oxigênio (QO_2) mitocondrial^{3,5}, desequilíbrio autonômico e a redistribuição do fluxo sanguíneo para os músculos periféricos e respiratórios². Ainda, os desajustes na capacidade de vasodilatação muscular, recrutamento precoce de fibras tipo IIb, densidade mitocondrial reduzida^{2,6,7} e o acúmulo de metabólitos que aumentam a fadiga muscular periférica^{2,6}, também influenciam na capacidade muscular de captar oxigênio, limitando a cinética do VO_2 e da FC^{2,3}, implicando de forma negativa na capacidade de exercício.

A cinética do VO_2 tem sido estudada em testes de carga constante de moderada ou alta intensidade em cicloergômetro ou esteira rolante, pela facilidade na aquisição dos gases expirados e amostras sanguíneas e pela constante manutenção de dada taxa de trabalho⁸. Entretanto, poucos estudos têm comparado à cinética-*on* do VO_2 e da FC em outros ergômetros^{9,10,11} como o equipamento elíptico. Estes aspectos são relevantes, uma vez que a

postura e os efeitos da gravidade podem influenciar no comportamento da cinética do VO_2 ^{10,11,12,13,14} e da FC^{8,15,16,17}.

O equipamento elíptico é um ergômetro que recentemente tem sido utilizado na reabilitação de pacientes com doenças crônicas¹⁸ e indivíduos saudáveis^{19,20}, o qual permite o uso associado dos membros inferiores e membros superiores ou somente dos membros inferiores, simula o movimento de pedalar em pé em uma bicicleta²¹ e ainda mostra similaridade com a caminhada²². Porém, por ser realizado em cadeia cinética fechada, ameniza o impacto presente na atividade de caminhar²¹. Entretanto, não se sabe se o comportamento cinético do VO_2 e da FC pode ser sensível às diferenças apresentadas por este tipo de ergômetro, justificando assim a realização dessa investigação.

Neste sentido, o presente estudo avaliou a demanda metabólica, ventilatória e cardiovascular em dois tipos de ergômetros pela cinética do VO_2 e da FC. Assumindo que os pacientes com DPOC apresentam lentificação da cinética do VO_2 e da FC no início do exercício em cicloergômetro em comparação a idosos saudáveis pareados por idade, nós hipotetizamos que esta resposta seja a mesma para o equipamento elíptico, refletindo assim a limitação da capacidade de exercício na transição repouso-exercício. Dessa maneira, o objetivo desse estudo foi avaliar e comparar a cinética do VO_2 e da FC no cicloergômetro e no equipamento elíptico, em pacientes portadores de DPOC e indivíduos saudáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

População do estudo

Participaram deste estudo 18 homens na faixa etária dos 55 aos 78 anos de idade, apresentando diagnóstico clínico e funcional de DPOC (Grupo DPOC): volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF_1) / capacidade vital forçada (CVF) < 0,7 e VEF_1 pós

broncodilatador < 80% predito²³ encaminhados para atendimento na Unidade Especial de Fisioterapia Respiratória – Universidade Federal de São Carlos; e 18 homens aparentemente saudáveis pareados por idade (Grupo Controle: GC) pertencentes à comunidade de São Carlos/SP e região. Foram adotados como critérios de inclusão do estudo para o grupo DPOC, diagnóstico clínico e espirométrico de DPOC nos estágios II, III e IV (moderado a muito grave)²³, confirmado pela espirometria pré e pós broncodilatador, realizada sob a supervisão de um pneumologista²³, história tabágica prévia, sem história de infecções ou exacerbação da doença no último mês, ou mudança de medicamentos nas quatro semanas anteriores ao estudo. Além disso, todos os pacientes deveriam ser considerados sedentários há pelo menos seis meses anteriores ao estudo, e serem considerados sedentários ou insuficientemente ativos de acordo com a classificação do Questionário Internacional de Atividade Física - versão curta (IPAQ)²⁴. Para o GC, os critérios foram apresentar espirometria com valores dentro dos padrões de normalidade, serem considerados sedentários há pelo menos seis meses anteriores ao estudo, e serem considerados insuficientemente ativos ou sedentários classificados pelo IPAQ²⁴. No grupo DPOC e GC, foram excluídos os indivíduos tabagistas, etilistas, com hipertensão pulmonar (pressão pulmonar média ≥ 25 mmHg constatada pela ecocardiografia), hipertensão arterial não controlada, hipoxemia (saturação periférica de oxigênio: SpO₂) abaixo de 80% no repouso, e presença de doenças cardiovasculares, metabólicas, neurológicas, reumáticas e/ou desordens musculoesqueléticas que inviabilizassem a participação no estudo. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição (parecer nº074/2007; Anexo 3) e todos os indivíduos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, conforme a declaração de Helsinki.

Procedimento Experimental

Os indivíduos foram submetidos a uma avaliação física geral; além do teste de função pulmonar, avaliação da composição corporal, teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas, teste de carga constante no cicloergômetro (TCC) e no equipamento elíptico (TCE).

A coleta dos dados de cada indivíduo foi realizada em seis dias alternados, e os testes foram realizados com intervalo de dois a quatro dias entre eles²⁵, com o objetivo de evitar interferência negativa na *performance* (presença de dor, catecolaminas circulantes, fadiga dos músculos periféricos). Os testes foram realizados em sala climatizada, com temperatura média controlada entre 18° a 22°C, e umidade relativa do ar entre 50 a 70%, e todas as avaliações foram realizadas no mesmo período do dia para cada indivíduo. No primeiro dia de avaliação, os indivíduos foram orientados a pedalar no cicloergômetro e movimentar-se no equipamento elíptico, simulando a realização dos testes, sem a coleta dos gases para a familiarização prévia com os equipamentos.

Todos os indivíduos receberam orientações prévias antes da realização dos testes, quanto ao tipo de alimentação a ser feita, às vestimentas e o uso de calçados adequados, além de evitar a prática de atividade física no dia anterior ao mesmo. Ainda, os indivíduos permaneceram em repouso por aproximadamente 15 minutos antes do início da realização de qualquer um dos procedimentos experimentais.

Teste de função pulmonar: Foi realizado por meio de um espirômetro portátil (COSMED microQuark PC - based Spirometer[®], Pavona di Albano - Roma, Itália), segundo as normas da *American Thoracic Society/European Respiratory Society* (ATS/ERS)²⁶. Os valores obtidos foram comparados com os valores previstos por Knudson et al²⁷.

Avaliação da composição corporal: Foi realizada por meio de uma balança de impedância bioelétrica de tecnologia bipolar (Tanita[®], modelo BC-553, Illinois, USA). Para isso, todos os indivíduos realizaram jejum de no mínimo 4 horas para padronização da ingestão líquida. As medidas foram obtidas com os indivíduos na posição ortostática, possibilitando a análise da massa corporal e massa muscular magra (MM)²⁸. Posteriormente, foi calculado o índice de massa corporal (IMC) = massa corporal (Kg)/ altura² (m), e o índice de massa magra corporal (IMMC; índice de depleção nutricional) = MM (Kg)/ altura² (m)²⁹, considerando depleção nutricional, homens com IMMC $\leq 16,0$ Kg/m²²⁹.

Avaliação da Capacidade Funcional

Teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas: Todos os indivíduos foram submetidos ao TI com coleta dos gases expirados (VO₂₀₀₀ MedGraphics Corp.[®], St Paul MN, USA) para determinação da carga de trabalho pico. O TI foi realizado em cicloergômetro com frenagem eletromagnética (Ergo-FIT[®], modelo Ergo 167 Cycle, Pirmasens, Alemanha) e adotou-se um protocolo em degraus crescentes³⁰. Os indivíduos foram instruídos a pedalar a 60rpm com comandos verbais padronizados de encorajamento pelo mesmo avaliador a cada dois minutos, iniciando o teste com um período de um minuto de aquecimento com a carga mínima do equipamento (15W), com incrementos de 5 a 10W no grupo DPOC e de 20 a 25W no GC a cada dois minutos, selecionados individualmente de forma que o período de incrementação se mantivesse no intervalo de 8 a 12 minutos³⁰. Houve o período de um minuto de recuperação ativa com carga mínima do equipamento, seguido de seis minutos de recuperação passiva. Foram obtidas no repouso, no aquecimento, a cada dois

minutos do teste, na recuperação ativa e no primeiro, terceiro e sexto minutos da recuperação passiva, sendo a mensuração realizada nos 30 segundos finais de cada estágio, as seguintes variáveis: SpO₂ por meio do oxímetro de pulso (Nonin[®], modelo 2500, Minneapolis, Mn, USA), FC coletada pelo cardiofrequencímetro (Polar[®] FS2c[™] Kempele, Finland), dispneia e fadiga de membros inferiores por meio da escala de Borg modificada CR-10³¹, a pressão arterial (PA) aferida pelo método auscultatório e por meio de um esfigmomanômetro de coluna de mercúrio (Oxigel[®], São Paulo, SP, Brasil). Todos os indivíduos tiveram o traçado eletrocardiográfico registrado continuamente com monitorização das derivações MC5, DII e V2 modificadas, por meio de um monitor cardíaco Ecafix[®] (Modelo Active “E”, São Paulo, São Paulo, Brasil), além do registro das variáveis ergoespirométricas. Os critérios de interrupção para o TI foram: alteração pressórica (pressão arterial sistólica (PAS) > 250mmHg / pressão arterial diastólica (PAD) >120mmHg), queda sustentada da PAS, elevação da PAD até 120mmHg nos normotensos, elevação da PAD até 140mmHg nos hipertensos, manifestação clínica de desconforto torácico, dor torácica importante, vertigem, cianose, tontura, palidez, depressão significativa do segmento ST, dispneia ou fadiga em membros inferiores muito intensas (Borg ≥ 7 ³¹) desproporcional à intensidade do esforço, SpO₂ < 80%, atingir a FC máxima prevista para a idade do indivíduo, e incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm, falência dos sistemas de monitorização e/ou registro.

O cálculo da reserva cronotrópica (reserva da FC: RFC) foi obtida de forma indireta pela fórmula: $(FC_{\text{máx}} - FC_{\text{atingida no teste}})^{30}$, sendo a $FC_{\text{máx}} = 220 - \text{idade}$. A demanda ventilatória foi determinada pela relação ventilação minuto (V_E) / ventilação voluntária máxima (VVM) $[V_E/VVM]^{30}$.

O TCC e o TCE realizados para avaliação da cinética do VO_2 e da FC foram randomizados por meio do programa SPSS 18.0[®]. Esta randomização foi mantida oculta por meio de um envelope selado e opaco para cada indivíduo de ambos os grupos.

Teste de carga constante em Cicloergômetro (TCC): Foi realizado no mesmo cicloergômetro empregado no TI associado a coleta dos gases expirados como previamente descrito e da FC pelo cardiofrequencímetro (Polar[®] FS2c[™] Kempele, Finland) acoplado ao analisador. Os indivíduos foram instruídos a pedalar em 60 rpm e receberam comandos verbais padronizados de encorajamento a cada minuto. Foi utilizado o protocolo com taxa de trabalho constante igual a 70% da intensidade máxima obtida no TI³⁰, para averiguar o tempo máximo tolerado (limite da tolerância: Tlim) pelo indivíduo. Adotou-se carga inicial mínima do equipamento de 15W durante um minuto para a fase de aquecimento ocorrendo o mesmo para o desaquecimento, além de um período de seis minutos de recuperação passiva pós-teste. Foram monitorizados no repouso, no aquecimento, a cada dois minutos de teste, no desaquecimento e no período de recuperação, a SpO_2 , FC, PA, sensação de dispneia e fadiga de membros inferiores³¹, e continuamente o traçado eletrocardiográfico, com monitorização das derivações MC5, DII e V2 modificadas, por meio de um monitor cardíaco Ecafix[®]. Foram também registrados o desempenho físico e a tolerância máxima atingida no teste (Tlim), além do cálculo da RFC³⁰ e da V_E/VVM ³⁰. A figura 1 mostra a realização do TCC.

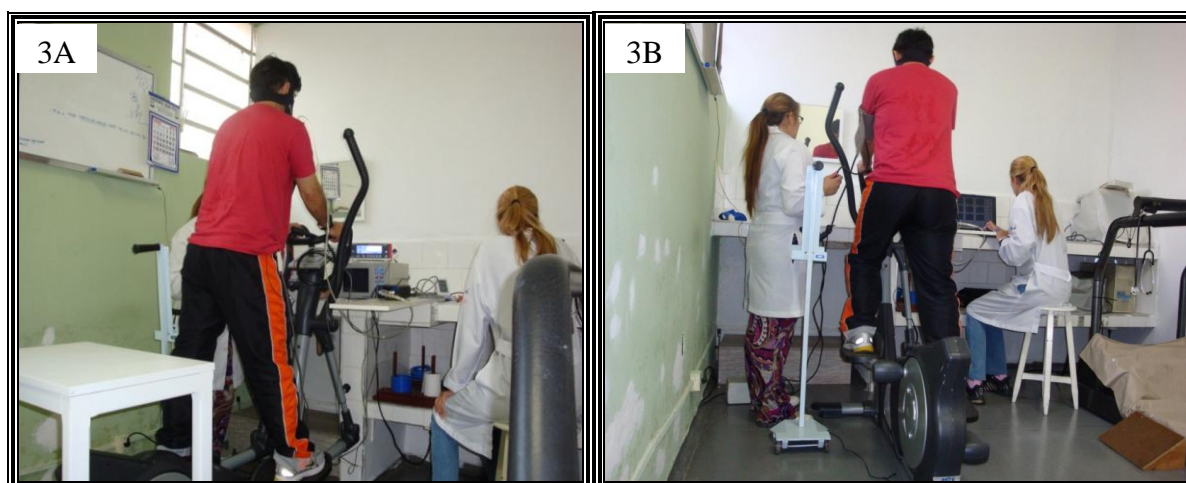


Figura 1: Realização do teste de carga constante em cicloergômetro (TCC).

Teste de carga constante em equipamento Elíptico (TCE): Foi realizado em um equipamento elíptico modelo eletromagnético (Kiko's[®] HM 6022 7B 31132-7, São Paulo, SP, Brasil; Figura 2) associado a coleta dos gases expirados como descrito previamente no TI e da FC pelo cardiofrequencímetro (Polar[®] FS2c[™] Kempele, Finland) acoplado no analisador. Os indivíduos foram orientados a movimentar-se somente com os membros inferiores permanecendo os membros superiores fixos, em sentido frontal com rotação de 60 rpm com comandos verbais padronizados de encorajamento a cada minuto. Foi adotado o protocolo com taxa de trabalho constante igual a 70% da carga máxima verificada no TI³⁰, para averiguar o tempo máximo tolerado pelo indivíduo. Adotou-se carga inicial mínima do equipamento no intervalo entre 10-20 W durante um minuto para a fase de aquecimento e para o desaquecimento, além de um período de seis minutos de recuperação passiva pós-teste. A monitorização foi semelhante a descrita anteriormente para o TCC. Também foram registradas a distância percorrida e a tolerância máxima atingida no teste, além do cálculo da RFC³⁰ e da V_E/VVM ³⁰. As figuras 3A e 3B demonstra a realização do TCE.



Figura 2: Ilustração do equipamento elíptico (Fonte: www.kikos.com.br).



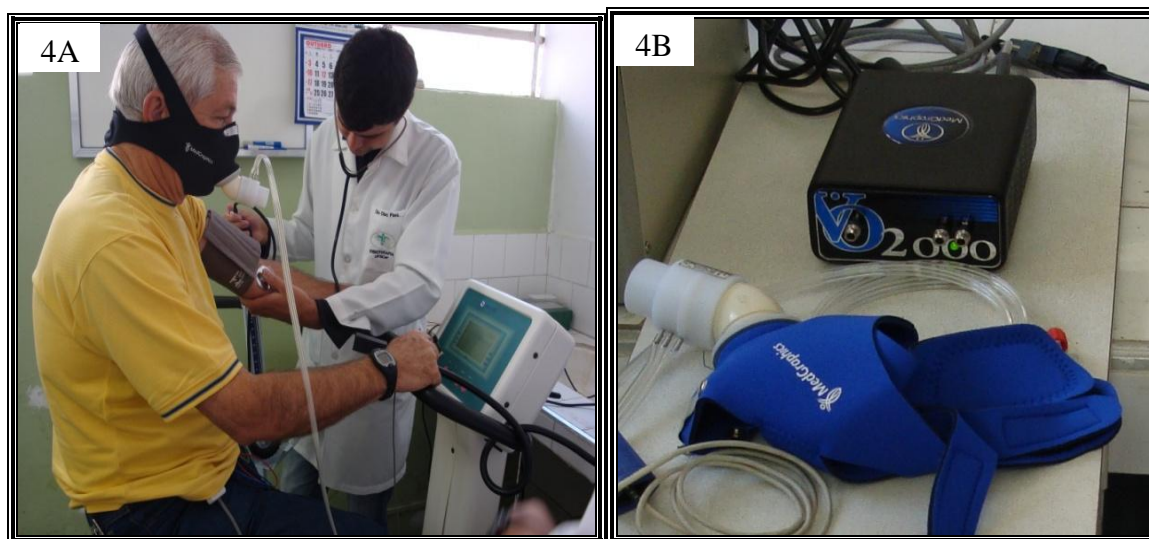
Figuras 3A e 3B: Realização do teste de carga constante em equipamento elíptico (TCE).

Análise dos Gases

A coleta dos gases expirados foi realizada durante os testes, por meio de um analisador de gases modelo VO₂₀₀₀ da *MedGraphics*[®] (St Paul, MN, USA), com um pneumotacógrafo de médio fluxo bidirecional acoplado a uma máscara facial. Esse sistema mede micro amostras dos gases expirados pelo método de coleta da média a cada três respirações³². Antes de cada

teste, o equipamento foi calibrado automaticamente conforme as especificações do fabricante. Os dados produzidos foram digitalizados para o computador, e plotados em gráficos às seguintes variáveis selecionadas: V_E ($L \cdot \text{min}^{-1}$), VO_2 (em $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ e $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), produção de dióxido de carbono (VCO_2), frequência respiratória (FR) e volume corrente (VC)³⁰. A confiabilidade interdias aceitável para V_E (VC 7,3 - 8,8%) e para VO_2 , e VCO_2 (VC 5,3 - 6,0%) foi avaliada em estudos prévios³². As figuras 4A e 4B: mostram a coleta dos gases expirados com o paciente em repouso e figura do ergoespirômetro (VO2000 MedGraphics®), associado a máscara e pneumotacógrafo.

Para obter-se o valor das variáveis metabólicas, ventilatórias e cardiovasculares no pico do TI ou no Tlim do TCC e TCE, foram considerados o maior valor e mais coerente de cada variável nos últimos 30 segundos finais do estágio.



Figuras 4A e 4B: Coleta dos gases expirados com o paciente em repouso e ergoespirômetro (VO₂₀₀₀ MedGraphics®), máscara e pneumotacógrafo.

Análise da Cinética-on

Os dados brutos do VO_2 e da FC foram importados para o *software* SigmaPlot 11.0 (Systat Software, San Jose, CA) para serem analisados, e a fase I da cinética (cardiodinâmica) não foi excluída, pois os dados não foram coletados respiração-a-respiração, logo não haveria

nenhum ponto de fase I. A resposta da transição do aquecimento para o exercício (primeiros 180 segundos) foi submetida a um ajuste monoexponencial: $f(t) = a_0 + a(1 - e^{-(t-TD)/\tau})$ onde $f(t)$ representa VO_2 ou a FC em qualquer momento (t) ; a_0 é o valor basal correspondente ao valor médio do último minuto do período de aquecimento; “a” é a amplitude, ou seja, magnitude da resposta durante o estado estável; τ é a constante de crescimento da curva, ou seja, o tempo necessário para atingir 63% da resposta do estado-estável; e TD é o tempo de atraso para o início da resposta. O aquecimento foi realizado para minimizar os efeitos da fase cardiodinâmica sobre a cinética das variáveis estudadas no TCC e TCE³³. Adicionalmente, foi calculado o tempo de resposta média (TRM, $\tau + TD$)³⁴.

Para o estudo da cinética utilizamos um algoritmo não-linear que utiliza os mínimos quadrados para determinar os melhores parâmetros da curva³⁵. Os parâmetros a_0 e a_1 descrevem os parâmetros relacionados ao componente principal do eixo Y (VO_2 ou FC), o τ e o TD descrevem os parâmetros relacionados ao eixo X (tempo). Para se assegurar a qualidade das regressões, apenas as funções com $r > 95\%$ foram incluídas na análise final.

Análise Estatística

O cálculo do poder estatístico do tamanho amostral foi realizado pelo programa Ene 2.0, baseado no desvio padrão e na média da variável τ no pré e pós-intervenção de um estudo piloto. Correspondendo a um poder acima de 80%, considerando uma diferença clínica minimamente significativa de τ igual a nove segundos para o TCC e de seis segundos para o TCE no grupo DPOC, e de 18 segundos para o GC em ambos os testes no pré e pós-intervenção.

O programa estatístico utilizado foi o *SPSS 18.0*. A normalidade dos dados foi verificada com a aplicação do teste de Shapiro Wilk, o qual determinou que todas as variáveis

do estudo apresentava distribuição normal. Os valores foram expressos em média e desvio padrão, ou mediana (intervalo interquartilico) para as variáveis dispneia e fadiga de membros inferiores. Na análise intergrupos, utilizou-se o teste *t* não-pareado para as análises das variáveis demográficas, antropométricas, espirométricas e do TI e teste de Mann-Whitney para a análise da sensação de dispneia e fadiga de membros inferiores no TI. Nas análises intragrupo e intergrupos utilizou-se o teste ANOVA *two-way* com *post hoc* de Tukey-Kramer para a análise da Tlim e das variáveis metabólicas, ventilatórias e cardiovasculares. O teste de Kruskal-Wallis com *post hoc* de Dunn para a análise da dispneia e fadiga de membros inferiores. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Participantes do estudo

Um total de 69 pacientes com DPOC e 80 indivíduos aparentemente saudáveis foram avaliados para possível participação no estudo. Trinta e cinco pacientes do grupo DPOC foram excluídos pois não contemplaram os critérios de inclusão e sete recusaram-se a participar do estudo, e 25 indivíduos do GC também foram excluídos pois não contemplaram os critérios de inclusão e 18 recusaram-se a participar do estudo. Do total, 27 pacientes do grupo DPOC e 37 indivíduos do GC foram incluídos no estudo, e desta coorte, foram excluídos nove pacientes do grupo DPOC (quatro pacientes por exacerbação respiratória e cinco por apresentar má qualidade dos dados coletados) e 19 indivíduos do GC (cinco desistiram por motivos pessoais e 14 por apresentar má qualidade dos dados coletados). Finalmente, 18 pacientes foram designados para análise no grupo DPOC e 18 no GC. O fluxograma dos participantes do estudo é mostrado na figura 5.

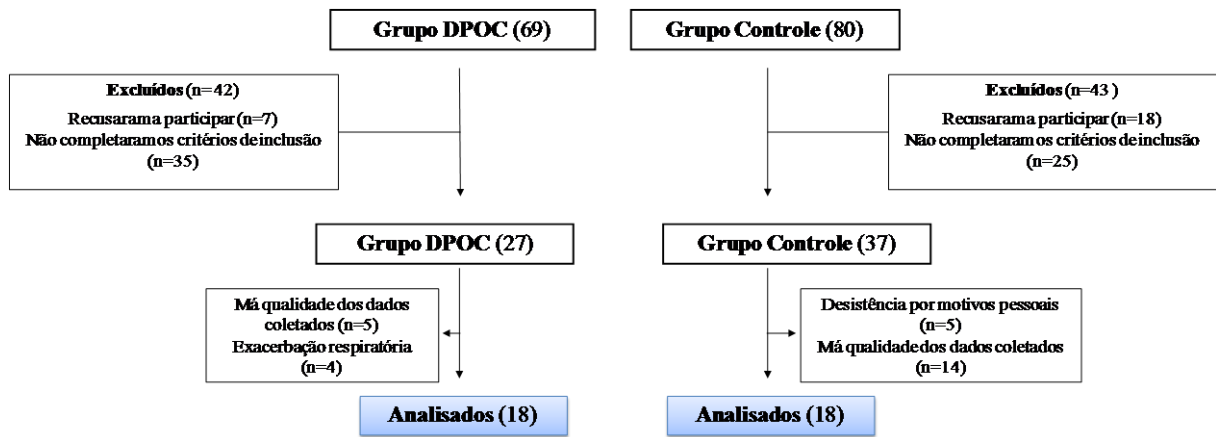


Figura 5: Fluxograma de participação dos pacientes com DPOC e indivíduos saudáveis no estudo.

A tabela 1 mostra as características demográficas, antropométricas e espirométricas, e os dados obtidos no TI dos indivíduos estudados. Não foram observadas diferenças significativas com relação à idade e estatura entre os grupos. No entanto, os pacientes com DPOC apresentaram massa corporal, IMC, MM, IMMC e valores espirométricos significativamente menores que os indivíduos saudáveis controles (GC). Nove pacientes com DPOC foram classificados como GOLD²³ estágio II, sete pacientes foram considerados GOLD²³ estágios III e dois GOLD²³ estágios IV. Os pacientes com DPOC não faziam uso de betabloqueadores e de oxigênio domiciliar e nem o fizeram durante os testes, e nenhum dos pacientes da amostra foram excluídos por apresentar diagnóstico de hipertensão pulmonar. No GDPOC, três indivíduos apresentavam hipertensão arterial controlada, e oito no GC; e em ambos os grupos nenhum dos indivíduos apresentavam doenças cardíacas ou metabólicas. Ainda, dos 18 pacientes do grupo DPOC cinco faziam uso de broncodilatadores de curta duração (27,8%) e 13 de longa duração (72,2%). Dessa amostra, cinco associavam uso de corticosteróide oral, e três associavam broncodilatadores de curta e longa duração. Esses pacientes faziam uso do broncodilatador no dia anterior ao teste, no período noturno, sendo assim a maioria deles realizou os testes com um intervalo superior a 8 horas pós-

broncodilatador. Além disso, no TI constatou-se limitação ventilatória em todos os pacientes com DPOC, sendo a razão $V_E/VVM > 0,8^6$.

Avaliação da Capacidade Funcional

Teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas: A potência, o VO_2 , a V_E , a FC e a SpO_2 observadas no pico do TI foram significativamente menores nos pacientes com DPOC comparado aos indivíduos saudáveis controles (GC) (Tabela 1). Ainda, a V_E/VVM , a RFC, delta da SpO_2 (SpO_2 pico – SpO_2 basal), a dispneia e a fadiga de membros inferiores observadas no pico do exercício foram significativamente maiores no grupo DPOC em relação ao GC (Tabela 1).

Os motivos de interrupção dos testes foram: para o GDPOC, no TI, 12 pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício (dispneia e fadiga dos membros inferiores intensas) e seis por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro; no TCC e TCE, 10 pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício e oito por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro e no equipamento elíptico. Já no GC, no TI, 15 indivíduos interromperam-no por intolerância ao exercício e três por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro; no TCC e TCE, 11 e 12 pacientes, respectivamente, interromperam-no por intolerância ao exercício e sete e seis indivíduos, respectivamente por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro e no equipamento elíptico.

Tabela 1. Características demográficas, antropométricas, espirométricas e do teste incremental em cicloergômetro do grupo DPOC e GC.

Variáveis	GC (n = 18)	Grupo DPOC (n = 18)
<i>Antropométricas e Demográficas</i>		
Idade (anos)	64,2 ± 7,2	68,6 ± 6,7
Massa Corporal (Kg)	77,8 ± 12,1	67,9 ± 11,2*
Estatura (cm)	169,3 ± 4,9	167,3 ± 7,0
IMC (Kg/m ²)	27,2 ± 4,1	24,1 ± 2,8*
Massa Muscular (Kg)	54,0 ± 4,4	46,8 ± 6,8*
Índice de Massa Magra Corpórea (Kg/m ²)	18,6 ± 1,5	16,7 ± 1,6*
<i>Espirométricas</i>		
VEF ₁ (L)	3,3 ± 0,5	1,7 ± 0,8*
VEF ₁ (%pred)	113,7 ± 15,2	57,4 ± 22,2*
CVF (L)	4,3 ± 0,6	3,0 ± 1,0*
CVF (%pred)	116,3 ± 11,5	81,9 ± 25,6*
VEF ₁ /CVF (L)	77,8 ± 3,8	53,6 ± 17,9*
VEF ₁ /CVF (%pred)	98,0 ± 4,9	61,2 ± 13,6*
VVM (L/min)	132,6 ± 19,8	67,9 ± 26,8*
VVM (%pred)	113,0 ± 15,8	70,1 ± 32,5*
<i>Teste incremental em cicloergômetro limitado por sintomas (TI)</i>		
Potência pico (watts)	78,3 ± 49,5	58,1 ± 17,6*
VO ₂ pico (L/min)	1,4 ± 0,3	1,2 ± 0,4*
VO ₂ pico (mL/Kg/min)	18,1 ± 6,4	17,6 ± 5,5
VO ₂ pico (%pred)	71,8 ± 20,2	69,3 ± 18,3
VCO ₂ pico (L/min)	1,1 ± 0,3	1,0 ± 0,3
V _E pico (L/min)	76,8 ± 7,5	39,0 ± 1,0*
V _E /VVM	0,57 ± 0,12	0,85 ± 0,17*
FC pico (bat.min ⁻¹)	119,7 ± 11,3	105,4 ± 16,2*
FC pico (%pred)	75,6 ± 8,0	69,7 ± 10,9
RFC (bat.min ⁻¹)	37,6 ± 14,1	46,1 ± 17,5*
SpO ₂ pico (%)	95,7 ± 1,5	92,8 ± 3,0*
Δ SpO ₂	0,2 ± 0,7	-2,5 ± 1,9*
Dispneia pico	1 (0,5 – 2)	4 (1 – 6)*
Fadiga de membros inferiores pico	4 (0,5 – 6)	4,5 (1 – 7)*

Dados expressos em média ± desvio padrão)ou mediana (intervalo interquartilico).

