

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS PNEUMOLÓGICAS

COMPORTAMENTO DE PARÂMETROS METABÓLICOS E MECÂNICOS DA
CAMINHADA DE INDIVÍDUOS COM DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA
CRÔNICA

MARCELA ALVES SANSEVERINO

Porto Alegre, março de 2016

MARCELA ALVES SANSEVERINO

COMPORTAMENTO DE PARÂMETROS METABÓLICOS E MECÂNICOS DA
CAMINHADA DE INDIVÍDUOS COM DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA
CRÔNICA

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências Pneumológicas
da Universidade Federal do Rio Grande do
Sul como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga

Co-autora: Renata Luisa Bona

Porto Alegre, março de 2016

CIP - Catalogação na Publicação

Alves Sanseverino, Marcela
COMPORTAMENTO DE PARÂMETROS METABÓLICOS E
MECÂNICOS DA CAMINHADA DE INDIVÍDUOS COM DOENÇA
PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA / Marcela Alves
Sanseverino. -- 2016.
107 f.

Orientador: Leonardo Alexandre Peyrê-Tartaruga.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa
de Pós-Graduação em Ciências Pneumológicas, Porto
Alegre, BR-RS, 2016.

1. Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica. 2. Economia
de caminhada. 3. Velocidade autosselecionada. 4.
Locomoção. I. Peyrê-Tartaruga, Leonardo Alexandre,
orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Após dois anos de muito trabalho, coletas, leituras e aprendizagens, eu me deparo com mais um desafio: colocar em palavras minha enorme gratidão às pessoas que fizeram parte dessa caminhada, àquelas que sempre estiveram presentes, àquelas que trabalharam do meu lado, àquelas que me incentivaram e até mesmo àquelas que hoje já não fazem mais parte do meu dia-a-dia. Todos desempenharam um importante papel para que eu possa estar aqui hoje finalizando mais essa etapa, e por isso, não posso estabelecer uma ordem de importância.

Gostaria de começar agradecendo a minha família. Eles que durante toda minha vida me incentivaram para eu seguir meu coração e sempre fazer o meu melhor. As pessoas que sempre me deram amparo emocional e financeiro para poder estudar e para ter as melhores oportunidades. E como se não bastasse, aguentaram meu mau humor, meu estresse, meu choro, minhas trapalhadas. Obrigada pai, mãe e irmã, me desculpem qualquer coisa, eu amo vocês.

Tenho muito a agradecer também ao meu orientador, professor doutor Leonardo Tartaruga, e a minha ‘co-orientadora’, professora doutora Renata Bona, que pensaram em mim no momento em que surgiu uma vaga com o professor para ingressar no Programa de Pós-Graduação em Ciências Pneumológicas. Eles abriram as portas para essa oportunidade incrível que me trouxe muito trabalho, muito conhecimento e novas amizades.

Além disso, me faltam palavras para expressar a importância de outros dois professores do programa, professor doutor Danilo Berton e professora doutora Marli Knorst, que me ensinaram tudo que deveria saber sobre a parte clínica, a doença que eu estava estudando, como selecionar os pacientes e interpretar os testes de exercício. Sem eles esse trabalho não teria sido realizado de maneira apropriada. Ainda, me acolheram em seu grupo de pesquisa, permitindo que eu ganhasse ainda mais conhecimento em suas reuniões semanais com contato com outros projetos dos colegas que também fizeram e estão fazendo esta caminhada. Aproveito para agradecer a parceria dos colegas que tive a oportunidade de conviver: Mariah, Marina, Pietro, Ricardo, Luíz Felipe, Felipe, Rui, Fabrício, Marcelo, Patrícia e especialmente a Franciele que hoje, além de colega, é uma das melhores amigas que eu tenho certeza que ficará para o resto da vida.

Às pessoas que me ajudaram nas coletas, Julia Japur, Francisco Queiroz, Ricardo Gass, Pietro Merola e Jonas Hubner, eu deixo aqui registrado meu muito obrigado. Da mesma forma, quero agradecer a todos os participantes dessa pesquisa. Sem vocês não teríamos chegado aos resultados desse trabalho.

Gostaria de agradecer também ao grupo Locomotion coordenado pelo professor doutor Leonardo Tartaruga, que sempre mesmo a distância me deram o apoio necessário para concluir esse trabalho. Especialmente a Natália Gomeñuka, que é uma grande amiga por quem sempre torço muito, à Elren, à Paula, ao Marcelo, à Gabriela, ao Henrique e ao Rodrigo, pela parceria nos congressos, convivência em todos esses anos e troca de conhecimento e experiência.

Aos meus amigos que sempre estão ao meu lado nas alegrias e nas tristezas e em todas as nossas conquistas e sucessos, gostaria de dizer que vocês completam minha vida e a enchem de alegria. Clarissa, Tita, Mariana, Júlia Ferreira, Júlia Webber, Andrea, Joanna, Rafaela, Anita, Jéssika, Franciele, Rodrigo Rodrigues, Geison, Felipe, Rodrigo Franke, Patrícia, Mayra,: eu amo cada um de vocês.

Gostaria de agradecer as minhas famílias, meus primos e primas, tios e tias, que não são poucos, mas guardo cada um de vocês dentro do meu coração. E, em especial, quero que todos saibam que meu padrinho e avô José, e minhas madrinhas, avó Maria Thereza e tia Karen, são pessoas muito especiais para mim que sempre estiveram presente, sempre me deram bons conselhos e me fizeram acreditar em mim mesma, e têm eternamente a minha gratidão.

Por fim, gostaria de agradecer a CAPES e ao FIPE pelo auxílio financeiro durante esses dois anos mestrado para que a execução do projeto fosse possível.

“Uma medicina não é melhor do que a outra. Elas serão úteis dependendo da necessidade de cada um.” Sri Prem Baba

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES

%predito – percentual do predito
AST – área de secção transversal
AVDs – atividades de vida diária
BORGD – escala de Borg para dispneia
BORGDiso – escala de Borg para dispneia em *isovelocidade*
BORGMI – escala de Borg para desconforto de membros inferiores
BORGMIso – escala de Borg para desconforto de membros inferiores em *isovelocidade*
C – custo de transporte
CI – capacidade inspiratória
cm – centímetros
CMI – comprimento de membro inferior
CO₂ – dióxido de carbono
CoV – coeficiente de variação relativo à frequência de passada
CP – comprimento de passada
CPT – capacidade pulmonar total
CVF – capacidade vital forçada
DLCOc – difusão pulmonar de monóxido de carbono (sigla em inglês)
DPOC – doença pulmonar obstrutiva crônica
ECG – eletrocardiograma
EMGdi – eletromiografia diafragmática
EV – eficiência ventilatória
fem – feminino
FC – frequência cardíaca
FC_{MÁX} – frequência cardíaca máxima
FP – frequência de passada
FR – frequência respiratória
Fr – número de Froude
g – força gravitacional da Terra
GC – grupo controle
GDPOC – grupo de pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica
GEE – equações de estimativas generalizadas (sigla em inglês)
HD – hiperinsuflação pulmonar dinâmica
Hz – Hertz
ICC – insuficiência cardíaca crônica
IMC – índice de massa corporal
IRT – índice de reabilitação teórico
J – Joules
J.kg⁻¹.m⁻¹ – Joules por quilograma por metro
kg.m⁻² – quilogramas por metro ao quadrado
km.h⁻¹ – quilômetros por hora
L – comprimento de membro inferior

l – litros
l.min⁻¹ – litros por minuto
LAFEP – laboratório de fisiopatologia e função pulmonar
m – metros
m.s⁻¹ – metros por segundo
m.s⁻² – metros por segundo ao quadrado
masc – masculino
mlO₂.kg⁻¹.min⁻¹ – mililitros de oxigênio por quilograma por minuto
mMRC – escala modificada do *Medical Research Council*
Pab – pressão abdominal
Palv – pressão alveolar
Ppl – pressão pleural
RER – taxa de troca respiratória
RV – reserva ventilatória
SpO₂ – saturação periférica de oxigênio
TC6 – teste de caminhada de seis minutos
TCLE – termo de consentimento livre e esclarecido
TCPE – teste cardiopulmonar de exercício
v – velocidade
V_{+20%} – velocidade correspondente a mais 20 por cento da velocidade autosseleccionada
V_{+40%} – velocidade correspondente a mais 40 por cento da velocidade autosseleccionada
V_{-20%} – velocidade correspondente a menos 20 por cento da velocidade autosseleccionada
V_{-40%} – velocidade correspondente a menos 40 por cento da velocidade autosseleccionada
VAS – velocidade autosseleccionada
VC – volume corrente
VCO₂ – produção de dióxido de carbono
VE – ventilação
VEF₁ – volume expiratório forçado no primeiro segundo
VE_{PICO} – ventilação de pico
VO₂ – consumo de oxigênio
VO₂PERIFÉRICO – consumo de oxigênio da musculatura periférica e demais tecidos
VO₂PICO – consumo de oxigênio de pico
VO₂RESP – consumo de oxigênio da musculatura respiratória
VPEF – volume pulmonar expiratório final
VPIF – volume pulmonar inspiratório final
VR – volume residual
VRI – volume de reserva inspiratório
VVM – ventilação voluntária máxima
μ – média relativa à frequência de passada
σ – desvio-padrão relativo à frequência de passada

RESUMO

Introdução. Os pacientes com DPOC apresentam capacidade de exercício reduzida e limitação funcional para realização de suas atividades diárias, impactando a qualidade de vida desses indivíduos. Além disso, foi demonstrado para esses indivíduos um maior risco de queda em comparação a indivíduos saudáveis da mesma idade. Contudo, não se sabe o papel da intolerância ao exercício em variáveis relacionadas a locomoção dos pacientes com DPOC como o custo de transporte (C), a velocidade autosseleccionada (VAS) e a estabilidade dinâmica, que podem auxiliar na dimensão da influência dessa intolerância na vida diária desses indivíduos.

Objetivo. O presente estudo se propôs a investigar o comportamento do C, da eficiência ventilatória, do conforto ventilatório e da estabilidade dinâmica em diferentes velocidades de caminhada de indivíduos com DPOC e comparar com indivíduos sem a doença, além de verificar a possível correspondência entre a VAS e a velocidade ótima.

Materiais e Métodos. Onze participantes com DPOC fizeram parte desse estudo e foram comparados com onze controles pareados por sexo e idade. Eles foram primeiramente submetidos a um teste de exercício cardiopulmonar e, em um segundo momento, a uma avaliação do C. No protocolo submáximo, os participantes caminharam em cinco velocidades diferentes, sendo uma a VAS e outras quatro $\pm 20\%$ e $\pm 40\%$ da VAS. Além disso, os participantes foram avaliados em uma velocidade pré-determinada igual a todos (*isovelocidade*). Para todas as velocidades do protocolo os participantes caminharam durante cinco minutos. A partir dos valores de consumo de oxigênio (VO_2) obtidos, foram calculados os valores de C. Simultaneamente, foram realizados registro de vídeos dos participantes para posterior análise cinemática da marcha. Foram calculados a frequência de passada (FP), o comprimento de passada (CP) e o coeficiente de variação (CoV) referente a FP, como medida da estabilidade dinâmica.

Resultados. Não houve diferença do C dos pacientes com DPOC em relação aos controles, nem mesmo quando caminhavam em *isovelocidade* ($p=0,623$). Em todas as velocidades, os pacientes demonstraram menor eficiência ventilatória. A VAS dos pacientes foi menor, no entanto observou-se menor valor de C nas velocidades mais altas de caminhada. Apesar de os indivíduos com DPOC apresentarem menor FP e CP, a estabilidade dinâmica não demonstrou-se prejudicada na amostra estudada.

Conclusão. Pacientes com DPOC caminham em velocidades reduzidas, em relação aos controles, especialmente devido à dispneia acompanhada de uma menor eficiência ventilatória. Embora o C seja semelhante ao de indivíduos saudáveis, os participantes com DPOC apresentaram o índice de reabilitação inferior, sugerindo, portanto, que o mecanismo pendular não esteja otimizado na VAS. Além de não encontrar diferenças na economia de caminhada, foram observadas alterações mínimas na estabilidade dinâmica da marcha destes indivíduos. Terapias que tratem do conforto ventilatório são potenciais ferramentas para a melhora da locomoção de pacientes com DPOC.

Palavras chave: DPOC – economia de caminhada – velocidade autosselecionada – locomoção

ABSTRACT

Background. Subjects with COPD present reduced exercise capacity and functional limitation to perform daily activities, which affects their quality of life. Furthermore, it is known that this population has increased risk of falls when compared to health subjects. However, it is still unknown the role of exercise intolerance on important variables to assess locomotion, as the cost of transport (C), the self-selected speed (VAS) and the dynamic stability, which might be able to help to dimension the exercise intolerance on their daily life.

Objective. To investigate the behaviour of C ventilatory efficiency, ventilatory comfort and dynamic stability at different walking speeds in COPD subjects and compare them to healthy controls, as well as to verify the possible correspondence of VAS and optimal speed.

Methods and Materials. 11 patients with COPD participated in this study and were matched with 11 control subjects in terms of gender and age. They underwent a cardiopulmonary exercise test and an evaluation of C. In this last evaluation, participants walked at five different walking speeds, among them VAS and the others $\pm 20\%$ and $\pm 40\%$ of the VAS. There was also a sixth predetermined walking speed (*isovelocity*). The participants walked during five minutes in each speed. The C values were calculated from the oxygen consumption (VO_2) values. Simultaneously, the subjects were filmed for later analysis of gait kinematics. The stride frequency (FP), stride length (CP) and the coefficient of variation (CoV) from FP as a measure of dynamic stability, were calculated.

Results. There was no significant difference between the C of participants with COPD and control subjects, not even when walking at *isovelocity* ($p=0,623$). For all speeds investigated, the ventilatory efficiency of COPD subjects was impaired when compared to healthy individuals. The participants in COPD group walked at a slower VAS, but the lower value of C was found during faster walking speeds. Even though the COPD group had less FP and shorter strides, their dynamic stability showed minimal impairment.

Conclusion. The patients with COPD walked at a reduced walking speed when compared to control subjects, specially caused by dyspnea and a lower ventilatory efficiency. In spite of a similar C between groups, the COPD subjects presented an inferior rehabilitation index, therefore suggesting that their pendulum-like mechanism is not optimal at VAS. Furthermore, besides a walking economy with no differences

between groups, minimal impairments were found for dynamic stability in COPD group. Therapies that treat ventilatory comfort are a potential tool to improve locomotion of COPD subjects.

Key-words: COPD – walking economy – self-selected walking speed – locomotion

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Pontuação do índice de BODE	21
Figura 1 - Interação dos três principais fatores da intolerância ao exercício em pacientes com DPOC e suas consequências.....	22
Figura 2 - Desenho experimental.....	34
Figura 3 - Custo de transporte, eficiência ventilatória e ventilação, em função da velocidade relativa de caminhada.....	42
Figura 4 - Frequência de passada e comprimento de passada em função da velocidade relativa de caminhada.	43
Figura 5 - Coeficiente de variação em função da velocidade relativa de caminhada.....	44
Figura 6 - Escala de BORG para fadiga de membro inferior e escala de BORG para sintoma de dispnéia em função da velocidade relativa de caminhada.	45
Figura 7 - Principais correlações do C e da VAS.	47
Figura 8 - Principais correlações clínicas.	Erro! Indicador não definido.
Figura 9 - Correlação do CoV com o C e com a VAS.	48
Figura 10 - Correlação do índice de reabilitação em função da velocidade autosselecionada, do volume expiratório forçado no primeiro segundo e do consumo de oxigênio de pico.	58
Figura 11 - Gráficos do Custo de transporte e da Eficiência ventilatória ambos em função da velocidade relativa..	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 7.1 - Caracterização da amostra	40
Tabela 7.2 - Variáveis do TCPE	41
Tabela 7.3- Escala de Borg	44
Tabela 7.4 - Avaliação do C em <i>isovelocidade</i> e na VAS	45
Tabela 7.5- Parâmetros para avaliação clínica	46
Tabela 9.6 - Caracterização da amostra	68
Tabela 9.7 - Avaliação em isovelocidade	71
Tabela 10.8 - Principais dados de caracterização da amostra	83
Tabela 10.9 - Variáveis espaço-temporais da marcha	83
Tabela A.10 - Parâmetros metabólicos e ventilatórios	107
Tabela A.11 - Parâmetros espaço-temporais	108

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. O problema e sua importância	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1. Caracterização da doença pulmonar obstrutiva crônica.....	20
2.2. Fisiopatologia da DPOC no exercício	21
2.3. Mecânica e energética da caminhada.....	25
2.4. Determinantes do custo de transporte da caminhada.....	26
3. HIPÓTESES	29
4. JUSTIFICATIVA	30
5. OBJETIVOS	31
5.1. Objetivo geral	31
5.2. Objetivos específicos	31
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
6.1. Delineamento da pesquisa	32
6.2. Amostra.....	32
6.2.1. Critérios de inclusão.....	33
6.2.2. Critérios de exclusão	33
6.3. Desenho experimental.....	33
6.3.1. Teste de exercício cardiopulmonar (TECP).....	34
6.3.2. Análise do consumo de oxigênio de pico.....	35
6.3.3. Avaliação do custo de transporte	35
6.3.4. Análise do custo de transporte	36
6.3.5. Análise da velocidade autosselecionada e do índice de reabilitação teórico	37
6.3.6. Cinemetria	37
6.3.7. Análise da cinemetria	38
6.4. Análise estatística	38

7. RESULTADOS	40
7.1. Caracterização da amostra	40
7.2. Variáveis metabólicas	41
7.3. Parâmetros espaço-temporais	42
7.4. Escala de BORG	44
7.5. Avaliação em <i>isovelocidade</i>	45
7.6. Índice de reabilitação e velocidade autosselecionada.....	46
7.7. Correlação das principais variáveis clínicas	47
8. DISCUSSÃO	49
8.1. Parâmetros metabólicos	49
8.2. Parâmetros espaço-temporais	51
8.3. Escala de BORG	54
8.4. Avaliação em <i>isovelocidade</i>	55
8.5. Variáveis mecânicas e sua importância clínica.....	57
8.6. Limitações do estudo	59
9. ARTIGO 1	61
10. ARTIGO 2	77
11. CONCLUSÃO.....	89
12. CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
13. REFERÊNCIAS	91
Apêndices	97
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	97
FOLHA DE COLETA 1: Teste de Exercício Cardio Pulmonar.....	103
FOLHA DE COLETA 2: Avaliação do Custo de Transporte	104
CARTA DE ACEITAÇÃO DO CEP	106
ANEXO	107

1. INTRODUÇÃO

1.1. O problema e sua importância

A Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) tem como principais sintomas a limitação crônica ao fluxo aéreo e a dispneia^{1, 2}. O paciente com DPOC também pode apresentar alterações extrapulmonares, como disfunção da musculatura esquelética periférica, perda de massa corporal associada à sarcopenia, insuficiência ventricular direita, osteoporose, depressão, ansiedade, assim como algumas anormalidades nutricionais^{1, 3, 4}. Essas alterações dificultam a realização de suas atividades de vida diária (AVDs), como, por exemplo, limpar a casa, estender roupa, cuidar do jardim, tomar banho, trabalhar, entre outras⁴. Logo, essa série de complicações decorrentes da doença acaba por comprometer a sua qualidade de vida^{1, 2, 3, 4}.