DPOC= doença pulmonar obstrutiva crônica; GC= grupo controle saudável; IMC= índice de massa corporal; VEF₁= volume expiratório forçado no primeiro segundo; CVF= capacidade vital forçada; VVM= ventilação voluntária máxima; VO₂= consumo de oxigênio; VCO₂= produção de dióxido de carbono; VE= ventilação pulmonar; V_E/VVM= demanda ventilatória; FC= frequência cardíaca; RFC= reserva de frequência cardíaca; ΔSpO₂= delta da saturação periférica de oxigênio (SpO₂ pico no TI - SpO₂ basal no TI). Teste *t* não-pareado e teste de Mann-Whitney: *p<0,05.

Teste de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE): O desempenho físico e a tolerância máxima atingida (Tlim) no TCE foi significativamente menor nos pacientes com DPOC comparado aos indivíduos saudáveis controles (GC) (Tabela 2). O VO_2 obtido no Tlim do TCC, a V_E e a SpO_2 também obtida no Tlim de ambos os testes foram significativamente menores no grupo DPOC que no GC. A razão V_E/V_{VM} foi significativamente maior no grupo DPOC comparado ao GC, em ambos os testes (Tabela 2). Em relação ao VCO_2 , FC, à dispneia e à fadiga de membros inferiores, não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos estudados (Tabela 2).

Na análise intragrupo (intertestes) não foram constatadas diferenças significativas entre VCO_2 , V_E/V_{VM} , SpO_2 , dispneia e fadiga de membros inferiores no Tlim dos testes, em ambos os grupos. O GC apresentou maior FC_{Tlim} (%FC predito) e menor RFC no TCE comparado ao TCC. Em ambos os grupos, o desempenho físico e o Tlim no TCC foi significativamente maior do que no TCE. Em relação ao $VO_{2\ Tlim}$, VO_2 % previsto, $V_{E\ Tlim}$ e a FC_{Tlim} , observaram-se valores significativamente maiores no TCE em relação ao TCC, em ambos os grupos (Tabela 2).

Posteriormente, foram calculadas as razões $VO_{2\ Tlim}/VO_{2\ TI}$ e FC_{Tlim}/FC_{TI} , com base no VO_2 e na FC observados nos 30 segundos finais do Tlim do TCC e do TCE em relação ao VO_2 e a FC obtidos nos 30 segundos finais no pico do TI, a fim de caracterizar melhor a similaridade de intensidade aplicada nos testes de carga constante. Para o grupo DPOC as razões $VO_{2\ Tlim}/VO_{2\ TI}$ e FC_{Tlim}/FC_{TI} foram $0,9 \pm 0,4$ e $1,0 \pm 0,1$ para o TCC; e $1,2 \pm 0,5$ e $1,1 \pm 0,1$ para o TCE, respectivamente. Já para o GC foram: $0,9 \pm 0,2$ e $1,0 \pm 0,2$ para o TCC; e $1,1 \pm 0,4$ e $1,1 \pm 0,1$ para o TCE, respectivamente. Não se observou diferença estatisticamente significativa entre estas proporções.

Tabela 2. Respostas metabólicas, ventilatórias, cardiovasculares e subjetivas no tempo máximo tolerado (T_{lim}) nos testes de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE) no grupo DPOC e indivíduos controles saudáveis (GC).

Variáveis	Grupo DPOC (n = 18)		GC (n = 18)	
	TCC	TCE	TCC	TCE
<i>Capacidade Física</i>				
Porcentagem da carga(W)	41,9 ± 10,7	43,1 ± 8,5	52,8 ± 31,1	56,0 ± 28,7 †
Desempenho físico (m)	5406,7 ± 3188,6	907,7 ± 613,3 *	6226,7 ± 2110,7	1485,7 ± 2154,6* †
Tempo limite (T _{lim} , min)	18,1 ± 10,4	5,3 ± 2,4 *	20,2 ± 6,0	10,1 ± 13,8* †
<i>Metabólicas</i>				
VO _{2 T_{lim}} (mL/Kg/min)	15,7 ± 5,6	20,0 ± 5,5*	16,9 ± 3,9	20,3 ± 4,8*
VO _{2 T_{lim}} (L/min)	1,1 ± 0,4	1,4 ± 0,4*	1,3 ± 0,3 †	1,6 ± 0,3*
VCO _{2 T_{lim}} (L/min)	0,8 ± 0,3	1,1 ± 0,3	1,0 ± 0,3	1,3 ± 0,4
VO _{2 T_{lim}} (%pred)	60,4 ± 20,9	79,9 ± 19,5*	66,1 ± 13,8	79,8 ± 18,5*
<i>Ventilatórias</i>				
V _{E T_{lim}} (L/min)	34,1 ± 20,3	37,1 ± 18,3*	68,2 ± 8,0†	73,5 ± 7,0* †
V _E /V _V M	0,74 ± 0,14	0,81 ± 0,13	0,50 ± 0,20†	0,55 ± 0,18†
SpO _{2 T_{lim}} (%)	93,1 ± 2,2	92,8 ± 2,5	96,3 ± 1,0†	96,3 ± 1,2†
<i>Cardiovasculares</i>				
FC _{T_{lim}} (bat.min ⁻¹)	104,4 ± 16,3	116,1 ± 12,7*	107,1 ± 13,3	123,3 ± 14,3*
FC _{T_{lim}} (%pred)	69,1 ± 11,0	71,9 ± 20,2	68,9 ± 9,1	79,2 ± 9,2*
RFC (bat.min ⁻¹)	47,0 ± 17,4	35,5 ± 13,2	48,7 ± 14,9	32,5 ± 14,9*
<i>Subjetivas</i>				
Dispneia _{T_{lim}}	2 (1 – 6)	2 (0,5 – 4)	0,5 (0,5 – 2)	1 (0,5 – 3)
Fadiga de MMII _{T_{lim}}	2 (0,5 – 6)	3 (1 – 5)	2 (0,5 – 4)	2 (0,5 – 4)

Dados expressos em média ± desvio padrão, e mediana (intervalo interquartilico).

DPOC= doença pulmonar obstrutiva crônica; GC= grupo controle; TCC= teste de carga constante no cicloergômetro; TCE= teste de carga constante no equipamento elíptico; VO₂= consumo de oxigênio; VCO₂= produção de dióxido de carbono; V_E= ventilação pulmonar; V_E/V_VM= demanda ventilatória; FC= frequência cardíaca; RFC= reserva de frequência cardíaca; SpO₂= saturação periférica de oxigênio; MMII= membros inferiores.

ANOVA Two-Way com *post hoc* Tukey Kramer e teste de Kruskal-Wallis com *post hoc* de Dunn (p<0,05): * = TCC ≠ TCE; † = Grupo DPOC ≠ GC.

Cinética-on do consumo de oxigênio e frequência cardíaca nos diferentes testes de carga constante

O grupo DPOC apresentou a τ e TRM do VO_2 significativamente maiores no TCC em comparação ao GC, sem diferenças significativas para o TCE. Em relação aos diferentes testes, no grupo DPOC a τ e TRM foram significativamente maiores e o *baseline* (BL) significativamente menor no TCC em comparação ao TCE ($p < 0,05$). Em contraste, no GC, não foram observadas diferenças significativas entre os testes (Tabela 3 e Figura 1).

Quanto à cinética da FC, somente no grupo DPOC observou-se que a amplitude foi significativamente maior no TCE comparado ao TCC. Em relação ao BL, τ , TD e o TRM, não foram encontradas diferenças significativas nas análises intragrupo, bem como nas análises intergrupos (Tabela 3 e Figura 1).

Ainda, não foram observadas diferenças significativas entre a τ e o TRM do VO_2 e da FC no TCC em ambos os grupos, ao contrário constatamos que a τ e o TRM do VO_2 foram significativamente menores que a τ e o TRM da FC no TCE nos dois grupos (Tabela 3).

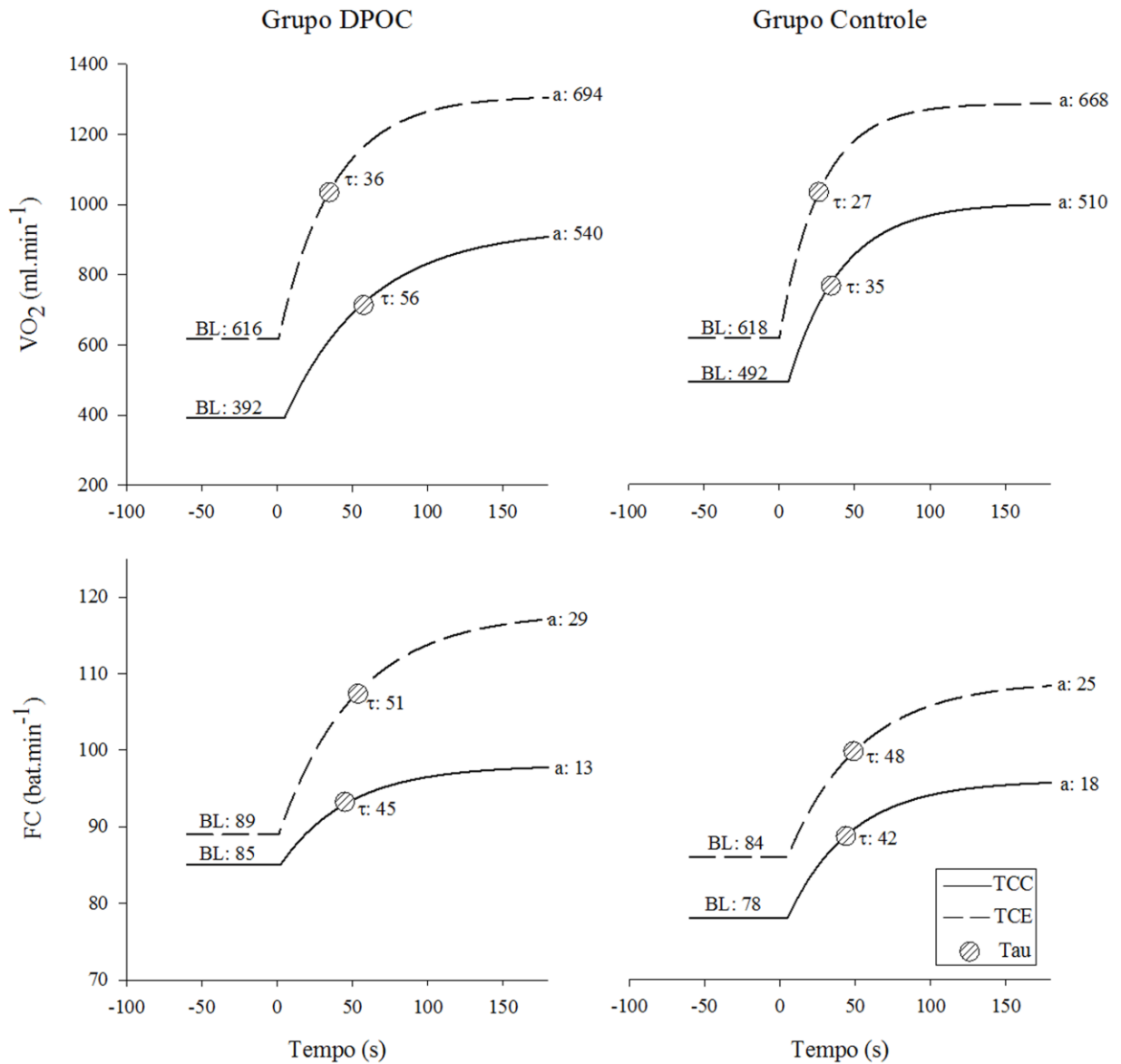
Tabela 3. Parâmetros da cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO₂) e da frequência cardíaca (FC) do grupo DPOC e GC nos diferentes testes de carga constante.

Variáveis	GDPOC (n = 18)		GC (n = 18)		
	VO ₂	TCC	TCE	TCC	TCE
Baseline (BL, L/min)		392,2 ± 257,9	616,6 ± 235,0*	492,4 ± 241,5	618,0 ± 154,0
Amplitude (a, L/min)		540,5 ± 177,2	694,3 ± 204,4	510,0 ± 212,6	668,4 ± 202,0
Tau (τ, s)		56,9 ± 17,2	36,2 ± 8,5*	35,0 ± 15,7 †	27,2 ± 11,3
Time Delay (TD, s)		5,5 ± 9,9	1,1 ± 2,9	6,0 ± 11,4	0,8 ± 2,4
TRM (τ + TD, s)		62,4 ± 20,3	37,3 ± 7,1*	38,3 ± 17,8 †	28,0 ± 10,8
FC					
Baseline (BL, bat.min⁻¹)		85,0 ± 10,3	89,6 ± 14,7	78,8 ± 13,6	84,7 ± 10,9
Amplitude (a, bat.min⁻¹)		13,6 ± 5,0	29,9 ± 14,8*	18,7 ± 9,4	25,2 ± 8,8
Tau (τ, s)		45,1 ± 22,4	51,0 ± 26,0‡	42,1 ± 17,6	48,3 ± 14,8‡
Time Delay (TD, s)		2,9 ± 9,6	1,3 ± 2,7	5,7 ± 7,4	1,9 ± 4,8
TRM (τ + TD, s)		44,8 ± 26,1	52,3 ± 49,5‡	38,4 ± 24,2	46,5 ± 20,3‡

Dados expressos em média (± desvio padrão).

Legenda: DPOC= doença pulmonar obstrutiva crônica; GC= grupo controle saudável; VO₂= consumo de oxigênio; TCC= teste de carga constante no cicloergômetro; TCE= teste de carga constante no equipamento elíptico; FC= frequência cardíaca; a= magnitude da resposta durante o estado estável; τ= constante de crescimento da curva, i.e., o tempo necessário para atingir 63% da resposta do estado-estável; e TD= tempo de atraso para o início da resposta (*time delay*); TRM= tempo de resposta média (τ + TD).

ANOVA Two-Way com *post hoc Tukey Kramer* (p<0,001): * = TCC ≠ TCE; † = Grupo DPOC ≠ GC (TCC versus TCC); ‡ = τ VO₂ ≠ τ FC (TCE)



Legenda: TCC= teste de carga constante no cicloergômetro; TCE= teste de carga constante no equipamento elíptico; BL= *baseline*; “a” = magnitude da resposta durante o estado estável (amplitude); τ = constante de crescimento da curva, i.e., o tempo necessário para atingir 63% da resposta do estado-estável; *Baseline* e Amplitude: L/min para VO_2 e bat.min⁻¹ para FC; Tau (τ): segundos.

Figura 6. Ilustração das médias dos parâmetros da função da cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO_2) e frequência cardíaca (FC) em diferentes testes de carga constante em pacientes com DPOC e controles saudáveis.

DISCUSSÃO

Os principais resultados deste estudo revelam que a DPOC está associada à lentificação da cinética-*on* do VO_2 no TCC em comparação ao GC, não mostrando esse mesmo comportamento para o TCE. Além disso, encontramos neste grupo de pacientes que a cinética do VO_2 foi mais rápida no TCE comparado ao TCC. Em relação à cinética da FC, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos e entre os testes, exceto para a amplitude da FC no grupo DPOC entre os testes. Ainda, a τ e o TRM do VO_2 foi significativamente menor que a τ e o TRM da FC no TCE em ambos os grupos.

Características da população

O grupo DPOC apresentou valores de função pulmonar inferiores, menor SpO_2 , menor intensidade máxima alcançada, maior limitação ventilatória e maiores níveis de dispneia e fadiga de membros inferiores no TI em comparação ao GC, as quais são manifestações atribuídas às alterações pulmonares e sistêmicas da doença. Ainda, de acordo com os resultados obtidos, verificaram-se menores valores de IMC, massa magra muscular e IMMC nos pacientes com DPOC comparado aos indivíduos saudáveis controles pareados por idade. Mesmo sendo considerada uma diferença significativamente pequena entre os grupos, fica evidenciada a depleção e/ou comprometimento muscular periférico^{36,37}, os quais contribuem para a hipoxemia e para a fadiga muscular, limitando a capacidade ao exercício.

Comparando as variáveis ventilatórias, metabólicas e cardiovasculares entre o TCC e TCE nos grupos estudados, constatamos que o exercício no equipamento elíptico proporcionou maior estresse ventilatório, metabólico e cronotrópico em relação ao cicloergômetro, considerando uma diferença clínica minimamente significativa de aproximadamente 3,0L/min para a V_E ; 4,3mL/Kg/min (0,4L/min) para o VO_2 , e 11,7bpm para

a FC, entre eles para o grupo DPOC. Ainda observamos que apesar da maior demanda metabólica, ventilatória e cardiovascular promovida pelo TCE no grupo DPOC, não foi observado maior relato de dispneia e fadiga de membros inferiores³¹.

O menor T_{lim} atingido no TCE comparado ao TCC em ambos os grupos, atribui-se ao maior gasto energético que este tipo de ergômetro promoveu, ao maior recrutamento de massa muscular e a sustentação do peso corporal, resultados esses que corroboram com os de outros autores^{18,19,20}. É interessante observar que a tolerância máxima no TCC não diferiu entre os grupos, ao contrário do que esperávamos, acredita-se que os pacientes do grupo DPOC realizaram o exercício em uma carga inferior a sua capacidade (70% da carga máxima atingida no TI), executando o teste por um período de tempo maior. Por outro lado, no TCE, o grupo DPOC apresentou menor T_{lim} comparado ao GC, sugerindo que se deve ao maior estresse metabólico, ventilatório e cardiovascular proporcionado por este tipo de ergômetro, bem como a postura adotada, sustentação do peso corporal e o maior recrutamento muscular. Ainda, no GC, constatamos maior FC e menor RFC no TCE que no TCC evidenciando a limitação ao exercício físico pelo estresse cardiovascular nesse grupo de indivíduos.

Cinética-on do consumo de oxigênio nos diferentes testes de carga constante

Não foram encontrados estudos que tenham avaliado a cinética-on do VO_2 e da FC no teste de carga constante em cicloergômetro em comparação ao equipamento elíptico em pacientes com DPOC e indivíduos saudáveis, sendo este o primeiro estudo, para o nosso conhecimento. Para melhor compreensão das diferenças nas respostas do VO_2 e da FC e dos mecanismos fisiológicos envolvidos nesses diferentes ergômetros, comparamos a resposta do VO_2 e da FC no cicloergômetro e no equipamento elíptico em 70% da intensidade máxima obtida no TI. Apesar de adotarmos a mesma intensidade em termos de porcentagem de carga, e das razões $VO_{2-T_{lim}}/VO_{2-TI}$ e $FC_{T_{lim}}/FC_{TI}$, não se mostrarem diferentes estatisticamente

entre o TCC e TCE em ambos os grupos, acreditamos que os 70% de intensidade no equipamento elíptico, exigiram maior demanda metabólica devido as diferenças entre os ergômetros tais como: postura corporal adotada, sustentação do peso corporal e maior recrutamento muscular.

As *baselines* e as amplitudes foram maiores no TCE comparado ao TCC em ambos os grupos, sendo estatisticamente significante apenas para a *baseline* do VO_2 e amplitude da FC no grupo DPOC. Estes resultados demonstram a influência da postura corporal em pé, que por sua vez, altera o fluxo sanguíneo muscular e influencia os padrões de recrutamento das unidades motoras⁸.

A τ e o TRM do VO_2 no TCC foram significativamente mais lentos no grupo DPOC comparado ao GC. Resultados semelhantes foram previamente encontrados em estudos que empregaram testes em cicloergômetro, com carga de trabalho intensa (i. e., aproximadamente 75% da taxa de trabalho de pico)^{2,7,38}. Esta lentidão da cinética-*on* do VO_2 presente nos pacientes com disfunção cardiopulmonar e metabólica parece estar relacionada à hipoxemia, ineficiência da oferta e utilização do oxigênio no início do exercício^{2,3,5}, ao desarranjo nas reações biomecânicas que influem no QO_2 mitocondrial^{2,3,4,5,39} e na capacidade de vasodilatação muscular⁴⁰, aos efeitos negativos do aumento da pressão intratorácica e da pressão pleural² e às mudanças estruturais e funcionais na musculatura periférica.

No presente estudo observamos que a cinética do VO_2 representada pela τ e pelo TRM foi significativamente mais rápida no TCE que no TCC no grupo DPOC (Tabela 3 e Figura 1). Este fato poderia ser explicado pelo maior recrutamento muscular que ocorre no ergômetro elíptico e, adicionalmente pela influência da postura vertical. Entretanto, em ambos os grupos o TCE induziu a maior estresse ventilatório, metabólico e cronotrópico que o TCC (Tabela 2). As diferenças observadas entre os testes na cinética do VO_2 somente no grupo DPOC podem ser assim explicadas: 1) O TCE proporcionou uma demanda metabólica superior ao TI,

exaurindo a reserva; e 2) O TCE foi um teste de maior intensidade e menor duração em relação ao TCC.

Exercícios realizados na postura em pé, como no TCE²¹, proporcionam maior recrutamento de massa muscular, influenciam os padrões de recrutamento das unidades motoras e alteram a pressão de perfusão e o fluxo sanguíneo muscular. Kim et al¹⁸, Egana e Donne²⁰, e Misic et al¹⁹ observaram que o equipamento elíptico demanda maior gasto energético, maior VO_2 e V_E em relação a esteira rolante, cicloergômetro e *airdyne* em indivíduos obesos. Estes achados foram semelhantes aos do presente estudo, no qual observamos valores significativamente maiores de VO_2 e V_E no equipamento elíptico, pois o equipamento simula o movimento de pedalar em pé em uma bicicleta²¹ e mostra similaridade com a caminhada²².

Sabe-se que a posição corporal influencia a distribuição de oxigênio, a pressão de perfusão muscular e a cinética do VO_2 no início do exercício. Foi constatado que o cicloergômetro na posição vertical influencia a cinética do VO_2 pelo aumento da pressão de perfusão muscular⁸ e pela ação da gravidade presente durante o exercício, ao contrário de exercícios realizados na posição supina em indivíduos saudáveis. Ainda, o efeito gravitacional acrescenta uma pressão de cerca de 50mmHg, a qual será direcionada aos músculos que estão ativos no momento do exercício, sendo no cicloergômetro, direcionada para os músculos quadríceps¹⁵.

Concordando com os achados do nosso estudo, Hughson et al^{11,15} constataram que o exercício realizado em esteira rolante resulta em menores valores de τ e TRM (isto é, cinética mais rápida) devido ao aumento da pressão de perfusão e do fluxo sanguíneo muscular, e pela ação da gravidade comparada ao cicloergômetro nas posições supina e prona, na mesma taxa de trabalho, porém em indivíduos saudáveis^{11,12,13,14,15,41}. A posição prona resulta em cinética de VO_2 mais lenta, pela pressão de perfusão muscular reduzida^{11,15}, e diminuição do fluxo

sanguíneo muscular (disponibilidade de oxigênio)⁴¹. Adicionalmente, Koga et al.¹² verificaram que a posição vertical comparada a supina resulta em menor TRM para *cinética-on* do VO₂ em exercícios de intensidade moderada e intensa, mas nenhuma diferença significativa foi observada na τ entre estas posições. Paralelamente, Williamson et al.¹⁰ demonstraram que a aplicação da pressão positiva corporal inferior durante o exercício em cicloergômetro semi-reclinado (recumbente) não alterou a cinética do VO₂. Consistente com esses autores, observamos que a posição vertical, resultou em maior *baseline* e acelerou a cinética do VO₂, no TCE no grupo DPOC, pelo maior recrutamento muscular, fluxo sanguíneo e efeito gravitacional.

Cinética-on da frequência cardíaca nos diferentes testes de carga constante

Não encontramos estudos sobre a cinética da FC no equipamento elíptico em indivíduos com DPOC. O grupo DPOC apresentou resposta da *cinética-on* da FC semelhante ao GC em ambos os ergômetros, acredita-se que esses resultados se devem ao método de coleta dos dados da FC, o qual foi realizado pelo cardiófrequencímetro acoplado ao ergoespirômetro, resultando na média a cada três batimentos por minuto. Em contraste, Chiappa et al.² relataram que pacientes com DPOC apresentaram lentificação de aproximadamente 44% na *cinética-on* da FC, bem como no débito cardíaco comparado a indivíduos saudáveis sedentários pareados por idade no TCC. Essa lentificação da *cinética-on* da FC presente nos pacientes com DPOC foi explicada pelas alterações vasculares pulmonares e autonômicas, e pelos efeitos mecânicos da respiração sob o retorno venoso^{2,42}, prejudicando a distribuição adequada de oxigênio para o músculo miocárdico.

No grupo DPOC, o TCE apresentou amplitude da FC significativamente maior comparado ao TCC, sugerindo que seja devido à maior intensidade de esforço ocorrida neste tipo de ergômetro, bem como ao envolvimento de maior massa muscular ativa, a influência da

postura corporal adotada, diferença no centro de gravidade e ao equilíbrio do tronco. Embora não tenha sido suficiente para alterar a cinética da FC.

A τ e o TRM do VO_2 foi significativamente mais rápido comparado a τ e ao TRM da FC no TCE em ambos os grupos. Acredita-se que seja pelo maior recrutamento de massa muscular neste tipo de ergômetro.

Implicações Clínicas

Considerando os achados do presente estudo, torna-se evidente a necessidade de um maior número de estudos que avaliem a cinética-*on* da FC de pacientes com DPOC em diferentes ergômetros. Uma vez que a cinética tem sido sugerida como um importante parâmetro de avaliação da capacidade aeróbia, bem como da tolerância ao exercício⁴³, pois reflete a gravidade da doença e as respostas às intervenções terapêuticas e a reabilitação pulmonar. Ainda, as medidas da cinética do VO_2 realizadas no equipamento elíptico podem ser uma ferramenta útil para avaliar a capacidade funcional em pacientes com DPOC, por esta apresentar-se mais rápida que o cicloergômetro, sugerindo que tais achados podem ser aplicados em ensaios futuros avaliando os efeitos de um programa de treinamento físico neste tipo de ergômetro.

Limitações do Estudo

Embora cuidados metodológicos para obter intensidades equivalentes (70% da carga máxima obtida no TI) entre os dois ergômetros tenham sido tomados, acreditamos que o TCE proporcionou maior estresse ventilatório, metabólico e cronotrópico que o TCC. Assim torna-se necessário uma comparação considerando valores equivalentes de VO_2 entre os diferentes ergômetros. Adicionalmente, o tempo de aquecimento dos testes pode ter influenciado nossos

achados, devido às diferentes posturas, assim a comparação entre os dois testes sem a fase de aquecimento merece ser investigada em ensaios futuros. Ainda destacam-se como limitações do estudo o método de coleta de dados da FC, o qual foi realizado realizada pelo cardiofrequencímetro acoplado ao ergoespirômetro, resultando na média a cada três batimentos por minuto; a impossibilidade de ter realizado um teste incremental limitado por sintomas em equipamento elíptico para verificar melhor a similaridade da intensidade aplicada entre os testes de carga constante; a limitação dos equipamentos, ou seja, a impossibilidade de se ajustar cargas menores que 40W no equipamento elíptico utilizado, bem como a carga mínima do equipamento manter-se no intervalo entre 10 a 20W, sem conseguir fazer o ajuste, e quanto a carga mínima do cicloergômetro (15W); e em relação a análise da cinética-on do VO_2 e da FC, na qual não excluiu-se a fase I (cardiodinâmica) e não identificou-se o componente lento. O componente lento não foi caracterizado, o que seria possível somente com um modelo biexponencial aplicado a dados coletados respiração-a-respiração. Finalmente, a aquisição dos gases expirados pelo método de coleta da média a cada três respirações poderia ter influenciado nossos resultados. Entretanto, Hughson et al.⁴⁴ descreveram que os dados obtidos previamente a partir de sistemas ergoespirométricos como o do presente estudo mostram os mesmos resultados cinéticos dos sistemas atuais (respiração por respiração).

CONCLUSÃO

A cinética-on do VO_2 é lentificada nos pacientes com DPOC, quando realizam exercício de alta intensidade em cicloergômetro, entretanto a mesma depende do ergômetro testado. A cinética mais rápida encontrada no exercício realizado em equipamento elíptico no grupo DPOC pode estar associada à posição corporal adotada, ao maior recrutamento de fibras musculares e/ou ao maior estresse ventilatório, metabólico e cronotrópico que o mesmo

proporciona. Ainda, a cinética da FC mostrou-se similar entre o cicloergômetro e o elíptico, bem como entre os grupos.

REFERÊNCIAS

1. Puente-Maestu L, Sáenz ML, Sáenz P, et al. Reproducibility of the parameters of the on-transient cardiopulmonary responses during moderate exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Eur J Appl Physiol.* 2001; 85: 434 – 441.
2. Chiappa GR, Borghi-Silva A, Ferreira LF, et al. Kinetics of muscle deoxygenation are accelerated at the onset of heavy-intensity exercise in patients with COPD: relationship to central cardiovascular dynamics. *J Appl Physiol.* 2008; 104: 1341–50.
3. Laveneziana P, Valli G, Onorati P, et al. Effect of heliox on heart rate kinetics and dynamic hyperinflation during high-intensity exercise in COPD. *Eur J Appl Physiol.* 2011; 111: 225-234.
4. Hughson RL, Tschakovsky ME, Houston ME. Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. *Exerc. Sport. Sci. Rev.* 2001; 29: 129–133.
5. Somfay A, Pórszász Lee SM, Casaburi R. Effect of hyperoxia on gas exchange and lactate kinetics following exercise onset in nonhypoxemic COPD patients. *Chest.* 2002; 121: 393–400.
6. Chiappa GR, Queiroga FJr, Meda E, et al. Heliox improves oxygen delivery and utilization during dynamic exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2009; 179(11): 1004-10.
7. Poole DC, Ferreira LF, Behnke BJ, et al. The final frontier: oxygen flux into muscle at exercise onset. *Exerc Sport Sci Rev.* 2007; 35: 166–173.

8. Jones AM, Burnley M (2005). Chapter 4: Effect of exercise modality on VO_2 kinetics. In: Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine. Routledge London and New York. pp.95-114.
9. Cerreteli P, Shindell D, Pendergast D, et al. Oxygen uptake transients at the onset and offset of arm and leg work. *Respiration Physiology*. 1977; 30: 81-97.
10. Williamson JW, Raven PB, Whipp BJ. Unaltered oxygen uptake kinetics at exercise onset with lower body positive pressure. *Experimental Physiology*. 1996; 81: 695-705.
11. Hughson RL, Cochrane JE, Butler GC. Faster O_2 uptake kinetics at onset of supine exercise with than without lower body negative pressure *J Appl Physiol*. 1993; 75: 1962-7.
12. Koga S, Shiojiri T, Shibasaki M, et al. Kinetics of oxygen uptake during supine and upright exercise. *J Appl Physiol*. 1999; 87: 253-60.
13. Rossister HB, Ward SA, Kowalchuk JM, et al. Effects of prior exercise on oxygen uptake and phosphocreatine kinetics during high-intensity knee – extension exercise in humans. *J Physiol*. 2001; 537 291-303.
14. Rossister HB, Ward SA, Kowalchuk JM, et al. Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O_2 uptake between the on-and-off transients of moderate and high intensity exercise in humans. *J Physiol*. 2002; 541, 991-1002.
15. Hughson RL (2005). Chapter 8: Regulation of VO_2 on-kinetics by O_2 delivery. In: Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine. Routledge London and New York. pp. 185-211.
16. Schneider DA, Wing AN, Morris NR. Oxygen uptake and heart rate kinetics during heavy exercise: a comparison between arm cranking and leg cycling. *Eur J Appl Physiol*. 2002; 88: 100-6.

17. Koga S, Shiojiri T, Shibasaki M, et al. Kinetics of oxygen uptake and cardiac output at onset of arm exercise. *Respiration Physiology*. 1996; 103: 195-202.
18. Kim J, Nho H, Whaley M. Inter-modal comparisons of acute energy expenditure during perceptually based exercise in obese adults. *J Nutr Sci Vitaminol*. 2008; 54:39-45.
19. Misic MM, Valentine RJ, Rosengren KS, et al. Impact of training modality on strength and physical function in older adults. *Gerontology*. 2009; 55: 411-416.
20. Egana M, Donne B. Physiological changes following a 12 week gym based stair climbing, elliptical trainer and treadmill running program in females. *J Sports Med Phys Fitness*. 2004; 44: 141-146.
21. Lu T, Chien H, Chen H. Joint loading in the lower extremities during elliptical exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2007; 1651-1658.
22. Burnfield JM, Shu Y, Buster T, et al. Similarity of joint kinematics and muscle demands between elliptical training and walking: implications for practice. *Physical Therapy*. 2010; 90: 289-305.
23. GOLD – Global Strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: (Update 2010), 2010.
24. Matsudo S, Araújo T, Matsudo V, et al. Questionário internacional de atividade física (IPAQ). Estudo de validade e reprodutibilidade no Brasil. *Rev Bras Ativ Fís Saúde*. 2001; 6(2): 5-18.
25. Montes de Oca M, Ortega Balza M, Lezama J, et al. Chronic obstructive pulmonary disease: evaluation of exercise tolerance using three different exercise tests. *Arch Bronconeumol*. 2001; 37(2):69-74.

26. Miller MR, Hankinson J, Brusasco, V, et al. ATS/ERS Task Force: Standardisation of Lung Function Testing. *Eur Respir J*. 2005; 26: 319-38.
27. Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am. Rev Respir Dis*. 1983; 127: 725-734.
28. Mendes CCT, Raelle R. Avaliação corporal por bioimpedância. *Rev Nutr Pauta*. 1997; 24: 12-4.
29. Vermeeren MAP, Creutzberg EC, Schols AMWJ, et al. Prevalence of nutritional depletion in a large out-patient population of patients with COPD. *Respiratory Medicine*. 2006; 100(8): 1349-55.
30. Neder JR, Nery LE. *Fisiologia Clínica do Exercício*. 1ª Edição, São Paulo, Artes Médicas, 2003.
31. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982; 14: 377-81.
32. Crouter SE, Antczak A, Hudak JR, et al. Accuracy and reliability of the ParvoMedics TrueOne 2400 and MedGraphics VO₂₀₀₀ metabolic systems. *Eur J Appl Physiol*. 2006; 98:139-51.
33. Whipp BJ, Ward SA, Lamarra M, et al. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol*. 1982; 52; 1506-1513.
34. Bell C, Paterson DH, Kowalchuk JM, et al. A comparison of modeling techniques used to characterize oxygen uptake kinetics during the on-transient of exercise. *Experimental Physiology*. 2001; 86(5): 667-76.
35. Engelen M, Porszasz J, Riley M, et al. Effects of hypoxic hypoxia on O₂ uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol*. 1996; 81: 2500-8.

36. Aliverti A, Macklem PT. The major limitation to exercise performance in COPD is inadequate energy supply to the respiratory and locomotor muscles. *J Appl Physiol.* 2008; 105: 749-51.
37. Debigaré R, Maltais F. The major limitation to exercise performance in COPD is lower limb muscle dysfunction. *J Appl Physiol.* 2008; 105: 751-53.
38. Berton DC, Barbosa PB, Takara LS, et al. Bronchodilators accelerate the dynamics of muscle O₂ delivery and utilization during exercise in COPD. *Thorax.* 2010; 65(7): 588-93.
39. MacDonald MJ, Naylor HL, Tschakovsky ME, et al. Peripheral circulatory factors limit rate of increase in muscle O₂ uptake at onset of heavy exercise. *J Appl Physiol.* 2001; 90: 83– 89.
40. Gaenzer H, Neumayr G, Marschang P, et al. Flow-mediated vasodilatation of the femoral and brachial artery induced by exercise in healthy nonsmoking and smoking men. *J Am Coll Cardiol.* 2001; 38: 1313-19.
41. MacDonald MJ, Shoemaker JK, Tschakovsky ME, et al. Alveolar oxygen uptake and femoral artery blood flow dynamics in upright and supine leg exercise in humans. *J Appl Physiol.* 1998; 85: 1622-8.
42. Heindl S, Lehnert M, Criece CP et al. Marked sympathetic activation in patients with chronic respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001; 164: 597–601.
43. Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine.* 2000; 29(6): 373-86.
44. Hughson, RL. Oxygen uptake kinetics: historical perspective and future directions. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2009, 34: 840-50.

Estudo II

Índice BODE, composição corporal, força muscular periférica e cinética-*on* do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca em cicloergômetro e em equipamento elíptico em pacientes com DPOC: há correlação entre eles?

BODE index, body composition, peripheral muscle strength and oxygen uptake and heart rate kinetics on a cycle ergometer and on elliptical equipment in COPD patients: there is relationship between them?

Pessoa BV, Beltrame T, Pires Di Lorenzo VA, Catai AM, Borghi-Silva A, Jamami M.

Periódico: Revista Brasileira de Fisioterapia (Submetido)

Estudo II

RESUMO

Objetivos: Verificar se há correlação entre a cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO_2) e da frequência cardíaca (FC) no teste de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE) com o índice BODE e suas variáveis isoladas, massa muscular (MM), índice de massa magra corporal (IMMC) e com a força muscular periférica (FMP) representada pelo teste de uma repetição máxima (1RM) em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). **Métodos:** Foram avaliados 14 homens com DPOC de obstrução moderada a muito grave (grupo DPOC) entre 55 e 78 anos, submetidos em dias alternados aos seguintes testes: 1) teste de caminhada de seis minutos (TC6); 2) teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas; 3) TCC e 4) TCE ambos a 70% da intensidade máxima obtida no TI; 5) teste de uma repetição máxima (1RM) e 6) avaliação da composição corporal. Foram coletados os gases expirados no TI e TCC, e a cinética do VO_2 e da FC foram analisadas. O índice BODE foi calculado com base no índice de massa corpórea (IMC), volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF_1), escala *Medical Research Council* e TC6. Para a análise dos dados foi aplicado o teste *t* pareado e coeficiente de correlação de Pearson ($p < 0,05$). **Resultados:** Os pacientes com DPOC apresentaram a τ e o tempo de resposta média (TRM) do VO_2 significativamente maiores no TCC comparado ao TCE ($p < 0,05$). Quanto à cinética da FC, não foram encontradas diferenças significativas nas análises intragrupo. Ainda, não foram observadas diferenças significativas entre a τ do VO_2 e da FC no TCE, ao contrário constatamos que a τ e o TRM do VO_2 foi significativamente maior que a τ e o TRM da FC no TCC. Observou-se correlação moderada entre a τ e o TRM do VO_2 e da FC com o índice BODE no TCC ($r = 0,55$ e $r = 0,63$; $r = 0,66$ e $r = 0,74$, respectivamente); e correlações negativas significativas entre a τ e o TRM do VO_2 com o

VEF₁ ($r=-0,69$; $r=-0,68$), a distância percorrida no TC6 (DP-TC6) ($r=-0,62$; $r=-0,65$) e a DP-TC6 %prevista ($r=-0,64$; $r=-0,70$). Ainda a τ e o TRM da FC correlacionou-se com a DP-TC6 ($r=-0,81$; $r=-0,82$) e a DP-TC6 %prevista ($r=-0,83$; $r=-0,65$). Esse mesmo comportamento não foi observado para a cinética do VO₂ e da FC no TCE. Não foram observadas correlações estatisticamente significativas entre a τ e o TRM do VO₂ e da FC com a MM, IMMC e FMP.

Conclusão: A cinética-*on* do VO₂ e da FC no TCC correlacionou-se com o índice BODE, VEF₁ e DP-TC6, mostrando que a gravidade da doença, a limitação ao fluxo aéreo e a capacidade ao exercício são refletidas pela lentificação da cinética, entretanto a mesma depende do ergômetro utilizado. Além disso, a cinética do VO₂ é mais rápida no TCE comparado ao TCC nos pacientes com DPOC.

Palavras-chave: DPOC; consumo de oxigênio; cinética; frequência cardíaca; mortalidade; índice de gravidade de doença.

ABSTRACT

Objectives: To determine if there is a relationship between oxygen consumption (VO_2) and heart rate (HR) on-kinetics in constant work-rate exercise test on cycle ergometer (CCT) and on elliptical equipment (ECT) with the BODE index and their isolated variables, muscle mass (MM), lean body mass index (LBMI) and with peripheral muscle strength (PMS) represented by one-repetition maximum strength test (1RM) in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). **Methods:** Fourteen men patients with moderate to very severe COPD (COPD group), between 55 and 78 years, were submitted to the following tests on alternate days: 1) six-minute walking test (6MWT); 2) Symptom-limited incremental cycle ergometer test (CPT); 3) CCT and 4) ECT at 70% of the maximum intensity obtained in CPT; 5) 1RM test and 6) body composition evaluation. Expired gases were collected in CPT, CCT and ECT, and response of the VO_2 and HR on-kinetics were analyzed. The BODE index was calculated based on the body mass index, forced expiratory volume in first second (FEV_1), Medical Research Council scale and the distance walked in 6MWT (DW-6MWT). **Results:** The COPD group presented significantly higher τ (τ) and mean response time (MRT) for VO_2 on the CCT than the ECT ($p < 0.05$). Regarding HR kinetics, there weren't significant differences in intra-group analysis. The Pearson correlation coefficient ($p < 0.05$) presented a moderate positive relationship between BODE index and τ and MRT of VO_2 and HR ($r = 0.55$ and $r = 0.63$; $r = 0.66$ and $r = 0.74$, respectively); and negative correlation between τVO_2 and MRT- VO_2 with FEV_1 ($r = -0.69$; $r = -0.68$), DW-6MWT ($r = -0.62$; $r = -0.65$) and DW-6MWT %predict ($r = -0.64$; $r = -0.70$). Still, significant negative correlations were observed between the τ -HR and MRT-HR with DW-6MWT ($r = -0.81$; $r = -0.82$) and DW-6MWT %predict ($r = -0.83$; $r = -0.65$). Significant correlations between the TRM and τ of VO_2 and of HR with MM, LBMI and PMS; and correlations with oxygen consumption (VO_2) and heart rate (HR) on-kinetics in ECT were not observed. **Conclusion:** In general, our data show that patients with moderate to

very severe COPD have slowed VO_2 kinetics in the CCT compared the ECT. Furthermore, the VO_2 and HR on-kinetics in CCT has a moderate correlation with the classification of COPD severity assessed by the BODE index, FEV_1 and DW-6MWT, showing that COPD severity, airflow limitation and exercise capacity are reflected by the slowing of the on-kinetics in COPD patients, but it depends on the ergometer.

Key-words: COPD; oxygen uptake; kinetics; heart rate; mortality; severity of illness index.

INTRODUÇÃO

A doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) é caracterizada pela limitação ventilatória, metabólica e muscular periférica e pela reduzida capacidade de exercício. Estas limitações estão associadas à perda de massa corporal significativa, redução da força e *endurance* dos músculos respiratórios e periféricos¹ e alto risco de mortalidade². Adicionalmente, a intolerância ao exercício pode estar marcada pela lentificação da cinética do consumo de oxigênio (VO_2) e da frequência cardíaca (FC) no início do exercício^{3,4}, comparado a idosos saudáveis pareados por idade^{4,5}.

Essa lentificação da cinética do VO_2 e da FC nos pacientes com DPOC está associada à hipoxemia, ventilação em volume pulmonar mais alto, distúrbios na mecânica da respiração, ineficiência da distribuição de oxigênio durante a transição repouso-exercício, desarranjo nas reações biomecânicas que estimulam a captação periférica de oxigênio (QO_2) mitocondrial^{4,5,6,7,8}, desequilíbrio autonômico e a redistribuição do fluxo sanguíneo para os músculos periféricos e respiratórios⁴. Ainda fazem parte deste cenário, o recrutamento precoce de fibras tipo IIb e o acúmulo de metabólitos que aumentam a fadiga muscular periférica^{4,7}.

A reduzida capacidade de exercício tem influenciado fortemente a sobrevida desses pacientes. Devido à gravidade das alterações citadas, Celli et al.² desenvolveram o índice BODE, o qual tem ganhado espaço e importância na literatura científica devido ao fato de que esse índice fornece informação prognóstica da gravidade da DPOC, além de refletir a incapacidade funcional induzida pela mesma. Este índice multidimensional compreende o índice de massa corpórea (IMC; *B - body mass index*), limitação ao fluxo aéreo (*O - airflow obstruction*), dispneia (*D - dyspnea*) e a capacidade ao exercício (*E - exercise capacity*). Dessa forma, abrange as principais alterações encontradas nesses pacientes e tem sido considerado o melhor preditor de sobrevida dos mesmos². Suas variáveis de maneira isolada

[IMC, dispneia, volume expiratório no primeiro segundo (VEF_1) e distância percorrida no teste de caminhada de exercício (TC6)], também são consideradas parâmetros de avaliação, porém não avaliam as repercussões sistêmicas da doença.

Em relação à cinética do VO_2 e da FC, estas têm sido estudadas em testes de carga constante de moderada ou alta intensidade em cicloergômetro (TCC) ou esteira rolante⁹. Entretanto, o equipamento elíptico é um ergômetro que recentemente tem sido utilizado na reabilitação de pacientes com doenças crônicas¹⁰, e simula o movimento de pedalar em pé em uma bicicleta¹¹. Sabe-se que a postura adotada durante o exercício e os efeitos da gravidade podem influenciar o comportamento da cinética do VO_2 ^{12, 13,14,15} e da FC^{9,16,17}. Porém não se sabe se este importante índice de avaliação da capacidade aeróbia, bem como da tolerância ao exercício^{4,6,8,9}, apresenta correlação com o índice preditor de mortalidade BODE e suas variáveis isoladas, com a massa muscular magra (MM), índice de massa magra corporal (IMMC) e com a força muscular periférica (FMP) avaliada pelo teste de uma repetição máxima (1RM), justificando assim a realização deste estudo.

Afirmando que os pacientes com DPOC apresentam lentificação da cinética-*on* do VO_2 e da FC no TCC comparado ao TCE, e pelo índice BODE tratar-se de um índice multidimensional, avaliando os principais comprometimentos sistêmicos da doença, nós hipotetizamos que essa lentificação no TCC apresenta correlação significativa com o índice BODE e com suas variáveis isoladas, MM, IMMC e com a FMP; ainda acreditamos esse mesmo comportamento para o TCE. Dessa maneira, o objetivo do presente estudo foi verificar se há correlação entre a cinética-*on* do VO_2 e da FC com o índice BODE e suas variáveis isoladas, com a MM, IMMC e com a FMP.

MATERIAIS E MÉTODOS

Participantes do estudo

Participaram deste estudo 14 homens na faixa etária dos 55 aos 78 anos de idade, apresentando diagnóstico clínico e funcional de DPOC (Grupo DPOC): VEF₁/ capacidade vital forçada (CVF) < 0,7 e VEF₁ pós broncodilatador < 80% predito¹⁹ encaminhados para atendimento na Unidade Especial de Fisioterapia Respiratória – Universidade Federal de São Carlos. Foram adotados como critérios de inclusão do estudo para o grupo DPOC, diagnóstico clínico e espirométrico de DPOC nos estágios II, III e IV¹⁹, confirmado pela espirometria pré e pós broncodilatador, realizada sob a supervisão de um pneumologista¹⁹, história tabágica prévia, sem história de infecções ou exacerbação da doença no último mês, ou mudança de medicamentos nas quatro semanas anteriores ao estudo. Além disso, todos os pacientes deveriam ser considerados sedentários há pelo menos seis meses anteriores ao estudo, e serem classificados como sedentários ou insuficientemente ativos conforme a classificação do Questionário Internacional de Atividade Física - versão curta (IPAQ)²⁰.

Foram excluídos os indivíduos tabagistas, etilistas, com hipertensão pulmonar (pressão pulmonar média \geq 25 mmHg constatada pela ecocardiografia), hipertensão arterial não controlada, hipoxemia (saturação periférica de oxigênio: SpO₂ abaixo de 80% no repouso), e presença de doenças cardiovasculares, metabólicas, neurológicas, reumáticas e/ou desordens musculoesqueléticas que inviabilizassem a participação no estudo. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição (parecer nº074/2007; Anexo 3) e todos os indivíduos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, conforme a resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde. O estudo foi registrado no ClinicalTrials.gov (NCT01529489).

Procedimento Experimental

Os indivíduos foram submetidos a uma avaliação física geral; além do teste de função pulmonar, avaliação da composição corporal, TC6, teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas, TCC e TCE. A coleta dos dados de cada indivíduo foi realizada em dias alternados, e os testes foram realizados com intervalo de dois a quatro dias entre eles²¹, com o objetivo de evitar interferência negativa na *performance* (presença de dor, catecolaminas circulantes, fadiga dos músculos periféricos). Os testes foram realizados em sala climatizada, com temperatura média controlada entre 18° a 22°C, e umidade relativa do ar entre 50 a 70%, e todas as avaliações foram realizadas no mesmo período do dia para cada indivíduo. No primeiro dia de avaliação, os indivíduos foram orientados a pedalar no cicloergômetro e movimentar-se no equipamento elíptico, simulando a realização dos testes, sem a coleta dos gases para a familiarização prévia com os equipamentos.

Todos os indivíduos receberam orientações prévias antes da realização dos testes, quanto ao tipo de alimentação a ser feita, às vestimentas e o uso de calçados adequados, além de evitar a prática de atividade física no dia anterior ao mesmo. Ainda, os indivíduos permaneceram em repouso por aproximadamente 15 minutos antes do início da realização de qualquer um dos procedimentos experimentais.

Teste de função pulmonar: Foi realizado por meio de um espirômetro portátil (COSMED microQuark PC - based Spirometer[®], Pavona di Albano - Roma, Itália), segundo as normas da *American Thoracic Society/European Respiratory Society* (ATS/ERS)²². Os valores obtidos foram comparados com os valores previstos por Knudson et al²².

Avaliação da composição corporal: Foi realizada por meio de uma balança de impedância bioelétrica de tecnologia bipolar (Tanita[®], modelo BC-553, Illinois, USA).

Realizou-se a análise da massa corporal e massa muscular magra (MM)²⁴, e posteriormente, foi calculado o índice de massa corporal (IMC) = massa corporal (Kg)/ altura² (m), e o índice de massa magra corporal (IMMC) = MM (Kg)/ altura² (m)²⁵, considerando depleção nutricional, homens com IMMC $\leq 16,0 \text{ Kg/m}^2$ ²⁵.

Índice BODE: Todos os pacientes com DPOC realizaram todas as medidas necessárias para calcular esse índice. Este índice multidimensional é composto pelo IMC, grau de obstrução das vias aéreas (VEF₁% previsto pós-broncodilatador), dispneia (escala de dispneia *Medical Research Council*)²⁶ e pela tolerância ao exercício por meio da distância percorrida no TC6²⁷. Os pacientes receberam pontos de acordo com os resultados obtidos nas quatro variáveis (0-1 para o IMC, e 0-3 para VEF₁, dispneia e distância percorrida no TC6)². O índice BODE pode ser dividido em quartis: quartil 1 é o escore de 0-2; quartil 2 é o escore de 3-4, quartil 3 é o escore de 5-6, e quartil 4 é o escore de 7-10², sendo que quanto maior a pontuação maior a probabilidade de mortalidade dos pacientes.

Avaliação da Capacidade Funcional

Teste de caminhada de seis minutos (TC6): Foi realizado segundo as normas da ATS²⁷. O TC6 foi realizado em um corredor plano com 30 metros de comprimento e duas vezes no mesmo dia, com intervalo de 30 minutos entre eles, sendo o maior valor da distância percorrida considerado para análise. Os pacientes com DPOC foram orientados e incentivados a caminhar o mais rápido possível durante seis minutos, utilizando frases padronizadas a cada minuto, sendo a cadência dos testes livre²⁷. Foram registradas no repouso (basal), no segundo, quarto e sexto minutos, além do primeiro, terceiro e sexto minutos da recuperação, a SpO₂ por meio de um oxímetro de pulso portátil (Nonin[®], modelo 2500, Minneapolis, Mn, USA), a FC

por meio de um cardiofrequencímetro de pulso (Polar® FS2c™ Kempele, Finland), e os sintomas de dispneia e fadiga de MMII pela escala de Borg modificada²⁸. As medidas da pressão arterial, mensuradas com o indivíduo na posição sentada e com um esfigmomanômetro de coluna de mercúrio (Oxigel®, São Paulo, SP, Brasil), foram verificadas no repouso, imediatamente após os testes e no primeiro, terceiro e sexto minutos da recuperação. Os valores de distância percorrida obtidos no TC6 foram comparados aos previstos pela fórmula de Iwama et al.,²⁹. Calculou-se a porcentagem da distância percorrida pela seguinte fórmula: $[(\text{distância percorrida no TC6} / \text{distância prevista}^{29}) * 100]$. As figuras 1A e 1B mostram a realização do TC6.



Figuras 1A e 1B: Realização do teste de caminhada de seis minutos.

Teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas: Todos os indivíduos foram submetidos ao TI com coleta dos gases expirados (VO₂₀₀₀ MedGraphics Corp.®, St Paul MN, USA) para determinação da carga de trabalho pico. O TI foi realizado em cicloergômetro com frenagem eletromagnética (Ergo-FIT®, modelo Ergo 167 Cycle,

Pirmasens, Alemanha) e adotou-se um protocolo em degraus crescentes³⁰. Os indivíduos foram instruídos a pedalar a 60rpm com comandos verbais padronizados de encorajamento pelo mesmo avaliador a cada dois minutos, iniciando o teste com um período de um minuto de aquecimento com a carga mínima do equipamento (15W), com incrementos de 5 a 10W cada dois minutos, selecionados individualmente de forma que o período de incrementação se mantivesse no intervalo de 8 a 12 minutos³⁰. Houve o período de um minuto de recuperação ativa com carga mínima do equipamento, seguido de seis minutos de recuperação passiva. Foram obtidas no repouso, no aquecimento, a cada dois minutos do teste, na recuperação ativa e no primeiro, terceiro e sexto minutos da recuperação passiva, sendo a mensuração realizada nos 30 segundos finais de cada estágio, as seguintes variáveis: SpO₂ por meio do oxímetro de pulso (Nonin[®], modelo 2500, Minneapolis, Mn, USA), FC coletada pelo cardiófrequencímetro (Polar[®] FS2c[™] Kempele, Finland), dispneia e fadiga de membros inferiores por meio da escala de Borg modificada CR-10²⁸, a pressão arterial (PA) aferida pelo método auscultatório e por meio de um esfigmomanômetro de coluna de mercúrio (Oxigel[®], São Paulo, SP, Brasil). Todos os indivíduos tiveram o traçado eletrocardiográfico registrado continuamente com monitorização das derivações MC5, DII e V2 modificadas, por meio de um monitor cardíaco Ecafix[®] (Modelo Active “E”, São Paulo, São Paulo, Brasil), além do registro das variáveis ergoespirométricas.

Os critérios de interrupção para o TI foram: alteração pressórica (pressão arterial sistólica (PAS) > 250mmHg / pressão arterial diastólica (PAD) >120mmHg), queda sustentada da PAS, elevação da PAD até 120mmHg nos normotensos, elevação da PAD até 140mmHg nos hipertensos, manifestação clínica de desconforto torácico, dor torácica importante, vertigem, cianose, tontura, palidez, depressão significativa do segmento ST, dispneia ou fadiga em membros inferiores muito intensas (Borg ≥ 7 ²⁸) desproporcional à intensidade do esforço, SpO₂ < 80%, atingir a FC máxima prevista para a idade do indivíduo,

e incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm, falência dos sistemas de monitorização e/ou registro.

O cálculo da reserva cronotrópica (reserva da FC: RFC) foi obtida de forma indireta pela fórmula: $(FC_{\text{máx}} - FC_{\text{atingida no teste}})^{30}$, sendo a $FC_{\text{máx}} = 220 - \text{idade}$. A demanda ventilatória foi determinada pela relação ventilação minuto (V_E) / ventilação voluntária máxima (VVM) $[V_E/VVM]^{30}$.

O TCC e o TCE realizados para avaliação da cinética do VO_2 e da FC foram randomizados por meio do programa SPSS 18.0[®]. Esta randomização foi mantida oculta por meio de um envelope selado e opaco para cada indivíduo de ambos os grupos.

Teste de carga constante em Cicloergômetro (TCC): Foi realizado no mesmo cicloergômetro empregado no TI associado a coleta dos gases expirados como previamente descrito e da FC pelo cardiófrequencímetro (Polar[®] FS2cTM Kempele, Finland) acoplado ao analisador. Os indivíduos foram instruídos a pedalar em 60 rpm e receberam comandos verbais padronizados de encorajamento a cada minuto. Foi utilizado o protocolo com taxa de trabalho constante igual a 70% da intensidade máxima obtida no TI³⁰, para averiguar o tempo máximo tolerado (limite da tolerância: Tlim) pelo indivíduo. Adotou-se carga inicial mínima do equipamento de 15W durante um minuto para a fase de aquecimento ocorrendo o mesmo para o desaquecimento, além de um período de seis minutos de recuperação passiva pós-teste. Foram monitorizados no repouso, no aquecimento, a cada dois minutos de teste, no desaquecimento e no período de recuperação, a SpO_2 , FC, PA, sensação de dispneia e fadiga de membros inferiores²⁸, e continuamente o traçado eletrocardiográfico, com monitorização das derivações MC5, DII e V2 modificadas, por meio de um monitor cardíaco Ecafix[®]. Foram também registrados o desempenho físico e a tolerância máxima atingida no teste (Tlim), além do cálculo da RFC³⁰ e da V_E/VVM ³⁰. A figura 2 mostra a realização do TCC.

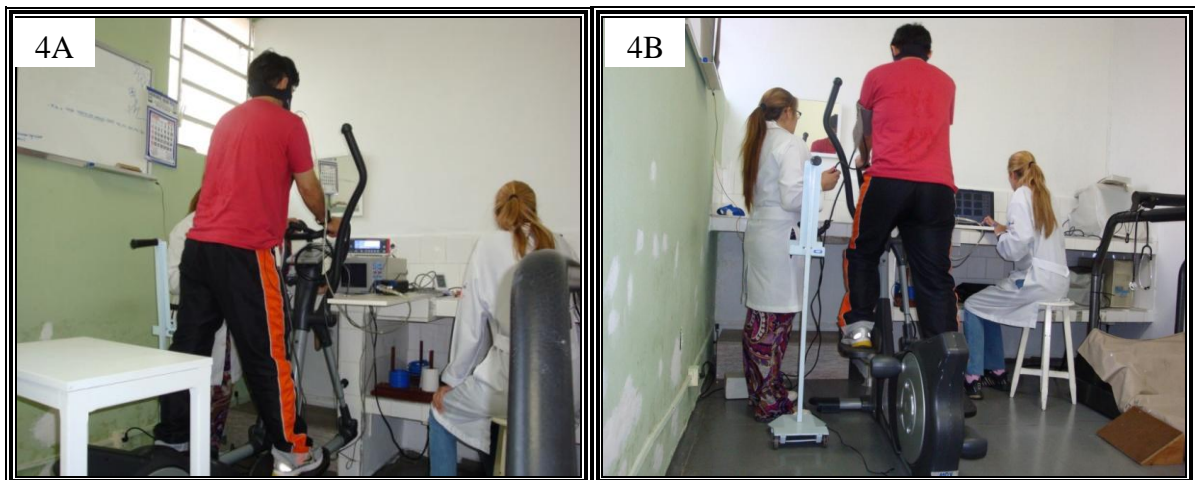


Figura 2: Realização do teste de carga constante em cicloergômetro (TCC).

Teste de carga constante em equipamento Elíptico (TCE): Foi realizado em um equipamento elíptico modelo eletromagnético (Kiko's[®] HM 6022 7B 31132-7, São Paulo, SP, Brasil; Figura 3) associado a coleta dos gases expirados como descrito previamente no TI e da FC pelo cardiofrequencímetro (Polar[®] FS2c[™] Kempele, Finland) acoplado no analisador. Os indivíduos foram orientados a movimentar-se somente com os membros inferiores permanecendo os membros superiores fixos, em sentido frontal com rotação de 60 rpm com comandos verbais padronizados de encorajamento a cada minuto. Foi adotado o protocolo com taxa de trabalho constante igual a 70% da carga máxima verificada no TI³⁰, para averiguar o tempo máximo tolerado pelo indivíduo. Adotou-se carga inicial mínima do equipamento no intervalo entre 10-20W durante um minuto para a fase de aquecimento e para o desaquecimento, além de um período de seis minutos de recuperação passiva pós-teste. A monitorização foi semelhante a descrita anteriormente para o TCC. Também foram registradas a distância percorrida e a tolerância máxima atingida no teste, além do cálculo da RFC³⁰ e da V_E/VVM^{30} . As figuras 4A e 4B mostram a realização do TCE.