Dessa forma, a caminhada desses indivíduos acometidos pela DPOC também está prejudicada, pois, ao realizarem alguma atividade física, a limitação ventilatória se torna mais evidente^{4, 5}. Isso ocorre porque, durante o exercício, a razão respiratória desperdiçada no espaço morto aumenta, assim como a demanda metabólica e ventilatória para liberação do dióxido de carbono (CO₂), resultando em uma acidose láctica precoce^{1, 4}. Como consequência, ocorre a hiperinsuflação pulmonar dinâmica (HD, que se refere ao maior aprisionamento aéreo)^{1, 4, 6}, além de suprimento energético inadequado à musculatura locomotora e respiratória^{1, 4, 7}, resultando em alteração da mecânica respiratória⁶ e fraqueza dos músculos periféricos^{1, 4, 7, 8}.

Em um estudo realizado por Louvaris e colaboradores (2013), foi observado que a intensidade de caminhada adotada pelo paciente com DPOC é um aspecto importante, pois indica o seu comportamento em relação às atividades físicas em sua vida. O estudo aponta que, durante exercício em esteira, um dos fatores que está diretamente relacionado com a intensidade de caminhada é a disponibilidade de oxigênio (O₂)⁵. Sabe-se que a intensidade da caminhada adotada por pacientes com DPOC entre os estágios II e III normalmente corresponde a 1,88 m.s⁻², um valor de 17 a 33% menor em relação aos indivíduos saudáveis da mesma idade⁵.

A velocidade usual de caminhada, ou velocidade autosselecionada (VAS), foi relatada em um estudo com pacientes com DPOC como igual a 2,88 km.h⁻¹(0,8 m.s⁻¹)⁹, e possivelmente equivalente à velocidade adotada em AVDs. Os autores não referiram a intensidade da caminhada, contudo, pode-se inferir que corresponda à intensidade de 1,88 m.s⁻², relatada no estudo mencionado anteriormente⁵. Em concordância, foi demonstrado que pacientes com DPOC apresentam velocidade de caminhada e

frequência de mudanças posturais diárias (ato de levantar, sentar, por exemplo) diminuídas em relação aos idosos saudáveis¹¹. Além disso, foi observada importante correlação da VAS com importantes desfechos clínicos da DPOC, que demonstraram que, quanto maior a gravidade da doença, menor a velocidade de caminhada adotada pelo paciente em seu cotidiano¹².

Com base nas distâncias do teste de caminhada de seis minutos (TC6) descritas por alguns estudos^{5, 10, 11, 13, 14, 15}, observa-se que, para a realização do teste, a velocidade média adotada pelos pacientes com DPOC está entre 3,59 km.h⁻¹ e 4,64 km.h⁻¹, ao passo que para indivíduos saudáveis a velocidade média é de 5,52 km.h⁻¹ (10). O objetivo do TC6 é avaliar a capacidade funcional^{1, 3, 14, 15}. Contudo, os indivíduos são orientados a percorrer a maior distância possível com velocidade máxima sem correr^{1, 3}, e, portanto, essas velocidades não são as escolhidas para a realização de AVDs, mas também servem como ferramenta para avaliar o prognóstico do paciente^{12, 15}.

Uma variável relevante na área da locomoção e que possivelmente se correlacionaria com o nível de atividade física dos pacientes é o custo de transporte da caminhada (C)¹⁶. O C é um indicador da economia de movimento, pois expressa o consumo energético relativo ao peso corporal para percorrer uma unidade de distância^{16, 17}. Logo, o indivíduo mais econômico será aquele que despense menor quantidade de energia metabólica para caminhar uma determinada distância. O C leva em consideração tanto a dimensão metabólica quanto a mecânica, sendo o recíproco da eficiência de caminhada¹⁷. Outra característica importante do C é seu comportamento em relação à velocidade de caminhada. Em saudáveis, existe uma velocidade ótima (aproximadamente 4,0 km.h⁻¹), em que o indivíduo é mais econômico e que corresponde à VAS¹⁷. Essa velocidade seria, portanto, a escolhida para caminhar durante atividades da vida diária por indivíduos que não possuem nenhuma doença^{16, 17}. O aumento ou a diminuição dessa velocidade acarretam aumento do C, resultando em um gráfico com formato de “U”¹⁷.

Porém, não foram encontrados estudos que tenham sido conduzidos para mensurar o C e avaliar o seu comportamento em diferentes velocidades em pacientes com DPOC. Um estudo realizado em indivíduos com insuficiência cardíaca crônica (ICC), porém, demonstrou que a sua VAS não correspondeu à velocidade ótima¹⁶. Isso significa que os participantes desse estudo escolheram caminhar com menor cadência em uma velocidade abaixo daquela que seria a mais econômica¹⁶. Contudo, a VAS dos indivíduos com ICC coincidiu com a velocidade em que eles possuem maior eficiência

ventilatória (EV), pois, assim como indivíduos acometidos por a DPOC, eles apresentam sintomas de dispneia que limitam o exercício¹⁶. Com base nesse resultado, é possível sugerir que pacientes com DPOC possam apresentar o mesmo comportamento do C e que sua escolha por caminhar em velocidades e intensidades mais baixas^{1, 4, 11, 12} deva-se a um maior conforto ventilatório¹⁶ e, logo, a uma menor sensação de dispneia.

Em idosos saudáveis, a VAS corresponde à velocidade ótima, mas apresenta maior C quando comparada com indivíduos jovens saudáveis¹⁸. Especula-se que a caminhada menos econômica dos idosos seja resultante da maior instabilidade para execução do exercício e de uma capacidade aeróbia reduzida associada com o processo de sarcopenia, que acarreta também a fraqueza muscular^{18, 19, 20}. A estratégia adotada para estabilizar-se seria a coativação da musculatura antagonista à locomotora¹⁸. Dessa forma, a frequência de estímulos nervosos e as suas magnitudes para o recrutamento das unidades motoras é maior¹⁸. Portanto, maior quantidade de energia metabólica é utilizada durante a caminhada, resultando assim em um C aumentado¹⁸.

Outra variável que atualmente vem sendo estudada em diversas populações, principalmente por demonstrar influência no risco de quedas, é a estabilidade dinâmica^{19, 20, 21}. Adicionalmente, em um estudo recente foi apontada como fator determinante do C aumentado em pessoas que sofreram acidente vascular cerebral e em idosos saudáveis²¹. Tendo em vista que pacientes com DPOC também apresentam limitação na capacidade de exercício e fraqueza muscular^{1, 4}, é possível que possuam menor estabilidade dinâmica.

Dessa forma, nota-se que são diversos fatores, tanto metabólicos quanto mecânicos – seja no âmbito da respiração ou de marcha – que influenciam o C. Estariam essas variáveis alteradas nos pacientes com DPOC? Estariam elas tornando a caminhada dessa população menos econômicas em relação a indivíduos saudáveis? Com essas perguntas, o presente estudo se propõe a investigar o comportamento dessas variáveis até agora desconhecidas em pacientes com DPOC. Acredita-se que elas possam auxiliar no entendimento dos mecanismos envolvidos com a limitação da capacidade funcional. Assim, seria possível alcançar uma intervenção de reabilitação ou treinamento específico para pacientes acometidos por doenças crônicas como a DPOC e a ICC.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização da doença pulmonar obstrutiva crônica

A DPOC é caracterizada pela obstrução ao fluxo aéreo pulmonar e pela dispneia^{1, 2, 3, 4, 6, 7, 8}. Essas características são consequência da exposição a gases e partículas nocivas que acarretam estresse oxidativo nos pulmões^{1, 4}. Além disso, ocorre uma resposta inflamatória exagerada que resulta em destruição da elastina presente nos alvéolos pulmonares^{1, 2}. Essa alteração pode ser causada e agravada por uma série de fatores de risco, mas de 80 a 90% dos casos advêm do tabagismo¹. Com essas características, uma gama de alterações gera repercussões importantes extrapulmonares e comorbidades que contribuem para a gravidade da DPOC^{1, 2}.

Não existem critérios bem definidos para o diagnóstico e para classificação da DPOC^{1, 2, 3}. No entanto, nos livros encontramos de forma simplificada, por motivos didáticos, que a partir de uma combinação do resultado de teste de espirometria e sensação de dispneia relatada pelo paciente a DPOC pode ser classificada em quatro estágios^{1, 2, 4}. A espirometria caracteriza-se por uma manobra de expiração tão intensa quanto possível, antecedida por uma inspiração profunda²². Desse teste advêm variáveis importantes que quantificam a obstrução (quando houver) do fluxo aéreo, como o volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF₁) e a capacidade vital forçada (CVF), além da razão entre essas duas variáveis^{1, 2, 22}. Com isso, é possível classificar a doença em^{1, 2, 3}:

- A. DPOC leve: a razão VEF₁/CVF está menor que 0,70, e o VEF₁ é maior ou igual a 80% do previsto. O paciente apresenta tosse crônica (durante três meses consecutivos nos últimos dois anos).
- B. DPOC moderada: a razão VEF₁/CVF está menor que 0,70, e o VEF₁ é maior ou igual a 50% e menor que 80% do previsto. O paciente apresenta falta de ar desenvolvida pelo esforço.
- C. DPOC grave: a razão VEF₁/CVF está menor que 0,70, e o VEF₁ é maior ou igual a 30% e menor que 50% do previsto. O paciente apresenta expectoração frequente, dispneia grave e capacidade de exercício reduzida.
- D. DPOC muito grave: a razão VEF₁/CVF está menor que 0,70, e o VEF₁ é menor que 30% do previsto. O paciente apresenta insuficiência respiratória crônica e pode apresentar outras comorbidades, como insuficiência ventricular direita ou *cor pulmonale*.

Outra forma de referir a gravidade da DPOC é por meio do índice de BODE¹. A sigla em inglês se refere a *Body mass* (massa corporal), a *Obstruction* (obstrução), a *Dyspnea* (dispneia) e *Exercise* (exercício). Essa escala varia de 0 a 10, e quanto maior a pontuação, mais grave será a doença, como se pode observar no quadro 1. Os parâmetros utilizados para a pontuação são o valor de VEF₁ em percentual do previsto obtido através de espirometria, distância caminhada no TC6 em metros, pontuação obtida pelo paciente na escala de dispneia do *Medical Research Council* modificada (mMRC) e índice de massa corporal (IMC) do paciente.

Quadro 1 - Pontuação do índice de BODE

Variável	Pontos do índice de BODE			
	0	1	2	3
VEF ₁ (% do previsto)	≥65	50-64	36-49	≤35
Distância no TC6 (m)	≥350	250-349	150-249	≤149
Escala de dispneia MRC-modificada*	0-1	2	3	4
IMC(kg.m ⁻²)	>21	≤21		

*Escala de dispneia MRC-modificada (mMRC):

0. Dispneia a exercícios intensos.
1. Dispneia andando rápido no plano ou subindo ladeiras leves.
2. Caminha mais devagar do que as pessoas da mesma idade devido à dispneia, ou precisa parar para respirar caminhando normalmente no plano.
3. Precisa parar para respirar após caminhar 90 metros ou alguns minutos no plano.
4. Não sai de casa devido à dispneia.

Adaptado de Correa da Silva, cap. 44., p.399, 2012¹

Os sintomas advindos da DPOC impactam a vida do paciente, pois a falta de ar e a intolerância ao exercício limitam suas AVDs^{4, 5, 11}. Dessa forma, o paciente restringe suas atividades e se torna cada vez mais sedentário⁴. O sedentarismo, por sua vez, gera ainda mais dispneia e dificuldade de executar tarefas simples, como se vestir e tomar banho⁴. Isso faz com que o paciente entre em ciclo dispneia-sedentarismo-dispneia, que impacta fortemente a sua qualidade de vida⁴.

2.2. Fisiopatologia da DPOC no exercício

A principal característica clínica da DPOC é a intolerância ao exercício^{1, 4}. Ainda não se tem total clareza do principal mecanismo que limita os pacientes com DPOC na realização de atividades físicas^{1, 4}. As principais queixas, ao final de um teste de esforço máximo ou mesmo submáximo, são a dispneia e a fadiga de membros inferiores⁴. Com base nos sintomas relatados pelos pacientes e pela observação do comportamento dos parâmetros fisiológicos ao longo do exercício, são ressaltados na

literatura três principais fatores que contribuem para intolerância ao exercício^{1, 4}: (1) a HD⁶; (2) o suprimento inadequado para as musculaturas respiratória e locomotora⁸ e (3) a disfunção da musculatura de membros inferiores⁷. Devido à heterogeneidade da fisiopatologia dessa doença, somada aos efeitos concomitantes do envelhecimento no desempenho de atividades físicas e a existência de várias comorbidades, o mecanismo de intolerância ao exercício necessariamente será complexo e multifatorial⁶. Por isso, torna-se difícil saber qual destes fatores é a causa primária, mas sabe-se que todos entram em cena, e a interação entre eles se torna mais complexa com a progressão da doença¹.

A interação de todos os fatores, independentemente de serem os centrais (HD, dispneia, ventilação) ou os periféricos (atrofia, fraqueza e fadiga muscular), gera essa intolerância ao exercício⁷, e acarreta em prejuízos na capacidade funcional de pacientes acometidos pela DPOC^{1, 4, 8}. Esse cenário complexo e multifatorial está esquematizado na figura 1. Ela apresenta alguns pontos-chaves e demonstra a dificuldade de definir com maior clareza qual dos fatores é o primário para intolerância ao exercício nessa população.

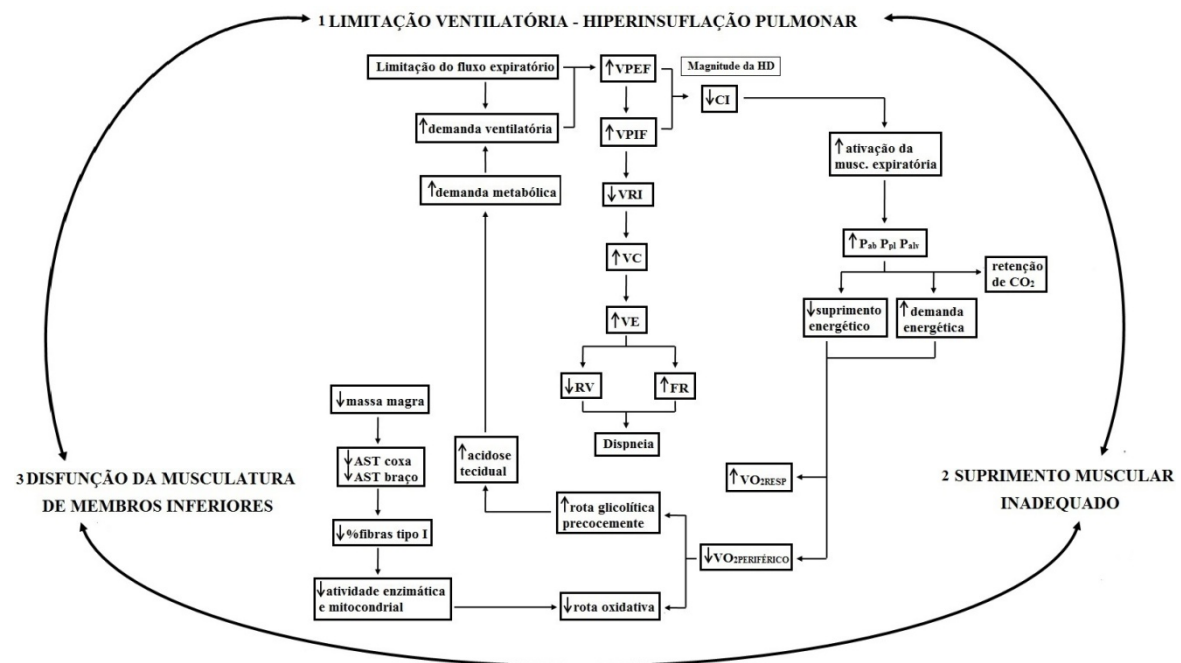


Figura 1 - Interação dos três principais fatores da intolerância ao exercício em pacientes com DPOC e suas consequências.

A HD é uma alteração característica da DPOC e pode ser entendida como aprisionamento aéreo nos pulmões^{1, 4, 6}. Isso significa que a habilidade do paciente de aumentar a ventilação (VE) está seriamente comprometida⁶. Em diversos casos, também pode ocorrer com o paciente em situação de repouso, em decorrência da obstrução ao

fluxo expiratório^{4, 6, 7, 8}. Quando o paciente se exercita, esse quadro tende a piorar, e a sua mecânica ventilatória se altera na tentativa de suprir as demandas energéticas e ventilatórias que aumentam em função do exercício⁶. A obstrução ao fluxo aéreo dificulta o esvaziamento pulmonar, o que resulta em aumento do volume pulmonar expiratório final (VPEF). Porém, com o exercício, o volume corrente (VC) deve aumentar. Para que isso ocorra, o volume pulmonar inspiratório final (VPIF) também aumenta, e, com ele, a ventilação (VE). Esses dois acontecimentos fazem com que o volume de reserva inspiratório (VRI) diminua e a frequência respiratória (FR) aumente. A alteração dos volumes pulmonares é a principal característica da HD^{1, 4, 6}.

Durante o teste de exercício de rotina, dificilmente se consegue mensurar os volumes pulmonares específicos. Observa-se então a limitação ventilatória a partir da diminuição da reserva ventilatória (RV) e da capacidade inspiratória (CI)^{1, 4}. A RV diminuída ou ausente dos pacientes com DPOC pode ser observada na razão entre a VE e a estimativa da ventilação voluntária máxima (VVM)^{1, 4}. Quanto mais próximos são os valores dessas variáveis, mais próximo da sua ventilação máxima o paciente realizou o exercício¹. A RV está diminuída quando essa razão está maior ou igual 0,80 ou 80%¹. A mensuração da CI durante o teste de exercício pode ser realizada de maneira seriada, e a sua diminuição vai representa a magnitude da HD, pois a sua queda está intimamente relacionada ao aumento do VPEF e do VPIF^{1, 4}.

Somando-se a esses acontecimentos, a alteração da mecânica ventilatória acarreta maior consumo energético para respirar. Portanto, a demanda dessa musculatura aumenta e gera uma competição pelo aporte sanguíneo com a musculatura locomotora. Alguns estudos mostram que o consumo de oxigênio da musculatura respiratória (VO_{2RESP}) está aumentado em pacientes com DPOC^{7, 8}. Os valores normais variam de 1 a 3 $mlO_2.l^{-1}$, enquanto nos pacientes pode variar de 3 a 19,5 $mlO_2.l^{-1}$ (8). Dessa forma, o VO_{2RESP} pode corresponder a pelo menos um terço do consumo de oxigênio máximo ou de pico para realização do exercício (VO_{2PICO})^{4, 8}. Com isso, a quantidade de oxigênio disponível para a musculatura locomotora e para os demais tecidos (subtração do VO_{2RESP} do VO_{2PICO}) é reduzida⁸. Por esse motivo, Aliverti (2008) defende que o principal fator que gera intolerância ao exercício nos pacientes com DPOC é o suprimento inadequado às musculaturas respiratória e locomotora⁸. Com a diminuição da oferta de oxigênio, a musculatura locomotora utiliza a via metabólica glicolítica antecipadamente para a produção de energia^{7, 8}. Com isso, ainda em baixas intensidades, o músculo produz lactato e acumula fosfato inorgânico, acarretando

acidose muscular precoce⁸. Somando o fato de a musculatura respiratória recrutar grande parte do VO_{2PICO} e presumindo que demande a mesma proporção do débito cardíaco, a musculatura locomotora deve estar bastante isquêmica⁸. Esse cenário acarreta, portanto, fadiga de membros inferiores.

Desses últimos acontecimentos relatados, existe uma segunda interpretação. De acordo com Debigare (2008), ocorrem alterações na musculatura periférica dos pacientes com DPOC, causadas por uma gama de fatores, e são essas alterações que geram a alteração metabólica e limitam os pacientes com DPOC no desempenho de exercício físico⁷. O emagrecimento com consequente sarcopenia, descondicionamento físico por inatividade, inflamação sistêmica, estresse oxidativo, distúrbios na troca gasosa e uso de corticóides são fatores^{1, 4, 7} que causam mudanças na morfologia e na bioenergética, ocasionando disfunção dos músculos periféricos de pacientes com DPOC^{4, 7}.

Entre os pacientes com DPOC existe uma alta prevalência de atrofia muscular, que se mostrou presente inclusive naqueles cujo peso corporal estava dentro do esperado⁷. Por isso, quando comparados com indivíduos da mesma idade e do mesmo gênero, mas que não possuem a doença, os pacientes com DPOC apresentam fraqueza muscular periférica, uma vez que essa condição está relacionada com a massa magra^{4, 7}. Além disso, os pacientes apresentam menor resistência muscular em exercícios para membros inferiores e maior suscetibilidade a fadiga dessa musculatura⁷. Essa alteração está correlacionada com o prejuízo na capacidade de exercício e com as menores cargas de trabalho alcançadas em testes de exercício máximo^{4, 7}.

O menor percentual de massa magra corporal que estão relacionadas à menor área de secção transversal (AST) muscular tanto da coxa quanto do braço⁴. Esta última característica está relacionada ao menor percentual de fibras do tipo I. Por outro lado, quando comparados com indivíduos saudáveis, apresentam maior percentual das fibras do tipo IIb, o que justifica a maior fadiga da musculatura periférica que acomete os pacientes durante o exercício^{4, 7}. Isso sugere a existência de um déficit de proteínas contráteis, responsáveis tanto pela atrofia quanto pela fraqueza muscular, contribuindo dessa forma para intolerância ao exercício⁷. Além disso, essas mudanças energéticas e estruturais que acontecem em decorrência da DPOC⁴, envolvem também redução da proporção da cadeia pesada de miosina e diminuição da atividade oxidativa enzimática⁷, que, por sua vez, é um forte determinante da capacidade aeróbica^{4, 7}.

Os danos na capacidade funcional dos pacientes são evidenciados na prática clínica pelo menor VO_{2PICO} ^{1, 4, 6, 7, 8, 12} e pela menor distância percorrida no TC6^{1, 3, 4, 14, 15}. Essa perda funcional acarreta menores níveis de atividade física diária^{1, 2, 3, 4, 5, 11}, que se traduz em menor qualidade de vida, mortalidade e maior necessidade de frequentar centros de cuidado à saúde^{1, 4, 7}.

2.3. Mecânica e energética da caminhada

A caminhada pode ser representada pelo modelo conceitual do pêndulo invertido^{17, 23}. Esse modelo explica que, durante a caminhada, existem trocas entre energias mecânicas no centro de massa que auxiliam na manutenção do movimento de progressão do caminhar^{17, 23}. Dessa forma, a energia produzida pela musculatura está relacionada ao quão eficiente é a troca entre energia potencial e cinética¹⁷. Com isso, esse modelo conceitual deu origem a uma variável conhecida como índice de *Recovery*¹⁷. Esse parâmetro permite a quantificação da percentagem das trocas entre as energias mecânicas no centro de massa¹⁷ e, quanto maior essa reconversão, menor a necessidade de os músculos propulsores da caminhada produzirem energia metabólica para manter o corpo em movimento²⁴.

Como mencionado anteriormente, existe uma velocidade ótima de caminhada em que o custo de transporte (C) é menor, e, logo, é a velocidade em que está mais otimizada¹⁷, ou mais efetiva²⁴, a reconversão entre as energias no centro de massa^{17, 24}. Dessa forma, o C é uma variável híbrida que não é somente metabólica e nem apenas mecânica. Ele indica a quantidade de energia necessária para percorrer determinada distância^{16, 17, 18}, expressando, portanto, a ideia de economia de energia metabólica durante a caminhada, que está relacionada com a eficiência mecânica do movimento^{17, 18, 24}. Isso quer dizer que quanto maior a percentagem de reconversão de energia mecânica, menor quantidade de energia metabólica será despendida pelos músculos, e isso pode ser representado de forma simplificada através do C¹⁸.

Além disso, sabe-se que em pessoas saudáveis esses mecanismos estão mais otimizados na velocidade autosselecionada (VAS)¹⁷ de caminhada. Isso significa que, nesses indivíduos, a VAS corresponde à velocidade ótima, em que se encontra o menor C^{16, 17, 18}. Se o C for mensurado em velocidades acima ou abaixo da VAS, seu valor será maior¹⁷. Assim sendo, ao se construir um gráfico com os valores de C em função da velocidade de caminhada, observar-se-á um gráfico em formato de “U”, cujo valor corresponde à velocidade ótima^{17, 24, 25}, e em indivíduos saudáveis também à VAS¹⁷.

2.4. Determinantes do custo de transporte da caminhada

Os mecanismos acima descritos são bem estabelecidos para jovens saudáveis^{17, 23, 24}, sem comprometimentos neurológicos nem disfunção musculoesquelética. Contudo, quando o C se mostra aumentado em pessoas idosas^{18, 26}, indivíduos hemiparéticos²⁷ e pacientes com ICC¹⁶, existem diversos fatores que podem impactar e deteriorar o mecanismo do pêndulo invertido, influenciando o custo energético para caminhar²¹.

O processo de envelhecimento acarreta alguns prejuízos na caminhada de idosos²⁸. A sarcopenia muscular faz com que esses indivíduos percam volume e força muscular. Com isso, a estabilidade dinâmica local e global durante a caminhada pode estar diminuída^{19, 21, 27, 28}. A estabilidade dinâmica é a habilidade de manter uma locomoção funcional, mesmo com pequenos distúrbios, reduzindo o risco de queda^{21, 29}. A estabilidade dinâmica pode ser expressa de forma local, referente a uma articulação durante o movimento^{27, 30}, ou global, correspondente aos principais desfechos da marcha^{21, 28}. Os estudos citados referentes à estabilidade local foram realizados com indivíduos hemiparéticos após AVC^{27, 30}, e os dados aplicam-se a essa população. Por isso, a estabilidade dinâmica neste trabalho será referente à estabilidade dinâmica global.

Na tentativa de corrigir ou compensar os mecanismos que levam a maior instabilidade, adaptações neuromusculares e de mecânica da marcha são realizadas^{20, 28}. Mian e colaboradores¹⁸, em seu estudo comparando idosos e jovens saudáveis, levantaram e comprovaram a hipótese de que para estabilizar as articulações de membros inferiores, e conseqüentemente a marcha de forma geral, pessoas idosas contrairiam mais musculaturas antagonistas ao movimento da caminhada, isto é, se utilizaram da coativação muscular ao tentar reproduzir uma marcha mais estável. Isso acarreta, contudo, maior custo metabólico para caminhar¹⁸.

Além disso, foi observado que a caminhada de pessoas acima de 75 anos de idade é mais lenta com passos mais curtos e de maior largura^{19, 20}. Os autores indicam que essa possa ser uma adaptação mecânica advinda do sistema sensorial ou motor para tornar a marcha mais segura, ou seja, mais estável²⁰. O estudo ainda pôde observar o mesmo comportamento em pessoas com multimorbidades, sugerindo que não só o processo de envelhecimento, mas também doenças podem influenciar no mecanismo da marcha²⁰. Somando-se a isso, a mensuração de parâmetros cinemáticos espaço-temporais, como o tempo e o comprimento de passada (CP), está relacionada ao

histórico e ao risco de quedas^{20, 28}. A variabilidade de parâmetros passada-a-passada, inclusive, é utilizada como indicador indireto da magnitude da estabilidade, visto que, quanto mais esses parâmetros se alteram de uma passada para a seguinte, menos estável será a caminhada²⁸.

Os principais achados na literatura apontam a existência de um aumento da estabilidade da marcha com o aumento da velocidade de caminhada³¹. Contudo, não há um consenso sobre qual desses parâmetros é o melhor para representar a estabilidade dinâmica¹⁹. Da mesma forma, nem todos os estudos mostram que a marcha se torna mais instável com o avançar da idade¹⁹. Em um estudo realizado por Oliveira e colaboradores²¹, foi observado que a estabilidade dinâmica da caminhada, além de ser menor em velocidades mais baixas de caminhada, também é menor em pacientes com hemiparesia do que em pessoas contemporâneas. Os autores sugerem que esse achado possa ser indicador adicional para o C aumentado²⁷ tanto nos pacientes quanto em idosos saudáveis nas baixas velocidades de caminhada²⁶.

Não foram encontrados estudos que mensurassem as variáveis cinemáticas em pacientes com DPOC. Contudo, da mesma forma que idosos saudáveis em relação à jovens²⁶, os pacientes com DPOC possuem velocidade usual de caminhada diminuída em comparação aos seus controles¹². Além disso, esses parâmetros foram relacionados, como mencionado anteriormente, ao controle do equilíbrio e ao risco de queda tanto em pacientes hemiparéticos^{27, 30} quanto idosos saudáveis^{28, 32}. As duas últimas características citadas foram observadas em pacientes com DPOC^{33, 34}. Estudos realizados nesses pacientes apontam maior suscetibilidade a quedas, associadas à percepção de dispneia aumentada^{35, 36}.

Além de fatores mecânicos que estão relacionados ao C da caminhada, existem outros fatores que podem influenciar essa variável. No estudo de Figueiredo e colaboradores, os pacientes com ICC apresentaram, além de menor VAS em relação a indivíduos saudáveis, maior C para locomover-se nesta velocidade¹⁶. Soma-se a isso o fato de a velocidade ótima não corresponder à VAS¹⁶ para esses pacientes, como se costuma observar em indivíduos saudáveis¹⁷. Por outro lado, os pacientes com ICC apresentaram seu maior valor de EV (estimada a partir da razão ventilação – VE, sobre volume de CO₂ espirado – VCO₂) na VAS¹⁶. Com esse resultado, os autores concluíram que, nessa população, a escolha pela velocidade de caminhada se dá pelo conforto ventilatório¹⁶. Portanto, o C provavelmente é aumentado nos pacientes com

ICC pelo maior esforço para respirar, demonstrado pela menor EV, além de possíveis prejuízos no mecanismo do pêndulo invertido¹⁶.

Logo, existem diversas variáveis que podem influenciar o C nas diferentes populações. Eles vão desde parâmetros metabólicos ou mecânicos, sejam relativos à respiração ou à marcha, até alterações específicas de cada doença crônica que podem impactar o C^{16, 21}. Ainda não está claro o funcionamento dos mecanismos que acarretam o C aumentado encontrado em estudos anteriores^{16, 27}. No entanto, certamente existe uma interação complexa dos mecanismos em cada doença que determinam o C. Na DPOC, ainda não se sabe o comportamento dessa variável, mas espera-se que apresente um comportamento parecido ao das outras doenças estudadas.

3. HIPÓTESES

1. Os pacientes com DPOC caminham velocidades mais baixas em relação aos indivíduos controles e apresentam maior custo de transporte para se locomover.
2. A velocidade autosseleccionada dos pacientes com DPOC não corresponde a velocidade ótima de caminhada, contudo equivale a velocidade de maior eficiência ventilatória.
3. A estabilidade dinâmica nos pacientes com DPOC é prejudicada podendo ser um fator contribuinte para o maior custo de transporte e para o maior risco de quedas referido para essa população.

4. JUSTIFICATIVA

A importância desse estudo está nas lacunas encontradas na literatura em relação ao impacto da fisiopatologia da DPOC na marcha desses pacientes e, portanto, na sua habilidade de se locomover. A caminhada é uma atividade funcional de extrema importância, e o seu comprometimento influencia a qualidade de vida do paciente. Além disso, os prejuízos são reflexos da intolerância ao exercício, que, por sua vez, é a principal característica clínica da DPOC. Essas variáveis são tradicionalmente estudadas na área da locomoção humana em indivíduos saudáveis, e o conhecimento de como se comportam nos pacientes com DPOC pode auxiliar no entendimento dos mecanismos que causam a limitação ao exercício.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo geral

Analisar a VAS e o comportamento do C em diferentes velocidades da caminhada de pacientes com DPOC e comparar esses dados com os de indivíduos saudáveis.

5.2. Objetivos específicos

- 1) Determinar e comparar o custo de transporte, a eficiência ventilatória, a escala de Borg, a frequência e o coeficiente de passada e o coeficiente de variação da FP entre pacientes com DPOC e indivíduos sem a doença.
- 2) Correlacionar os principais desfechos estudados com variáveis clínicas da DPOC.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Delineamento da pesquisa

A pesquisa é um estudo transversal de amostragem por conveniência. Os pacientes selecionados deveriam estar entre os estágios da DPOC B e D, de acordo com o preconizado pela GOLD³. Portanto, o VEF₁ deveria ser menor que 80% do previsto, assim como razão entre VEF₁ e CVF menor que 70%. Para o grupo controle (GC), foram selecionados indivíduos sem a doença pareados com os pacientes por gênero e idade (individualmente). Os grupos foram comparados quanto aos resultados das avaliações.

As avaliações foram divididas em dois dias: primeiro um teste de exercício cardiopulmonar (TECP) e mensuração de massa corporal, estatura e comprimento do membro inferior esquerdo (CMI, do trocanter maior do fêmur até o calcanhar); e depois de um intervalo mínimo de 72 horas era realizada a avaliação do C. Ambos os protocolos foram realizados no Laboratório de Fisiologia do Exercício e de Função Pulmonar (LAFEP), localizado no Serviço de Pneumologia do HCPA. O convite para participação foi realizado anteriormente em consulta no ambulatório de Doença Pulmonar Obstrutiva, do serviço de pneumologia do HCPA para os participantes do grupo com DPOC. O GC foi constituído por indivíduos que fizeram parte de outros estudos do grupo de pesquisa *Locomotion*, e foram convidados a participar por ligação telefônica.

6.2. Amostra

A amostra contém 22 indivíduos, selecionados por voluntariedade. Eles foram separados em dois grupos: os pacientes com DPOC (GDPOC, n=11), e os controles (GC, n=11), formado por indivíduos sem a doença.

Para o cálculo amostral, foi considerada uma diferença de 20% entre o grupo de casos e o GC com poder estatístico de 80% e nível de significância de 5%. O tamanho da amostra foi baseado nos dados do estudo de Borghi-Silva e colaboradores (2012), a partir dos valores de VO₂PICO, uma vez que não foram encontrados estudos com C de pacientes com DPOC. Dessa forma, optou-se por utilizar o VO₂PICO, pois também é uma variável metabólica de gasto energético¹³. O programa estatístico utilizado foi Winpepi.

6.2.1. Critérios de inclusão

Os critérios de inclusão serviram tanto para o GC quanto para o GDPOC, com exceção dos tópicos que se referem à doença de estudo.

- Não ser fumante a no mínimo um ano.
- Não haver outras doenças respiratórias, metabólicas e cardiovasculares associadas.
- Não haver lesões ortopédicas, neurológicas ou outras malignidades que comprometam o exercício.
- Não haver participado de algum programa de reabilitação nos últimos seis meses.
- Haver estabilidade da doença – analisada através do prontuário do paciente junto ao médico responsável, o paciente não deveria ter tido alterações na dosagem da medicação ou exacerbações dos sintomas da doença três meses antes da participação.

6.2.2. Critérios de exclusão

Da mesma forma que os critérios anteriores, estes serviram tanto para participantes do GC quanto do GDPOC, com exceção aos tópicos referentes à DPOC.

- Apresentar doenças cardiovasculares, metabólicas ou outras doenças respiratórias.
- Conseguir caminhar durante pelo menos cinco minutos na esteira na sua VAS.
- Haver exacerbações ou resfriados recentes.

6.3. Desenho experimental

Para a realização deste estudo, foram necessários ao menos dois encontros com os participantes do estudo, como apresentado na figura 2. No caso dos indivíduos pertencentes ao GC, o primeiro contato era realizado por telefone, diferentemente dos pacientes com os quais o primeiro contato era realizado na consulta ambulatorial após revisão do prontuário. Na primeira visita ao LAFEP, o pesquisador responsável era explicado ao participante sobre o que se tratava a pesquisa, quais eram os testes que seriam realizados, assim como quais seriam os benefícios e os riscos da participação no estudo. Era entregue, assim, o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE, apêndice), em que o pesquisador sanava qualquer dúvida que o participante pudesse ter

a respeito da pesquisa. A segunda visita ao laboratório era dedicada especialmente para avaliação da VAS e do C.

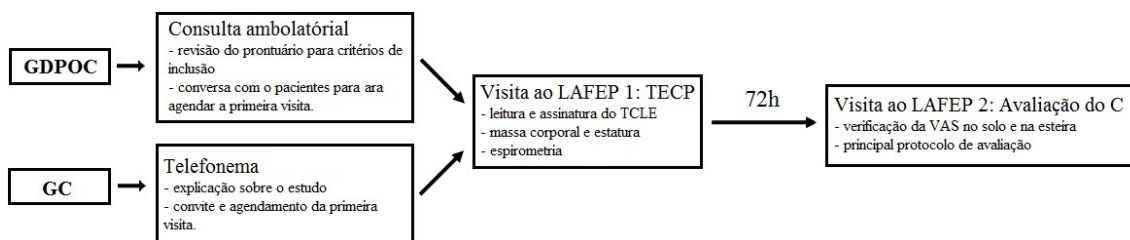


Figura 2 - Desenho experimental.

6.3.1. Teste de exercício cardiopulmonar (TECP)

Antes da realização do protocolo propriamente dito, o participante lia e assinava o TCLE e, em seguida, era realizada uma anamnese completa a fim de saber o histórico de doenças e medicamentos do sujeito. Posteriormente, eram mensuradas a pressão arterial do indivíduo sentado, na balança, sua massa corporal, e, com um estadiômetro, a estatura do participante. Além disso, era realizada uma prova de função pulmonar (espirometria, exclusivamente em participantes do GC) segundo as recomendações da ATS. Por fim, era realizado o primeiro protocolo, o TECP.

O teste cardiopulmonar incremental máximo era executado em esteira rolante (INBRAMED 10200, Porto Alegre, Brasil), utilizando protocolo de rampa. Inicialmente, era questionado ao participante se havia caminhado sobre esteira em alguma outra oportunidade. Caso não houvesse, antes da colocação dos eletrodos para o eletrocardiograma (ECG), era realizada uma familiarização que durava entre cinco e sete minutos em velocidade baixa de 2 a 4 km.h⁻¹ dependendo do sujeito.