Figura 3: Ilustração do equipamento elíptico (Fonte: www.kikos.com.br).



Figuras 4A e 4B: Realização do teste de carga constante em equipamento elíptico (TCE).

Teste de uma repetição máxima (1RM) de membros inferiores: foi realizado no equipamento *Leg press* horizontal (Righetto PR1070), e adotou-se como carga inicial para realização do teste 60% da massa corporal³¹, sendo que caso o paciente não conseguisse completar uma repetição, foi reduzida a quantidade de peso empregada, ou aumentada caso contrário, e realizado a 1RM novamente. Cada indivíduo realizou no máximo seis tentativas para se obter a carga máxima³⁰, com incrementos de 5 a 10Kg de acordo com o indivíduo e

com um intervalo mínimo de dois minutos entre cada carga empregada. Caso não conseguisse determinar a carga em até seis tentativas, o indivíduo realizava novamente o teste após 48 horas. Todos os indivíduos foram devidamente posicionados no *leg press* horizontal mantendo a articulação do joelho entre 80-90°, e foram monitorizados quanto a SpO₂, FC, PA e questionados sobre a sensação de dispneia e fadiga em membros inferiores²⁸ no repouso, ao final de cada carga e nos 30 segundos finais de cada intervalo de repouso. A figura 5 mostra a realização do teste de 1RM em Leg press horizontal.



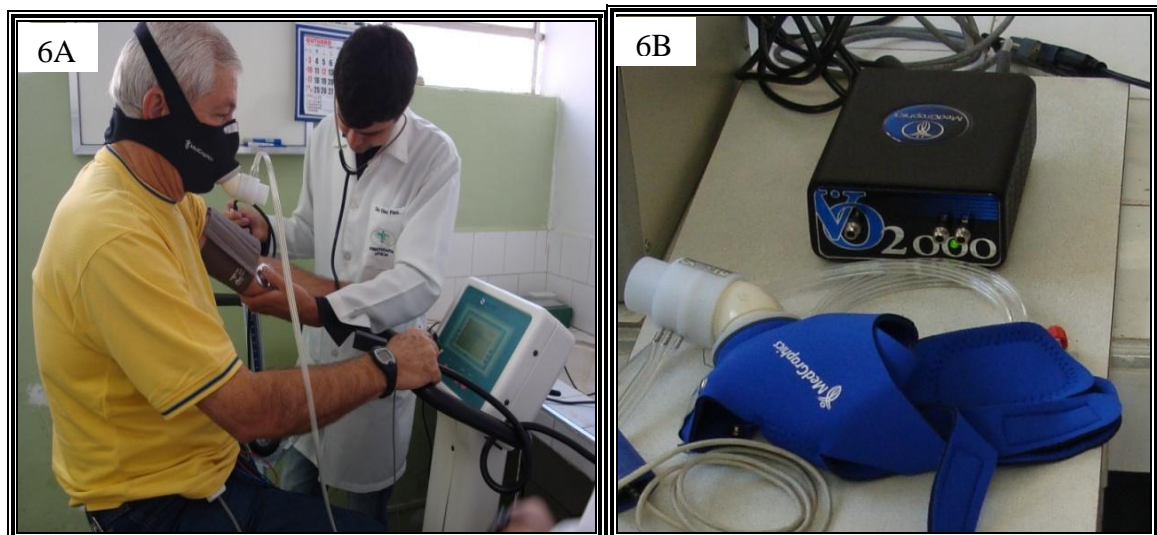
Figura 5: Realização do teste de 1RM em Leg press horizontal.

Análise dos Gases

A coleta dos gases expirados foi realizada durante os testes, por meio de um analisador de gases modelo VO₂₀₀₀ da *MedGraphics*[®] (St Paul, MN, USA), com um pneumotacógrafo de médio fluxo bidirecional acoplado a uma máscara facial. Esse sistema mede micro amostras dos gases expirados pelo método de coleta da média a cada três respirações³². Antes de cada teste, o equipamento foi calibrado automaticamente conforme as especificações do fabricante. Os dados produzidos foram digitalizados para o computador, e plotados em gráficos às seguintes variáveis selecionadas: V_E (L.min⁻¹), VO₂ (em mL.min⁻¹ e mL.kg⁻¹.min⁻¹), produção

de dióxido de carbono (VCO_2), frequência respiratória (FR) e volume corrente (VC)³⁰. A confiabilidade interdias aceitável para V_E (VC 7,3 - 8,8%) e para VO_2 , e VCO_2 (VC 5,3 - 6,0%) foi avaliada em estudos prévios³². As figuras 6A e 6B: mostram a coleta dos gases expirados com o paciente em repouso e figura do ergoespirômetro (VO_{2000} MedGraphics®), associado a máscara e pneumotacógrafo.

Para obter-se o valor das variáveis metabólicas, ventilatórias, cardiovasculares, dispneia e fadiga dos membros inferiores no pico do TI ou no T_{lim} do TCC e do TCE, foi considerado o maior valor e mais coerente dos últimos 30 segundos finais do estágio.



Figuras 6A e 6B: Coleta dos gases com o paciente em repouso e Ergoespirômetro (VO_{2000} MedGraphics®), máscara e pneumotacógrafo

Análise da Cinética-on:

Os dados brutos do VO_2 e da FC foram importados para o *software* SigmaPlot 11.0 (Systat Software, San Jose, CA) para serem analisados, e a fase I da cinética (cardiodinâmica) não foi excluída, pois os dados não foram coletados respiração-a-respiração, logo não haveria nenhum ponto de fase I. A resposta da transição do repouso para o exercício (primeiros 180 segundos) foi submetida a um ajuste monoexponencial: $f(t) = a_0 + a(1 - e^{-(t-TD)/\tau})$ onde $f(t)$

representa VO_2 ou a FC em qualquer momento (t); a_0 é o valor basal correspondente ao valor médio do último minuto do período de aquecimento; “ a ” é a amplitude, ou seja, magnitude da resposta durante o estado estável; τ é a constante de crescimento da curva, ou seja, o tempo necessário para atingir 63% da resposta do estado-estável; e TD é o tempo de atraso para o início da resposta. O aquecimento foi realizado para minimizar os efeitos da fase cardiodinâmica sobre a cinética das variáveis estudadas no TCC e TCE³³. Adicionalmente, foi calculado o tempo de resposta média (TRM, $\tau + TD$)³⁴.

Para o estudo da cinética utilizamos um algoritmo não-linear que utiliza os mínimos quadrados para determinar os melhores parâmetros da curva³⁵. Os parâmetros a_0 e a_1 descrevem os parâmetros relacionados ao componente principal do eixo Y (VO_2 ou FC), o τ e o TD descrevem os parâmetros relacionados ao eixo X (tempo). Para se assegurar a qualidade das regressões, apenas as funções com $r > 95\%$ foram incluídas na análise final.

Análise Estatística:

Para a análise dos dados foi utilizado o programa estatístico *SPSS 18.0*. A normalidade dos dados foi verificada com a aplicação do teste de Shapiro Wilk, o qual determinou que a amostra do estudo apresentava distribuição normal. Os valores foram expressos em média e desvio padrão, ou mediana (intervalo interquartilico) para as variáveis dispneia e fadiga de membros inferiores. Utilizou-se o teste t pareado para as análises dos parâmetros da cinética-*on* do VO_2 e da FC no TCC e TCE; além do Coeficiente de Correlação de Pearson. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Participantes do Estudo

Um total de 69 pacientes com DPOC foram avaliados para possível participação no estudo. Trinta e cinco pacientes do grupo DPOC foram excluídos pois não contemplaram os critérios de inclusão e sete recusaram-se a participar do estudo. Do total, 27 pacientes do grupo DPOC foram incluídos no estudo, e desta coorte, foram quatro pacientes com DPOC por exacerbação respiratória, cinco por apresentar má qualidade dos dados coletados e quatro por não completarem as avaliações propostas. Finalmente, 14 pacientes com DPOC foram designados para análise. O fluxograma dos participantes do estudo é mostrado na figura 7.

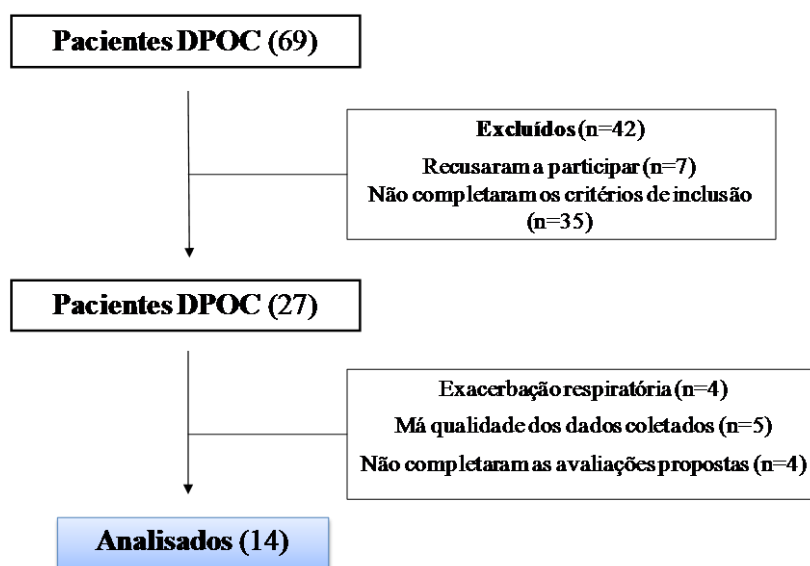


Figura 7: Fluxograma de participação dos pacientes com DPOC no estudo.

A tabela 1 mostra as características demográficas, antropométricas e espirométricas dos pacientes estudados. Oito pacientes com DPOC foram classificados como GOLD¹⁹ estágio II, cinco pacientes foram considerados GOLD³⁰ estágios III e um como GOLD¹⁹ estágio IV. Os pacientes com DPOC não faziam uso de betabloqueadores e de oxigênio domiciliar e nem o fizeram durante os testes, e nenhum dos pacientes da amostra foram excluídos por apresentar diagnóstico de hipertensão pulmonar. Um paciente apresentava

hipertensão arterial controlada, e nenhum dos indivíduos apresentavam doenças cardíacas ou metabólicas. Ainda, dos 14 pacientes do grupo DPOC, quatro faziam uso de broncodilatadores de curta duração e oito de longa duração. Dessa amostra, dois associavam uso de corticosteróide oral, e dois associavam broncodilatadores de curta e longa duração. Esses pacientes faziam uso do broncodilatador no dia anterior ao teste, no período noturno, sendo assim a maioria deles realizou os testes com um intervalo superior a oito horas pós-broncodilatador.

Os motivos de interrupção dos testes foram: no TI, sete pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício (dispneia e fadiga dos membros inferiores intensas), quatro por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro e três por alteração pressórica; no TCC e TCE, 10 pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício, três por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro e no equipamento elíptico, e um por alteração pressórica.

Tabela 1. Características demográficas, antropométricas, espirométricas, do teste de caminhada de seis minutos e do Índice BODE dos pacientes com DPOC.

Variáveis	Pacientes DPOC (n = 14)
<i>Demográficas e Antropométricas</i>	
Idade (anos)	68,0 ± 6,5
Massa Corporal (Kg)	69,5 ± 11,7
Estatuta (cm)	167,1 ± 7,7
IMC (Kg/m ²)	24,7 ± 2,7
Massa Muscular Magra(Kg)	47,5 ± 7,4
IMMC (Kg/m ²)	16,9 ± 1,6
<i>Espirométricas</i>	
VEF ₁ (L)	1,7 ± 0,7
VEF ₁ (%pred)	62,3 ± 12,2
CVF (L)	3,0 ± 1,0
CVF (%pred)	87,9 ± 24,5
VEF ₁ /CVF (%)	54,5 ± 12,7
VEF ₁ /CVF (%pred)	61,7 ± 11,4
VVM (L/min)	57,0 ± 26,1
VVM (%pred)	65,2 ± 32,8
<i>Teste de caminhada de seis minutos (TC6)</i>	
Distância Percorrida (m)	470,7 ± 94,4
Distância percorrida (%predito, m)	84,3 ± 16,9
<i>Teste de uma repetição máxima (Kg)</i>	67,0 ± 9,4
<i>Índice BODE</i>	2,0 (1,0 – 4,0)

Dados expressos em média ± desvios padrão; mediana (intervalo interquartilico).

Legenda: DPOC= doença pulmonar obstrutiva crônica; GC= grupo controle saudável; IMC= índice de massa corporal; IMMC= Índice de Massa Magra Corpórea; VEF₁= volume expiratório forçado no primeiro segundo; CVF= capacidade vital forçada; VVM= ventilação voluntária máxima.

Cinética-on do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca: A tabela 2 mostra os valores da cinética do VO₂ e da FC no TCC e TCE dos pacientes estudados. Os pacientes com DPOC apresentaram *baseline* (BL) do VO₂ significativamente maior no TCE em comparação ao TCC, e a τ e o TRM do VO₂ significativamente menores no TCE que no TCC. Quanto à cinética da FC, observou-se que a amplitude foi significativamente maior no TCE comparado ao TCC. Em relação ao BL, τ , TD e o TRM, não foram encontradas diferenças significativas nas análises intragrupo (Tabela 2). Ainda, não foram observadas diferenças significativas

entre a τ do VO_2 e da FC no TCE, ao contrário constatamos que a τ e o TRM do VO_2 foi significativamente maior que a τ e o TRM da FC no TCC (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros da cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO_2) e da frequência cardíaca (FC) no teste de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE) dos indivíduos estudados.

	<i>Cinética-on VO_2</i>		<i>Cinética-on FC</i>	
	<i>TCC</i>	<i>TCE</i>	<i>TCC</i>	<i>TCE</i>
Baseline (BL)	392,4 ± 265,3	665,5 ± 207,1*	84,6 ± 10,5	92,3 ± 13,8
Amplitude (a)	558,9 ± 175,3	662,7 ± 205,0	14,1 ± 4,3	28,3 ± 11,5*
Tau (τ, s)	60,6 ± 14,4	33,7 ± 8,8*	40,9 ± 20,5†	44,4 ± 22,4
Time Delay (TD, s)	6,2 ± 10,0	1,1 ± 2,9	3,4 ± 10,0	1,6 ± 2,7
TRM (τ + TD, s)	66,9 ± 16,7	34,8 ± 7,7*	40,9 ± 24,9†	46,0 ± 22,2

Dados expressos em média (\pm desvio padrão).

Legenda: DPOC= doença pulmonar obstrutiva crônica; VO_2 = consumo de oxigênio; FC= frequência cardíaca; a= magnitude da resposta durante o estado estável; τ = constante de crescimento da curva, i.e., o tempo necessário para atingir 63% da resposta do estado-estável; e TD= tempo de atraso para o início da resposta (*time delay*); TRM= tempo de resposta média (τ + TD). *Baseline* e *Amplitude*: L/min para VO_2 e bat.min⁻¹ para FC.

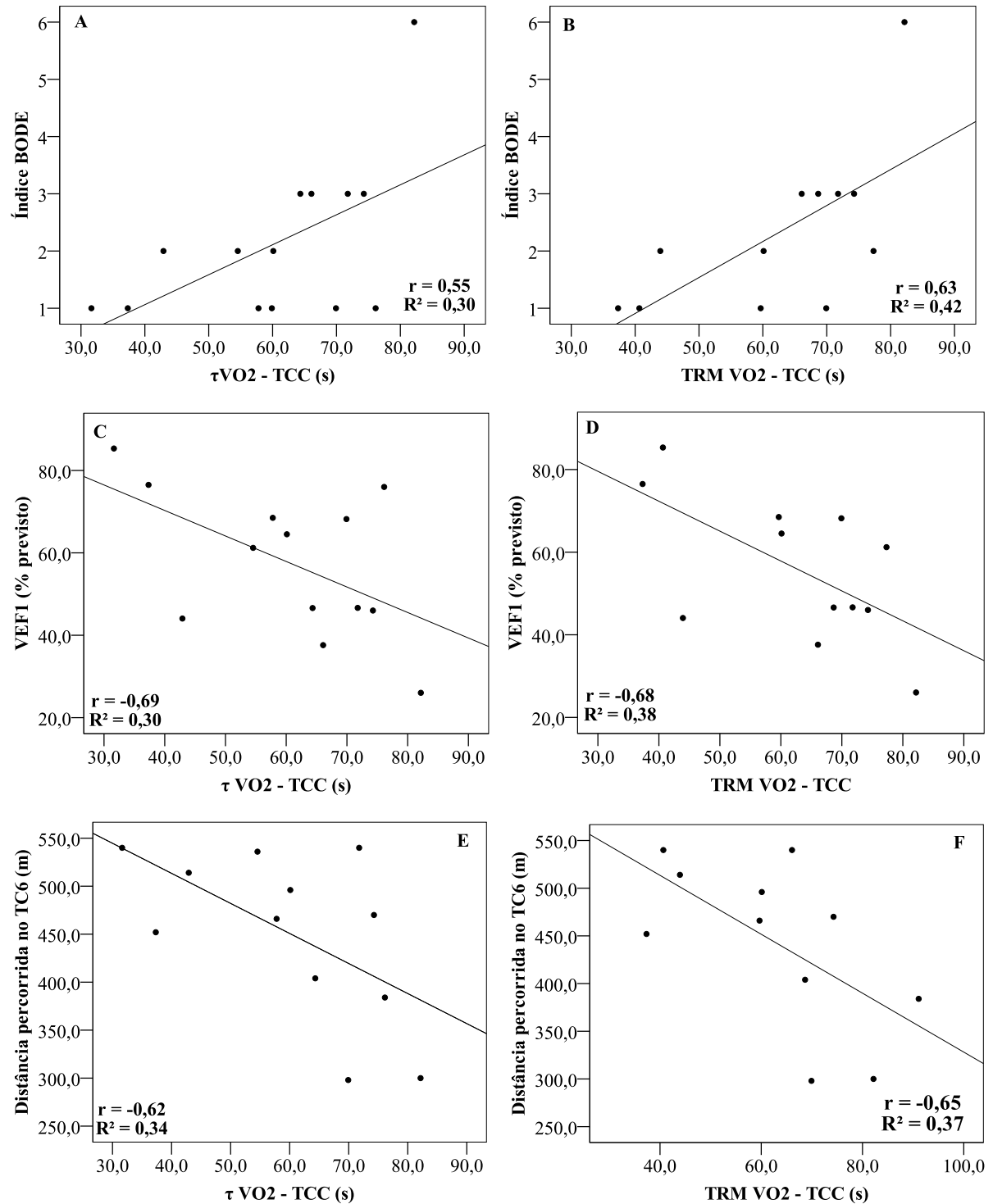
Teste de t-pareado ($p < 0,001$): * = TCC \neq TCE; † = τ $VO_2 \neq \tau$ FC

Correlações: As figuras 8A, 8B, 8C, 8D, 8E e 8F mostram as correlações entre a τ e o TRM do VO_2 com o Índice BODE, VEF_1 e distância percorrida no TC6 nos pacientes com DPOC. Já as figuras 9A, 9B, 9C e 9D mostram as correlações entre a τ e o TRM da FC com o Índice BODE e distância percorrida no TC6 nos pacientes com DPOC.

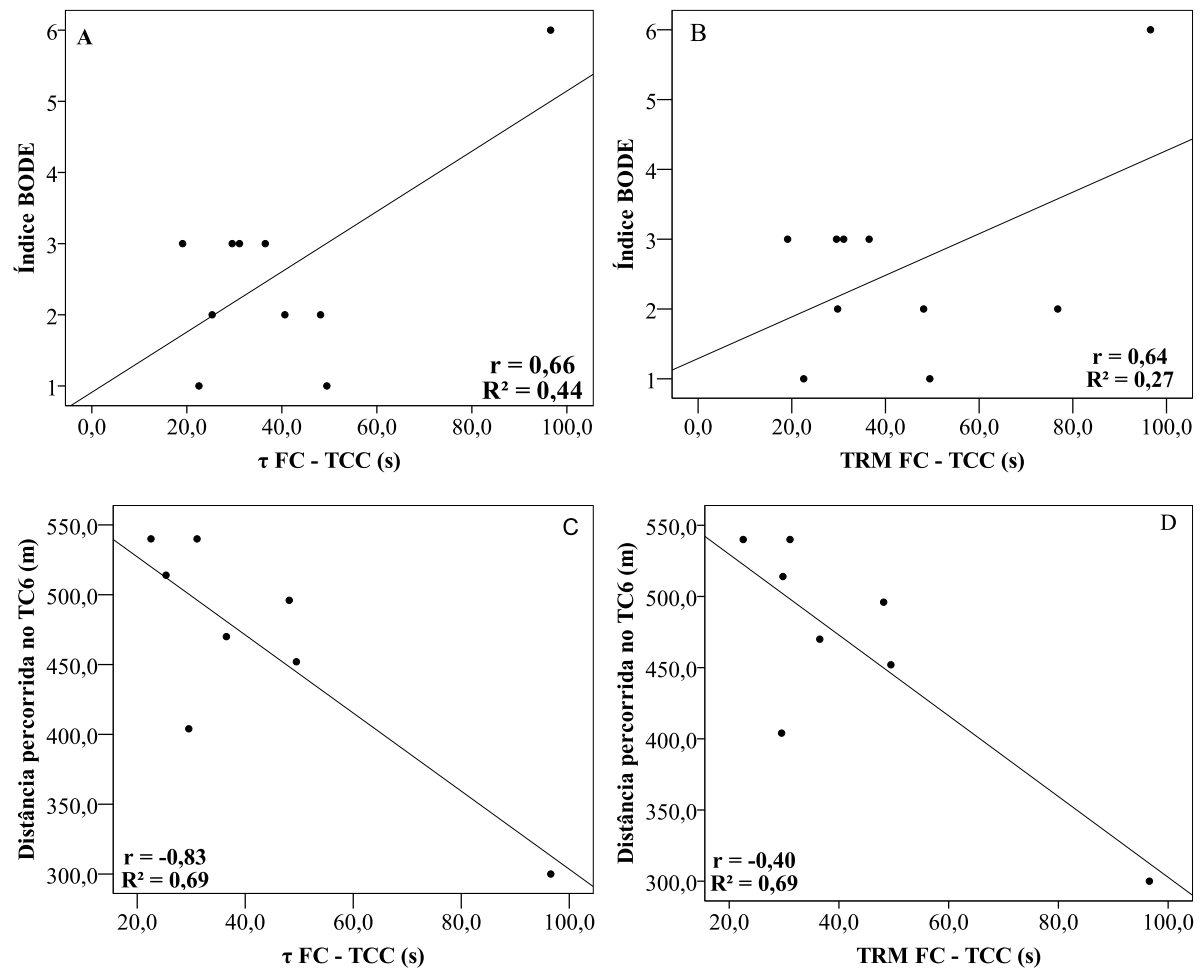
No TCC, foram observadas correlações positivas moderada estatisticamente significativas entre o índice BODE e a τ e o TRM do VO_2 ($r = 0,55$ e $r = 0,63$, respectivamente); e correlações negativas moderadas significativas entre a τ e o TRM do VO_2 com o VEF_1 ($r = -0,69$ e $r = -0,68$, respectivamente), a distância percorrida no TC6 ($r = -0,62$ e $r = -0,65$, respectivamente) e a distância percorrida % da prevista ($r = -0,64$ e $r = -0,70$, respectivamente). Ainda, no TCC, encontraram-se correlações positivas moderada estatisticamente significativas entre o índice BODE e a τ e o TRM da FC ($r = 0,66$ e $r = 0,64$, respectivamente); e correlações negativas moderadas significativas entre a τ e o TRM da FC

com a distância percorrida no TC6 ($r = -0,83$ e $r = -0,40$, respectivamente) e a distância percorrida % da prevista ($r = -0,83$ e $r = -0,65$, respectivamente). Esse mesmo comportamento não foi observado para a cinética do VO_2 e da FC no TCE.

Não foram observadas correlações estatisticamente significativas entre a τ e o TRM do VO_2 e da FC com a IMC, MM, IMMC e força muscular periférica pelo teste de 1RM.



Figuras 8A, 8B, 8C, 8D, 8E e 8F. Correlação entre a constante de tempo (τ) e o tempo de resposta médio (TRM) do VO₂ com o Índice BODE, volume expiratório no primeiro segundo (VEF₁) e distância percorrida no teste de caminhada de seis minutos (TC6) nos pacientes com DPOC.



Figuras 9A, 9B, 9C e 9D. Correlação entre a constante de tempo (τ) e o tempo de resposta médio (TRM) da FC com o Índice BODE e distância percorrida no teste de caminhada de seis minutos (TC6) nos pacientes com DPOC.

DISCUSSÃO

Os principais resultados deste estudo revelam correlações positivas entre a τ e o TRM do VO_2 e da FC no TCC com o índice BODE; e correlações negativas entre a τ e o TRM do VO_2 no TCC com o VEF_1 , distância percorrida no TC6 e a distância percorrida % da prevista. Em relação à cinética da FC no TCC, foram encontradas somente correlações negativas moderadas entre a τ e o TRM da FC com a distância percorrida no TC6 e a distância percorrida % da prevista. Não foram observadas correlações entre a cinética do VO_2 e da FC

no TCE. Ainda, não foram observadas correlações entre a τ e o TRM do VO_2 e da FC em ambos os testes com a IMC, MM, IMMC e força muscular periférica pelo teste de 1RM.

Cinética-on do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca

As *baselines* e as amplitudes do VO_2 e da FC foram maiores no TCE comparado ao TCC nos pacientes com DPOC, sendo estatisticamente significante apenas para a *baseline* do VO_2 e amplitude da FC, demonstrando a influência da postura corporal em pé, que por sua vez, altera o fluxo sanguíneo muscular e influencia os padrões de recrutamento das unidades motoras⁹.

No presente estudo observamos que a cinética do VO_2 representada pela τ e pelo MRT foi significativamente mais rápida no TCE que no TCC nos pacientes com DPOC. Este fato poderia ser explicado pelo maior recrutamento muscular que ocorre neste tipo de ergômetro e, adicionalmente pela influência da postura vertical. Exercícios realizados na postura em pé, como no TCE¹¹, proporcionam maior recrutamento de massa muscular, influenciam os padrões de recrutamento das unidades motoras e a distribuição de oxigênio, e alteram a pressão de perfusão⁹ e o fluxo sanguíneo muscular, além da ação da gravidade presente durante o exercício e do roubo do fluxo sanguíneo, o qual será direcionada aos músculos que estão ativos no momento do exercício¹⁶.

Concordando com os achados do nosso estudo, Hughson et al^{14,16} constataram que o exercício realizado em esteira rolante resulta em menores valores de τ e MRT (isto é, cinética mais rápida) devido ao aumento da pressão de perfusão e do fluxo sanguíneo muscular, e pela ação da gravidade comparada ao cicloergômetro nas posições supina e prona, na mesma taxa de trabalho, porém em indivíduos saudáveis^{13,14,15,16,36,37}. A posição prona resulta em cinética de VO_2 mais lenta, pela pressão de perfusão muscular reduzida^{14,16}, e diminuição do fluxo sanguíneo muscular (disponibilidade de oxigênio)³⁷. Adicionalmente, Koga et al.¹³

verificaram que a posição vertical comparada a supina resulta em menor MRT para cinética-*on* do VO_2 em exercícios de intensidade moderada e intensa, mas nenhuma diferença significativa foi observada no τ entre estas posições. Consistente com esses autores, observamos que a posição vertical, resultou em maior *baseline* e acelerou a cinética do VO_2 , no TCE nos pacientes com DPOC, pelo maior recrutamento muscular, fluxo sanguíneo e efeito gravitacional.

Ainda, a τ e o TRM do VO_2 foi significativamente mais lentos que a τ e o TRM da FC no TCC, nos pacientes com DPOC, caracterizando a limitação periférica presente nessa população. Entretanto esse mesmo comportamento não foi observado para o TCE. Acredita-se que esses resultados não significativos em relação à cinética-*on* da FC, se devem ao método de coleta dos dados da FC, o qual foi realizado pelo cardiofrequencímetro acoplado ao analisador de gases, resultando na média a cada três batimentos.

Índice BODE, VEF_1 , distância percorrida no TC6, IMC, MM, IMMC, FMP x cinética-*on* do VO_2 e da FC

Não foram encontrados estudos que tenham avaliado a existência da correlação da cinética-*on* do VO_2 no TCC e TCE com o índice preditor de mortalidade BODE e suas variáveis isoladas, com a MM, IMMC e com a FMP. Observou-se moderada correlação entre a τ e o TRM do VO_2 e da FC no TCC com o índice BODE, mostrando que a lentificação da cinética do VO_2 e da FC no início do exercício é refletida pela gravidade da doença, sendo um importante parâmetro para avaliar a disfunção muscular periférica de pacientes com DPOC apresentando obstrução moderada a muito grave.

Dessa maneira, verificamos a importância do uso do índice BODE na prática clínica, pois além de avaliar os principais comprometimentos sistêmicos e funcionais da DPOC

verificados pelo grau de comprometimento da função pulmonar (VEF_1), de percepção dos sintomas (dispneia), pela perda de massa corporal (IMC) e da capacidade de exercício pelo TC6, também é capaz de refletir a limitação nas atividades da vida diária pela *London Chest Activity Daily Living Score*³⁸. Além disso, reflete a fraqueza muscular periférica dos membros superiores avaliada pelo dinamômetro manual³⁹ e a capacidade de exercício no teste de sentar-e-levantar da cadeira de dois minutos e no TC6 em esteira rolante³⁹, podendo também refletir o nível de atividades físicas na vida diária pelo tempo gasto por dia em diferentes atividades e posições corporais, tais como andar e estar em pé, bem como a intensidade de movimento medida durante o tempo em que o indivíduo está caminhando⁴⁰.

Adicionalmente, podemos afirmar que o índice BODE reflete o esforço fisiológico verificado pela lentificação da cinética-*on* do VO_2 no TCC, entretanto a mesma depende do ergômetro testado. Mais estudos são necessários para confirmar os achados e para avaliar se existe correlação do índice BODE com a cinética-*on* do VO_2 e da FC em outros tipos de ergômetros, dos quais não foram utilizados neste estudo.