Primeiramente, era realizada a verificação dos principais sinais (consumo de oxigênio, VO₂; frequência cardíaca, FC; saturação periférica de O₂, SpO₂) em repouso durante 2 minutos, em posição ortostática em cima da esteira. O teste iniciava com um aquecimento a 2 ou a 2,5 km.h⁻¹. A velocidade inicial era igual a 2,5 ou 3 km.h⁻¹, e a inclinação era de 1%. A cada minuto, era acrescentado mais 0,5 ou 1 km.h⁻¹, até que se alcançassem 4, 5 ou 6 km.h⁻¹. Dessa velocidade em diante, eram realizados incrementos na inclinação de 3% a cada minuto (4%, 7%, 10% e assim por diante). O acréscimo na velocidade e a velocidade em que começavam os incrementos na inclinação dependiam da gravidade da DPOC. Para os indivíduos do GC, o protocolo utilizado foi aquele com velocidade final de 6 km.h⁻¹ com acréscimos de 1 km.h⁻¹ até essa velocidade. Todos os protocolos máximos foram realizados na presença de um médico vinculado ao serviço

de pneumologia, para monitoração do ECG e para caso ocorresse alguma intercorrência durante o teste.

Assim, avaliaram-se as variáveis metabólicas a cada respiração com o analisador de gases Jaeger Oxycon (CareFusion Corporation, Alemanha). A FC máxima foi determinada por ECG de 12 derivações. Ao longo de todo o protocolo, a SpO₂ foi monitorada por um oxímetro de pulso, inclusive para os participantes do GC. Além disso, havia um pesquisador responsável por anotar o protocolo realizado, assim como os valores de SpO₂, FC, velocidade e inclinação da esteira a cada minuto (apêndice – folha de coleta dois: TECP).

6.3.2. Análise do consumo de oxigênio de pico

A principal variável advinda do teste anteriormente descrito foi o VO_{2PICO} para caracterizar a amostra e avaliar a capacidade de exercício dos participantes. Para obtenção desse valor, era construído um gráfico do VO₂ ao longo do tempo, com a informação registrada pelo pesquisador, para constatar o valor de pico. Ainda, desse período, eram anotados também a taxa de troca respiratória (RER) e a ventilação de pico (VE_{PICO}).

Para cada sujeito, foi estimada a sua ventilação voluntária máxima (VVM) com a seguinte fórmula³²:

$$(1) \quad VVM = VEF_1 \times 37,5$$

Em que VEF₁ é o volume expiratório forçado em litros. Para todos os participantes, foi calculada a razão entre a VE_{PICO} e a VVM:

$$(2) \quad (VE_{PICO} \div VVM) \times 100$$

Essa razão pode indicar disfunção ventilatória, pois quanto mais próxima de 100%, menor a RV¹.

6.3.3. Avaliação do custo de transporte

A avaliação do C iniciava com a verificação da velocidade em que o sujeito costuma caminhar durante sua vida diária, a VAS. Era solicitado que o indivíduo caminhasse em uma velocidade confortável em um corredor de 15 metros três vezes. Essa distância foi dividida pelo tempo necessário para percorrê-la mensurado com um cronômetro, e foi realizada uma média dos três tempos. O resultado é uma estimativa da VAS no solo de cada sujeito. Em seguida, essa velocidade era testada na esteira rolante, e servia novamente como uma familiarização. A partir do *feedback* dado pelo participante, era ajustada a velocidade de caminhada. Foi observado que, ao caminhar

na esteira, os indivíduos diminuam a sua a VAS em aproximadamente 1 km.h^{-1} ⁽¹⁶⁾. Com a informação da VAS na esteira rolante eram definidas as outras quatro velocidades, 20 e 40% acima e abaixo da VAS. Além dessas cinco velocidades, os indivíduos caminhavam em uma velocidade igual a $3,2 \text{ km.h}^{-1}$, para que se pudessem analisar todas as variáveis avaliadas em uma mesma velocidade de caminhada, chamada de *isovelocidade*.

Primeiramente, eram posicionados os marcadores reflexivos, a máscara com o analisador de gases e o oxímetro de pulso no dedo indicador esquerdo. O protocolo de caminhada iniciou com a mensuração do VO_2 em repouso com o sujeito em posição ortostática em cima da esteira. A seguir, era solicitado que o participante caminhasse 5 minutos em cada uma das seis velocidades, cuja ordem foi aleatória e sorteada antes de começar o protocolo¹⁶. O tempo de intervalo entre as velocidades foi de cinco minutos ou o suficiente para que o indivíduo atingisse FC abaixo de 100 batimentos por minutos ou valores de VO_2 próximo aos valores de repouso¹⁶. Ao final de cada velocidade caminhada, era solicitado que o participante pontuasse na escala de Borg modificada (com valores de 0 a 10, sendo 10 o maior esforço) a sua percepção de fadiga e cansaço de membros inferiores e a sensação de dispneia.

Os dados ventilatórios foram coletados durante todo o período de coleta, e foi anotado pelo pesquisador o período de caminhada e de descanso entre as velocidades, assim como a sequência das velocidades caminhada de cada participante para facilitar a posterior análise dos dados (apêndice três – folha de coleta do custo). Eram anotados também os valores de SpO_2 , FC, escala de Borg para dispneia (BORGD) e para desconforto em membros inferiores (BORGMI), assim como quaisquer observações que pudessem ser úteis para o posterior momento de análise dos dados.

6.3.4. Análise do custo de transporte

Para determinação do C, foi realizada a média dos valores dos últimos três minutos de caminhada na velocidade submáxima. Esse valor foi subtraído pela média dos últimos três minutos do VO_2 coletado em repouso. Esse valor foi então transformado em Joules (J) a partir da multiplicação pelo coeficiente de equivalente energético³⁷. Para transformar os minutos em segundo, dividiu-se o valor por 60. Por fim, esse resultado foi dividido pela velocidade de caminhada em m.s^{-1} , resultando em uma variável cuja unidade é $\text{J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$.

Além do C, foi realizada análise da VE em litros por minuto e da EV, que é a razão entre a média da VE e a média da produção de dióxido de carbono (VCO_2), para cada uma das velocidades de caminhada.

6.3.5. Análise da velocidade autosselecionada e do índice de reabilitação teórico

A velocidade autosselecionada (VAS) foi inicialmente estimada no solo e depois reproduzida na esteira. O valor final utilizado para análise e cálculo das demais velocidades foi a mensurada na esteira.

O índice de reabilitação, primeiramente referenciado no estudo de Figueiredo e colaboradores¹⁶, expressa a razão entre a VAS e a velocidade ótima de caminhada em valor percentual. Quanto mais próxima de 100%, mais econômica será a caminhada e mais otimizado estará o mecanismo pendular. Existem duas formas possíveis de se calcular essa variável. Uma delas é de forma experimental, a partir de um gráfico do C em função da velocidade de caminhada formulada para cada indivíduo. A segunda forma, utilizada neste estudo, consiste em estimar a velocidade ótima a partir do número de Froude (Fr)¹⁷. O Fr é adimensional e representa a velocidade horizontal de caminhada normalizada pelos efeitos de tamanho inter-indivíduos. Por exemplo, quando igual a 0,25 representa a velocidade mais econômica de caminhada, portanto, a velocidade ótima, independe do sujeito¹⁷. A principal variável a ser inserida na equação foi o comprimento de membro inferior (CMI), mensurado para cada um dos participantes do estudo.

$$(3) \quad Fr = \frac{v^2}{g.CMI}$$

em que v é a velocidade de caminhada, g refere-se à aceleração da gravidade (considerada igual a 9,81) e Fr é o número de Froude¹⁷.

6.3.6. Cinemetria

Durante o protocolo do C, foi realizada a aquisição de parâmetros cinemáticos a partir de uma análise bidimensional. O sistema de vídeo utilizado para a coleta das imagens era composto por uma câmera de vídeo (CASIO, Exilim FH25). A taxa de amostragem das câmeras era de 120 Hz, e o tempo de abertura das câmeras (*shutter*) foi ajustado em 1/400.

Foram utilizados três marcadores reflexivos nos seguintes pontos anatômicos no hemitórax esquerdo: maléolo lateral, quinto metatarso e calcâneo. Os marcadores foram fixados com fita adesiva dupla face (marca 3M). A câmera foi posicionada lateralmente

em relação à esteira, filmando o lado esquerdo dos participantes. Foi utilizado um holofote, posicionado no tripé da câmera, permitindo a iluminação dos marcadores reflexivos e do ambiente de coleta.

6.3.7. Análise da cinemetria

A aquisição das imagens das coletas (dos dados de posição do movimento estudado) foi realizada pelo *software Dvideow* versão 6.3 (*Digital Video for Biomechanics*; desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da UNICAMP, Campinas, Brasil). Através dele, foi registrado para cada sujeito o quadro do primeiro contato do pé com o solo (*touchdown*) e o quadro do último contato do mesmo pé com o solo (*takeoff*). Foram selecionadas as primeiras dez passadas. No software Excel (2007), foi elaborada uma rotina a partir desses valores e da taxa de amostragem da câmera para que fossem calculados o tempo de apoio, o tempo de passada, a FP e o CP. Essa última variável foi estimada através da seguinte equação:

$$(4) \quad v = CP \times FP$$

utilizada desta forma,

$$(5) \quad CP = v/FP$$

em que v é a velocidade de caminhada, em metros por segundo.

Outra variável advinda dessa análise foi o CoV. Ela serviu para caracterizar e comparar a estabilidade da marcha nos dois grupos estudados²¹. O CoV foi calculado a partir da equação:

$$(6) \quad CoV = \sigma/\mu$$

em que o σ é o desvio padrão e μ é a média da FP, calculada para cada uma das 10 passadas em cada uma das seis velocidades para cada sujeito. Essa variável foi calculada apenas para FP, pois o CP foi calculado a partir da FP e, portanto, a variação das duas foi similar.

6.4. Análise estatística

O tratamento estatístico dos dados foi realizado no software SPSS versão 20.0. A estatística descritiva com média e desvio padrão foi utilizada para apresentação dos valores das variáveis de caracterização da amostra e as estudadas. A normalidade e a homogeneidade dos dados foram verificadas a partir dos testes de *Shapiro-Wilk* e de *Levene*. Utilizou-se a análise da Equação de Estimativas Generalizadas (GEE), com correção de *Bonferroni* para comparação dos valores de C, EV, VE, FP, CP, CoV,

BORGMI e BORGD entre os diferentes grupos e as cinco velocidades. Para comparação dessas mesmas variáveis calculadas na *isovelocidade* e para comparação das variáveis de caracterização da amostra, foi utilizado um teste *t* para amostras independentes. Foi realizado o teste de correlação de Pearson para verificar a associação entre as seguintes variáveis paramétricas: C, VAS, IRT, VEF₁ e VO₂PICO. Para verificar a associação dessas variáveis com a escala de Borg para dispneia em *isovelocidade* (BORGDiso) e escala de Borg para desconforto de membros inferiores em *isovelocidade* (BORGMIiso), foi realizada a correlação de para variáveis não paramétricas.

7. RESULTADOS

7.1. Caracterização da amostra

A tabela 7.1 apresenta os principais parâmetros de caracterização da amostra, na qual se observa a maior participação de mulheres, com média de idade igual a 65,09 de idade.

Tabela 7.1 - Caracterização da amostra

	Grupo Controle (n=11)	Grupo DPOC (n=11)	<i>P</i>
<i>Variáveis</i>			
Mulheres (homens)	7(4)	7(4)	-
Idade (anos)	65,09 ± 10,86	65,09 ± 9,70	1,000
IMC (kg.m ⁻²)	24,36 ± 2,79	27,63 ± 5,24	0,076
CMI (m)	0,82 ± 0,05	0,77 ± 0,07	0,090
VEF ₁ (l)	2,65 ± 0,58	1,07 ± 0,53*	<0,001
VEF ₁ (%predito)	108,12 ± 23,45	45,36 ± 16,62*	<0,001
CVF (l)	3,49 ± 0,75	2,00 ± 0,77*	<0,001
CVF (%predito)	111,76 ± 24,37	68,09 ± 16,75*	<0,001
VEF ₁ /CVF (%)	75,82 ± 4,78	52,41 ± 11,31*	<0,001
BODE		3 ± 1,73	-
mMRC		2 ± 0,89	-
<i>Medicamentos</i>			
Fenoterol		1	-
Fenoterol + ipatrópio		1	-
Formoterol + budesonida		11	-
Ipatrópio		4	-
Salbutamol		8	-
Tiotrópio		2	-

Os valores são expressos em média ± desvio padrão. IMC: índice de massa corporal. CMI: comprimento de membro inferior. VEF₁: volume expiratório forçado no primeiro segundo. CVF: capacidade vital forçada. mMRC: escala modificada do *Medical Council Research*. DLCOc: difusão pulmonar de móxido de carbono (sigla em inglês). CPT: capacidade pulmonar total. VR: volume residual.

A tabela 7.2 apresenta as variáveis obtidas a partir do teste de exercício cardiopulmonar (TECP). Observa-se que os participantes do GDPOC interromperam o teste por limitação ventilatória, diferentemente do GC.

Tabela 7.2 - Variáveis do TECP

	GC	GDPOC	<i>p</i>
VO _{2PICO} (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	26,91 ± 4,28	18,72 ± 4,24*	<0,001
VE _{PICO} (l.min ⁻¹)	65,81 ± 19,49	36,36 ± 8,72*	<0,001
VE _{PICO} /VVM (%)	66,78 ± 14,05	103,30 ± 31,93*	0,002
SpO ₂ (%)	96,91 ± 1,22	87,67 ± 7,64*	0,001
FC _{MÁX}	157,73 ± 19,24	123,73 ± 16,98*	<0,001

Os valores são expressos em média ± desvio padrão. VO_{2PICO} – consumo de oxigênio de pico; VE_{PICO} – ventilação no pico do exercício; VVM – ventilação voluntária máxima; SpO₂ – saturação periférica de oxigênio; FC_{MÁX} – frequência cardíaca máxima.

7.2. Variáveis metabólicas

Não observamos efeito do grupo para a variável C ($p=0,365$). Contudo, observamos que esta variável foi influenciada pela velocidade de caminhada indicada ($p=0,001$). É possível observar na figura 3A que o GC apresentou menor C na VAS, enquanto que o GDPOC apresentou o seu menor valor na velocidade 5, correspondente a +40% da VAS.

Observamos efeito do grupo ($p\leq 0,001$) e da velocidade ($p\leq 0,001$) para a variável EV. Ao observar a figura 3B, é possível notar que o comportamento geral dos grupos foi parecido em função da velocidade, contudo o GDPOC apresentou valores significativamente maiores do que o GC. Além disso, houve diferenças nas velocidades de caminhada entre os grupos.

A VE demonstrou ser influenciada pelas diferentes velocidades ($p\leq 0,001$). Contudo, não observamos efeito do grupo ($p=0,365$). A figura 3C ilustra o comportamento dessa variável nos dois grupos, na qual podemos observar que não houve diferenças entre os grupos.

As médias e os desvios padrão dessas variáveis, juntamente com os valores de *p* das diferenças entre os grupos em cada uma das velocidades de caminhada, estão descritas na tabela 6 que se encontra no anexo desse documento.

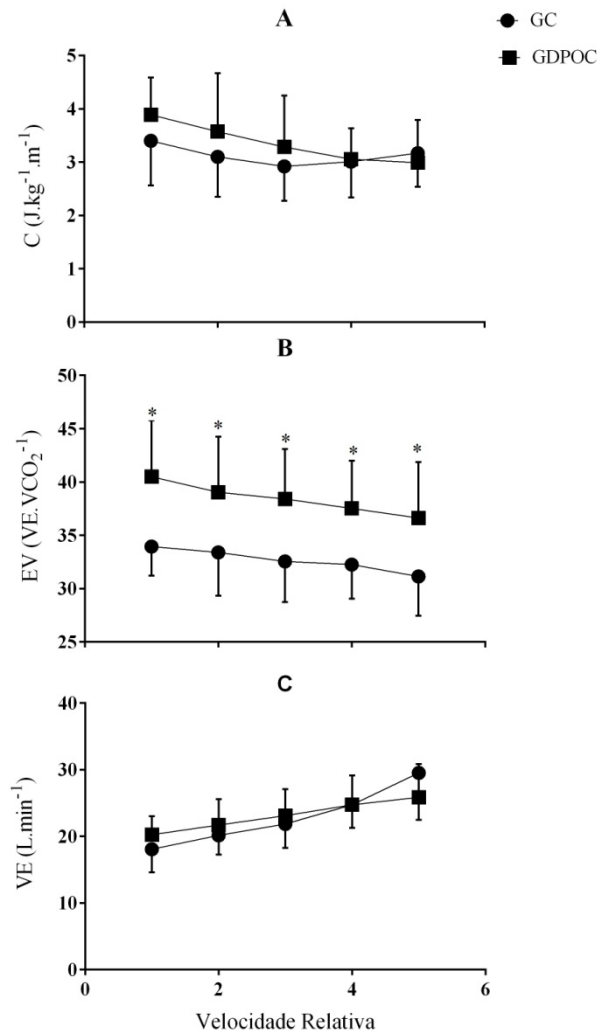


Figura 3 – Custo de transporte (C; 3A), eficiência ventilatória (EV; 3B) e ventilação (VE; 3C), em função da velocidade relativa de caminhada. 1 refere-se a -40%, 2 a -20%, 3 a VAS 4 a +20% e 5 a +40%. As diferenças entre os grupos com $p < 0,05$ estão assinaladas por *.

7.3. Parâmetros espaço-temporais

As velocidades de caminhada do GDPOC foram menores do que no GC. Na velocidade 1 a média do GC foi igual a $2,12 \pm 0,41$, 2 igual a $2,85 \pm 0,55$, 3 igual a $3,55 \pm 0,70$, 4 igual $4,24 \pm 0,86$ e 5 igual $4,98 \pm 1,00$, enquanto que no GDPOC as médias foram $1,54 \pm 0,30$, $2,06 \pm 0,40$, $2,57 \pm 0,50$, $3,09 \pm 0,60$ e $3,61 \pm 0,71$, respectivamente.

Foi observado efeitos de grupo ($p=0,015$) e da velocidade ($p < 0,001$) na FP. Os valores da FP do GC foram maiores quando comparados aos pacientes com DPOC, com exceção da velocidade 1, que se refere a -40% da VAS ($p \leq 0,12$). Fica evidenciado na figura 4A que o comportamento da FP ao longo das velocidades foi similar nos dois grupos.

Da mesma forma, o CP demonstrou ser influenciado pelo grupo assim como pela velocidade ($p \leq 0,001$). Entretanto, o GDPOC apresentou valores menores em relação ao GC, como ilustra a figura 4B.

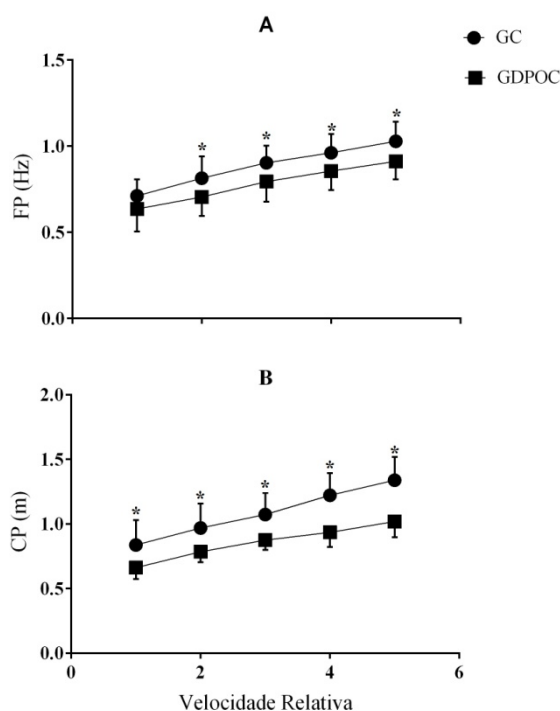


Figura 4 – Frequência de passada (FP; 4A) e comprimento de passada (CP; 4B) em função da velocidade relativa de caminhada. As velocidades são relativas à VAS: 1 refere-se a -40%, 2 a -20%, 3 a VAS 4 a +20% e 5 a +40%. As diferenças estão assinaladas por * entre os grupos com $p < 0,05$.

Foram encontradas efeitos do grupo ($p=0,002$) e da velocidade ($p=0,001$) na variável que representa a estabilidade dinâmica. Observamos diferenças entre os grupos nas velocidades 1 ($p=0,015$) e 4 ($p=0,014$), que representam -40% e +20% da VAS respectivamente. Quanto ao GDPOC, somente observamos diferença entre as velocidades 1 e 5 ($p=0,045$), similar ao observado no GC ($p=0,020$). No entanto, também observamos diferenças entre as velocidades 2 e 4 ($p \leq 0,001$) e 2 e 5 ($p=0,006$), em que a velocidade 2 apresentou maiores valores. A figura 5 ilustra que, de forma geral, o CoV diminui com o aumento da velocidade.

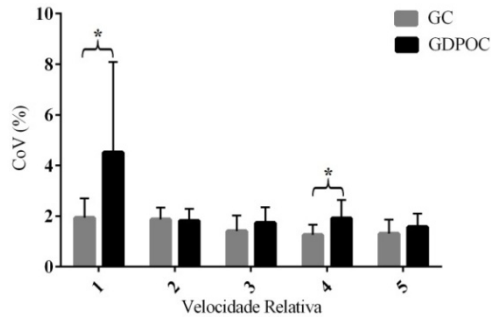


Figura 5 - Coeficiente de variação em função da velocidade relativa de caminhada. 1 refere-se a -40%, 2 a -20%, 3 a VAS 4 a +20% e 5 a +40%. O * representa diferença significativa entre os grupos com $p < 0,05$.

7.4. Escala de BORG

A tabela 3 apresenta média e desvio padrão encontrados para a escala de Borg para cada um dos grupos em cinco velocidades. A escala de Borg para o desconforto de membro inferior (BORGMI) demonstrou influência da velocidade de caminhada ($p=0,006$), mas não dos grupos ($p=0,542$). De maneira similar, a escala de Borg para a sensação de dispneia (BORGD) obteve efeito do grupo ($p=0,068$) e da velocidade de caminhada ($p<0,001$).

Tabela 7.3– Escala de Borg

Velocidade	BORGMI		<i>p</i>	BORGD		<i>p</i>
	GC	GDPOC		GC	GDPOC	
V _{-40%}	0,45 ± 0,91	1,05 ± 2,18	0,445	0,27 ± 0,61	1,30 ± 1,75 ^e	0,081
V _{-20%}	0,41 ± 0,80	0,56 ± 1,67	0,926	0,36 ± 0,90	1,17 ± 1,92 ^{d,e}	0,303
VAS	0,77 ± 1,25	1,17 ± 2,24	0,793	0,45 ± 0,91	1,67 ± 2,68	0,233
V _{+20%}	0,55 ± 1,01	1,30 ± 1,81	0,276	0,64 ± 1,00	2,50 ± 2,45 ^{b*}	0,031
V _{+40%}	0,86 ± 1,36	1,55 ± 2,80	0,530	0,82 ± 1,15	3,05 ± 2,85 ^{a,b*}	0,027

Os valores da tabela são referentes à média ± desvio padrão. As letras representam diferenças intragrupo, com $p<0,05$ sendo: 'a' diferente V-40%, 'b' de V-20%, 'c' da VAS, 'd' de V+20% e 'e' de V+40%. As variáveis assinaladas com * apresentaram $p<0,05$ na comparação entre grupos.

A figura 6 ilustra o comportamento da BORGMI (6A) e da BORGD (6B). Observa-se que apenas nas velocidades 4 e 5 para o BORGD houve diferenças entre os grupos.

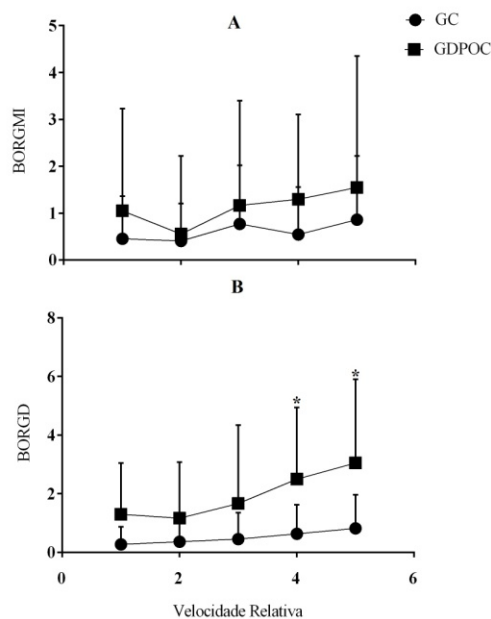


Figura 6 – Escala de BORG para fadiga de membro inferior (BORGMI; 5A) e escala de BORG para sintoma de dispnéia (BORGDI) em função da velocidade relativa de caminhada. A figura 5A representa a escala de BORG para membros inferiores (BORGMI) e a figura 5B relativa à escala de BORG para dispnéia (BORGDI), todas em função da velocidade relativa a VAS. As velocidades são relativas à VAS: 1 refere-se a -40%, 2 a -20%, 3 a VAS 4 a +20% e 5 a +40%. O * representa diferença entre os grupos com $p < 0,05$.

7.5. Avaliação em *isovelocidade*

Além das cinco velocidades avaliadas, os pacientes com DPOC também foram comparados ao GC enquanto caminhavam em uma mesma velocidade comum a todos, igual a $3,2 \text{ km.h}^{-1}$ ($0,89 \text{ m.s}^{-1}$). A tabela 4 apresenta as variáveis analisadas nessa velocidade em contraponto com os valores encontrados para essas mesmas variáveis na VAS.

Tabela 7.4 – Avaliação do C em *isovelocidade* e na VAS

	GC	GDPOC	<i>p</i>
<i>Isovelocidade (3,2 km.h⁻¹)</i>			
C (J.kg ⁻¹ .m ⁻¹)	2,97 ± 0,66	3,10 ± 0,51	0,623
VE (l.min ⁻¹)	22,22 ± 4,91	25,09 ± 3,88	0,144
EV(VE.VCO ₂ ⁻¹)	33,31 ± 3,10	34,35 ± 11,31*	0,030
BORGMI	0,45 ± 1,03	1,30 ± 1,64*	0,030
BORGDI	0,55 ± 1,24	2,70 ± 2,66*	0,006

FP (Hz)	0,85 ± 0,08	0,87 ± 0,11	0,548
CP (m)	1,07 ± 0,14	1,07 ± 0,25	0,930
CoV (%)	1,47 ± 0,41	1,88 ± 0,75	0,151
<i>Velocidade Autosselecionada</i>			
Velocidade (km.h ⁻¹)	3,55 ± 0,70	2,57 ± 0,50*	0,001
C (J.kg ⁻¹ .m ⁻¹)	2,92 ± 0,65	3,28 ± 0,58	0,175
VE (l.min ⁻¹)	21,86 ± 3,58	23,13 ± 3,98	0,443
EV(VE.VCO ₂ ⁻¹)	33,56 ± 3,81	38,41 ± 4,68*	0,004
BORGMI	0,77 ± 1,25	1,17 ± 2,24	0,559
BORGD	0,45 ± 0,91	1,67 ± 2,68	0,142
FP (Hz)	0,91 ± 0,10	0,79 ± 0,12*	0,034
CP (m)	0,89 ± 0,24	0,57 ± 0,18*	0,003
CoV (%)	1,41 ± 0,61	1,79 ± 0,53	0,358

Os valores são expressos em média ± desvio padrão. As variáveis assinaladas com * apresentaram $p < 0,05$. C – custo de transporte; VE – ventilação; EV – eficiência ventilatória; BORGMI – escala de Borg para desconforto em membros inferiores; BORGD – escala de Borg para sensação de dispneia. FP – frequência de passada; CP – comprimento de passada; CoV – coeficiente de variação da frequência de passada.

7.6. Índice de reabilitação e velocidade autosselecionada

O índice de reabilitação teórico (IRT) foi calculado para todos os participantes do estudo. A tabela 5 apresenta a diferença do IRT entre o GDPOC e o GC. Quando comparados os valores de VAS no solo com a VAS na esteira apenas para o GDPOC (n=10), obteve-se um $p=0,014$, para o GC (n=11), $p=0,039$; e para todos os indivíduos (n=21) $p=0,000$.

Tabela 7.5- Parâmetros para avaliação clínica

	GC	GDPOC	<i>p</i>
CMI (m)	0,81 ± 0,05	0,77 ± 0,07	0,090
IRT (%)	69,70 ± 14,39	51,95 ± 9,77*	0,003
VAS solo	4,28 ± 0,86 [¶]	3,73 ± 0,74 [¶]	0,134
VAS esteira	3,55 ± 0,70	2,75 ± 0,74*	0,013

Os valores são expressos em média ± desvio padrão. O símbolo [¶] indica $p < 0,05$ na comparação da VAS no solo com VAS na esteira, dentro no mesmo grupo. CMI – comprimento de membro inferior; IRT – índice de reabilitação teórico; VAS – velocidade autosselecionada.

7.7. Correlação das principais variáveis clínicas

Na figura 7 apresentamos correlações realizadas entre as variáveis VO_{2PICO} e VAS (Figura 7A), VO_{2PICO} e C (Figura 7B), VEF_1 e VAS (Figura 7C) e VEF_1 e C (Figura 7D). Nota-se que o C não demonstrou forte correlação com VO_{2PICO} e VEF_1 (figura 7B e 7D). Por outro lado, as correlações dessas últimas variáveis com VAS foram ao encontro da sexta hipótese criada, no que se refere à VAS (figura 7A e 7C).

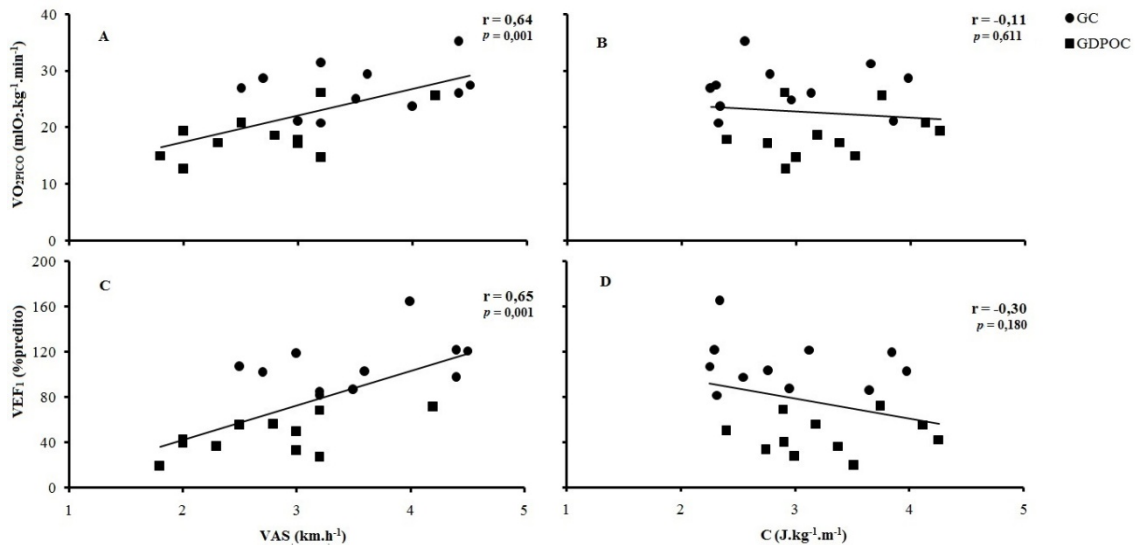


Figura 7 – Principais correlações do C e da VAS. O VEF_1 , em percentual do predito (%predito) e o VO_{2PICO} em mililitros de oxigênio por quilograma por minuto (mL \cdot kg $^{-1}\cdot$ min $^{-1}$) com a VAS em quilômetros por hora (km \cdot h $^{-1}$; 7A e 7C) e com o C em Joules por quilograma por metro (J \cdot kg $^{-1}\cdot$ m $^{-1}$; 7B e 7D). Os quatro gráficos apresentam dados de todos os participantes do estudo.

As correlações do CoV com o C e com a VAS estão apresentadas na figura 9. Foi possível observar uma tendência de aumento do C com o aumento CoV (9A). Todavia, nenhuma das correlações apresentou significância estatística.

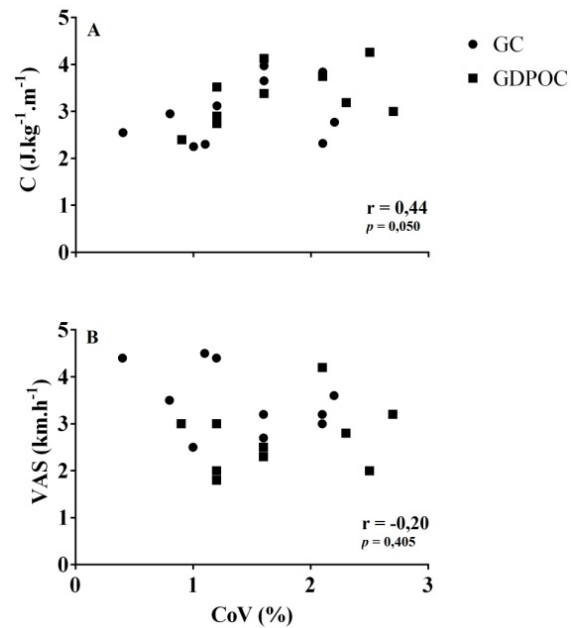


Figura 8 - Correlação do CoV com o C (9A) e com a VAS (9B). O C e o CoV são referentes aos valores dos dados coletados enquanto os participantes na VAS. Os valores da VAS são aqueles obtidos na esteira.

8. DISCUSSÃO

O principal achado desse estudo em relação às cinco diferentes velocidades de caminhada avaliadas é referente à diferença nos comportamentos do C nos grupos controle e de pacientes com DPOC, em contraponto ao comportamento similar da EV nos dois grupos. Somam-se a esse resultado, as diferenças entre os grupos do BORGD auxiliam na compreensão da escolha dos pacientes com DPOC por caminhar em velocidades mais baixas em comparação aos seus controles. Em relação aos parâmetros mecânicos, é importante ressaltar o comportamento similar do CoV nos grupos com o aumento da velocidade de caminhada. A avaliação realizada em *isovelocidade* foi relevante para reforçar alguns dos achados mencionados nas diferentes velocidades.

8.1. Parâmetros metabólicos

No GDPOC, o C diminuiu significativamente com o aumento da velocidade. Os únicos valores de C parecidos foram nas velocidades 4 e 5. Em contraponto, o GC apresentou um comportamento diverso, uma vez que obteve seu menor valor de C na VAS. Para velocidades acima e abaixo dela, os valores de C foram maiores. Dessa forma, para o GC houve uma correspondência entre a VAS e a velocidade ótima de caminhada, indo ao encontro do que se esperava de acordo com os dados existentes na literatura^{16, 17, 18}. Por outro lado, para o GDPOC a velocidade ótima pareceu estar mais próxima da velocidade 5, como encontrado para os pacientes com ICC¹⁶. Isso significa que os participantes desse estudo acometidos pela DPOC preferem caminhar em velocidades menores a aquela em que apresentam menor custo energético para locomover-se.

Esse achado confirma a terceira hipótese criada *a priori*, de que a VAS dos pacientes com DPOC, da mesma forma que indivíduos acometidos por ICC¹⁶, não corresponde à velocidade ótima. Esse resultado também indica que a velocidade ótima de pacientes com DPOC é similar à de indivíduos saudáveis, pois a média de velocidade 5 para o GDPOC foi similar a média da VAS, e, logo, da velocidade ótima do GC. Portanto, pode-se sugerir que, apesar da fraqueza e da atrofia muscular^{1, 4, 7} somadas ao déficit metabólico^{1, 4, 8} que resultam em menor capacidade aeróbica^{1, 4, 6, 7, 8}, pacientes com DPOC e controles compartilham de uma mesma velocidade em que o sistema energético de caminhada está otimizado. Essa sugestão possui o respaldo da medida realizada em *isovelocidade*, na qual indivíduos com e sem DPOC não apresentaram diferenças entre seus valores de C. Com base nisso, pode-se inferir que nem o

suprimento inadequado a musculatura respiratória e locomotora⁸, nem a disfunção muscular de membros inferiores⁷ são os principais mecanismos para escolha da velocidade de caminhada de pacientes com DPOC. Com isso, esse resultado refuta a segunda hipótese na qual se acreditava que esses fatores citados acarretariam em aumento do C, uma vez que resultam em maior VO_{2RESP} e maior trabalho para a musculatura respiratória, como ilustrado na figura 1 (pág. 21).

Outro importante achado desse estudo foi a diminuição da EV com o aumento da velocidade tanto para o GC como para o GDPOC. Contudo, os valores de $VE.VCO_2^{-1}$ são significativamente maiores nos pacientes do que em saudáveis. Isso significa que os indivíduos com DPOC possuem menor EV quando comparados com indivíduos saudáveis. Esse resultado está de acordo com o previsto por outros estudos que demonstraram maiores valores de $VE.VCO_2^{-1}$ tanto no pico do exercício, independente se era realizado em esteira^{39,40} ou em bicicleta^{39,40}, quanto em situações submáximas de caminhada⁴¹.

Por outro lado, a EV não demonstrou influenciar na escolha VAS dos participantes com DPOC, como nos pacientes com ICC¹⁶. No estudo anterior, a maior EV correspondeu à VAS tanto no grupo dos pacientes quanto no grupo controle¹⁶. Entretanto, no presente estudo, a maior EV não correspondeu à VAS e seu menor valor de $VE.VCO_2^{-1}$ foi encontrado na maior velocidade de caminhada, estando de acordo com o conhecimento encontrado nos materiais didáticos que afirmam que os valores de $VE.VCO_2^{-1}$ diminuem com o aumento da intensidade de exercício⁴².

Dessa forma, a terceira hipótese também foi refutada, uma vez que, diferentemente do apresentado para os indivíduos com DPOC, outros estudos demonstram que o C é aumentado para percorrer certas distâncias na VAS de pacientes acometidos por ICC¹⁶ e por hemiparesia²⁷, e até mesmo em idosos saudáveis em relação a jovens adultos¹⁸. Apesar de a DPOC apresentar desfechos clínicos parecidos com essas doenças, neste estudo não foi encontrada diferenças no C entre o GDPOC e o GC. Com isso, não foi possível demonstrar para indivíduos com DPOC a mesma influência dessas alterações no C. Portanto, a DPOC não parece influenciar mais o C do que o próprio processo de envelhecimento. Contudo, diferentemente de idosos, observou-se que, em velocidades mais altas, os pacientes com DPOC se tornam mais econômicos.