Foram observadas correlações negativas moderadas significativas entre a τ e o TRM do VO_2 com o VEF_1 , sugerindo que a lentificação da cinética do VO_2 no início do exercício é refletida pela grau de obstrução das vias aéreas, entretanto, isso não pode ser dito para a cinética da FC. O VEF_1 é uma das variáveis que compõem o índice BODE, e tem sido considerado como importante marcador do prognóstico de mortalidade na DPOC⁴¹, porém de maneira isolada, estudos dizem que não representam as manifestações sistêmicas da doença, por não correlacionar-se com a capacidade ao exercício (TC6) e o desempenho ao realizar as atividades de vida diária^{42,43}.

A τ e o TRM do VO_2 e da FC apresentou correlação negativa moderada significativa com a distância percorrida no TC6 e a distância percorrida % da prevista nos pacientes com DPOC, sugerindo que a maior lentificação da cinética do VO_2 e da FC no início do exercício

em cicloergômetro pode ser refletida pela menor capacidade ao exercício representada pela distância percorrida no TC6, conseqüentemente maior inatividade durante a vida diária dos pacientes com DPOC⁴⁴. Esta também tem sido considerada melhor preditor de sobrevivência que o VEF₁^{42,45}.

Em contraste não foram observadas correlações estatisticamente significativas entre a τ e o TRM do VO₂ e da FC com o IMC, MM, IMMC e força muscular periférica pelo teste de 1RM, sugerindo que esses parâmetros não quantificaram a lentificação da cinética do VO₂ e da FC no início do exercício. Outros autores, também afirmam não ter encontrado correlação entre o IMC com o comprometimento muscular periférico, capacidade ao exercício, massa muscular, nível de atividade física na vida diária e limitação nas atividades da vida diária^{38,44,46,47,48,49}. A ausência de correlação pode ser atribuída ao baixo nível de gravidade dos pacientes com DPOC (BODE quartis 1 a 4, e somente um paciente apresentou quartil 6). No entanto, isso seria pouco provável, pois encontrou-se correlações significativas entre a cinética-*on* do VO₂ e da FC com o índice BODE, VEF₁, distância percorrida no TC6, e porcentagem da distância percorrida.

A cinética do VO₂ e da FC no TCE não apresentou correlação com nenhuma das variáveis analisada neste estudo, mostrando que as correlações dependem do tipo de ergômetro utilizado.

Limitações do Estudo

Inicialmente, em relação aos pacientes envolvidos no estudo, seria ideal um grupo com maior número de participantes, apesar de ter sido encontrado correlações significativas entre a cinética-*on* do VO₂ e da FC com o índice BODE, VEF₁, distância percorrida no TC6, e porcentagem da distância percorrida. Adicionalmente, a impossibilidade de ter sido realizado um teste incremental limitado por sintomas em equipamento elíptico para verificar melhor a

similaridade da intensidade aplicada entre os testes de carga constante; limitação dos ergômetros quanto à carga mínima do equipamento, ou seja, a impossibilidade de se ajustar cargas menores que 40W no equipamento elíptico utilizado; a carga mínima do equipamento elíptico em manter-se no intervalo entre 10 a 20W, sem conseguir fazer o ajuste, e quanto a carga mínima do cicloergômetro (15W). Ainda destacam-se como limitações do estudo: o método de coleta de dados da FC, o qual foi realizado pelo cardiófrequencímetro acoplado ao ergoespirômetro, resultando na média a cada três batimentos por minuto; e em relação a análise da cinética-*on* do VO_2 e da FC, a qual não excluiu-se a fase I (cardiodinâmica) e não identificou-se a presença do componente lento. O componente lento não foi caracterizado, o que seria possível somente com um modelo biexponencial aplicado a dados coletados respiração-a-respiração. Embora cuidados metodológicos para obter intensidades equivalentes (70% da carga máxima obtida no TI) entre os dois ergômetros tenham sido tomados, acreditamos que o TCE proporcionou maior estresse ventilatório, metabólico e cronotrópico que o TCC. Assim torna-se necessário uma comparação considerando valores equivalentes de VO_2 entre os diferentes ergômetros. Adicionalmente, o tempo de aquecimento dos testes pode ter influenciado nossos achados, devido às diferentes posturas, assim a comparação entre os dois testes sem a fase de aquecimento merece ser investigada em ensaios futuros. Finalmente, a aquisição dos gases expirados pelo método de coleta da média a cada três respirações poderia ter influenciado nossos resultados. Entretanto, Hughson et al.⁵⁰ descreveram que os dados obtidos previamente a partir de sistemas ergoespirométricos como o do presente estudo mostram os mesmos resultados cinéticos dos sistemas atuais (respiração por respiração).

CONCLUSÃO

A cinética-*on* do VO_2 e da FC no TCC correlacionou-se com o índice BODE, VEF_1 e distância percorrida no TC6, mostrando que a gravidade da doença, a limitação ao fluxo aéreo

e a capacidade ao exercício são refletidas pela lentificação da cinética, entretanto a mesma depende do ergômetro utilizado. Além disso, a cinética do VO_2 é mais rápida no TCE comparado ao TCC nos pacientes com DPOC.

REFERÊNCIAS

1. Dourado VZ, Tanini SE, Vale SA, et al. Systemic manifestations in chronic obstructive pulmonary disease. *J Bras Pneumol*. 2006;32(2):161-71.
2. Celli BR, Cote CG, Marin JM, et al. The body-mass index, airflow obstruction, dyspnea, and exercise capacity index in chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med*. 2004; 350(10):1005-12.
3. Puente-Maestu L, Sáenz ML, Sáenz P, et al. Reproducibility of the parameters of the on-transient cardiopulmonary responses during moderate exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Eur J Appl Physiol*. 2001; 85: 434 – 441.
4. Chiappa GR, Borghi-Silva A, Ferreira LF, et al. Kinetics of muscle deoxygenation are accelerated at the onset of heavy-intensity exercise in patients with COPD: relationship to central cardiovascular dynamics. *J Appl Physiol*. 2008; 104: 1341–50.
5. Laveneziana P, Valli G, Onorati P, et al. Effect of heliox on heart rate kinetics and dynamic hyperinflation during high-intensity exercise in COPD. *Eur J Appl Physiol*. 2011; 111: 225-234.
6. Somfay A, Pórszász J, Lee SM, et al. Effect of hyperoxia on gas exchange and lactate kinetics following exercise onset in nonhypoxemic COPD patients. *Chest*. 2002; 121: 393–400.

7. Chiappa GR, Queiroga FJr, Meda E, et al. Heliox improves oxygen delivery and utilization during dynamic exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2009; 179(11): 1004-10.
8. Poole DC, Ferreira LF, Behnke BJ, et al. The final frontier: oxygen flux into muscle at exercise onset. *Exerc Sport Sci Rev.* 2007; 35: 166–173.
9. Jones AM, Burnley M (2005). Chapter 4: Effect of exercise modality on VO₂ kinetics. In: *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine.* Routledge London and New York. pp.95-114.
10. Kim J, Nho H, Whaley M. Inter-modal comparisons of acute energy expenditure during perceptually based exercise in obese adults. *J Nutr Sci Vitaminol.* 2008; 54:39-45.
11. Lu T, Chien H, Chen H. Joint loading in the lower extremities during elliptical exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 1651-1658.
12. Williamson JW, Raven PB, Whipp BJ. Unaltered oxygen uptake kinetics at exercise onset with lower body positive pressure. *Experimental Physiology.* 1996; 81: 695-705.
13. Koga S, Shiojiri T, Shibasaki M, et al. Kinetics of oxygen uptake during supine and upright exercise. *J Appl Physiol.* 1999; 87: 253-60.
14. Hughson RL, Cochrane JE, Butler GC. Faster O₂ uptake kinetics at onset of supine exercise with than without lower body negative pressure *J Appl Physiol.* 1993; 75: 1962-7.
15. Rossister HB, Ward SA, Kowalchuk JM, et al. Effects of prior exercise on oxygen uptake and phosphocreatine kinetics during high-intensity knee – extension exercise in humans. *J Physiol.* 2001; 537 291-303.

16. Hughson RL (2005). Chapter 8: Regulation of VO_2 on-kinetics by O_2 delivery. In: Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine. Routledge London and New York. pp. 185-211.
17. Schneider DA, Wing AN, Morris NR. Oxygen uptake and heart rate kinetics during heavy exercise: a comparison between arm cranking and leg cycling. *Eur J Appl Physiol.* 2002; 88: 100-6.
18. Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine.* 2000; 29(6): 373-86.
19. GOLD – Global Strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: (Update 2010), 2010.
20. Matsudo S, Araújo T, Matsudo V, et al. Questionário internacional de atividade física (IPAQ). Estudo de validade e reprodutibilidade no Brasil. *Rev Bras Ativ Fís Saúde.* 2001; 6(2): 5-18.
21. Montes de Oca M, Ortega Balza M, Lezama J, et al. Chronic obstructive pulmonary disease: evaluation of exercise tolerance using three different exercise tests. *Arch Bronconeumol.* 2001; 37(2):69-74.
22. Miller MR, Hankinson J, Brusasco, V, et al. ATS/ERS Task Force: Standardisation of Lung Function Testing. *Eur Respir. J* 2005; 26: 319-38.
23. Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ, et al. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am. Rev Respir Dis.* 1983; 127: 725-734.
24. Mendes CCT, Raele R. Avaliação corporal por bioimpedância. *Rev Nutr Pauta.* 1997; 24: 12-4.

25. Vermeeren MAP, Creutzberg EC, Schols AMWJ, et al. Prevalence of nutritional depletion in a large out-patient population of patients with COPD. *Respiratory Medicine*. 2006; 100(8): 1349-55.
26. Kovelis D, Segretti NO, Probst VS, et al. Validação do *Modified Pulmonary Functional Status and Dyspnea Questionnaire* e da escala do *Medical Research Council* para o uso em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica no Brasil. *J Bras Pneumol*. 2008; 34(12):1008-1018.
27. American Thoracic Society. ATS Statement: Guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002; 166: 111-7.
28. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982; 14: 377-81.
29. Iwama AM, Andrade GN, Shima P, et al. The six-minute walk test and body weight-walk distance product in healthy Brazilian subjects. *Braz J Med Biol Res*. 2009; 42 (11): 1080-5.
30. Neder JR, Nery LE. *Fisiologia Clínica do Exercício*. 1ª Edição, São Paulo, Artes Médicas, 2003.
31. Pollock M, Franklin BA, Balady JG, et al. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease. *Circulation*. 2000, 101: p.828-33.
32. Crouter SE, Antczak A, Hudak JR, et al. Accuracy and reliability of the ParvoMedics TrueOne 2400 and MedGraphics VO₂₀₀₀ metabolic systems. *Eur J Appl Physiol*. 2006; 98:139-51.
33. Whipp BJ, Ward SA, Lamarra M, et al. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol*. 1982; 52; 1506-1513.

34. Bell C, Paterson DH, Kowalchuk JM, et al. A comparison of modeling techniques used to characterize oxygen uptake kinetics during the on-transient of exercise. *Experimental Physiology*. 2001; 86(5): 667-76.
35. Engelen M, Porszasz J, Riley M, et al. Effects of hypoxic hypoxia on O₂ uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol*. 1996; 81: 2500-8.
36. Rossister HB, Ward SA, Kowalchuk JM, et al. Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O₂ uptake between the on-and-off transients of moderate and high intensity exercise in humans. *J Physiol*. 2002; 541, 991-1002.
37. MacDonald MJ, Shoemaker JK, Tschakovsky ME, et al. Alveolar oxygen uptake and femoral artery blood flow dynamics in upright and supine leg exercise in humans. *J Appl Physiol*. 1998; 85: 1622-8.
38. Simon KM, Carpes MF, Corrêa KS, et al. Relationship between daily living activities (ADL) limitation and the BODE index in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Rev Bras Fisioter*. 2011; 15: 212-8.
39. Regueiro EMG, Pires Di Lorenzo VA, Basso RP, et al. Relationship of BODE Index to functional tests in chronic obstructive pulmonary disease. *Clinics*. 2009; 64: 983-8.
40. Mantoani LC, Hernandez NA, Guimarães MM, et al. Does the BODE index reflect the level of physical activity in daily life in patients with COPD? *Rev Bras Fisioter*. 2011; 15: 131-7.
41. Oga T, Nishimura K, Tsukino M, et al. Analysis of the factors related to mortality in chronic obstructive pulmonary disease: role of exercise capacity and health status. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;167(4):544-9.

42. Cestaro EJ, Pires Di Lorenzo VA, Marino DM, et al. Fatores que influenciam a capacidade física de pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica. *Fisioter Pesq.* 2010; 17(4): 332-6
43. Freitas CG, Pereira CAC, Viegas CAA. Capacidade inspiratória, limitação ao exercício, e preditores de gravidade e prognóstico, em doença pulmonar obstrutiva crônica. *J Bras Pneumol.* 2007; 33(4):389-96.
44. Pitta F, Troosters T, Spruit MA, Probst VS, Decramer M, Gosselink R. Characteristics of physical activities in daily life in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005;171(9):972-7.
45. Pinto-Plata VM, Cote CG, Cabral H, et al. The 6-min walk distance; change over time and value as a predictor of survival in severe COPD. *Eur Respir.* 2004; 23(1):28-33.
46. Debigaré R, Marquis K, Côté C, Tremblay RR, Michaud A, LeBlanc P, et al. Catabolic/anabolic balance and muscle wasting in patients with COPD. *Chest.* 2003;124(1):83-9.
47. O'Donnell DE. Hyperinflation, dyspnea, and exercise intolerance in chronic obstructive pulmonary disease. *Proc Am Thorac Soc.* 2006; 3(2):180-4.
48. Eid AA, Ionescu AA, Nixon LS, Lewis-Jenkins V, Matthews SB, Griffiths TL, et al. Inflammatory response and body composition in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001;164(8 Pt 1):1414-8.
49. Mador MJ. Muscle mass, not body weight, predicts outcome in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166(6):787-9.
50. Hughson, RL. Oxygen uptake kinetics: historical perspective and future directions. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2009, 34: 840-50.

Estudo III

Efeitos do treinamento físico aeróbio/resistido e intervalado em equipamento elíptico na cinética-*on* do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca em pacientes com DPOC: estudo controlado, randomizado

Effect of aerobic/resisted and interval physical training on elliptical equipment on oxygen uptake and heart rate on-kinetics in patients with COPD: a randomized controlled trial

Pessoa BV, Paes CD, Couto VF, Takara GN, Beltrame T, Pires Di Lorenzo VA, Catai AM, Borghi-Silva A, Jamami M.

Estudo III

RESUMO

Objetivos: avaliar e comparar os efeitos do treinamento físico aeróbio/resitado (TFAR) e treinamento físico intervalado de alta intensidade em equipamento elíptico (TFI) na cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO_2) e da frequência cardíaca (FC) no teste de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE) em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). **Métodos:** Foram avaliados 18 homens com DPOC de obstrução moderada a muito grave, distribuídos aleatoriamente em dois grupos: nove pacientes para o grupo TFAR e nove para o grupo TFI, submetidos em dias alternados aos seguintes testes: 1) teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas; 2) TCC e 3) TCE ambos a 70% da intensidade máxima obtida no TI; e 4) teste de uma repetição máxima (1RM); reavaliados após seis semanas de treinamento físico. O grupo TFAR realizou 30 minutos de cicloergômetro, com intensidade entre 60-70% da carga máxima atingida no TI, sendo aumentados 10% após três semanas de treinamento; e três séries de 15 repetições em leg-press horizontal com intensidade entre 40-60% da carga máxima atingida no teste de 1RM, sendo aumentado 10% a cada duas semanas de treinamento, e adotou-se intervalo de dois minutos entre as séries. O grupo TFI realizou 30 minutos de treinamento em equipamento elíptico com carga máxima atingida no TI e intervalos de um minuto. Ambos os programas foram realizados 3x/semana por seis semanas, completando 18 sessões. Foram coletados os gases expirados no TI, TCC e TCE, e a cinética do VO_2 e da FC foram analisadas antes e após o treinamento físico. **Resultados:** Não foram observadas diferenças significativas na cinética do VO_2 após o treinamento físico no grupo TFAR no TCC e TCE. Entretanto, no grupo TFI, verificou-se aumento significativo da *tau* (τ), *time delay* (TD) e o tempo de resposta média (MRT) no TCC e no TCE. Quanto à cinética-*on* da FC, não foram constatadas diferenças significativas nos dois grupos e testes, após os dois programas.

Conclusão: A cinética-*on* do VO_2 é lentificada nos pacientes com DPOC, quando realizam exercício de alta intensidade em cicloergômetro e equipamento elíptico após o programa de TFI. Entretanto, o programa de TFAR não proporcionou benefícios na cinética-*on* do VO_2 e da FC no TCC e TCE na DPOC.

Palavras-chave: DPOC; consumo de oxigênio; cinética; frequência cardíaca; tolerância ao exercício; resistência física; treinamento.

ABSTRACT

Objective: To evaluate and to compare the effect of aerobic/resisted physical training (TFAR) and interval physical training program on elliptical equipment (TFI) on oxygen uptake (VO_2) and heart rate (HR) on-kinetics during high intensity constant work-rate exercise test on a cycle ergometer (CCT) and on elliptical equipment (ECT) in patients with COPD. **Methods:** Eighteen men patients with moderate to very severe COPD, between 55 and 80 years, were randomly divided into two groups: nine of the patients had been engaged in TFAR group, and nine in TFI group, were submitted to the following tests on alternate days: 1) Symptom-limited incremental cycle ergometer test (IT), 2) CCT and 3) ECT both at 70% of the maximum intensity obtained in IT, one repetition maximum test (1RM), being reevaluated after six weeks of program. The TFAR group consisted of aerobic training by thirty minutes at 60-70% of the maximum intensity obtained in IT, being incremented 10% after three weeks training, and three sets of fifteen repetitions of resisted training in lower limbs on leg press at 40-60% of the maximal intensity obtained in 1RM test, being increased by 10% every two weeks of training, and repose of two minutes between sets. The TFI group realized training program on an elliptical equipment, by thirty minutes at 100% of the maximum intensity obtained in IT, separated by 1-min rest periods. The two training groups completed 6 week (3x/week) of exercise training, until completing a total of eighteen sessions. Expired gases were collected in in all tests, and response of the VO_2 and HR on-kinetics were analyzed. **Results:** No significant difference post-training in the TFAR group both tests (CCT and ECT) were observed; but, the TFI group showed slower VO_2 on-kinetics [$>$ time constante (τ) and $>$ mean response time (MRT)] in the CCT and ECT after training. In relation HR on-kinetics, no significant difference in both groups and both constant workload exercise tests post-training were observed. **Conclusion:** The interval physical training program on elliptical equipment lead to slower VO_2 kinetics the onset at high-intensity

exercise (CCT and ECT) in patients with COPD. Furthermore, the TFAR program is not sufficient to improve the VO_2 and HR on-kinetics in the CCT and ECT.

Key-words: COPD; oxygen consumption; kinetics; heart rate; exercise tolerance; physical endurance; training.

INTRODUÇÃO

Os pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) apresentam perda de massa corporal significativa, redução da força e endurance dos músculos respiratórios e periféricos, conduzindo a intolerância aos esforços.¹ Esta intolerância pode estar marcada pela lentificação da cinética do consumo de oxigênio (VO_2) e da frequência cardíaca (FC) no início do exercício^{2,3}. Adicionalmente, os desajustes na capacidade de vasodilatação muscular, recrutamento precoce de fibras tipo IIb, densidade mitocondrial reduzida^{3,4,5}, o acúmulo de metabólitos que aumentam a fadiga muscular periférica^{3,4}, além da ineficiência da redistribuição do fluxo sanguíneo para os músculos respiratórios e periféricos², limitam a cinética do VO_2 e da FC^{3,6}, contribuindo para a diminuição da capacidade de exercício.

Sendo assim, os programas de treinamento físico de membros inferiores, além de apresentarem evidência científica “A”, constituem componentes importantes, na reversão das manifestações decorrentes da DPOC, resultando em ganho na capacidade ao exercício^{2,7}. Para tanto, deve ser levado em consideração a escolha de um programa individualizado adequado às limitações e a gravidade da doença.

O treinamento físico aeróbio associado ao resistido (TFAR) tem sido considerado uma opção benéfica, uma vez que o exercício aeróbio parece ser efetivo na reversão das anormalidades morfológicas e funcionais da musculatura esquelética, no entanto, apresenta pouco ou nenhum efeito sobre a redução de força e atrofia muscular^{8,9,10}. Assim o treinamento de força e resistência musculares mostrarem-se opções racionais^{8,9,10}, desde que atenda os princípios de especificidade. Entretanto, o treinamento físico intervalado (TFI) está sendo aplicado em pacientes em estágios avançados da doença, porém depende da intensidade e duração, para determinar adaptações fisiológicas¹¹, reduzir a dispneia e a fadiga de membros inferiores, melhorando dessa forma a capacidade funcional. Estudos mostraram que o TFI é

tão benéfico quanto o treinamento contínuo, mas as adaptações periféricas e centrais podem ser superiores em pacientes com DPOC¹¹.

Atualmente, o treinamento aeróbio pode ser realizado em cicloergômetro, esteira rolante⁷ ou equipamento elíptico, o qual é um ergômetro que tem sido utilizado na reabilitação de pacientes com doenças crônicas¹² e indivíduos saudáveis^{13,14}. Este último simula o movimento de pedalar em pé em uma bicicleta¹⁵ e ainda mostra similaridade com a caminhada¹⁶. Entretanto, não se sabe se o comportamento cinético do VO_2 e da FC pode ser sensível as mudanças após o treinamento físico nesse tipo de ergômetro, bem como após o TFAR, justificando assim a realização dessa investigação.

A cinética do VO_2 tem sido estudada em testes de carga constante de moderada ou alta intensidade em cicloergômetro ou esteira rolante¹⁷. Entretanto, nenhum estudo têm comparado à cinética-*on* do VO_2 e da FC em outros ergômetros^{18,19} como o equipamento elíptico após os programas de TFAR e TFI. Estes aspectos são relevantes, uma vez que a postura e os efeitos da gravidade podem influenciar no comportamento da cinética do VO_2 ^{18,19,20,21,22} e da FC^{17,23,24,25} dependendo do tipo de treinamento físico realizado.

Embora estudos tenham avaliado os efeitos metabólicos do treinamento físico, ainda não estão claros os efeitos e o impacto do TFAR e do TFI em equipamento elíptico sob a cinética-*on* do VO_2 e da FC em pacientes com DPOC. Sendo assim, nós conduzimos este estudo para testar a hipótese de que o TFI em equipamento elíptico pode ser associado a aceleração da cinética do VO_2 e da FC, bem como o TFAR, nos pacientes com DPOC, melhorando a capacidade funcional. Dessa maneira, o objetivo foi avaliar e comparar os efeitos do TFAR e TFI na cinética-*on* do VO_2 e da FC em diferentes testes de exercício de carga constante em pacientes com DPOC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Desenho do Estudo

Este estudo caracteriza-se por ser um ensaio clínico randomizado, cego e controlado. A randomização dos participantes de ambos os grupos (TFAR e TFI) foi realizada por meio do programa SPSS 18.0[®], e esta randomização foi mantida oculta por meio de um envelope selado e opaco para cada paciente informando o grupo que este pertencia. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição (parecer nº074/2007; Anexo 3) e todos os indivíduos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, conforme a resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde. O estudo foi registrado no ClinicalTrials.gov (NCT01529489).

Participantes do estudo

Participaram deste estudo 18 homens na faixa etária dos 59 aos 79 anos de idade, apresentando diagnóstico clínico e funcional de DPOC (Grupo DPOC), com relação volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF_1) / capacidade vital forçada (CVF) $< 0,7$ e VEF_1 pós-broncodilatador $< 80\%$ predito²⁶ encaminhados para atendimento na Unidade Especial de Fisioterapia Respiratória – Universidade Federal de São Carlos. Os indivíduos que completaram as avaliações foram divididos randomicamente em dois grupos: grupo submetido ao treinamento físico aeróbio associado ao resistido (TFAR, n=9) e o grupo submetido ao treinamento físico intervalado (TFI; n=9). Foram adotados como critérios de inclusão do estudo, pacientes com diagnóstico clínico e espirométrico de DPOC nos estágios II, III e IV (moderado a muito grave)²⁶, confirmado pela espirometria pré e pós broncodilatador, realizada sob a supervisão de um pneumologista, história tabágica prévia, sem história de infecções ou exacerbação da doença no último mês, ou mudança de medicamentos nas quatro semanas anteriores ao estudo. Além disso, todos os pacientes

deveriam ser considerados sedentários há pelo menos seis meses anteriores ao estudo, e serem considerados sedentários ou insuficientemente ativos de acordo com a classificação do Questionário Internacional de Atividade Física - versão curta (IPAQ)²⁷. Foram excluídos os indivíduos tabagistas, etilistas, com hipertensão pulmonar (pressão pulmonar média ≥ 25 mmHg constatada pela ecocardiografia), hipertensão arterial não controlada, hipoxemia (saturação periférica de oxigênio: SpO₂) abaixo de 80% no repouso, e presença de doenças cardiovasculares, metabólicas, neurológicas, reumáticas e/ou desordens musculoesqueléticas que inviabilizassem a participação no estudo.

Procedimento experimental

Os indivíduos foram submetidos a uma avaliação física geral; além do teste de função pulmonar, avaliação da composição corporal, teste incremental em cicloergômetro limitado por sintomas (TI), teste de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE), e teste de uma repetição máxima (1RM). A avaliação da composição corporal, o TI, TCC, TCE e o teste de 1RM de membros inferiores foram realizados antes e após os dois programas de treinamento físico de seis semanas.

A coleta dos dados de cada paciente foi realizada em seis dias alternados, e os testes foram realizados com intervalo de dois a quatro dias entre eles²⁸, com o objetivo de evitar interferência negativa na *performance* (presença de dor, catecolaminas circulantes, fadiga dos músculos periféricos). Os testes foram realizados em sala climatizada, com temperatura média controlada entre 18° a 22°C, e umidade relativa do ar entre 50 a 70%, e todas as avaliações foram realizadas no mesmo período do dia para cada paciente. Destaca-se ainda que no primeiro dia de avaliação, os pacientes foram orientados a pedalar no cicloergômetro e movimentar-se no elíptico, simulando a realização dos testes, sem a coleta dos gases, e foi

realizada uma adaptação do indivíduo ao equipamento *Leg press* horizontal, para a familiarização prévia com os equipamentos.

Todos os indivíduos receberam orientações prévias antes da realização dos testes, quanto ao tipo de alimentação a ser feita, às vestimentas e o uso de calçados adequados, além de evitar a prática de atividade física no dia anterior ao mesmo. Ainda, os indivíduos permaneceram em repouso por aproximadamente 15 minutos antes do início da realização de qualquer um dos procedimentos experimentais.

Teste de função pulmonar: Foi realizado por meio de um espirômetro portátil (COSMED microQuark PC - based Spirometer[®], Pavona di Albano - Roma, Itália), segundo as normas da *American Thoracic Society/European Respiratory Society* (ATS/ERS)²⁹. Os valores obtidos foram comparados com os valores previstos por Knudson et al³⁰.

Avaliação da composição corporal: Foi realizada por meio de uma balança de impedância bioelétrica de tecnologia bipolar (Tanita[®], modelo BC-553, Illinois, USA). Para isso, todos os indivíduos realizaram jejum de no mínimo 4 horas para padronização da ingestão líquida. As medidas foram obtidas com os indivíduos na posição ortostática, possibilitando a análise da massa corporal e massa muscular magra (MM)³¹. Posteriormente, foi calculado o índice de massa corporal (IMC) = massa corporal (Kg)/ altura² (m), e o índice de massa magra corporal (IMMC; índice de depleção nutricional) = MM (Kg)/ altura² (m)³², considerando depleção nutricional, homens com IMMC $\leq 16,0$ Kg/m²³².

Avaliação da Capacidade Funcional

Teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas: Todos os indivíduos foram submetidos ao TI com coleta dos gases expirados (VO₂₀₀₀ MedGraphics

Corp.[®], St Paul MN, USA) para determinação da carga de trabalho pico. O TI foi realizado em cicloergômetro com frenagem eletromagnética (Ergo-FIT[®], modelo Ergo 167 Cycle, Pirmasens, Alemanha) e adotou-se um protocolo em degraus crescentes³³. Os indivíduos foram instruídos a pedalar a 60rpm com comandos verbais padronizados de encorajamento pelo mesmo avaliador a cada dois minutos, iniciando o teste com um período de um minuto de aquecimento com a carga mínima do equipamento (15W), com incrementos de 5 a 10W a cada dois minutos, selecionados individualmente de forma que o período de incrementação se mantivesse no intervalo de 8 a 12 minutos³³. Houve o período de um minuto de recuperação ativa com carga mínima do equipamento, seguido de seis minutos de recuperação passiva. Foram obtidas no repouso, no aquecimento, a cada dois minutos do teste, na recuperação ativa e no primeiro, terceiro e sexto minutos da recuperação passiva, sendo a mensuração realizada nos 30 segundos finais de cada estágio, as seguintes variáveis: SpO₂ por meio do oxímetro de pulso (Nonin[®], modelo 2500, Minneapolis, Mn, USA), FC coletada continuamente batimento a batimento pelo cardiófrequencímetro (Polar[®] FS2cTM Kempele, Finland), dispneia e fadiga de membros inferiores por meio da escala de Borg modificada CR-10³⁴, a pressão arterial (PA) aferida pelo método auscultatório e por meio de um esfigmomanômetro de coluna de mercúrio (Oxigel[®], São Paulo, SP, Brasil). Todos os indivíduos tiveram o traçado eletrocardiográfico registrado continuamente com monitorização das derivações MC5, DII e V2 modificadas, por meio de um monitor cardíaco Ecafix[®] (Modelo Active “E”, São Paulo, São Paulo, Brasil), além do registro das variáveis ergoespiométricas. Os critérios de interrupção para o TI foram: alteração pressórica (pressão arterial sistólica (PAS) > 250mmHg / pressão arterial diastólica (PAD) >120mmHg), queda sustentada da PAS, elevação da PAD até 120mmHg nos normotensos, elevação da PAD até 140mmHg nos hipertensos, manifestação clínica de desconforto torácico, dor torácica importante, vertigem, cianose, tontura, palidez, depressão significativa do segmento ST, dispneia ou fadiga em

membros inferiores muito intensas ($Borg \geq 7^{34}$) desproporcional à intensidade do esforço, $SpO_2 < 80\%$, atingir a FC máxima prevista para a idade do indivíduo, e incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm, falência dos sistemas de monitorização e/ou registro.