Ainda, é interessante ressaltar que as diferenças entre as velocidades dentro de um mesmo grupo foram similares às diferenças encontradas entre os grupos na mesma velocidade relativa. Entretanto, apenas na primeira situação foi detectada diferença

estatística. Ao observar os valores médios descritos na tabela 6 (em anexo), nota-se que a diferença existente entre o C na VAS do GC e a VAS do GDPOC foi similar a diferença da existente dentro do GDPOC da VAS com a velocidade 5, por exemplo. Contudo, apenas na segunda comparação obteve-se um valor de p apontando diferença estatística. Com isso, uma possível explicação para esses acontecimentos é a maior variabilidade do C encontrada nos pacientes, decorrente de um grupo heterogêneo quanto à gravidade da doença. Além disso, é possível que os pacientes com maior gravidade da doença apresentem diferença no C quando comparado com indivíduos saudáveis da mesma idade.

A segunda hipótese levantada nesse estudo previa que o C em pacientes seria aumentado uma vez que o VO_{2RESP} ⁸, assim como o trabalho realizado pela musculatura respiratória^{8, 9}, é maior em paciente com DPOC. Contudo, o C não se apresentou aumentado de forma significativa na amostra estudada, mas apresentou considerável variabilidade na maioria das velocidades de caminhada. Apesar de a hipótese haver sido refutada, a variabilidade pode ter relação com os mecanismos citados. Existe grande variação dos valores de VO_{2RESP} em indivíduos com DPOC (3,0 a 19,5 mlO₂/l)⁸, diferente do relatado em pessoas saudáveis em que a variação é de apenas 1,0 a 3,0mlO₂/l⁸. Com isso, o trabalho realizado pela musculatura respiratória⁸ também amplo dentro da DPOC, e dessa mesma forma pode estar influenciando os valores encontrados para o C de pacientes.

8.2. Parâmetros espaço-temporais

As variáveis espaço-temporais apresentaram o comportamento esperado para os dois grupos do presente estudo. Em outros estudos existem relatos de que indivíduos com inúmeras comorbidades, com idade mais avançada, com comprometimento no equilíbrio e com maior propensão a cair apresentam menor cadência de caminhada com passos de maior largura e menor CP²⁰. Além disso, está bem estabelecido na literatura que indivíduos acometidos pela DPOC apresentam menor VAS¹² e velocidade máxima^{4, 12, 15, 36, 37, 40, 43, 45} de caminhada, sendo que ambas diminuem com o agravamento da doença¹². Assim como, esses pacientes podem apresentar maior risco de quedas^{35, 36}. Dessa forma, a amostra de DPOC estudada apresentou comportamento condizente com os achados anteriores, demonstrando evidências que suporte ao desempenho comprometido das suas atividades diárias^{1, 4, 5, 11}, e que podem estar relacionadas ao maior número de quedas referidos para essa população^{34, 35, 36}.

Contudo, os comportamentos da FP e da CP, em função da velocidade, foram parecidos para os dois grupos. Esse fato sugere que a mecânica de caminhada (avaliada de forma simples) dos pacientes com DPOC apresenta alterações mínimas. Esse achado vai ao encontro dos resultados apresentado no estudo realizado por Yentes e colaboradores (2015)⁴⁴, em que a partir de uma análise tridimensional da caminhada em solo, os autores concluíram que poucas são as diferenças entre pacientes com DPOC e os indivíduos controles⁴⁴. Portanto, é possível inferir que o mecanismo do pêndulo invertido nos pacientes com DPOC não apresente comprometimentos na proporção da maneira esperada pelas alterações centrais e periféricas advindas de uma doença crônica, como foi sugerido para pacientes com ICC¹⁶. Dessa forma, a reconversão de energias mecânicas dos indivíduos com DPOC podem estar ocorrendo de modo semelhante aos indivíduos controles. Essa suposição indica que esse fator poderia explicar de forma parcial o porquê não foi encontrada diferença no C do GDPOC para o GC. Adicionalmente, indica que o mecanismo pendular dos pacientes deve estar otimizado nas maiores velocidades de caminhada, visto que foi na velocidade 5 o menor valor encontrado para o C.

Por outro lado, o estudo realizado por Annegarn e colaboradores (2012)⁴⁵ analisou o padrão da marcha de pacientes com DPOC durante o TC6, através de acelerômetro, e demonstrou alterações importantes. A principal diferença encontrada pelos autores foi os maiores valores da variabilidade do deslocamento do centro de massa na direção médio-lateral⁴⁵. Segundo os autores, essa é uma resposta ativa gerada na tentativa de minimizar a variabilidade na direção anteroposterior (direção da propulsão), compensando, assim, distúrbios de equilíbrio⁴⁵. Isto vai ao encontro do referido em outro estudo realizado com indivíduos saudáveis que demonstrou que a maior variabilidade da largura do passo é a principal variável relacionada ao risco de quedas⁴⁶. Dessa forma, a variabilidade da marcha poderia explicar, em parte, o maior risco de queda dos pacientes com DPOC⁴⁵. Entretanto, na análise por nós realizada, não é possível verificar a largura do passo dos pacientes. Além disso, esse achado anterior ao nosso estudo também sugere que o C dos indivíduos com DPOC seria aumentado⁴⁵, como demonstrado em outras populações^{27,28}, contudo não foi o encontrado no presente estudo.

A única medida de variabilidade de marcha realizada no presente estudo foi o CoV. Essa variável possui relação inversa com a estabilidade dinâmica e demonstrou uma tendência geral de diminuição ao longo das cinco velocidades caminhadas. Isso

mostra que a variabilidade da marcha diminuiu nos dois grupos com o aumento da velocidade de caminhada, estando de acordo com o descrito na literatura^{21, 31}. Portanto, quanto maior a velocidade de caminhada, a estabilidade dinâmica do movimento também é maior, independente do grupo. Contudo, como ilustrado na figura 5 nas velocidades 1 e 4, o GDPOC apresentou valores de CoV maiores do que no GC, o que significa que, nessas velocidades, os pacientes com DPOC apresentam maior instabilidade de marcha, corroborando com achados anteriores⁴⁵.

Com isso, fica o registro de uma variável que demonstra uma possível justificativa para o maior número de quedas apresentada por esses pacientes em relação a indivíduos contemporâneos, mas que não apresentam a mesma doença^{34, 35, 36, 37}. Apesar disso, os valores de CoV são considerados normais, pois são menores que 3%²¹, com exceção da velocidade 1 do GDPOC. Ressalta-se, portanto, a importância de futuros estudos que avaliem a estabilidade dinâmica, a partir de uma análise mais completa da marcha, para que se possa concluir com maior segurança e clareza qual o papel dessa variável no risco de queda dos pacientes com DPOC.

Outro resultado interessante é a correlação moderada encontrada entre o CoV e C (figura 9, $r=0,44$ $p=0,050$). Esse resultado pode estar mostrando a relação direta da instabilidade da marcha com o C, pois podemos observar a tendência de maior C com o maior CoV, que representa maior instabilidade. Portanto, independentemente do grupo, a instabilidade da marcha pode estar relacionada com o maior C, o que corrobora achados presentes na literatura^{21, 27}. Somando-se a isso, o maior e o menor valor de C encontrados no GDPOC corresponderam às velocidades em que os valores de CoV também apresentaram o mesmo comportamento, corroborando a hipótese de que haja uma relação entre essas variáveis^{21, 27}.

Por outro lado, esse não é fator determinante na escolha da VAS, uma vez que é nas velocidades mais altas de caminhada que os participantes demonstraram maior estabilidade da marcha, o que é evidenciado na figura 5. Além disso, a figura 9B apresenta a fraca correlação encontrada entre as duas variáveis, comprovando que não há relação entre as duas variáveis. Em contraponto, Annegarn e colaboradores em seu estudo concluem que, juntamente com a intensidade e a FP da caminhada, a variabilidade de deslocamento, independente da direção, está associada ao desempenho no TC6⁴⁵. É importante ressaltar, contudo, que esse é um teste cuja velocidade é máxima, e não usual de caminhada.

8.3. Escala de BORG

A escala BORG apresentou comportamentos diferentes no GDPOC no que se refere ao desconforto de membros inferiores (BORGMI) e à dispneia (BORGD). Se, por um lado, no GC essas duas variáveis apresentaram comportamentos similares, mantendo-se estáveis com o aumento da velocidade, no grupo de pacientes houve aumento desses marcadores de sensação subjetiva de esforço. O BORGMI no GDPOC não apresentou diferenças significativas com o aumento da velocidade de caminhada, da mesma forma que o GC. Por outro lado, o BORGD apresentou valores significativamente maiores nas velocidades mais altas de caminhada para o GDPOC.

Esses resultados dos pacientes com DPOC para os valores de BORGD indicam que a escolha de caminhar em velocidades mais baixas está relacionada com o sintoma de dispneia, em detrimento de um maior gasto energético para caminhar determinada distância nessas velocidades. Esse comportamento indica que um mecanismo importante da escolha da velocidade de caminhada em pacientes DPOC é o conforto ventilatório, assim como acontece em pacientes com ICC¹⁶. Dessa forma, pode-se sugerir que um provável mecanismo primário relacionado à VAS diminuída nesses pacientes é a mecânica respiratória. A HD, resultante da alteração da mecânica respiratória, é apontada como um dos principais fatores para intolerância ao exercício nessa população^{1, 4, 8}. Possivelmente, na tentativa de evitar grandes aumentos de demanda ventilatória e na HD, os pacientes preferem caminhar em velocidades abaixo da ótima, por representarem também menores intensidades de caminhada⁵.

Dessa forma, esses resultados de BORGD e BORGMI demonstram de forma subjetiva que o principal fator limitante do desempenho da caminhada de pacientes com DPOC é a dispneia relacionada a sua alteração da capacidade respiratória. Esse achado está de acordo com estudos fisiológicos anteriores, que demonstraram durante a caminhada valores de $VE.VCO_2^{-1}$ elevados concomitantes com baixas concentração de lactato arterial^{39, 41, 47}, concluindo que a dispneia é o principal sintoma da limitação ao exercício de caminhada⁴⁶. Esses estudos verificaram esses achados em teste incremental máximo^{39, 47} e durante o TC6⁴¹. Portanto, referem-se a atividades de alta intensidade^{39, 41}, diferentemente do presente estudo, em que a avaliação foi realizada em baixas intensidades de exercício, demonstrando, ainda assim, o mesmo comportamento.

Não obstante, a fraqueza da musculatura periférica também é apontada como um dos fatores limitadores da funcionalidade desses pacientes⁷, uma vez que acarreta aumento da fadiga muscular^{4, 7, 8}. Por outro lado, os resultados do presente estudo

sugerem que a escolha da VAS nos pacientes com DPOC durante seu dia a dia parece estar principalmente relacionada à dispneia^{39, 41}. Em segundo plano, estão a disfunção da musculatura de membros inferiores⁴⁷ e o suprimento inadequado às musculaturas ativas.

Esses resultados auxiliam, parcialmente, no entendimento dos achados nesse estudo para o C. Diferentemente do exercício em bicicleta, em que a concentração de lactato arterial e a fadiga nos músculos dos membros inferiores estão presentes, na caminhada a maior limitação ao exercício físico advém da disfunção pulmonar^{39, 41, 47, 48}. Uma vez que o C não se mostrou aumentado em relação a indivíduos saudáveis da mesma idade, é possível que as alterações metabólicas^{39, 41} e músculo-esqueléticas^{47, 48} não realizem um papel importante nessa forma de locomoção e que, mesmo com déficit de oxigênio sanguíneo^{1, 4, 39}, os pacientes conseguiram se adaptar para tornarem-se mais econômicos durante a caminhada. Diversos fatores podem estar relacionados com esse resultado encontrado para o C e em relação às diferentes respostas fisiológicas do exercício em esteira ou em bicicleta relatada em outros estudos, como a ativação da musculatura de membros inferiores durante o exercício (que deve ser maior ao pedalar), a postura, a quantidade de músculos ativos em cada uma das atividades e o fato de a caminhada estar mais presente no dia-a-dia⁴⁷.

8.4. Avaliação em *isovelocidade*

Os resultados encontrados na avaliação em *isovelocidade* (3,2 km.h⁻¹) são interessantes, pois reforçam alguns dos achados anteriores, mas também questionam outros. A EV, por exemplo, da mesma forma que foi diferente entre os grupos em todas as velocidades de caminhada relatadas anteriormente, também demonstrou estar prejudicada nos pacientes nessa velocidade. Esse resultado era esperado, visto que os pacientes apresentam alteração da mecânica ventilatória^{1, 4, 6}. Da mesma forma, o C, apesar de ter valor médio maior entre os pacientes com DPOC, não apresentou significância estatística. Portanto, mesmo apresentando importante alteração na mecânica ventilatória⁶, disfunção da musculatura locomotora⁷ e suprimento energético inadequado para as musculaturas ativas durante o exercício⁸, os pacientes despendem similar quantidade de energia metabólica para percorrer determinadas distâncias quando a velocidade imposta é igual à realizada por indivíduos saudáveis. Isso foi contrário ao que era hipotetizado no início do estudo e ao que foi demonstrando também na

avaliação em que a VAS era a referência para avaliação e confirmado nessa avaliação em *isovelocidade*.

O índice de percepção de dispnéia (avaliado através do BORG_D) foi mais alto nas maiores velocidades de caminhada, e na situação de *isovelocidade* (3,2 km.h⁻¹). Em conjunto com a EV, essa variável mostra que a escolha da velocidade de caminhada depende do conforto ventilatório em pacientes com DPOC, como hipotetizado *a priori*, e possivelmente está relacionada às alterações mecânicas na VE, que resultam em HD^{4, 8}. Esses resultados auxiliaram na formulação da nova hipótese sugerida com este estudo de que na escolha da VAS, os mecanismos de disfunção muscular e suprimento energético à musculatura são secundários ao conforto ventilatório do paciente com DPOC, durante a caminhada. A figura 7 apresenta correlações em que, mais uma vez, é evidenciada a relevância do sintoma de dispneia na preferência da VAS em velocidades mais baixas.

Mesmo sendo um desfecho secundário e uma variável subjetiva, a BORG_D *iso* apresentou-se como uma variável importante demonstrando ser uma ferramenta confiável para ser utilizada na prática da reabilitação e treinamento para controle das atividades realizadas. Afinal, a dispneia por esforço é o sintoma mais comum dos indivíduos acometidos por uma doença pulmonar crônica^{48, 49}. Está bem estabelecido no contexto clínico que a dispneia por esforço é causada por um desequilíbrio entre a demanda e a capacidade ventilatória⁴⁸. De forma quantitativa, estudos clássicos demonstram a forte correlação da intensidade de dispneia (mensurada pela escala de Borg) e variáveis como VE/VVM ou a razão da pressão esofágica durante o exercício e a sua máxima. Contudo esses achados são referentes tanto a pacientes com doença pulmonar crônica quanto indivíduos saudáveis^{50, 51}. Atualmente, foram realizados estudos que compararam a atividade eletromiográfica do diafragma (EMG_{di})^{52, 53}. Ao normalizar a EMG_{di} pela sua máxima, houveram diferenças entre pacientes com DPOC e indivíduos saudáveis^{52, 53}. Naqueles acometidos pela DPOC essa razão estava aumentada no repouso assim como no exercício⁵², o que reflete o desequilíbrio entre a demanda e a capacidade no caso de trabalho da musculatura respiratória⁵³. Além disso, indica que nos pacientes a intensidade e qualidade sensorial dos domínios da dispneia são de diferentes bases neurológicas em comparação a indivíduos saudáveis^{48, 52, 54, 55}.

Em relação às variáveis espaço-temporais, a FP e o CP apresentaram valores muito semelhantes para os dois grupos. Por um lado, esse resultado era esperado, uma vez que essas variáveis são determinantes da velocidade de caminhada, em

isovelocidade não deveriam ser diferentes. Contudo, alguns estudos demonstram padrão de caminhada diferente em pessoas que possuem maior risco de queda^{19, 31, 33}. Tendo em vista que pacientes com DPOC podem apresentar comprometimento no equilíbrio e maior risco de queda^{35, 37}, eles poderiam ter apresentado uma estratégia diferente em decorrência da possível maior instabilidade da marcha. Sendo assim, esse resultado pode indicar que os pacientes avaliados nesse estudo não apresentam prejuízo na estabilidade dinâmica da marcha. Adicionalmente, os resultados da variabilidade da marcha representada pelo CoV reforçam essa ideia, pois não houve diferença estatística entre os grupos. Isso se contrapõe, portanto, com os achados na avaliação das diferentes velocidades, que indicaram possivelmente a maior instabilidade da marcha do GDPOC em comparação com o GC. Por outro lado, esses resultados encontrados em *isovelocidade* corroboram a ideia anteriormente abordada nesse capítulo de que, apesar das alterações respiratórias e extrapulmonares decorrentes da DPOC, o mecanismo do pêndulo invertido não está prejudicado em alto grau nos pacientes avaliados no presente estudo.

8.5. Variáveis mecânicas e sua importância clínica

A partir das correlações realizadas (figura 10), pode-se observar a importância de duas variáveis: a VAS (na esteira) e o IRT. A figura 10 apresenta as correlações de moderada a forte dessas variáveis com o VEF_1 , que, como anteriormente mencionado, é utilizado para medir o grau de obstrução pulmonar dos pacientes, e com o VO_{2PICO} , cuja relevância é avaliar a capacidade de exercício (comprometida nos pacientes com DPOC). Além disso, essas duas variáveis apresentaram diferença significativa entre os dois grupos estudados. Isso sugere que elas servem para diferenciar indivíduos acometidos pela DPOC dos que não apresentam a doença. Dessa forma, surgem como possível ferramenta para avaliação da capacidade de exercício e grau de limitação funcional dos pacientes, uma vez que as correlações demonstram que quanto menor a VAS, também menor será o IRT, associado ao maior grau de obstrução do paciente e menor seu VO_{2PICO} , isto é, sua capacidade funcional de exercício.

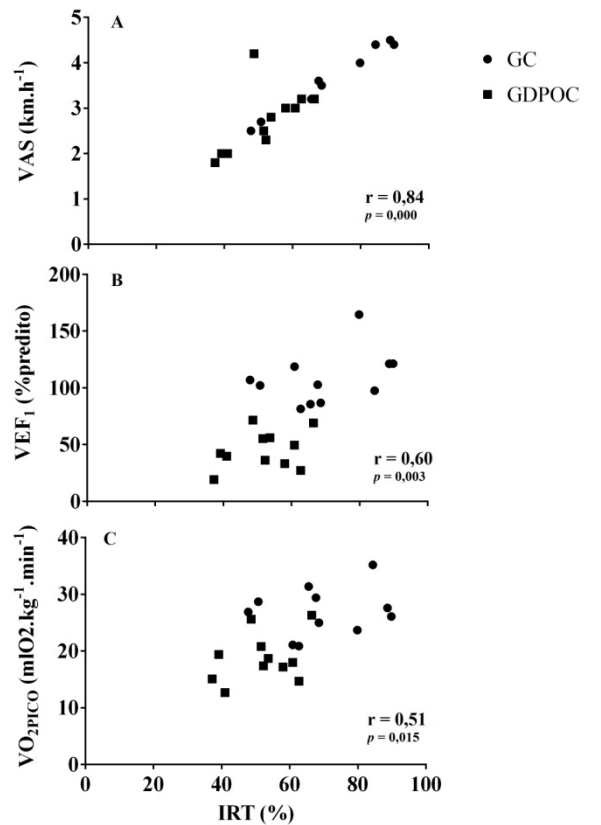


Figura 9 - Correlação do índice de reabilitação em função da velocidade autosselecionada (10A), do volume expiratório forçado no primeiro segundo (10B) e do consumo de oxigênio de pico (10C).