O cálculo da reserva cronotrópica (reserva da FC: RFC) foi obtida de forma indireta pela fórmula: $(FC_{m\acute{a}x} - FC \text{ atingida no teste})^{33}$, sendo a $FC_{m\acute{a}x} = 220 - \text{idade}$. A demanda ventilatória foi determinada pela relação ventilação minuto (V_E) / ventilação voluntária máxima (VVM) $[V_E/VVM]^{33}$.

O TCC e o TCE realizados para avaliação da cinética do VO_2 e da FC foram randomizados por meio do programa SPSS 18.0[®]. Esta randomização foi mantida oculta por meio de um envelope selado e opaco para cada indivíduo de ambos os grupos.

Teste de carga constante em cicloergômetro (TCC): Foi realizado no mesmo cicloergômetro (Ergo-FIT[®], modelo Ergo 167 Cycle, Pirmasens, Alemanha) empregado no TI associado a coleta dos gases expirados como previamente descrito e da FC pelo cardiofrequencímetro (Polar[®] FS2cTM Kempele, Finland) acoplado no analisador de gases. Os indivíduos foram instruídos a pedalar em 60 rpm e receberam comandos verbais padronizados de encorajamento a cada minuto. Foi utilizado o protocolo com taxa de trabalho constante igual a 70% da intensidade máxima obtida no TI³³, para averiguar o tempo máximo tolerado (limite da tolerância: Tlim) pelo indivíduo neste equipamento. Adotou-se carga inicial mínima do equipamento de 15W durante um minuto para a fase de aquecimento ocorrendo o mesmo para o desaquecimento, além de um período de seis minutos de recuperação pós-teste. Foram monitorizados no repouso, no aquecimento, a cada dois minutos de teste, no desaquecimento e no período de recuperação, a SpO_2 , FC, PA, sensação de dispneia e fadiga de membros inferiores³⁴, e continuamente o traçado eletrocardiográfico, com monitorização

das derivações MC5, DII e V2 modificadas, por meio de um monitor cardíaco Ecafifx[®]. Foram também registrados o desempenho físico e a tolerância máxima atingida no teste (Tlim), além do cálculo da RFC³³ e da V_E/VVM^{33} . A figura 1 mostra a realização do TCC.



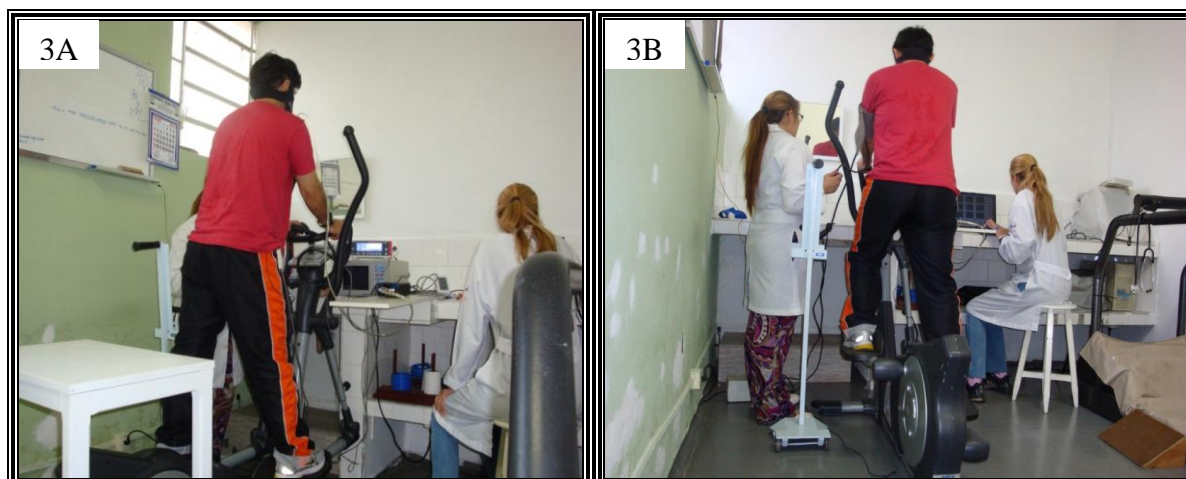
Figura 1: Realização do teste de carga constante em cicloergômetro (TCC).

Teste de carga constante em equipamento elíptico (TCE): Foi realizado em um equipamento elíptico modelo eletromagnético (Kiko's[®] HM 6022 7B 31132-7, São Paulo, SP, Brasil; Figura 2) associado a coleta dos gases expirados como descrito previamente no TI e da FC pelo cardiofrequencímetro (Polar[®] FS2cTM Kempele, Finland) acoplado no analisador de gases. Os indivíduos foram orientados a movimentar-se somente com os membros inferiores permanecendo os membros superiores fixos, em sentido frontal com rotação de 60 rpm com comandos verbais padronizados de encorajamento a cada minuto. Foi adotado o protocolo com taxa de trabalho constante igual a 70% da carga máxima verificada no TI³³, para averiguar o tempo máximo tolerado pelo indivíduo neste equipamento. Adotou-se carga inicial mínima do equipamento no intervalo entre 10 a 20 W durante um minuto para a fase de

aquecimento e para o desaquecimento, e o indivíduo repousou por um período de seis minutos de recuperação pós-teste. Foram monitorizadas no repouso, no aquecimento, a cada dois minutos de teste, no desaquecimento e no período de recuperação, a SpO_2 , FC, PA, sensação de dispneia e fadiga de membros inferiores³⁴, e continuamente o traçado eletrocardiográfico, com monitorização das derivações MC5, DII e V2 modificadas, por meio de um monitor cardíaco Ecafix[®]. Foram registradas a distância percorrida e a tolerância máxima atingida no teste, além do cálculo da RFC³³ e da V_E/VVM ³³. As figuras 3A e 3B demonstra a realização do TCE.



Figura 2: Ilustração do equipamento elíptico (Fonte: www.kikos.com.br).



Figuras 3A e 3B: Realização do teste de carga constante em equipamento elíptico (TCE).

Análise dos gases

A coleta dos gases expirados foi realizada durante os testes, por meio de um analisador de gases modelo VO₂₀₀₀ da *MedGraphics*[®] (St Paul, MN, USA), com um pneumotacógrafo de médio fluxo bidirecional acoplado a uma máscara facial. Esse sistema mede micro amostras dos gases expirados pelo método de coleta da média a cada três respirações³⁵. Antes de cada teste, o equipamento foi calibrado automaticamente conforme as especificações do fabricante. Os dados produzidos foram digitalizados para o computador, e plotados em gráficos às seguintes variáveis selecionadas: V_E (L.min⁻¹), VO₂ (em mL.min⁻¹ e mL.kg⁻¹.min⁻¹), produção de dióxido de carbono (VCO₂), frequência respiratória (FR) e volume corrente (VC)³³. A confiabilidade interdias aceitável para V_E (VC 7,3 - 8,8%) e para VO₂, e VCO₂ (VC 5,3 - 6,0%) foi avaliada em estudos prévios³⁵.

Para obter-se o valor das variáveis metabólicas, ventilatórias, cardiovasculares, dispneia e fadiga dos membros inferiores no pico do TI ou no Tlim do TCC e TCE, foi considerado o maior valor e mais coerente dos últimos 30 segundos finais do estágio.



Figuras 4A e 4B: Coleta dos gases com o paciente em repouso e a ilustração do ergoespirômetro (VO₂₀₀₀ MedGraphics®), máscara e pneumotacógrafo.

Análise da cinética-on:

Os dados brutos do VO₂ e da FC foram importados para o *software* SigmaPlot 11.0 (Systat Software, San Jose, CA) para serem analisados, e a fase I da cinética (cardiodinâmica) não foi excluída, pois os dados não foram coletados respiração-a-respiração, logo não haveria nenhum ponto de fase I. A resposta da transição do aquecimento para o exercício (primeiros 180 segundos) foi submetida a um ajuste monoexponencial: $f_{(t)} = a_0 + a(1 - e^{-(t-TD)/\tau})$ onde $f_{(t)}$ representa VO₂ ou a FC em qualquer momento (t) ; a_0 é o valor basal correspondente ao valor médio do último minuto do período de aquecimento; “ a ” é a amplitude, ou seja, magnitude da resposta durante o estado estável; τ é a constante de crescimento da curva, ou seja, o tempo necessário para atingir 63% da resposta do estado-estável; e TD é o tempo de atraso para o início da resposta. O aquecimento foi realizado para minimizar os efeitos da fase cardiodinâmica sobre a cinética das variáveis estudadas no TCC e TCE³⁶. Adicionalmente, foi calculado o tempo de resposta média (TRM, $\tau + TD$)³⁷.

Para o estudo da cinética utilizamos um algoritmo não-linear que utiliza os mínimos quadrados para determinar os melhores parâmetros da curva³⁸. Os parâmetros a_0 e a_1

descrevem os parâmetros relacionados ao componente principal do eixo Y (VO_2 ou FC), o τ e o TD descrevem os parâmetros relacionados ao eixo X (tempo). Para se assegurar a qualidade das regressões, apenas as funções com $r > 95\%$ foram incluídas na análise final.

Teste de uma repetição máxima (1RM) de membros inferiores: foi realizado no equipamento *Leg press* horizontal (Righetto PR1070), e adotou-se como carga inicial para realização do teste 60% da massa corporal³⁹, sendo que caso o paciente não conseguisse completar uma repetição, foi reduzida a quantidade de peso empregada, ou aumentada caso contrário, e realizado a 1RM novamente. Cada indivíduo realizou no máximo seis tentativas para se obter a carga máxima³³, com incrementos de 5 a 10Kg de acordo com o indivíduo e com um intervalo mínimo de dois minutos entre cada carga empregada. Caso não conseguisse determinar a carga em até seis tentativas, o indivíduo realizava novamente o teste após 48 horas. Todos os indivíduos foram devidamente posicionados no *leg press* horizontal mantendo a articulação do joelho entre 80-90°, e foram monitorizados quanto a SpO_2 , FC, PA e questionados sobre a sensação de dispnéia e fadiga em membros inferiores³⁴ no repouso, ao final de cada carga e nos 30 segundos finais de cada intervalo de repouso. A figura 5 mostra a realização do teste de 1RM em *Leg press* horizontal.



Figura 5: Realização do teste de 1RM em *Leg press* horizontal.

Programas de Treinamento Físico

Ambos os grupos (TFI e TFAR) receberam o programa de treinamento físico, numa frequência de três sessões semanais, durante seis semanas, totalizando 18 sessões⁴⁰. Cada sessão foi realizada individualmente e teve a duração de aproximadamente uma hora. Antes e após os mesmos, foram realizados alongamentos musculares dos membros inferiores, membros superiores, cabeça e pescoço. Os programas de TFAR e TFI são descritos a seguir:

*Protocolo de Treinamento Físico Aeróbio associado ao Resistido (TFAR): A figura 6 apresenta esquematicamente o programa de treinamento físico aeróbio associado ao resistido. O grupo TFAR realizou treinamento aeróbio em cicloergômetro (Ergo-FIT[®], modelo Ergo 167 Cycle, Pirmasens, Alemanha), e após o período de recuperação de cinco minutos foram submetidos ao treinamento resistido de membros inferiores em um *leg press* horizontal (Righetto[®] PR1070, Campinas, São Paulo, Brasil). O treinamento aeróbio constou de 30 minutos de cicloergômetro com intensidade entre 60-70% da carga máxima atingida no TI⁴¹, sendo incrementados 10% após três semanas de treinamento^{42,43,44,45,46}, mantendo entre 50-60 rpm. Foram monitorizados quanto a SpO₂, FC, PA e questionados sobre a sensação de dispneia e fadiga em membros inferiores³⁴ a cada dois minutos⁴⁶. Caso os pacientes apresentassem dispneia e/ou fadiga dos membros inferiores >7, SpO₂ igual ou inferior a 85%, FC acima da submáxima, realizou-se um intervalo, permanecendo sentados no cicloergômetro, onde retornaram, após a normalização das variáveis (SpO₂ ≥ 90%; FC abaixo da submáxima e dispneia e/ou fadiga dos membros inferiores ≤ 3). O treinamento resistido de membros inferiores foi realizado em um *leg press* horizontal descrito anteriormente e constou de três séries de 15 repetições⁴⁷, com intensidade de 40-60% da carga máxima tolerada no teste de 1RM³⁹, sendo aumentado 10% a cada duas semanas de treinamento, e foi adotado intervalo de dois minutos entre as séries.

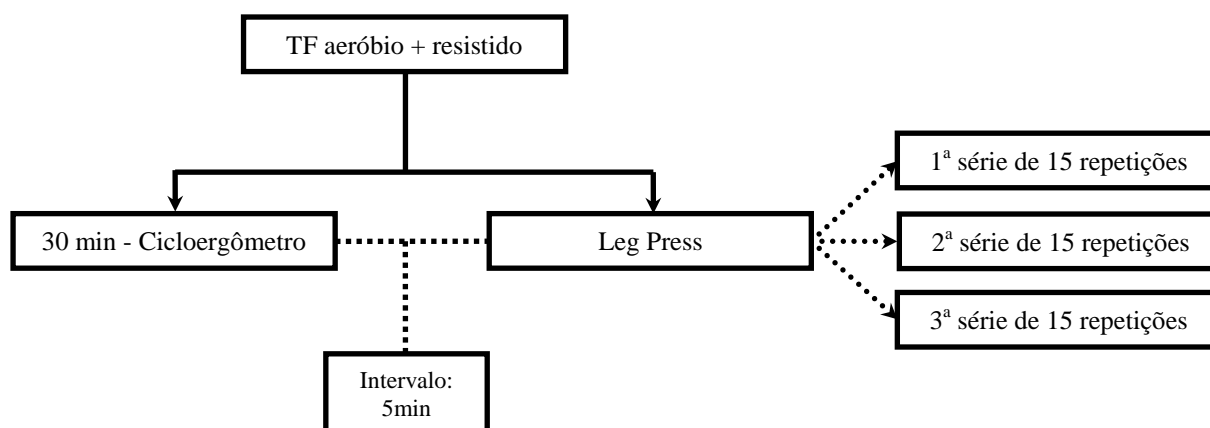


Figura 6: Fluxograma do programa de treinamento físico aeróbio associado ao resistido.

**Protocolo de Treinamento Físico Intervalado (TFI):* O exercício no equipamento elíptico foi intervalado e teve como base estudos que realizaram exercício intervalado em cicloergômetro^{48,49} e com duração de 30 minutos. O grupo TFI foi submetido ao treinamento físico intervalado de membros inferiores no equipamento elíptico (Figura 7), e os pacientes foram orientados a movimentar-se somente com os membros inferiores permanecendo os membros superiores fixos. A figura 7 mostra um paciente com DPOC realizando o treinamento físico intervalado em equipamento elíptico.



Figura 7: Realização do treinamento físico intervalado no equipamento elíptico.

A figura 8 apresenta esquematicamente o programa de treinamento físico intervalado no equipamento elíptico. A carga mínima do equipamento elíptico era de 40W e a menor carga de incremento, de 10W. O período de repouso foi fixado em um minuto e a carga adotada para o treinamento foi a máxima atingida no TI, exceto para os pacientes que atingiram carga menor que 40W no TI. O tempo de repouso não foi alterado até o término das sessões. Quanto aos pacientes que atingiram carga menor que 40W no TI, eles se exercitaram, inicialmente, em períodos de 30 segundos na intensidade de 40W com períodos de repouso de um minuto. Os pacientes que atingiram carga maior ou igual a 40W se exercitaram, inicialmente, em períodos de um minuto na intensidade atingida no TI com períodos de repouso de um minuto. Durante o exercício no equipamento elíptico, os pacientes deveriam manter a rotação entre 50-60rpm. Incrementava-se 10 segundos aos períodos de exercício quando os pacientes perfaziam os 30 minutos destinados ao treinamento sem terem apresentado a FC maior que a FC submáxima, pressão arterial sistólica maior que 200mmHg, $SpO_2 < 88\%$, variação de 20mmHg na pressão arterial diastólica e dispneia e fadiga dos membros inferiores >7 pela escala de Borg³⁴. Os pacientes que não apresentaram algum desses sinais e sintomas tiveram acrescentado ao período de repouso subsequente ao período de exercício o tempo de um minuto ou mais até sua recuperação. Por exemplo, se um paciente na primeira sessão do treinamento exercitasse em períodos de um minuto poderia, na última sessão, realizar período de três minutos e 50 segundos, ou seja, na primeira sessão esse paciente realizou 15 períodos de um minuto em exercício e 15 períodos de um minuto em repouso e na última sessão, seis períodos de três minutos e 50 segundos em exercício e seis períodos de um minuto em repouso.

Os sinais vitais (SpO_2 , FC) foram registrados no início e no final de cada sessão, assim como, monitorizados durante o exercício no equipamento elíptico, exceto a PA e a sensação

de dispneia e fadiga de membros inferiores³⁴, as quais foram medidas nos 30 segundos iniciais de cada período de repouso.

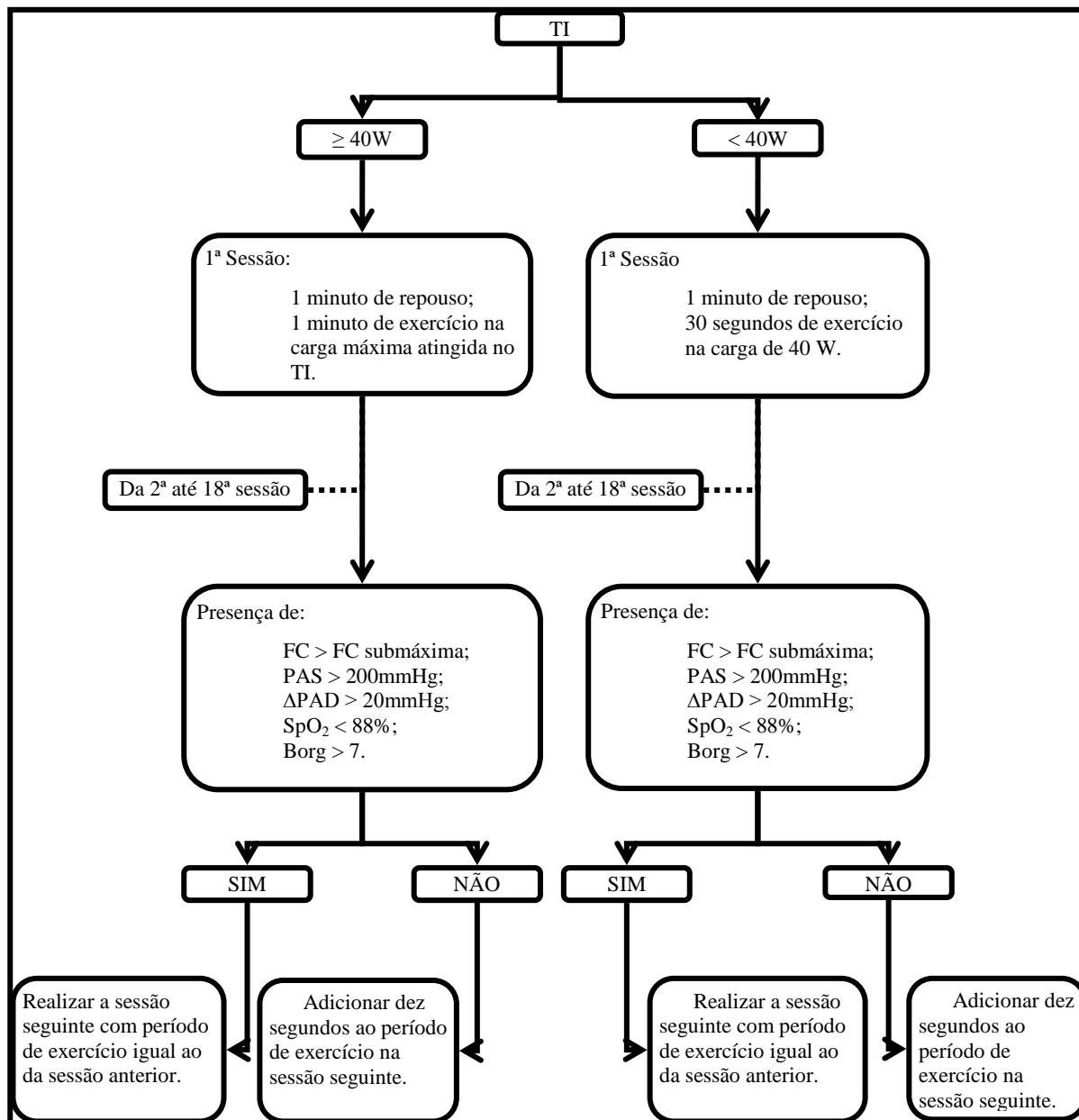


Figura 8: Fluxograma do programa de treinamento físico intervalado no equipamento elíptico.

Análise Estatística:

O cálculo do poder estatístico do tamanho amostral foi realizado pelo programa Ene 2.0, baseado no desvio padrão e na média da variável τ no pré e pós-intervenção de um estudo piloto. Correspondendo a um poder acima de 80%, considerando uma diferença clínica minimamente significativa de τ igual 9 segundos para o TCC e de 6 segundos para o TCE no pré e pós-intervenção.

O programa estatístico utilizado foi o *SPSS 18.0*. A normalidade dos dados foi verificada com a aplicação do teste de Shapiro Wilk, o qual determinou que todas as variáveis do estudo apresentava distribuição normal. Os valores foram expressos em média e desvio padrão, ou mediana (intervalo interquartilico) para as variáveis dispneia e fadiga de membros inferiores. Utilizou-se o teste *t* não-pareado para as análises das variáveis antropométricas e espirométricas. Nas análises intragrupo e intergrupos utilizou-se o teste ANOVA *two-way* com *post hoc* de Tukey-Kramer para a análise da Tlim e das variáveis metabólicas, ventilatórias e cardiovasculares. O teste de Kruskal-Wallis com *post hoc* de Dunn para a análise da dispneia e fadiga de membros inferiores. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Participantes do Estudo

Um total de 69 pacientes com DPOC foram avaliados para possível participação no estudo. Trinta e cinco pacientes foram excluídos pois não contemplaram os critérios de inclusão e sete recusaram-se a participar. Do total, 27 pacientes foram randomizados sendo incluídos 14 pacientes no grupo TFAR e 13 no grupo TFI, e desta coorte, cinco pacientes do grupo TFAR interromperam a intervenção (quatro por exacerbação da doença e um por relatar dor lombar), bem como quatro no grupo TFI (três por exacerbação da doença e um por

desistência). Finalmente, nove pacientes foram designados para análise no grupo TFAR e nove no grupo TFI. O fluxograma dos participantes do estudo é mostrado na figura 9.

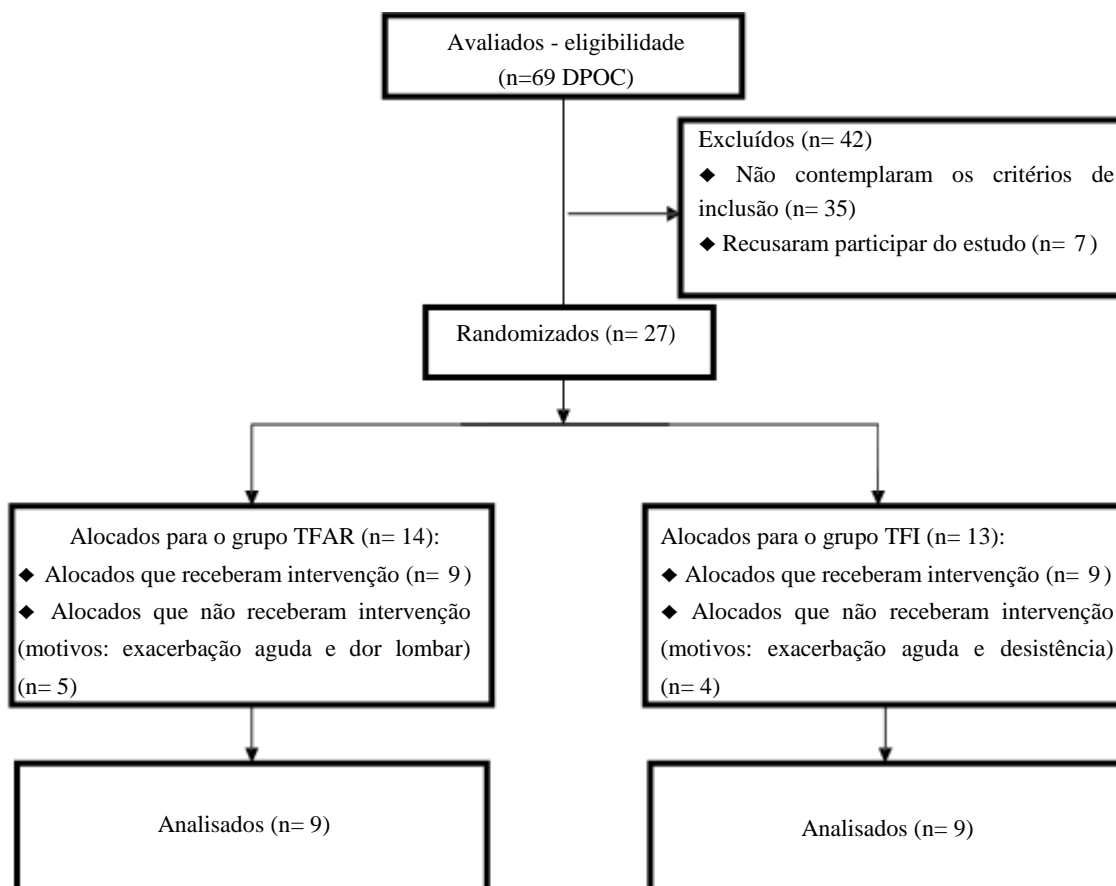


Figura 9: Fluxograma de participação dos pacientes no estudo.

A tabela 1 mostra as características demográficas, antropométricas e espirométricas dos grupos estudados. Não foram observadas diferenças significativas quanto as variáveis antropométricas entre os grupos. No entanto, o grupo TFAR apresentou o VEF_1 significativamente menor comparado ao grupo TFI. No grupo TFAR dois pacientes foram classificados como GOLD²⁶ estágio II, seis pacientes foram considerados GOLD²⁶ estágios III e um como estágio IV²⁶, entretanto no grupo TFI, cinco pacientes foram classificados como GOLD²⁶ estágio II e os outros quatro como estágio III. Os pacientes com DPOC não faziam uso de betabloqueadores e de oxigênio domiciliar e nem o fizeram durante os testes, e nenhum dos pacientes da amostra foram excluídos por apresentar diagnóstico de hipertensão pulmonar. Dois pacientes no TFAR e um no TFI apresentavam hipertensão arterial controlada. Ainda, os nove pacientes de ambos os grupos faziam uso de broncodilatadores de longa duração, e dois pacientes no grupo TFAR e um no grupo TFI associavam uso de corticosteróide oral. Esses pacientes faziam uso do broncodilatador no dia anterior ao teste, no período noturno, sendo assim a maioria deles realizou os testes com um intervalo superior a oito horas pós-broncodilatador.

Tabela 1. Características demográficas, antropométricas e espirométricas dos grupos estudados.

<i>Variáveis</i>	Grupo TFAR (n=9)	Grupo TFI (n=9)
<i>Demográficas e Antropométricas</i>		
Classificação de gravidade GOLD	2 moderado/ 6 grave/ 1 muito grave	5 moderado/ 4 grave
Idade (anos)	71,6 ± 4,4	68,2 ± 7,3
Massa Corporal (Kg)	69,3 ± 9,9	69,7 ± 11,8
Estatura (cm)	168,0 ± 4,8	167,0 ± 3,0
IMC (Kg/m²)	24,6 ± 2,9	24,9 ± 3,3
Massa Muscular Magra (Kg)	47,6 ± 5,2	48,1 ± 6,0
Índice de Massa Magra Corpórea	16,9 ± 1,3	17,2 ± 1,7
<i>Espirométricas</i>		
VEF₁ (L)	1,2 ± 0,3	1,6 ± 0,4*
VEF₁ (%pred)	43,5 ± 8,3	59,2 ± 14,9*
CVF (L)	2,3 ± 0,7	2,8 ± 0,5
CVF (%pred)	65,9 ± 15,3	77,9 ± 8,4
VEF₁/CVF (%)	48,1 ± 9,2	44,1 ± 11,0
VEF₁/CVF (%pred)	58,1 ± 7,5	56,4 ± 13,4
VVM (L/min)	42,0 ± 10,4	46,1 ± 21,9
VVM (%pred)	42,1 ± 10,9	46,4 ± 23,7

Dados expressos em médias (± desvios padrão).

Legenda: DPOC= doença pulmonar obstrutiva crônica; TFAR= treinamento físico aeróbio associado ao resistido; TFI= treinamento físico intervalado; IMC= índice de massa corporal; VEF₁= volume expiratório forçado no primeiro segundo; CVF= capacidade vital forçada; VVM= ventilação voluntária máxima. Teste *t* não-pareado: *p<0,05

Dados do treinamento físico

Nenhuma diferença significativa foi observada entre o número de sessões ou duração do treinamento entre os grupos. O número de sessões foi de 18 para ambos os grupos. A duração média do treinamento foi de 6,0 ± 4,0 semanas para o grupo TFAR e de 7,2 ± 3,1 semanas para o grupo TFI. Ainda o grupo TFI, apresentou uma média de tempo inicial de treinamento de 50 segundos e uma média de tempo final de treinamento de 122,2 segundos

(aproximadamente dois minutos e 30 segundos). Cinco pacientes do grupo TFI iniciaram o treinamento com carga maior ou igual a 40W e quatro iniciaram com menor que 40W.

Todos os pacientes realizaram ambos os programas de treinamento físico sem complicações durante o mesmo, e todos toleraram o tempo total de treinamento nas primeiras sessões.