É importante ressaltar que o IRT foi calculado a partir da VAS da esteira, e por essa razão a correlação entre as variáveis era esperada e foi tão forte. Além disso, para o cálculo do índice foi utilizada uma velocidade ótima estimada por equação a partir do CMI. Os valores dessa variável foram similares nos dois grupos, confirmando que a diferença no IRT não se deve ao CMI, e sim a uma menor VAS na esteira do GDPOC. Com isso, fica o registro de uma equação que deu origem a uma variável simples de ser utilizada na prática clínica. Além disso, mesmo surgindo da VAS, o IRT é uma variável diferenciada no sentido de demonstrar o quão distante está o paciente de caminhar a uma velocidade em que terá maior economia de energia metabólica.

Os menores valores de IRT apresentados pelos pacientes estão de acordo com o comportamento apresentado pelo C nas diversas velocidades. Afinal, ambos indicam que os participantes do GDPOC apresentam maior economia de caminhada em velocidades superiores a sua VAS. Isso pode ser atribuído a prejuízos nas trocas de energia cinética e potencial que ocorrem no centro de massa durante a caminhada nessas velocidades²⁴. Indiretamente, esse resultado indica que o mecanismo pendular está menos otimizado nas velocidades de caminhada mais baixas, reforçados pelos baixos

percentuais encontrados no IRT. Com isso, deve-se ressaltar mais uma vez a importância do treinamento e reabilitação locomotora para que se possibilite aos indivíduos com DPOC melhorar sua capacidade funcional de exercício.

Além disso, o fato de a VAS não ser compatível com a velocidade ótima nos indivíduos com DPOC, pode estar relacionado ao suprimento inadequado aos músculos locomotores⁸. Visto que, com o déficit de O₂, a rota metabólica utilizada nesse caso, predominantemente anaeróbica, não seria tão eficiente para produção de energia⁸. Da mesma forma, pode ser relacionado com a disfunção da musculatura esquelética⁷, uma vez que a redução de fibras do tipo I, associada à redução da atividade enzimática oxidativa^{4, 7}, compromete o sistema bioenergético diminuindo sua eficiência. Essas possibilidades estão apresentadas na figura 1 (pg. 17) e descritas na revisão de literatura, como fatores limitantes durante o exercício em pacientes com DPOC. Apesar de não se saber qual desses fatores é o principal determinante para a limitação, é provável que a interação complexa desses mecanismos seja responsável pelos baixos valores encontrados para o IRT do GDPOC.

Notou-se que na tabela 5 que os valores de VAS foram diferentes entre os grupos somente quando medidos na esteira. Na VAS obtida no solo, os grupos apresentaram valores de caminhada parecidos. Em função desse resultado, foi realizado um teste *t* para amostras emparelhadas a fim de comparar a VAS no solo e na esteira dentro do mesmo grupo. São reconhecidas as diferenças na VAS determinada em esteira e no solo⁵⁵, bem como, nos padrões cinemáticos e cinéticos entre os dois ambientes. Porém, é também notório que tendo em consideração estas diferenças, é possível realizar avaliações válidas de marcha bem como intervenções de marcha em situação de esteira^{56, 57}.

8.6. Limitações do estudo

As limitações deste estudo referem-se principalmente ao protocolo de avaliação do C. Primeiramente, o fato de as velocidades serem sorteadas pelos pacientes antes do início do protocolo fez com que eles caminhassem em ordem aleatória nas diferentes velocidades, mas não assegurou que a mesma ordem se repetisse mais de uma vez em participantes diferentes. Dessa forma, poderia ter ocorrido interferência nas variáveis mensuradas em alguma velocidade. Posteriormente, foi realizada uma verificação e não houve comprometimento das variáveis mensuradas nesse protocolo.

A VAS descrita nos resultados se refere sempre ao valor mensurado na esteira, ao passo que os estudos costumam trazer a velocidade usual ou máxima medida no solo^{11, 12, 44}. Porém, como os outros desfechos foram mensurados com a caminhada em esteira, optou-se por utilizar essa para apresentação dos resultados. Entretanto, quando foi comparada a VAS no solo entre pacientes com DPOC e saudáveis, nenhuma diferença estatística foi apontada, ao contrário do que seria esperado. Isso pode ter acontecido por uma série de fatores: (1) a esteira apresentou-se como uma dificuldade maior para os pacientes (mesmo havendo familiarização) e nem tanto para os indivíduos controles, mas quando verificada se havia diferença na VAS do solo em relação à VAS na esteira obteve-se um $p=0,005$, e para pacientes com DPOC nessa comparação o $p=0,014$; (2) o fato de a velocidade no corredor ser cronometrada implica erros do avaliador, que são mais simples de controlar na esteira; (3) é possível que os pacientes com DPOC apresentem respostas emocionais e de percepção de esforço diferentes dependendo do local de execução do protocolo de caminhada, mesmo sendo a velocidade auto seleciona, como acontece com indivíduos saudáveis⁵⁷; (4) independentemente do grupo, a velocidade da esteira veio a ser menor do que no corredor. Mesmo estando ciente das diferenças entre a caminhada no solo e na esteira, optou-se por utilizar a VAS na esteira para as principais análises, pois foi o local onde foram adquiridos os dados mecânicos e metabólicos.

Outra limitação refere-se ao número de participantes no estudo, tendo em vista que cálculo amostral foi realizado a partir do VO_{2PICO} , pelo desconhecimento de estudos que houvessem mensurado o C em pacientes com DPOC. Provavelmente este fator limitante não é importante, pois a variabilidade do C foi semelhante ao do VO_{2PICO} nos pacientes com DPOC.

9. ARTIGO 1

Revista alvo: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine

COMPORTAMENTO DO CUSTO DE TRANSPORTE EM DIFERENTES VELOCIDADES DA CAMINHADA DE PACIENTES COM DPOC

THE BEHAVIOR OF COST OF TRANSPORT IN DIFERENT WALKING SPEEDS IN COPD PATIENTS

Autores:

Marcela Alves Sanseverino^{1,2}

Renata Luísa Bona³

Matteo Pecchiari⁴

Mathieu Gruet⁵

Danilo Cortozi Berton²

Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga^{1,2}

¹Laboratório de Pesquisa do Exercício, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Pneumológicas, Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

³ PDU Biomechanics, Centro Universitario de Paysandú, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay.

⁴Laboratorio di Meccanica Respiratoria, Dipartimento di Fisiopatologia Medico Chirurgica e dei Trapianti, Università degli Studi di Milano, Milan, Italy.

⁵LAMHESS EA 6312, Universities of Toulon and Nice Sophia-Antipolis, Toulon, France.

Todos os autores participaram da elaboração, análise e escrita desse estudo. A principal responsável pela seleção dos pacientes e coletas de dados foi a primeira autora, com auxílio da autora doutora Renata Bona, sob orientação do professor doutor Leonardo Tartaruga.

Resumo

Rationale: A principal característica clínica dos pacientes com DPOC é a intolerância ao exercício, que pode ser explicada por diversos fatores. Não obstante, é desconhecida a influência desses mecanismos em variáveis descritoras da locomoção humana, e nem sua interferência na escolha da velocidade de caminhada dos indivíduos com DPOC.

Objetivo: Determinar o comportamento do custo de transporte e a eficiência ventilatória em diferentes velocidades de caminhada em indivíduos com DPOC e compará-los com indivíduos controles.

Métodos: Participaram do estudo onze indivíduos com DPOC pareados com onze indivíduos controles. Eles foram submetidos a uma avaliação do custo de transporte, na qual os participantes caminharam em ordem aleatória na esteira em seis velocidades diferentes, entre elas a autosseleccionada, quatro relativas a essa e uma pré determinada igual a todos os participantes (*isovelocidade* 3,2 km.h⁻¹).

Medidas e principais resultados: A velocidade autosseleccionada em esteira foi significativamente menor nos participantes com DPOC comparados aos indivíduos controles. Diferentemente do grupo controle, nos participantes com DPOC o custo de transporte diminui com o aumento da velocidade. Contudo, não houve diferenças entre os valores dessa variável entre os grupos, nem mesmo durante a *isovelocidade*. A escala de Borg para dispneia no grupo dos pacientes apresentou valores significativamente maiores nas velocidades mais altas de caminhada.

Conclusão: A velocidade autosseleccionada de pacientes com DPOC é influenciada principalmente pelo conforto respiratório sem apresentar interferência do custo de transporte. As alterações decorrentes da doença não acarretaram em prejuízos a economia de caminhada da amostra de pacientes estudada.

Contagem de palavras do resumo: 250

Abstract

Rationale: The main clinical characteristic of subjects with COPD is exercise intolerance that can be explained by a variety of factors. Nevertheless, it is still unknown if these mechanisms interfere in variables which can describe human locomotion, including the self-selected speed.

Objective: To determine the behavior of cost of transport and ventilatory efficiency as a function of walking speeds in individuals with COPD and compare them with control subjects.

Methods: 11 patients with COPD joined this study and were paired with 11 control subjects. They underwent an evaluation of cost of transport that consisted of walking on a treadmill at six different speeds, among them the self-selected speed, other four different speeds calculated using self-selected speed as a reference, and other predetermined speed which was equal to all participants (*isovelocidade*).

Measurements and Main Results: The self-selected speed on a treadmill was significant slower for participants with COPD comparing with control subjects. The COPD group also differs from the control group given that their cost of transport diminishes when increasing walking speed. However, no differences were found in the values of cost of transport between groups, not even during walking at the *isovelocidade*. The Borg scale presented its higher values in COPD group while walking at faster speeds, including *isovelocidade*, which differ significantly from control subjects.

Conclusion: The self-selected speed was mainly influenced by the ventilatory comfort, but did not show any interference from cost of transport. The abnormalities due to the disease did not bring out impairments for walking economy.

Abstract word count: 250

INTRODUÇÃO

A intolerância ao exercício na doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) é a principal característica clínica e possui grande impacto na qualidade de vida dos pacientes, uma vez que limita as suas atividades de vida diária^{1, 2}. Existem diversos fatores advindos da DPOC que contribuem para a intolerância^{3, 4, 5}, os mais destacados na literatura referem-se (1) à hiperinsuflação pulmonar dinâmica³, (2) ao suprimento inadequado às musculaturas respiratória e locomotora⁴, e (3) à disfunção da musculatura de membros inferiores⁵. Não se têm evidências suficientes para apontar o principal fator, mas sabe-se que elas interagem de forma complexa e são responsáveis pelo aumento do trabalho respiratório⁴ resultando em pior desempenho desses indivíduos em testes de capacidade funcional de exercício^{1, 6}.

A intensidade de caminhada de indivíduos com DPOC está reduzida em 17% a 33% em comparação a indivíduos saudáveis da mesma idade. Da mesma forma, a frequência diárias de mudanças posturais é menor nesses pacientes², assim como as suas velocidades autosselecionada e a máxima de caminhada⁶. Isso faz com que os pacientes se tornem sedentários, resultando em uma diminuição da velocidade autosselecionada

com o avanço da doença⁶. Além disso, foram observadas associações significativas da velocidade autosseleccionada com os principais desfechos da DPOC, como o volume expiratório forçado (VEF₁) em percentual do predito, a pontuação na escala modificada do Medical Research Council (MRC), a distância do teste de caminhada de seis minutos e a difusão pulmonar de monóxido de carbono (DLCO) em percentual do predito⁶. Apesar de não ter sido encontrada associação com nível de atividade física (avaliada por questionários)⁶, pode-se inferir que o sedentarismo possui um importante papel na piora da doença, tornando o paciente ainda mais inativo⁷, o que pode acarretar no aumento da intolerância e na diminuição da velocidade autosseleccionada.

Contudo, permanece desconhecida a influência da intolerância ao exercício em importantes variáveis que descrevem o desempenho da caminhada. A economia de caminhada, por exemplo, é expressa pelo custo de transporte (C), que representa a quantidade de energia necessária para percorrer determinada distância em certa velocidade⁸. Adicionalmente, o índice de reabilitação locomotora (IRL) informa se a velocidade autosseleccionada de um indivíduo corresponde a sua velocidade de melhor economia, chamada de velocidade ótima. Pacientes com insuficiência cardíaca crônica (ICC) demonstraram prejuízos nessas variáveis quando comparados com indivíduos controles. Além de apresentarem maiores valores de C, os pacientes com ICC não demonstraram correspondência da velocidade autosseleccionada com a velocidade ótima, obtendo menores valores de IRL do que os controles⁹. Os autores apontaram que a escolha por caminhar em velocidades que não correspondem a de menor C foi devido à sensação de dispneia, representado pela $VE.VCO_2^{-1}$, que apresentou menor valor na velocidade autosseleccionada⁹. Isto é, em detrimento da maior economia de caminhada, os pacientes com ICC escolhem caminhar na velocidade na qual a melhor eficiência ventilatória é encontrada⁹.

Não foram encontrados estudos que verificassem o comportamento do C em pacientes com DPOC. Considerando as alterações extrapulmonares advindas da doença, como a disfunção da musculatura esquelética e fraqueza de músculos locomotores, da mesma forma que os pacientes com ICC acreditamos que eles apresentaram alterações no C. Além disso, acreditamos que eles irão apresentar menor velocidade autosseleccionada de caminhada associada a um menor IRL. Com isso, o estudo pretende responder a três questões de estudo: (I) pacientes com DPOC apresentam alterações no comportamento do C em função da velocidade de caminhada? (II) Estaria o IRL

reduzido nesses pacientes? (III) Existe relação entre os desfechos clínicos da DPOC e as principais variáveis a serem estudadas?

MÉTODOS

Participaram do estudo 22 indivíduos, separados em pacientes com DPOC (n=11) e controles (n=11). Dentre os critérios de inclusão estavam: não ser fumante ativo, não apresentar outras doenças respiratórias ou cardíacas, sem malignidades que comprometessem a caminhada e, para os pacientes, estar com a doença estável. Os participantes foram submetidos a dois dias de avaliação no laboratório de fisiopatologia do exercício e função pulmonar localizado no Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA). No primeiro dia, foram submetidos ao teste de exercício cardiopulmonar (TCPE), e com intervalo mínimo de 72 horas, a avaliação do custo de transporte era realizada.

Teste de função pulmonar

Todos os participantes realizaram uma espirometria em repouso segundo as recomendações da ATS¹⁰. Os valores referidos para os pacientes foram obtidos dos seus testes de rotina realizados no HCPA. Os participantes do grupo controle foram submetidos a esse teste na primeira visita ao HCPA. A equação utilizada para os valores preditivos dos dois grupos foi a descrita por Pereira *et al.*(2007)¹¹.

Teste Cardiopulmonar de Exercício (TCPE)

Antes do início do protocolo realizava-se uma familiarização com esteira. O protocolo começava com a verificação dos principais sinais a ser coletados (consumo de oxigênio, VO₂; frequência cardíaca, FC; saturação periférica de O₂, SpO₂), em repouso na posição ortostática em cima da esteira. O teste iniciava com um aquecimento a 2 ou a 2,5 km.h⁻¹. A cada minuto, era acrescentado mais 0,5 ou 1 km.h⁻¹, até que se alcançassem 4, 5 ou 6 km.h⁻¹. Dessa velocidade em diante, eram realizados incrementos na inclinação de 3 pontos percentuais a cada minuto. O acréscimo na velocidade e a velocidade em que começavam os incrementos na inclinação dependiam da gravidade da doença do paciente com DPOC. Para os indivíduos do grupo controle, o protocolo utilizado foi aquele com velocidade final de 6 km.h⁻¹ com acréscimos de 1 km.h⁻¹ até essa velocidade.

Avaliação do Custo de Transporte

A avaliação do C iniciava com a verificação da velocidade autosselecionada no solo. Era solicitado ao participante que caminhasse na velocidade mais confortável e que costuma utilizar no seu dia-a-dia, em um corredor com distância de 15 metros. Para

confirmação, era solicitado que o sujeito realizasse 3 vezes o percurso. A velocidade servia como base para determinar a velocidade a ser colocada na esteira rolante, para alcançar a autosselecionada. Esse processo durava em torno de 5 a 10 minutos e servia como uma nova familiarização. Com a informação da velocidade autosselecionada na esteira rolante eram definidas as outras quatro velocidades, 20 e 40% acima e abaixo da velocidade autosselecionada. Além dessas cinco velocidades, os indivíduos caminhavam em uma velocidade igual a $3,2 \text{ km.h}^{-1}$, para que se pudessem analisar e comparar todas as variáveis em uma mesma velocidade de caminhada, chamada de avaliação em *isovelocidade*.

Foi solicitado que o participante caminhasse 5 minutos em cada uma das seis velocidades, cuja ordem foi aleatória e sorteada antes do início do protocolo⁹. O tempo de intervalo entre as velocidades foi de cinco minutos ou o suficiente para que o indivíduo atingisse FC abaixo de 100 batimentos por minutos ou valores de VO_2 próximo aos valores de repouso⁹. Os dados ventilatórios foram coletados durante todo o período de coleta, e foi anotado pelo pesquisador responsável o período de caminhada e de descanso, assim como a sequência das velocidades caminhada de cada participante. Eram anotados também os valores de saturação periférica de oxigênio e de frequência cardíaca, assim como quaisquer observações que pudessem ser úteis para o posterior momento de análise dos dados. Ao final de cada uma das velocidades, o participante deveria referir sua sensação de dispneia e desconforto em membros inferiores através da escala de Borg.

Custo de transporte e índice de reabilitação locomotora

O cálculo do C foi realizado com base no estudo de Figueiredo e colaboradores (2013)⁹. O VO_2 foi coletado *breath by breath*, mas para análise foi utilizado o filtro de 20 segundos. Foram utilizados no cálculo os valores dos últimos dois minutos de caminhada. Para transformação em Joules (J) foi utilizado o coeficiente de equivalente energético¹².

O IRL¹⁶, expressa a razão entre a VAS e a velocidade ótima de caminhada em valor percentual, quanto mais próximo de 100%, mais parecidas são essas velocidades. A velocidade ótima foi calculada a partir do número de Froude, que é adimensional e representa a velocidade horizontal de caminhada normalizada pelos efeitos de tamanho inter-indivíduos, juntamente com comprimento de membro inferior e a aceleração da gravidade.

Análise Estatística

A análise estatística foi realizada no software SPSS versão 20.0. Utilizou-se a análise da Equação de Estimativas Generalizadas (GEE), com *posthoc* de Bonferroni para comparação dos valores de C, eficiência ventilatória e escala de Borg para desconforto de membros inferiores e dispneia para comparação entre os diferentes grupos e as cinco velocidades relativas de caminhada. Para comparação dessas mesmas variáveis calculadas na *isovelocidade* e para comparação das variáveis de caracterização da amostra, foi utilizado um teste *t* para amostras independentes. Foram realizadas correlações entre a velocidade autosselecionada, o C e o IRL com o VO_{2PICO} e o VEF_1 . As variáveis são apresentadas em média e desvio padrão.