Avaliação da Capacidade Funcional

Teste incremental em cicloergômetro (TI) limitado por sintomas: A potência máxima atingida no TI foi significativamente maior em ambos os grupos após o treinamento, bem como a força muscular periférica (teste de 1RM) dos membros inferiores. Ainda no grupo TFAR observou-se menor V_E e V_E/VVM após o treinamento físico; e em ambos os grupos verificaram-se menor FC e sensação de dispneia. Quanto as variáveis da composição corporal não foram observadas diferenças significativas após ambos os programas de treinamento (Tabela 2).

Os motivos de interrupção dos testes foram: no grupo TFAR, no TI pré-treinamento, quatro pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício (dispneia e fadiga dos membros inferiores intensas), dois por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro e três por alteração pressórica; no TCC pré-treinamento, cinco pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício, dois por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro e dois por alteração pressórica; e no TCE pré-treinamento, cinco pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício e quatro por alteração pressórica. Já no grupo TFAR pós-treinamento, no TI, quatro pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício (dispneia e fadiga dos membros inferiores intensas), um por incapacidade de sustentar o ritmo

previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro e quatro por alteração pressórica; no TCC, quatro pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício e cinco por alteração pressórica; e no TCE, quatro pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício e cinco por alteração pressórica.

No grupo TFI, no TI pré-treinamento, três pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício (dispneia e fadiga dos membros inferiores intensas), um por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro e cinco pacientes interromperam-no por alteração pressórica; no TCC pré-treinamento, quatro pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício e cinco por alteração pressórica; e no TCE pré-treinamento, cinco pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício e quatro por alteração pressórica. Já no pós-treinamento, no TI, dois pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício (dispneia e fadiga dos membros inferiores intensas), um por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro e seis por alteração pressórica; no TCC, cinco pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício, dois por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no cicloergômetro e dois por alteração pressórica; e no TCE, cinco pacientes interromperam-no por intolerância ao exercício, um por incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido em 60rpm no equipamento elíptico e três por alteração pressórica.

Tabela 2. Características no pico do teste incremental em cicloergômetro, da avaliação da composição corporal e da força muscular periférica dos grupos TFAR e TFI.

<i>TI</i>	<i>Grupo TFAR (n = 9)</i>		<i>Grupo TFI (n = 9)</i>	
	<i>Pré</i>	<i>Pós</i>	<i>Pré</i>	<i>Pós</i>
Potência Pico (watts)	50,6 ± 13,4	55,0 ± 14,1*	51,7 ± 17,6	67,2 ± 18,1*
<i>Metabólicas</i>				
VO₂ pico (L/min)	1,20 ± 0,28	1,04 ± 0,37	1,24 ± 0,26	1,25 ± 0,32
VO₂ pico (%pred)	73,5 ± 14,6	65,2 ± 24,4	69,3 ± 12,6	68,0 ± 15,8
VCO₂ pico (L/min)	0,96 ± 0,28	0,86 ± 0,32	0,92 ± 0,18	1,03 ± 0,32
<i>Ventilatórias</i>				
V_E pico (L/min)	39,5 ± 3,9	28,6 ± 6,3*	31,9 ± 3,9	28,1 ± 7,3
V_E/VVM	0,85 ± 0,11	0,66 ± 0,19*	0,70 ± 0,11	0,60 ± 0,13
SpO₂ pico (%)	91,8 ± 3,3	91,6 ± 2,6	92,7 ± 2,2	94,0 ± 2,0
<i>Cardiovasculares</i>				
FC pico (bat.min⁻¹)	133,0 ± 19,0	115,0 ± 11,0*	131,0 ± 9,9	120,0 ± 8,3*
RFC (bat.min⁻¹)	19,9 ± 19,8	27,4 ± 12,4	28,0 ± 11,8	35,4 ± 12,7
<i>Subjetivas</i>				
Dispneia pico	3 (1 – 4)	2 (1 – 5)*	5 (2 – 6,5)	4 (2,5 – 5)*
Fadiga de MMII pico	3 (2 – 4)	3 (1 – 4)	4 (1 – 6)	4 (2,5 – 4)
<i>Avaliação da Composição Corporal</i>				
Massa Corporal (Kg)	69,3 ± 9,9	70,5 ± 10,8	69,7 ± 11,8	69,1 ± 12,0
IMC (Kg/m²)	24,6 ± 2,9	25,0 ± 3,2	24,9 ± 3,3	24,7 ± 3,4
Massa Muscular Magra (Kg)	47,6 ± 5,2	47,6 ± 4,7	48,1 ± 6,0	47,7 ± 5,8
IMMC (kg/m²)	16,9 ± 1,3	16,9 ± 1,4	17,2 ± 1,7	17,1 ± 1,5
<i>Força Muscular Periférica</i>				
Teste 1RM (Kg)	66,0 ± 10,5	75,8 ± 11,4*	62,4 ± 10,5	71,9 ± 14,1*

Dados expressos em médias (± desvios padrão) e mediana (intervalo interquartilico).

Legenda: TI= teste incremental em cicloergômetro; DPOC= doença pulmonar obstrutiva crônica; TFAR= treinamento físico aeróbio associado ao resistido; TFI= treinamento físico intervalado; VO₂= consumo de oxigênio; VCO₂= produção de dióxido de carbono; V_E= ventilação pulmonar; V_E/VVM= demanda ventilatória (ventilação pulmonar [V_E]/ ventilação voluntária máxima [VVM]); SpO₂= saturação periférica de oxigênio; FC= frequência cardíaca; RFC= reserva de frequência cardíaca (reserva cronotrópica); IMC= índice de massa corporal; IMMC= índice de massa magra corporal; 1RM= uma repetição máxima. ANOVA *Two-Way* com *post hoc Tukey Kramer* (p<0,05): * = pré ≠ pós.

Teste de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE): Na análise intragrupo, constatou-se que o grupo TFAR apresentou T_{lim} significativamente maior no TCC após o treinamento, bem como o grupo TFI apresentou T_{lim} significativamente maior no TCE. Ainda verificou-se diminuição significativa da $V_{E\ Tlim}$ e da V_E/VVM em ambos os grupos após os programas de treinamento físico. Na análise inter-testes (intragrupo), em ambos os grupos, a T_{lim} foi significativamente maior no TCC comparado ao TCE, entretanto o $VO_{2\ Tlim}$, $VO_{2\ Tlim}$ % previsto e a $FC_{\ Tlim}$, foram significativamente menores no TCC comparado ao TCE (Tabela 3).

Posteriormente, foram calculadas as razões $VO_{2\ Tlim}/VO_{2\ TI}$ e FC_{Tlim}/FC_{TI} , com base no VO_2 e na FC observados nos 30 segundos finais do T_{lim} do TCC e do TCE em relação ao VO_2 e a FC obtidos nos 30 segundos finais no pico do TI, a fim de caracterizar melhor a similaridade de intensidade aplicada nos testes de carga constante. As razões $VO_{2\ Tlim}/VO_{2\ TI}$ e FC_{Tlim}/FC_{TI} pré treinamento físico foram $0,8 \pm 0,3$ e $1,0 \pm 0,1$ bpm para o grupo TFAR, e $0,8 \pm 0,2$; e $1,0 \pm 0,1$ bpm para o grupo TFI, no TCC; e $1,1 \pm 0,2$ e $1,0 \pm 0,1$ bpm para o grupo TFAR, e $1,0 \pm 0,1$ e $1,1 \pm 0,1$ bpm no grupo TFI, no TCE, respectivamente. Após treinamento, as razões $VO_{2\ Tlim}/VO_{2\ TI}$ e FC_{Tlim}/FC_{TI} foram $0,9 \pm 0,1$ e $1,0 \pm 0,1$ bpm no grupo TFAR, e $1,2 \pm 0,5$ e $1,0 \pm 0,1$ bpm no grupo TFI, no TCC; e $1,0 \pm 0,2$ e $1,1 \pm 0,1$ bpm no grupo TFAR, e $1,1 \pm 0,2$ e $1,0 \pm 0,1$ bpm no TCE, respectivamente. Não se observou diferença estatisticamente significativa entre estas proporções.

Tabela 3. Respostas metabólicas, ventilatórias, cardiovasculares, da dispneia e fadiga nos membros inferiores, e tempo máximo tolerado (Tlim) nos testes de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE) nos grupos TFAR e TFI.

Variáveis	Grupo TFAR (n = 9)				Grupo TFI (n = 9)			
	TCC		TCE		TCC		TCE	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
Capacidade Física								
Tempo limite (Tlim, min)	13,4 ± 8,9	25,1 ± 9,6*	4,1 ± 1,6†	6,4 ± 3,0†	16,7 ± 10,0	17,3 ± 10,4	5,7 ± 2,8†	7,8 ± 4,1* †
Metabólicas								
VO₂ Tlim (L/min)	0,97 ± 0,40	1,13 ± 0,24	1,38 ± 0,30†	1,40 ± 0,53	0,96 ± 0,38	1,10 ± 0,23	1,26 ± 0,26†	1,24 ± 0,22
VCO₂ Tlim (L/min)	0,80 ± 0,40	0,96 ± 0,09	1,08 ± 0,26	1,12 ± 0,42	0,68 ± 0,28	0,85 ± 0,16	0,95 ± 0,22	0,98 ± 0,20
VO₂ Tlim (%pred)	59,3 ± 22,4	70,1 ± 15,4	84,2 ± 20,7†	73,6 ± 24,2	53,3 ± 19,8	59,7 ± 10,1	71,0 ± 14,5†	67,8 ± 12,8
Ventilatórias								
V_E Tlim (L/min)	36,5 ± 7,6	33,1 ± 5,9*	34,6 ± 4,3	30,3 ± 7,2*	31,2 ± 5,6	29,2 ± 4,1	37,1 ± 6,4†	30,1 ± 4,4*
V_E/VVM	0,80 ± 0,30	0,73 ± 0,09*	0,76 ± 0,16	0,66 ± 0,05*	0,70 ± 0,11	0,63 ± 0,10	0,79 ± 0,18	0,65 ± 0,14*
SpO₂ Tlim (%)	92,2 ± 2,4	92,3 ± 2,4	91,1 ± 2,2	89,0 ± 3,2	93,4 ± 1,6	93,2 ± 2,0	91,9 ± 3,3	92,0 ± 2,3
Cardiovasculares								
FC Tlim (bat.min⁻¹)	121,0 ± 15,1	121,0 ± 8,8	139,3 ± 16,7†	124,0 ± 8,8	123,0 ± 12,6	124,0 ± 9,1	135,0 ± 10,2†	127,0 ± 7,8
FC Tlim (%pred)	85,2 ± 10,3	84,0 ± 9,7	89,1 ± 11,0	79,5 ± 9,7	78,3 ± 9,5	79,0 ± 8,2	84,9 ± 5,1	79,9 ± 5,9
RFC (bat.min⁻¹)	21,4 ± 15,5	23,0 ± 8,1	25,1 ± 16,5	27,0 ± 8,5	34,0 ± 15,3	33,1 ± 14,0	24,0 ± 7,9	32,0 ± 10,0
Subjetivas								
Dispneia Tlim	3 (1 – 6)	3 (1 – 5)	2 (1 – 4)	1 (0 – 4)	5 (2 – 8)	3 (1,625 – 7,25)	4 (2 – 6)	4 (1 – 6)
Fadiga de MMII Tlim	3 (2 – 6)	3 (1 – 5)	3 (2 – 4)	3 (1 – 4)	4 (2 – 7)	5 (1 – 8)	4 (2 – 7)	3 (1,125 – 6,25)

Dados expressos em média (± desvio padrão), e mediana (intervalo interquartil). Obs.: análises intertestes/intragrupo e intergrupos. Legenda: DPOC= doença pulmonar obstrutiva crônica; TFAR= treinamento físico aeróbio associado ao resistido; TFI= treinamento físico intervalado; TCC= teste de carga constante no cicloergômetro; TCE= teste de carga constante no equipamento elíptico; VO₂= consumo de oxigênio; VCO₂= produção de dióxido de carbono; V_E= ventilação pulmonar; V_E/VVM= demanda ventilatória; FC= frequência cardíaca; RFC= reserva de frequência cardíaca; SpO₂= saturação periférica de oxigênio; MMII= membros inferiores. ANOVA *Two-Way* com *post hoc* Tukey Kramer e teste de Kruskall-Wallis com *post hoc* de Dunn (p<0,05): * = pré ≠ pós; † = TCC ≠ TCE.

Dados da cinética-on do consumo de oxigênio e frequência cardíaca nos diferentes testes de carga constante pré e pós-treinamento físico

Em relação à cinética-on do VO_2 , na análise intragrupo, em ambos os testes de carga constante não foram observadas diferenças estatisticamente significativas após o treinamento físico no grupo TFAR (Tabela 4; Figura 10). Entretanto, no grupo TFI, verificou-se aumento estatisticamente significativo da amplitude, da τ , TD e TRM no TCC; e diminuição do BL, e aumento da τ e do TRM no TCE após o treinamento (Tabela 4; Figura 10).

Quanto à cinética-on da FC, não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas em ambos os testes de carga constante, após os dois programas de treinamento físico nos grupos TFAR e TFI (Tabela 4; Figura 10).

Na análise intergrupos também não foram verificadas diferenças significativas na cinética do VO_2 e da FC em ambos os grupos no pré e no pós treinamento. Ainda, não foram observadas diferenças significativas entre a τ e o TRM do VO_2 e da FC no TCC e no TCE em ambos os grupos, após os programas de treinamento físico (Tabela 4; Figura 10).

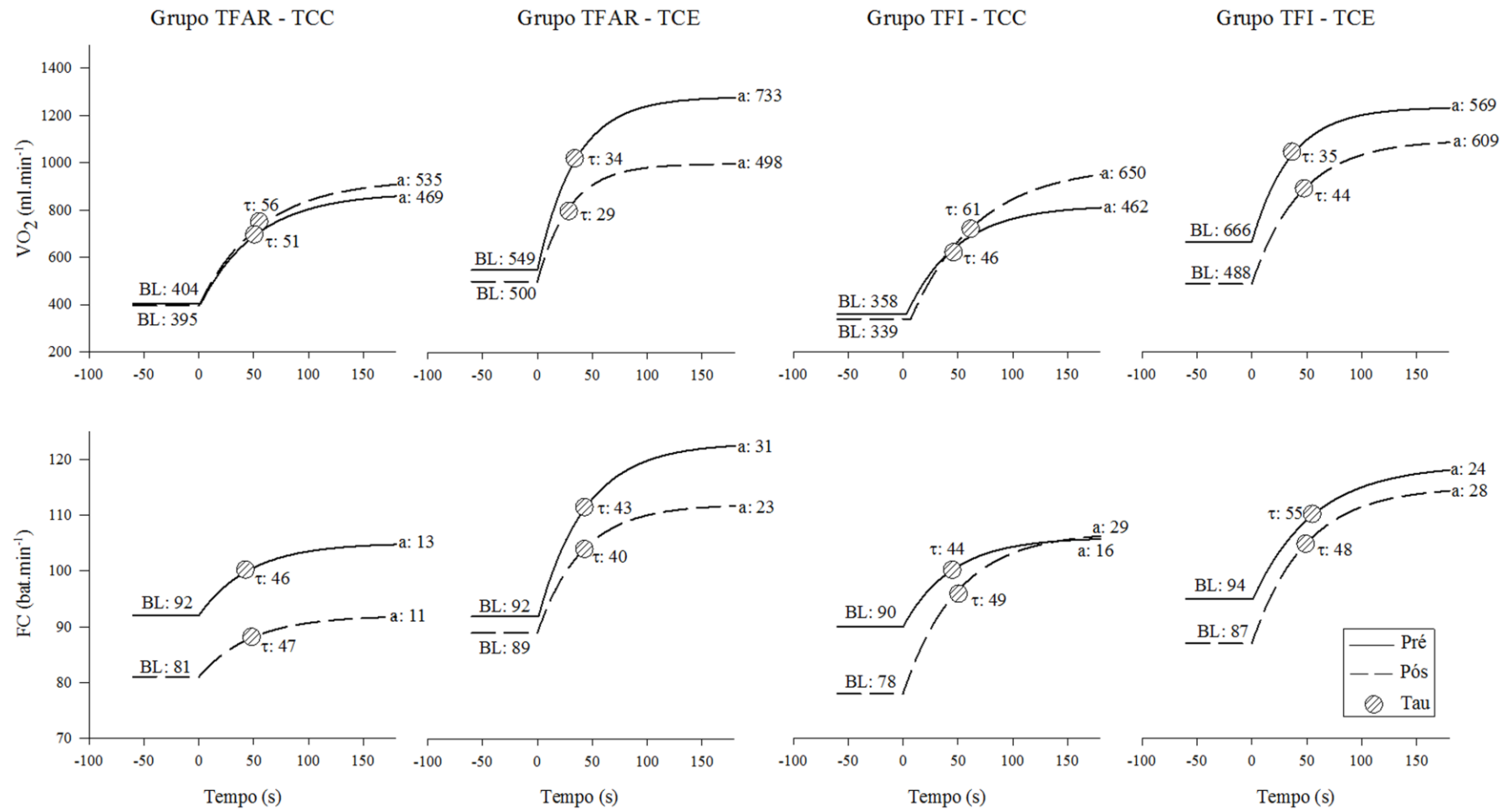
Tabela 4. Parâmetros da cinética-*on* do consumo de oxigênio (VO₂) e frequência cardíaca (FC) de pacientes com DPOC no teste de carga constante em cicloergômetro (TCC) e em equipamento elíptico (TCE) pré e pós-treinamento físico.

	<i>Grupo TFAR (n = 9)</i>				<i>Grupo TFI (n = 9)</i>			
	<i>TCC</i>		<i>TCE</i>		<i>TCC</i>		<i>TCE</i>	
	<i>Pré</i>	<i>Pós</i>	<i>Pré</i>	<i>Pós</i>	<i>Pré</i>	<i>Pós</i>	<i>Pré</i>	<i>Pós</i>
VO₂								
Baseline (BL, L/min)	404,2 ± 309,9	395,9 ± 220,4	549,0 ± 231,9	500,4 ± 384,4	358,5 ± 183,7	339,0 ± 76,0	666,2 ± 239,8	488,3 ± 104,7*
Amplitude (a, L/min)	469,4 ± 198,7	535,0 ± 152,1	733,5 ± 123,2	498,2 ± 329,2	462,7 ± 104,2	650,1 ± 149,1*	569,8 ± 83,5	609,6 ± 153,6
Tau (τ, s)	51,2 ± 17,9	56,7 ± 55,7	34,7 ± 9,7†	29,2 ± 6,4†	46,4 ± 13,2	61,9 ± 13,0*	35,5 ± 9,0†	44,2 ± 13,0* †
Time Delay (TD, s)	2,5 ± 4,6	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 6,4	3,4 ± 6,7	7,7 ± 7,6*	0,0 ± 0,0	0,6 ± 1,8
TRM (τ + TD, s)	53,8 ± 20,9	56,7 ± 55,7	34,7 ± 9,7†	29,2 ± 6,4†	44,6 ± 21,4	69,6 ± 14,7*	35,5 ± 9,0†	44,8 ± 14,2* †
FC								
Baseline (BL, bat.min⁻¹)	92,5 ± 6,4	81,7 ± 6,8	92,3 ± 13,6	89,4 ± 11,4	90,6 ± 6,4	78,0 ± 8,6	95,0 ± 10,3	87,8 ± 6,7
Amplitude (a, bat.min⁻¹)	13,7 ± 8,0	11,8 ± 7,2	31,5 ± 12,6	23,9 ± 4,4	16,2 ± 4,0	29,6 ± 17,7	24,8 ± 8,3	28,9 ± 6,7
Tau (τ, s)	46,8 ± 18,9	47,4 ± 14,7	43,2 ± 35,1	40,2 ± 8,0	44,4 ± 24,3	49,9 ± 16,8	55,3 ± 29,7	48,9 ± 18,3
Time Delay (TD, s)	0,0 ± 1,8	0,5 ± 1,1	1,4 ± 2,7	0,0 ± 0,0	0,0 ± 13,47	0,4 ± 1,1	1,2 ± 2,4	0,9 ± 2,0
TRM (τ + TD, s)	49,2 ± 17,9	47,9 ± 14,5	38,4 ± 26,0	40,2 ± 8,0	48,8 ± 26,2	50,3 ± 16,4	56,5 ± 28,7	49,8 ± 18,8

Dados expressos em médias (± desvios padrão). Obs.: Análise inter-testes/intra-grupo e intergrupos.

Legenda: DPOC= grupo doença pulmonar obstrutiva crônica; TCC= teste de carga constante no cicloergômetro; TCE= teste de carga constante em equipamento elíptico; TFAR= treinamento físico aeróbio associado ao resistido; TFI= treinamento físico intervalado; VO₂= consumo de oxigênio; FC= frequência cardíaca; a= é a magnitude da resposta durante o estado estável; τ= é a constante de crescimento da curva, i.e., o tempo necessário para atingir 63% da resposta do estado-estável; e TD= é o tempo de atraso para o início da resposta (*time delay*); TRM= tempo de resposta média (τ + TD).

ANOVA *Two-way* com *post hoc* de Tukey-Kramer (p<0,001): * = pré ≠ pós; † = TCC ≠ TCE.



Legenda: TCC= teste de carga constante no cicloergômetro; TCE= teste de carga constante no elíptico; BL= *baseline*; “a” = magnitude da resposta durante o estado estável (amplitude); τ = constante de crescimento da curva, i.e., o tempo necessário para atingir 63% da resposta do estado-estável; *Baseline* e *Amplitude*: ml/min para VO_2 e bat.min⁻¹ para FC; Tau (τ): segundos.

Figura 10. Ilustração das médias dos parâmetros da função da cinética-on do consumo de oxigênio (VO_2) e frequência cardíaca (FC) em diferentes testes de carga constante nos grupos TFAR e TFI.

DISCUSSÃO

Os principais resultados deste estudo revelam que a DPOC está associada à lentificação da cinética-*on* do VO_2 no TCC e TCE após o programa de TFI, não mostrando esse mesmo comportamento para esses pacientes após o programa de TFAR em ambos os testes de carga constante. Além disso, encontramos nos grupos de pacientes TFAR e TFI que a cinética-*on* do VO_2 foi mais rápida no TCE comparado ao TCC, tanto antes quanto após ambos os programas de treinamento físico. Em relação à cinética da FC, não foram encontradas diferenças significativas em ambos os testes de carga constante, após os dois programas de treinamento físico nos grupos TFAR e TFI. Ainda, não foram observadas diferenças significativas entre a τ e o TRM do VO_2 e da FC no TCC e no TCE em ambos os grupos, antes e após os programas de treinamento físico. Constatou-se também que o grupo TFAR apresentou T_{lim} significativamente maior no TCC após o treinamento, bem como o grupo TFI apresentou T_{lim} significativamente maior no TCE; e verificou-se também aumento significativo da potência no TI e da força muscular periférica, em ambos os grupos.

Nossos resultados não suportam a hipótese de que o TFI em equipamento elíptico pode ser efetivo na aceleração da cinética do VO_2 e da FC, bem como o TFAR, nos pacientes com DPOC, podendo ser atribuído as limitações metodológicas. Entretanto, se mostraram benéfico, melhorando a capacidade ao exercício e a força muscular periférica.

Efeitos dos dois programas de treinamento físico na capacidade funcional

No grupo TFAR, o treinamento físico aeróbio em cicloergômetro associado ao resistido de *endurance* em *leg press* de seis semanas (curta duração) foi capaz de melhorar a tolerância ao exercício, visto pelo aumento na potência máxima alcançada no TI ($\Delta = 4,5 \pm 11,7$ watts), bem como pelo aumento do T_{lim} no TCC ($\Delta = 3,6 \pm 10,7$ min), demonstrando a especificidade do treinamento. Embora a intensidade do treinamento aeróbio em

cicloergômetro de 60-70% do TI seja considerada baixa^{44,46}, observamos redução significativa da V_E , limitação ventilatória, FC e da dispneia no pico TI, bem como diminuição da V_E e da limitação ventilatória no TCC e no TCE. Ainda, constatamos ganho de força da musculatura do quadríceps, verificando que o treinamento de resistência muscular utilizado nesse estudo, mesmo sendo de baixa intensidade (40-60% do teste de 1RM³⁹) contribuiu para a melhora da força muscular periférica^{44,47,50} e da tolerância ao exercício⁵¹. Apesar do aumento da força muscular periférica, não visualizamos aumento da massa muscular magra, acredita-se também que seja pelo tempo de treinamento realizado (curta duração). Esse resultado está de acordo com os de Dourado et al.^{52,53} e Franssen et al.⁵⁴ os quais também não observaram mudanças significativas no IMC, MM, IMMC, relatando que o aumento da massa muscular magra é evidente quando o programa de reabilitação envolve suplementação e acompanhamento nutricional para a manutenção do peso corporal. Ao contrário, Panton et al.⁴⁴ encontraram após o programa de treinamento físico combinado (grande número e diversidade de exercícios de fortalecimento muscular) aumento significativo da massa magra total do corpo e declínio significativo da massa de gordura.

Nossos resultados concordam com os estudos de Bernard et al.⁴⁶, Mador et al.⁵⁵, Ortega et al.⁵¹ e Spruit et al.¹⁰, os quais constataram que o treinamento de força associado ao treinamento aeróbio em cicloergômetro de 12 semanas resultou em aumento significativo da força muscular do quadríceps em pacientes com DPOC. Wright et al.⁵⁶ e Spruit et al.¹⁰ observaram incremento significativo da potência máxima atingida em cicloergômetro após treinamento de força isolado; e Troosters et al.⁵⁰ na capacidade máxima de exercício após seis meses de treinamento. Ainda segundo Mador et al.⁵⁵, Spruit et al.¹⁰ e Ortega et al.⁵¹ o Tlim no TCC aumentou significativamente, e Dourado et al.⁵³ constataram aumento do Tlim no teste de *endurance* em esteira rolante em pacientes com DPOC após treinamento combinado curto.

Contrário aos nossos resultados Bernard et al.⁴⁶ e Mador et al.⁵⁵, não encontraram aumento da capacidade funcional de exercício.

Entretanto, no grupo TFI também verificou-se aumento na potência máxima atingida no TI ($\Delta = 15,6 \pm 10,7$ watts), e aumento do Tlim ($\Delta = 2,8 \pm 3,4$ min) somente no TCE. Ainda, observou-se redução da dispneia e da FC no pico do TI, e redução da V_E e da limitação ventilatória no TCE nesse grupo de pacientes. Isso indica que o treinamento considerado de alta intensidade promoveu benefícios cardiovasculares e ventilatórios aos pacientes, assim como, reduziu a dispneia que são fatores limitantes ao exercício na DPOC. Nossos resultados concordam com outros estudos que tem apontado que o treinamento físico de membros inferiores em pacientes com DPOC promove benefícios na capacidade funcional e diminuição da sensação de dispneia^{57,58,59,60}. Estudos apontam que os sintomas de dispneia elevados estão relacionados com baixa capacidade ao exercício, piora do estado de saúde e baixa sobrevida na DPOC⁶¹.

Segundo Kim et al¹², Egana e Donne¹⁴, e Misic et al¹³, o equipamento elíptico demanda maior gasto energético, maior VO_2 e V_E em relação a esteira rolante, cicloergômetro e *airdyne* em indivíduos obesos. Estes achados foram semelhantes aos do presente estudo, no qual observamos valores significativamente maiores de VO_2 , V_E e FC no TCE comparado ao TCC em pacientes com DPOC, pois o equipamento elíptico simula o movimento de pedalar em pé em uma bicicleta¹⁵ e mostra similaridade com a caminhada¹⁶.

O treinamento no equipamento elíptico foi realizado somente com os membros inferiores, planejado para os pacientes do grupo TFI a fim de que eles pudessem, ao menos, realizar 15 intervalos de exercício com segurança, e os pacientes foram orientados a manter a rotação entre 50 a 60 rpm. Adotou-se esse protocolo mediante a realização de testes pilotos antes do início da coleta de dados deste estudo, entretanto essas variáveis necessitam de maiores investigações para a proposta de treinamento nesse equipamento. Acreditamos que o

treinamento proposto é de endurance, devido aos critérios para incremento, ao desempenho dos participantes durante o treinamento e aos benefícios observados.

Dessa maneira, sugerimos que as alterações e benefícios são atribuídos a especificidade do treinamento. Ambos os treinamentos de curta duração não alteraram significativamente as variáveis metabólicas, cardiovasculares, a dispneia e a fadiga de membros nos testes de carga constante, somente foram capazes de alterar as variáveis ventilatórias.

Efeitos de dois programas de treinamento físico na cinética-on do VO₂ e da FC

Os efeitos do TFAR e TFI em equipamento elíptico na cinética-on do VO₂ e da FC não foram previamente estudados. Os resultados do presente estudo mostraram que o programa de TFAR (considerado de baixa intensidade) não proporcionou benefícios, ainda o programa de TFI (considerado de alta intensidade) promoveu a lentificação da cinética do VO₂ no TCC e TCE, evidenciando a limitação periférica nesses indivíduos. Acredita-se que as alterações na cinética do VO₂ e da FC são dependentes do tipo, da intensidade e duração do treinamento, bem como da condição inicial (gravidade da doença) do indivíduo, mostrando-se benéfico o treinamento aeróbico contínuo^{62,64,65}. Dessa maneira, a lentificação ou até mesmo a manutenção da cinética do VO₂ e da FC obtida após o treinamento no presente estudo, fornecem evidências de que o TFAR e TFI não podem ser usados como terapia para a melhora da cinética do VO₂ e da FC em pacientes com as condições clínicas das amostras estudadas, necessitando de mais investigações. A falta de uma diminuição significativa na τ na mesma intensidade de trabalho no nosso estudo, pode estar relacionada a variabilidade interindividual em resposta ao treinamento. Isso sugere que no treinamento físico de *endurance* de alta intensidade, as limitações são mais resistentes ou lentas para ajustar a cinética-on do VO₂, talvez o aumento da amostra resolveria isso.

Concordando com os nossos resultados, Myers et al.⁶³ concluíram que o treinamento aeróbio não teve efeito na cinética de recuperação do VO_2 , em pacientes com função ventricular reduzida. Ainda, Koufaki et al.⁶⁶ realizaram treinamento aeróbio de intensidade moderada (3x/semana por 12 semanas) e não observaram redução do valor da τ na cinética do VO_2 . Ao contrário, Otsuda et al.⁶⁷ encontraram redução da τ do VO_2 após programa de treinamento físico (3x/semana, por oito semanas) em pacientes com DPOC. Brandeburg et al.⁶⁸ relataram redução do TRM após treinamento físico de intensidade moderada (20W e 30W; 50min/dia; 3x/semana por três meses) em mulheres com diabetes tipo II. Segundo Phillips et al.⁶⁴, a aceleração da cinética do VO_2 após o treinamento de *endurance* é um fenômeno rápido, ocorrendo antes das alterações do VO_2 pico e/ou da capacidade oxidativa muscular. Adicionalmente, Casaburi et al.⁶² e Puente-Maestu et al.⁶⁹ relataram que o treinamento físico (45min/dia, 3x/semana por 6 semanas) acelerou a cinética do VO_2 , mas nenhuma alteração foi verificada na cinética da FC em pacientes com DPOC de obstrução grave, o que sugere que as anormalidades energéticas contribuem na capacidade de tolerância máxima ao exercício, verificada pela correlação negativa entre T_{lim} e a τ do VO_2 . Norris et al.⁶⁵ verificaram aceleração da cinética do VO_2 após o treinamento de *endurance* em atletas. Já Convertino et al.⁷⁰ encontraram lentificação da cinética de VO_2 e consequente aumento do déficit de oxigênio após sete dias de treinamento contínuo em exercício em cicloergômetro na posição vertical, mas não na supina.

A amplitude aumentou após o TFAR e TFI em ambos, o TCC e TCE na cinética do VO_2 , sendo significativo apenas para o grupo TFI no TCC. Acredita-se que seja pelo aumento da intensidade máxima atingida no TI ocorrido nos dois programas de treinamento. Apesar do aumento da amplitude após o treinamento, constatamos redução significativa da V_E e limitação ventilatória, manutenção dos valores do VO_2 e VCO_2 , e diminuição não significativa da FC. Ao contrário, Carter et al.⁷¹ e Berger et al.⁷² observaram que a redução na

amplitude do VO_2 na mesma intensidade de trabalho (absoluta) após o treinamento é uma adaptação importante, pois ocorreu redução do VO_2 , da V_E , FC e lactato sanguíneo no final do exercício intenso pós-treinamento, e ainda presumiram que ocorreu a depleção do fosfato muscular. Entretanto, de maneira interessante na mesma intensidade de exercício relativa (i.e., 70% Δ), não foram observadas alterações significativas na amplitude do VO_2 ^{71,72}, concordando com os achados desse estudo.

Quanto a cinética da FC, os programas TFAR e TFI mantiveram-a sem diferenças significativas, mas observa-se uma tendência de aceleração no TCE e de lentificação no TCC nos grupos. Acredita-se que esses resultados se devem ao método de coleta dos dados da FC, o qual foi realizado pelo cardiofrequencímetro acoplado ao ergoespirômetro, resultando na média a cada três batimentos por minuto.

Nossos resultados demonstram que a melhora da capacidade de exercício e o ganho de força muscular após o TFAR e o TFI, não foi marcado por aceleração da cinética de VO_2 e da FC. Os mecanismos fisiológicos responsáveis pela diminuição da cinética após o treinamento TFI e a manutenção após o TFAR não estão claros, mas podem envolver, por exemplo, o tipo de fibra muscular recrutada, a integração das adaptações sistêmicas e celulares, a distribuição de oxigênio para as fibras dos músculos que estão ativos, e um aumento da regulação da atividade das enzimas metabólicas dentro das fibras ativas⁷². Uma diminuição da atividade enzimática oxidativa e/ou indisponibilidade de oxigênio para as fibras musculares, resultado da menor densidade mitocondrial e capilaridade, pode favorecer o recrutamento de um maior número de fibras musculares do tipo II no início do exercício, lentificando a cinética. As diferenças e as mudanças no recrutamento da fibra muscular em alta intensidade de trabalho fornecem evidências de fortes alterações na cinética do VO_2 . Os resultados do presente estudo não permitem responder esses questionamentos. Futuros estudos são necessários para avaliar as adaptações fisiológicas provocadas pelos dois programas de treinamento.

No presente estudo observamos que a cinética do VO_2 (τ e TRM) foi significativamente mais rápida no TCE comparado ao TCC em ambos os grupos, tanto na condição antes quanto após os programas de TFAR e TFI, mostrando que o TCE foi um teste de maior intensidade e menor duração em relação ao TCC (Tabela 4 e Figura 4). Este fato pode ser explicado pelo TCE¹⁹ ser realizado na postura em pé^{19,20,21,22,23}. Sabe-se que a posição corporal influencia a distribuição de oxigênio, pelo aumento da pressão de perfusão muscular^{17,19,23} e do fluxo sanguíneo muscular^{17,19,23}, e também pelo efeito gravitacional, o qual proporciona maior recrutamento de massa muscular.

O treinamento de seis semanas pode ser capaz de aumentar a capacidade oxidativa das fibras musculares nos pacientes com DPOC, mas o efeito do treinamento é muito maior se este for de alguns meses. Saltin et al.⁷³ concluíram que o programa de treinamento físico de seis meses foi capaz de aumentar duas vezes a atividade das enzimas musculares.

Muitos estudos tem demonstrado que o treinamento de *endurance* resulta em melhora da cinética de VO_2 , mas ainda necessitam serem elucidados qual o volume, a intensidade, frequência e duração adequados do treinamento, bem como o tipo de treinamento de *endurance* mais adequado (treinamento aeróbio contínuo extensivo ou treinamento aeróbio intervalado intensivo). Ainda necessitamos verificar se a lentificação na cinética do VO_2 e da FC estão associadas ao prejuízo na distribuição ou na utilização do oxigênio, ou ambos.

Implicações Clínicas

Este é o primeiro estudo até o presente momento a apresentar os resultados dos efeitos de dois programas de treinamento físico (TFAR e TFI em equipamento elíptico) na cinética-*on* do VO_2 e da FC em pacientes com DPOC. Considerando os achados do presente estudo, torna-se evidente a necessidade de um maior número de pesquisas que avaliem a cinética-*on* do VO_2 e da FC de pacientes com DPOC após o TFAR e o TFI em diferentes ergômetros, e

que analisem a eficácia de diferentes protocolos no equipamento elíptico, uma vez que é necessário determinar com maior precisão a segurança e a aplicabilidade de seu uso em pacientes com DPOC ou em outras condições clínicas que possam ser submetidas ao exercício físico, confirmando os achados do presente estudo ou favorecendo o seu uso. A cinética do VO_2 e da FC deve ser melhor investigada após estes programas de treinamento físico, uma vez que tem sido sugerida como um importante parâmetro de avaliação da capacidade aeróbia, bem como da tolerância ao exercício, pois reflete a gravidade da doença e as respostas as intervenções terapêuticas e a reabilitação pulmonar.

Limitações do Estudo

Inicialmente, em relação aos pacientes envolvidos no estudo, seria ideal grupos com maior número de participantes, apesar da maioria dos estudos envolver um número de oito pacientes. Adicionalmente, a impossibilidade de ter sido realizado um teste incremental limitado por sintomas em equipamento elíptico para verificar melhor a similaridade da intensidade aplicada entre os testes de carga constante; a impossibilidade de se ajustar cargas menores que 40W no equipamento elíptico utilizado; e realizar os programas de TFAR e TFI em equipamento elíptico com maior duração merece ser investigado em ensaios futuros, pois a maioria dos estudos que enfocam o efeito do treinamento na cinética do VO_2 e da FC apresentam duração superior a oito semanas. Ainda destaca-se como limitações do estudo: o método de coleta de dados da FC, o qual foi realizado pelo cardiófrequencímetro acoplado ao ergoespirômetro, resultando na média a cada três batimentos por minuto; a carga mínima do equipamento elíptico em manter-se no intervalo entre 10 a 20W, sem conseguir fazer o ajuste, e quanto a carga mínima do cicloergômetro (15W); e em relação a análise da cinética-*on* do VO_2 e da FC, a qual não excluiu-se a fase I (cardiodinâmica) e não identificou-se a presença do componente lento. O componente lento não foi caracterizado, o que seria possível somente

com um modelo biexponencial aplicado a dados coletados respiração-a-respiração. Finalmente, a aquisição dos gases expirados pelo método de coleta da média a cada três respirações poderia ter influenciado nossos resultados. Entretanto, Hughson et al.⁷⁴ descreveram que os dados obtidos previamente a partir de sistemas ergoespirométricos como o do presente estudo mostram os mesmos resultados cinéticos dos sistemas atuais (respiração por respiração).

CONCLUSÃO

A cinética-*on* do VO_2 é lentificada nos pacientes com DPOC, quando realizam exercício de alta intensidade em cicloergômetro e em equipamento elíptico após o programa de TFI, não mostrando esse mesmo comportamento para esses pacientes após o programa de TFAR em ambos os testes de carga constante. O programa de TFAR não proporcionou benefícios na cinética-*on* do VO_2 e da FC no TCC e TCE na DPOC. A cinética mais rápida encontrada no exercício realizado em equipamento elíptico pode estar associada à posição corporal adotada, ao maior recrutamento de fibras musculares e/ou ao maior estresse ventilatório, metabólico e cronotrópico que o mesmo proporciona.

REFERÊNCIAS

1. Dourado VZ, Tanini SE, Vale SA, et al. Systemic manifestations in chronic obstructive pulmonary disease. *J Bras Pneumol*. 2006;32(2):161-71.
2. Puente-Maestu L, Sáenz ML, Sáenz P, et al. Reproducibility of the parameters of the on-transient cardiopulmonary responses during moderate exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Eur J Appl Physiol*. 2001; 85: 434 – 41.

3. Chiappa GR, Borghi-Silva A, Ferreira LF, et al. Kinetics of muscle deoxygenation are accelerated at the onset of heavy-intensity exercise in patients with COPD: relationship to central cardiovascular dynamics. *J Appl Physiol.* 2008; 104: 1341–50.
4. Chiappa GR, Queiroga FJr, Meda E, et al. Heliox improves oxygen delivery and utilization during dynamic exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2009; 179(11): 1004-10.
5. Poole DC, Ferreira LF, Behnke BJ, et al. The final frontier: oxygen flux into muscle at exercise onset. *Exerc Sport Sci Rev.* 2007; 35: 166-73.
6. Laveneziana P, Valli G, Onorati P, et al. Effect of heliox on heart rate kinetics and dynamic hyperinflation during high-intensity exercise in COPD. *Eur J Appl Physiol.* 2011; 111: 225-34.
7. American Thoracic Society/ European Respiratory Society. Statement on pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006; 173(12): 1390-1413.
8. Silva EG, Dourado VZ. Treinamento de força para pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica. *Rev Bras Med Esporte.* 2008; 14(3): 231-8.
9. Puhan MA, Schunemann HJ, Frey M, et al. How should COPD patients exercise during respiratory rehabilitation? Comparison of exercise modalities and intensities to treat skeletal muscle dysfunction. *Thorax.* 2005; 60: 367-75.
10. Spruit MA, Gosselink R, Troosters T, et al. Resistance versus endurance training in patients with COPD and peripheral muscle weakness. *Eur Respir J.* 2002; 19: 1072-78.
11. Kortianou EA., Nasis IG., Spetsioti ST. et al. Effectiveness of interval exercise training in patients with COPD. *Cardiopulmonary Physical Therapy J.* 2010; 21(3):12-9.

12. Kim J, Nho H, Whaley M. Inter-modal comparisons of acute energy expenditure during perceptually based exercise in obese adults. *J Nutr Sci Vitaminol*. 2008; 54:39-45.
13. Misic MM, Valentine RJ, Rosengren KS, et al. Impact of training modality on strength and physical function in older adults. *Gerontology*. 2009; 55: 411-16.
14. Egana M, Donne B. Physiological changes following a 12 week gym based stair climbing, elliptical trainer and treadmill running program in females. *J Sports Med Phys Fitness*. 2004; 44: 141-46.
15. Lu T, Chien H, Chen H. Joint loading in the lower extremities during elliptical exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2007; 1651-8.
16. Burnfield JM, Shu Y, Buster T, et al. Similarity of joint kinematics and muscle demands between elliptical training and walking: implications for practice. *Physical Therapy*. 2010; 90: 289-305.
17. Jones AM, Burnley M (2005). Chapter 4: Effect of exercise modality on VO₂ kinetics. In: *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. Routledge London and New York. pp.95-114.
18. Koga S, Shiojiri T, Shibasaki M, et al. Kinetics of oxygen uptake during supine and upright exercise. *J Appl Physiol*. 1999; 87: 253-60.
19. Williamson JW, Raven PB, Whipp BJ. Unaltered oxygen uptake kinetics at exercise onset with lower body positive pressure. *Experimental Physiology*. 1996; 81: 695-705.
20. Hughson RL, Cochrane JE, Butler GC. Faster O₂ uptake kinetics at onset of supine exercise with than without lower body negative pressure *J Appl Physiol*. 1993; 75: 1962-7.

21. Rossister HB, Ward SA, Kowalchuk JM, et al. Effects of prior exercise on oxygen uptake and phosphocreatine kinetics during high-intensity knee – extension exercise in humans. *J Physiol*. 2001; 537 291-303.
22. Rossister HB, Ward SA, Kowalchuk JM, et al. Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O₂ uptake between the on-and-off transients of moderate and high intensity exercise in humans. *J Physiol*. 2002; 541, 991-1002.
23. Hughson RL (2005). Chapter 8: Regulation of VO₂ on-kinetics by O₂ delivery. In: *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. Routledge London and New York. pp. 185-211.
24. Schneider DA, Wing AN, Morris NR. Oxygen uptake and heart rate kinetics during heavy exercise: a comparison between arm cranking and leg cycling. *Eur J Appl Physiol*. 2002; 88: 100-6.
25. Koga S, Shiojiri T, Shibasaki M, et al. Kinetics of oxygen uptake and cardiac output at onset of arm exercise. *Respiration Physiology*. 1996; 103: 195-202.
26. GOLD – Global Strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: (Update 2010), 2010.
27. Matsudo S, Araújo T, Matsudo V, et al. Questionário internacional de atividade física (IPAQ). Estudo de validade e reprodutibilidade no Brasil. *Rev Bras Ativ Fís Saúde*. 2001; 6(2): 5-18.
28. Montes de Oca M, Ortega Balza M, Lezama J, et al. Chronic obstructive pulmonary disease: evaluation of exercise tolerance using three different exercise tests. *Arch Bronconeumol*. 2001; 37(2):69-74.
29. Miller MR, Hankinson J, Brusasco, V, et al. ATS/ERS Task Force: Standardisation of Lung Function Testing. *Eur Respir J*. 2005; 26: 319-38.

30. Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am. Rev Respir Dis.* 1983; 127: 725-34.
31. Mendes CCT, Racle R. Avaliação corporal por bioimpedância. *Rev Nutr Pauta.* 1997; 24: 12-4.
32. Vermeeren MAP, Creutzberg EC, Schols AMWJ, et al. Prevalence of nutritional depletion in a large out-patient population of patients with COPD. *Respiratory Medicine.* 2006; 100(8): 1349-55.
33. Neder JR, Nery LE. *Fisiologia Clínica do Exercício.* 1ª Edição, São Paulo, Artes Médicas, 2003.
34. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982; 14: 377-81.
35. Crouter SE, Antczak A, Hudak JR, et al. Accuracy and reliability of the ParvoMedics TrueOne 2400 and MedGraphics VO₂₀₀₀ metabolic systems. *Eur J Appl Physiol.* 2006; 98:139-51.
36. Whipp BJ, Ward SA, Lamarra M, et al. Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol.* 1982; 52; 1506-13.
37. Bell C, Paterson DH, Kowalchuk JM, et al. A comparison of modeling techniques used to characterize oxygen uptake kinetics during the on-transient of exercise. *Experimental Physiology.* 2001; 86(5): 667-76.
38. Engelen M, Porszasz J, Riley M, et al. Effects of hypoxic hypoxia on O₂ uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol* 1996; 81: 2500-8.
39. Pollock M, Franklin BA, Balady JG, et al. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease. *Circulation.* 2000, 101: p.828-33.

40. Hoff J, Tjonna AE, Steinshamn S, et al. Maximal strength training of the legs in COPD: A therapy for mechanical inefficiency. *Med Sci in Sports Exercise*. 2006, 31: 220-6.
41. American Thoracic Society and European Respiratory Society. Management of stable COPD: pulmonary rehabilitation. Standards for diagnosis and management of patients with COPD, 2004.
42. Pereira AM, SantaClara H, Pereira E, et al. Impacto do exercício físico combinado na percepção do estado de saúde da pessoa com doença pulmonar obstrutiva crónica. *Revista Portuguesa de Pneumologia*. 2010; 16(5):737-57.
43. Probst VS, Troosters T, Pitta F, Decramer M, et al., Cardiopulmonary stress during exercise training in patients with COPD. *Eur Respir J*. 2006; 27:1110-8.
44. Panton LB, Golden J, Broeder CE, et al. The effects of resistance training on function outcomes in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Eur J Appl Physiol*. 2004, 91: 443-9.
45. Cooper CB. Exercise in chronic obstructive pulmonary disease: limitations and rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc*. 2001; 33: 643-6.
46. Bernard S, Whittom F, LeBlanc P, et al. Aerobic and strength training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999; 159: 896-901.
47. Casaburi R, Bhasin S, Cosentino L, et al. Effects of testosterone and resistance training in men with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2004, 170: 870-8.

48. Nasis IG, Vogiatzis I, Stratakos G, et al. Effects of interval-load versus to constant-load training on the BODE index in COPD patients. *Respiratory Medicine*. 2009;103:1392-8.
49. Vogatzis I, Nanas S, Roussos C. Interval training as an alternative modality to continuous exercise in patients with COPD. *Eur Respir J*. 2002; 20:12-9.
50. Troosters T, Gosselink R, Decramer M, et al. Short- and long-term effects of outpatient rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized trial. *Am J Med* 2000; 109: 207-12.
51. Ortega F, Toral J, Cejudo P, et al. Comparison of effects of strength and endurance training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 669-74.
52. Dourado VZ, Tanni SE, Antunes LCO, et al. Effect of three exercise programs on patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Braz J Med Biol Res*. 2009; 42(3): 263-71.
53. Dourado VZ, Antunes LCO, Tanni SE, et al. Effects of different combinations of strength training and low intensity general reconditioning exercises in COPD patients. *Eur Respir J*. 2005; 26: s70.
54. Franssen FM, Broekhuizen R, Janssen PP, et al. Effects of whole-body exercise training on body composition and functional capacity in normal-weight patients with COPD. *Chest*. 2004; 125: 2021-8.
55. Mador MJ, Bozkanat E, Aggarwal A, et al. Endurance and strength training in patients with COPD. *Chest*. 2004; 125: 2036-45.

- 56.** Wright PR, Heck H, Langenkamp H, et al. Influence of a resistance training on pulmonary function and performance measures of patients with COPD. *Pneumologie*. 2002; 56: 413-7.
- 57.** Barakat S, Michele G, George P, et al. Outpatient pulmonary rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *International Journal of COPD*. 2008; 3(1):155-162.
- 58.** Breyer M, Breyer-Khansal R, Func G, et al. Nordic Walking improves daily physical activities in COPD: a randomised controlled trial. *Respiratory Research*. 2010. 11:112
- 59.** Petersen AMW, Mittendorfer B, Magkos F, et al. Physical Activity counteracts increased whole-body protein breakdown in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18:557-64.
- 60.** van Helvoort HA, de Boer RC, van de Broek L, et al. Exercises commonly used in rehabilitation of patients with chronic obstructive pulmonary disease: cardiopulmonary responses and effect over time. *Arch Phys Med Rehabil*. 2011; 92(1):111-7.
- 61.** Spruit MA, Pennings HJ, Janssen PP, et al. Extra-pulmonary features in COPD patients entering rehabilitation after stratification for MRC dyspnea grade. *Respir Med*. 2007;101(12):2454-63.
- 62.** Casaburi R, Porszasz J, Burns MR, et al. Physiologic benefits of exercise training in rehabilitation of patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997; 155: 1541-51.
- 63.** Myers J, Gianrossi R, Schwitter J, et al. Effect of exercise training on postexercise oxygen uptake kinetics in patients with reduced left ventricular function. *Chest*. 2001; 120:1206-11.

64. Phillips SM, Green HJ, MacDonal MJ, et al. Progressive effect of endurance training on VO_2 kinetics at the onset of submaximal exercise. *J Appl Physiol.* 1995; 79:1914-20.
65. Norris SR and Petersen SR. Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *J Sports Sci.* 1998; 16:733-8.
66. Koufaki P, Naish PF, Mercer TM. Assessing the efficacy of exercise training in patients with chronic disease. *Med Sci Sports Exerc.* 2002; 34: 1234-41.
67. Otsuda T, Kurihara N, Fujii T, et al. Effect of exercise training and detraining on gas exchange kinetics in patients with chronic obstructive disease. *Clinical Physiology.* 1997; 17:287-97.
68. Phillips SM, Green HJ, MacDonal MJ, et al. Progressive effect of endurance training on VO_2 kinetics at the onset of submaximal exercise. *J Appl Physiol.* 1995; 79:1914-20.
69. Norris SR and Petersen SR. Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *J Sports Sci.* 1998; 16:733-8.
70. Brandenburg S, Reusch JEB, Bauer TA, et al. Effects of exercise training on oxygen uptake kinetic responses in women with type 2 diabetes. *Diabetes Care.* 1999, 22:1640–6.
71. Puente-Maestu L, Sáenz ML, Sáenz P, Nuñez A, et al. Effects of two types of training on pulmonary and cardiac responses to moderate exercise in patients with COPD. *Eur Respir J.* 2000; 15:1026-32.
72. Convertino VA, Goldwater DJ, Sandler H. VO_2 kinetics of constant-load exercise following bed-rest-induced deconditioning. *J Appl Physiol.* 1984; 1545-50.

73. Carter H, Jones AM, Barstow TJ, et al. Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Appl Physiol*. 2000; 89:1744-52.
74. Berger NJA, Tolfrey K, Williams AG, et al. Influence of Continuous and Interval Training on Oxygen Uptake On-Kinetics. *Med Sci Sports Exerc*. 2006; 504-12.
75. Saltin B, Henriksson J, Nygaard E, Andersen P, Jansson E. Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann NY Acad Sci*. 1977; 301:3–29.
76. Hughson, RL. Oxygen uptake kinetics: historical perspective and future directions. *Appl Physiol Nutr Metab* 2009, 34: 840-50.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerações Finais

Os pacientes com DPOC de obstrução moderada a muito grave apresentam lentificação da cinética-*on* do VO_2 quando realizam exercício em cicloergômetro, entretanto a mesma depende do ergômetro testado. Ainda, a cinética do VO_2 mais rápida encontrada no teste de carga constante em equipamento elíptico no grupo DPOC pode estar relacionada aos efeitos da posição corporal adotada ou ao maior recrutamento de fibras musculares, bem como ao maior estresse ventilatório e cronotrópico observado que o mesmo proporciona. A cinética-*on* da FC mostrou-se similar entre o cicloergômetro e o equipamento elíptico, bem como entre o grupo DPOC e o grupo controle.

O presente estudo também demonstrou que a cinética-*on* do VO_2 e da FC correlacionou-se com o índice BODE, VEF_1 e DP-TC6, mostrando que a gravidade da doença, a limitação ao fluxo aéreo e a capacidade ao exercício são refletidas pela lentificação da cinética em pacientes com DPOC, entretanto a mesma depende do ergômetro utilizado. Além disso, a cinética do VO_2 é mais rápida no TCE comparado ao TCC nos pacientes com DPOC.

Vale ainda ressaltar que o treinamento físico intervalado em equipamento elíptico de alta intensidade proporcionou a lentificação da cinética-*on* do VO_2 , tanto no teste de carga constante em cicloergômetro, quanto em equipamento elíptico em pacientes com DPOC. No entanto, esse mesmo comportamento, não foram observados após o treinamento físico aeróbio associado ao resistido para essa mesma população, em ambos os testes de carga constante. Ressalta-se ainda que o grupo TFAR apresentou T_{lim} significativamente maior no TCC após o treinamento, bem como o grupo TFI apresentou T_{lim} significativamente maior no TCE; e verificou-se também aumento significativo da potência no TI e da força muscular periférica, em ambos os grupos.

Desdobramentos Futuros

Como desdobramentos futuros sugere-se realizar um teste incremental limitado por sintomas em equipamento elíptico, e posteriormente realizar o teste de carga constante nesse equipamento. Além disso, verificar o comportamento da cinética-*off* do VO_2 e da FC no cicloergômetro e no equipamento elíptico em pacientes com DPOC e indivíduos saudáveis; e verificar se existe correlação do índice BODE e de suas variáveis isoladas, da força muscular periférica (teste de 1RM), massa muscular magra, índice de depleção nutricional e do número de subidas no teste de degrau de seis minutos com a cinética-*on* e cinética-*off* do VO_2 e da FC em outros tipos de ergômetros.

Sugere-se também verificar qual o volume, a intensidade, frequência e duração adequados do treinamento físico, bem como o tipo de treinamento de *endurance* mais adequado (treinamento aeróbio contínuo extensivo ou treinamento aeróbio intervalado intensivo) para proporcionar benefícios na cinética-*on* e na cinética-*off* do VO_2 e da FC. Ainda necessitamos investigar a proposta de treinamento físico no equipamento elíptico, bem como o protocolo adequado.

ANEXO 1: Carta de submissão do Estudo I ao periódico *Respirology*.

BRUNA VARANDA PESSOA <brunavpessoa@gmail.com>

Respirology - Manuscript ID RES-12-070

respirol@lwa.uwa.edu.au <respirol@lwa.uwa.edu.au>

7 de fevereiro de 2012 17:43

Para: brunavpessoa@gmail.com, nencyjp@hotmail.com, beltramethomas@gmail.com, audrey@ufscar.br, vallorenzo@ufscar.br, mcatal@ufscar.br, jamami@power.ufscar.br

07-Feb-2012

Dear Dr. Pessoa:

Your manuscript entitled "Oxygen uptake and heart rate on-kinetics in patients with COPD: comparison between cycle ergometer and elliptical equipment" has been received online and is presently being given full consideration for publication in *Respirology*. Before being sent for external review, all manuscripts are assessed for suitability by one of the journal's Deputy Editors.

Please note that our editorial office will review your manuscript before sending it to a Deputy Editor. If there are aspects that need to be fixed prior to peer-review, they may unsubmit your paper and ask you to make some minor changes before resubmitting it. We appreciate your understanding.

Your manuscript ID is RES-12-070.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your contact details, please log in to Manuscript Central at <http://mc.manuscriptcentral.com/res> and edit your user information as appropriate.

The journal aims to complete the peer-review process as rapidly as possible, however, because we receive many submissions each year, the process may take up to 8 weeks to complete. We appreciate your patience during this time. You can view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <http://mc.manuscriptcentral.com/res>.

Thank you for submitting your manuscript to *Respirology*.

Sincerely,
Respirology Editorial Office

ANEXO 2: Carta de submissão do Estudo II ao periódico Revista Brasileira de Fisioterapia.



BRUNA VARANDA PESSOA <brunavpessoa@gmail.com>

[RBFIS] Agradecimento pela Submissão - "RBFIS-1318 - ÍNDICE BODE E CINÉTICA-ON DO CONSUMO DE OXIGÊNIO E DA FREQUÊNCIA CARDÍACA EM EXERCÍCIO INTENSO EM PACIENTES COM DPOC: HÁ CORRELAÇÃO ENTRE ELES?"

Leonor A. S. Atzza <suporte.aplicacao@siclelo.org>

7 de fevereiro de 2012 10:03

Responder a: Bruna Bruna Varanda Pessoa <brunavpessoa@gmail.com>

Para: Bruna Bruna Varanda Pessoa <brunavpessoa@gmail.com>

Bruna Bruna Varanda Pessoa,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "ÍNDICE BODE E CINÉTICA-ON DO CONSUMO DE OXIGÊNIO E DA FREQUÊNCIA CARDÍACA EM EXERCÍCIO INTENSO EM PACIENTES COM DPOC: HÁ CORRELAÇÃO ENTRE ELES?" para Revista Brasileira de Fisioterapia/Brazilian Journal of Physical Therapy.

Informamos que se o manuscrito for aceito para publicação, a RBF enviará, ao autor de correspondência ou pessoa por ele indicada, solicitação do pagamento de uma taxa de processamento/publicação.

Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://submission.siclelo.br/index.php/rbfis/author/submission/61279>

Login: bruna_pessoa

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Revista Brasileira de Fisioterapia/
Brazilian Journal of Physical Therapy
<http://submission.siclelo.br/index.php/rbfis>

ANEXO 3: Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Instituição.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos
Via Washington Luis, km. 235 - Caixa Postal 676
Fones: (016) 3351.8109 / 3351.8110
Fax: (016) 3361.3176
CEP 13560-970 - São Carlos - SP - Brasil
propg@power.ufscar.br - www.propg.ufscar.br

CAAE 0191.0.135.000-06

Título do Projeto: Avaliação da capacidade funcional em diferentes testes de membros inferiores em indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica

Classificação: Grupo III

Pesquisadores (as): Maurício Jamami, Bruna Varanda Pessoa (orientanda)

Parecer N^o. 074/2007

1. Normas a serem seguidas

- O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 – Item IV.1.f) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (Item IV.2.d).
- O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS Item III.3.z), aguardando seu parecer, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade de regime oferecido a um dos grupos da pesquisa (Item V.3) que requeiram ação imediata.
- O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS Item V.4). É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.
- Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projetos do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma, junto com o parecer aprobatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res. 251/97, item III.2.e).
- Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, inicialmente em ___/___/___ e ao término do estudo.

2. Avaliação do projeto

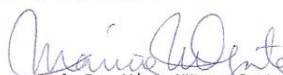
O Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos (CEP/UFSCar) analisou o projeto de pesquisa acima identificado e considerando os pareceres do relator e do revisor DELIBEROU: As pendências apontadas no Parecer n^o 026/2007, de 30/01/2007, foram satisfatoriamente resolvidas.

O projeto atende as exigências contidas na Resolução 196/96, do Conselho Nacional de Saúde.

3. Conclusão:

Projeto aprovado

São Carlos, 15 de março de 2007.


Prof. Dra. Márcia Niituma Ogata
Coordenadora do CEP/UFSCar