RESULTADOS

As variáveis de caracterização da amostra e as principais variáveis advindas do TCPE estão apresentadas na tabela 9.6. Os grupos obtiveram valores similares de idade, sexo e índice de massa corporal (tabela 9.6). Em comparação com o grupo controle, o grupo DPOC apresentou menores valores VEF_1 (% do predito) e da CVF (% do predito). Além disso, observou-se no grupo controle maior valor de VO_{2PICO} e menor percentual da razão ventilação pela ventilação voluntária máxima, comparado aos participantes com DPOC.

Tabela 9.6 - Caracterização da amostra

	Grupo Controle	Grupo DPOC	P
Sexo (fem/masc)	7/4	7/4	-
Idade (anos)	65,09 ± 10,86	65,09 ± 9,70	1,000
IMC (kg.m ⁻²)	24,36 ± 2,79	27,63 ± 5,24	0,076
VEF_1 (l)	2,65 ± 0,58	1,07 ± 0,53*	0,000
VEF_1 (% predito)	108,12 ± 23,45	45,36 ± 16,62*	0,000
CVF (l)	3,49 ± 0,75	2,00 ± 0,77*	0,000
CVF (% predito)	111,76 ± 24,37	68,09 ± 16,75*	0,000
VEF_1 /CVF (%)	75,82 ± 4,78	52,41 ± 11,31*	0,000
<i>Dados do TCPE</i>			
VO_{2PICO} (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	26,91 ± 4,28	18,72 ± 4,24*	0,000
VE_{PICO} /VVM (%)	66,78 ± 14,05	103,30 ± 31,93*	0,002
SpO ₂ (%)	96,91 ± 1,22	87,67 ± 7,64*	0,001
FC _{MÁX}	157,73 ± 19,24	123,73 ± 16,98*	0,000
<i>Medicamentos</i>			
Fenoterol		1	-
Fenoterol + ipatrópio		1	-

Formoterol + budesonida	11	-
Ipratrópio	4	-
Salbutamol	8	-
Tiotrópio	2	-

Os valores são referentes a média \pm desvio padrão. IMC: índice de massa corporal. VEF₁: volume expiratório forçado no primeiro segundo. CVF: capacidade vital forçada. VO₂PICO: consumo de oxigênio de pico. VE_{PICO}: ventilação de pico. VVM: ventilação voluntária máxima. SpO₂: saturação periférica de oxigênio. FC_{MÁX}: frequência cardíaca máxima. CMI: comprimento de membro inferior. VAS: velocidade autosseleccionada.

Avaliação do Custo de Transporte

As velocidades de caminhada do grupo com DPOC foram menores do que nos controles. As médias e desvio padrão para as velocidades -40%, -20%, velocidade autosseleccionada, +20% e +40% da velocidade autosseleccionada foram respectivamente: $2,12 \pm 0,41$, $2,85 \pm 0,55$, $3,54 \pm 0,70$, $4,24 \pm 0,86$ e $4,98 \pm 1,00$, para o grupo controle; enquanto que no grupo com DPOC as médias foram: $1,54 \pm 0,30$, $2,07 \pm 0,40$, $2,59 \pm 0,48$, $3,09 \pm 0,60$ e $3,61 \pm 0,68$.

O C não apresentou diferenças entre os grupos, mas o seu comportamento em função da velocidade foi diferente entre o grupo de pacientes com DPOC e o grupo controle, como ilustrado na figura 11A. Por outro lado, houve diferença significativa da eficiência ventilatória entre os grupos, sendo que o grupo DPOC apresentou maiores valores de $VE \cdot VO_2^{-1}$ em todas as velocidades. Na figura 11B observa-se que nos dois grupos a eficiência ventilatória diminuiu com o aumento da velocidade. A escala de Borg para o sintoma de fadiga de membro inferior não apresentou diferenças entre os grupos. A escala de Borg para dispneia se diferenciou entre o grupo DPOC e grupo controle nas velocidades mais altas de caminhada.

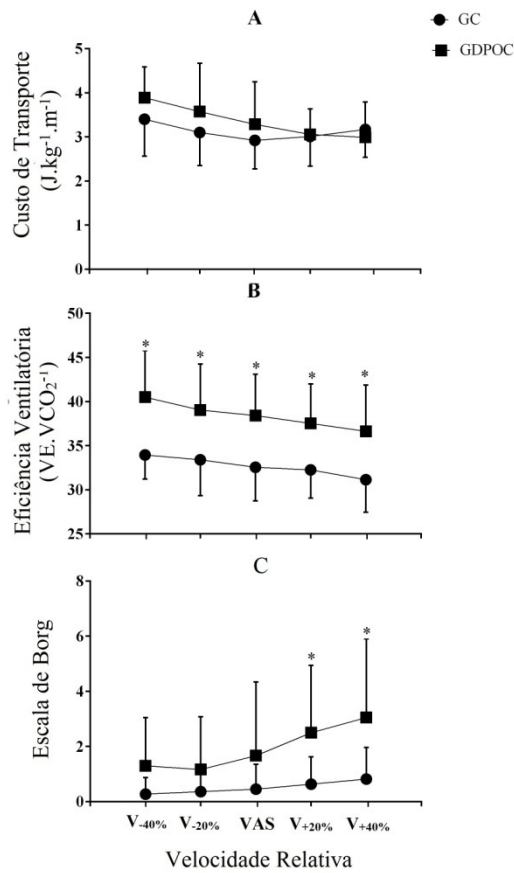


Figura 10 - Gráficos do Custo de transporte (A), da Eficiência ventilatória (B) e da escala de Borg para sensação de dispnéia (C) todos em função da velocidade relativa. Os * assinalam as diferenças na mesma velocidade entre os grupos com $P < 0,05$.

A velocidade autosseleccionada e o IRL apresentaram correlações significativas tanto com o VO_{2PICO} (figura 12 D e F, respectivamente) quanto com o VEF_1 (figura 12 A e C, respectivamente). Por outro lado, as correlações dos desfechos clínicos com o C demonstram-se fracas (figura 12 B e E).

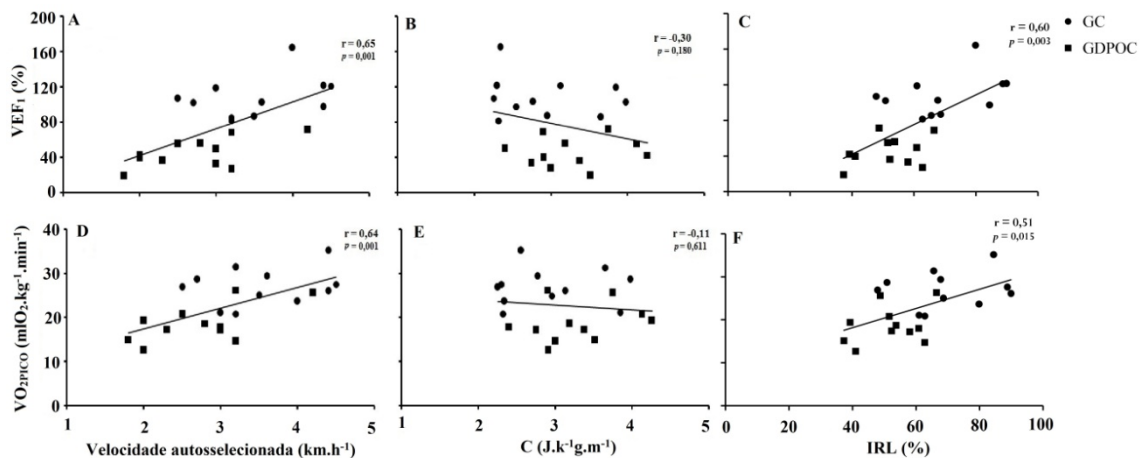


Figura 12 – Gráficos de correlação entre a velocidade autosseleccionada, o custo de transporte e o índice de reabilitação locomotora com desfechos clínicos. Acima estão representadas as correlações do VEF₁ em percentual do predito com a velocidade autosseleccionada em quilômetros por hora (A), com o custo de transporte em joules por quilograma por metro (B) e com o índice de reabilitação em percentual (C). Abaixo estão representados as correlações do consumo de oxigênio de pico com a velocidade autosseleccionada (D), com o custo de transporte (E) e com o índice de reabilitação locomotora (F).

Avaliação em isovelocidade

A tabela 9.2 apresenta as variáveis em *isovelocidade* e os valores de *P* na comparação entre os grupos. Reforçou-se a similaridade entre os valores do C, a diferença na eficiência ventilatória entre os grupos, além da maior sensação de dispneia no grupo DPOC.

Tabela 9.2 - Avaliação em isovelocidade

	Grupo controle	Grupo DPOC	<i>P</i>
Custo de transporte (J.kg ⁻¹ .m ⁻¹)	2,97 ± 0,66	3,10 ± 0,51	0,623
Eficiência ventilatória (VE.VCO ₂ ⁻¹)	33,31 ± 3,10	34,35 ± 11,31*	0,030
Escala de Borg MI	0,45 ± 1,03	1,30 ± 1,64*	0,030
Escala de Borg dispneia	0,55 ± 1,24	2,70 ± 2,66*	0,006

As variáveis estão expressas em média ± desvio padrão. O * assinala as diferenças com *P* < 0,05 entre os grupos. J.kg⁻¹.m⁻¹ – joules por quilograma por metro. VE.VCO₂-1 – razão ventilação por volume de dióxido de carbono produzido. MI – membros inferiores.

DISCUSSÃO

O presente estudo apresentou resultados interessantes em relação ao C. da mesma forma que os pacientes com ICC⁹, o C diminuí com o aumento da velocidade de caminhada. Contudo, não foram observadas diferenças significativas entre o grupo dos participantes com DPOC e o grupo controle, nem mesmo quando comparados em *isovelocidade*, contrariando a hipótese formulada *a priori*. Outro importante achado deste estudo refere-se à velocidade autosseleccionada e ao IRL terem apresentado correlações significativas tanto com o VO₂PICO quanto com o VEF₁, demonstrando sua importância na avaliação dos pacientes com DPOC, como mencionado anteriormente por outros estudos^{1,2,6}.

É interessante ressaltar, entretanto, que as diferenças entre as velocidades dentro de um mesmo grupo foram similares às diferenças encontradas entre os grupos na mesma velocidade relativa. Contudo, apenas na primeira situação foi detectada diferença estatística. Por isso, uma possível explicação para esses acontecimentos é a

maior variabilidade do C encontrada nos pacientes em algumas velocidades, decorrente de um grupo heterogêneo quanto à gravidade da doença. Todavia, a variabilidade encontrada para o grupo DPOC pode estar relacionado ao trabalho respiratório, ao passo que está documentado a variabilidade dessa variável⁴. Um dos fatores relacionados à intolerância ao exercício na DPOC explica que o déficit de O₂ resulta em uma competição dos suprimentos disponíveis na corrente sanguínea entre a musculatura respiratória e a locomotora⁴. A musculatura respiratória acaba sendo a favorecida e o valor do VO₂ destinado a essa musculatura pode variar entre 3,0 e 19,5 mlO₂/l⁴, diferente do relatado em pessoas saudáveis em que a variação é de 1,0 a 3,0mlO₂/l⁴. Essa variação reflete-se no trabalho muscular respiratório, e, portanto pode influenciar e justificar a variabilidade encontrada para o C.

O comportamento observado para o C confirmou a hipótese, de que a velocidade de menor C dos pacientes com DPOC, da mesma forma que indivíduos acometidos por ICC⁹, não corresponderia à velocidade autosselecionada. Além disso, é importante ressaltar que a velocidade de menor C dos pacientes com DPOC foi parecida a dos controles. A média da velocidade 5 para o grupo DPOC foi igual a 3,60 km.h⁻¹, ao passo que a média velocidade autosselecionada dos controles, foi igual a 3,55 km.h⁻¹. Portanto, pode-se sugerir que, apesar da fraqueza e da atrofia muscular⁵ somadas ao déficit metabólico⁴ que resultam em menor capacidade aeróbica^{2, 13}, pacientes com DPOC e indivíduos controles compartilham uma mesma velocidade em que o sistema energético da caminhada está otimizado. Ainda, essa inferência é reforçada pela avaliação em *isovelocidade*, em que indivíduos com e sem DPOC não apresentaram diferenças significativas entre seus valores de C.

Dessa forma, é possível inferir que nem o suprimento inadequado a musculatura respiratória e locomotora⁴, nem a disfunção muscular de membros inferiores⁵ são os principais mecanismos para escolha da velocidade de caminhada de pacientes com DPOC. Além disso, a escala de Borg para dispneia indicou que a escolha dos pacientes com DPOC de caminhar em velocidades mais baixas está relacionada a esse sintoma, em detrimento de um maior consumo energético para caminhar determinada distância nessas velocidades. Esse comportamento indica que um mecanismo importante da escolha da velocidade de caminhada em pacientes DPOC é o conforto ventilatório, assim como em pacientes com ICC⁹. Dessa forma, são apresentadas evidências de que durante a caminhada o principal mecanismo relacionado à intolerância ao exercício e escolha de velocidade são as alterações da mecânica respiratória³. A hiperinsuflação

pulmonar dinâmica, resultante da alteração da mecânica respiratória, é apontada como um dos principais fatores para a intolerância dessa população³, principalmente quando trata-se de caminhada^{14, 15}. Possivelmente, na tentativa de evitar grandes aumentos de demanda ventilatória, os pacientes preferem caminhar em velocidades abaixo da ótima, pois também representam menores intensidades de caminhada¹.

Dessa forma, o presente estudo encontrou predominância das alterações de mecânica respiratória³ ao suprimento inadequado às musculaturas⁴ e à disfunção da musculatura locomotora⁵. A escala de Borg para o desconforto de membros inferiores corrobora com essa afirmação tendo vista o seu comportamento semelhante com o aumento da velocidade de caminhada nos dois grupos. Somando-se a isso, mais uma vez, a avaliação em *isovelocidade* auxilia no entendimento desses mecanismos, uma vez que não houve diferença importante entre os pacientes com DPOC e os controles para essa variável.

Mesmo sendo um desfecho secundário e uma variável subjetiva, a escala de Borg para dispneia avaliada em *isovelocidade* apresentou-se como uma variável importante demonstrando ser uma ferramenta confiável para ser utilizada na prática da reabilitação e do treinamento. Afinal, a dispneia por esforço é o sintoma mais comum dos indivíduos acometidos por uma doença pulmonar crônica^{16, 17}. Está bem estabelecido no contexto clínico que ela é causada por um desequilíbrio entre a demanda e a capacidade ventilatória¹⁶. De forma quantitativa, estudos clássicos demonstram a forte correlação da intensidade de dispneia (mensurada pela escala de Borg) e variáveis como VE/VVM ou a razão da pressão esofágica durante o exercício e a sua máxima. Contudo esses achados são referentes tanto a pacientes com doença pulmonar crônica quanto indivíduos saudáveis^{18, 19}. Atualmente, foram realizados estudos que compararam a atividade eletromiográfica do diafragma (EMGdi)²⁰. Ao normalizar a EMGdi pela sua máxima, houve diferenças significativas entre indivíduos com DPOC e os saudáveis²⁰. Nos indivíduos acometidos pela DPOC essa razão estava aumentada no repouso assim como no exercício²⁰, o que reflete o desequilíbrio entre a demanda e a capacidade de trabalho da musculatura respiratória^{21, 22}.

No presente estudo, foi encontrada uma diminuição da eficiência ventilatória com o aumento da velocidade tanto para o grupo controle quanto para o grupo DPOC. Contudo, os valores de $VE.VCO_2^{-1}$ são significativamente maiores nesses pacientes do que em indivíduos saudáveis. Isso significa que os pacientes com DPOC possuem menor eficiência ventilatória quando comparados com indivíduos saudáveis. Esse

resultado está de acordo com o previsto por outros estudos que demonstraram maiores valores de $VE.VCO_2^{-1}$ no pico do exercício, tanto aquele realizado em esteira quanto aquele realizado em bicicleta^{14, 15}.

Por outro lado, diferente dos pacientes com ICC⁹, a eficiência ventilatória não correspondeu à velocidade autosselecionada dos pacientes com DPOC. Entretanto, o presente estudo está de acordo com o comportamento apresentado nos materiais didáticos que afirmam que os valores de $VE.VCO_2^{-1}$ diminuem com o aumento da intensidade de exercício²³. Com isso, apesar de apresentar menor eficiência ventilatória, os participantes com DPOC e os indivíduos controles possuem o mesmo comportamento de $VE.VCO_2^{-1}$ em função da velocidade de caminhada.

Conclui-se, portanto, que os indivíduos com DPOC não possuem comprometimentos do C em comparação com indivíduos saudáveis da mesma idade. Contudo, os pacientes não escolhem caminhar na velocidade em que se encontra o menor valor de C, evidenciando o prejuízo funcional acarretado pela doença. Além disso, pode-se observar que a velocidade autosselecionada está relacionada ao conforto ventilatório, tendo em vista a preferência dos indivíduos com DPOC de caminhar em velocidades mais baixas, em que o C é maior, mas que a sensação de dispneia é significativamente menor.

É importante ressaltar a importância da avaliação da locomoção para incorporação à reabilitação convencional de um treinamento que vise a melhoria da capacidade funcional e aumento da velocidade autosselecionada. Dessa forma, pode-se propiciar ao paciente com DPOC uma caminhada mais econômica e com menor sensação de dispneia durante suas atividades de vida diária.

Contagem de palavras do texto: 2.986

REFERÊNCIAS

1. Louvaris Z, Kortianou EA, Spetsioti S, Vasilopoulou M, Nasis I, Asimakos A, Zakynthinos S, Vogiatzis I. Intensity of daily physical activity is associated with central hemodynamic and leg muscle oxygen availability in COPD. *J App Physiol*. 2013.
2. Kawagoshi A, Kiyokawa N, Sugawara K, Takahashi H, Sakata S, Miur S, Sawamura S, Satake M, Shioya T. Quantitative assessment of walking time and postural change in patients with COPD using a new triaxial accelerometer system. *Int J Chro Obstr Pulm Dis*. 2013, 8: 397-404.

3. O'Donnell DE, Webb KA. Point-counterpoint: the major limitation to exercise performance in COPD is dynamic hyperinflation. *J Appl Physiol.* 2008, 105 (2): 753-755.
4. Aliverti A, Maklen PT. Point-counterpoint: the major limitation to exercise performance in COPD is inadequate energy supply to the respiratory and locomotor muscles. *J Appl Physiol.* 105 (2): 749-751, 2008.
5. Debigarè R, Maltais F. Point-counterpoint: the major limitation to exercise performance in COPD is lower limb dysfunction. *J Appl Physiol.* 2008, 105 (2): 751-753.
6. Karpman C, DePew ZS, LeBrausser NK, Novotny PJ, Benzo RP. Determinants of gait speed in COPD. *Chest.* 2014, 146 (1): 104-110.
7. Dourado, VZ. Exercício físico aplicado a reabilitação pulmonar: princípios fisiológicos, prescrição e avaliação dos resultados. **Revinter**: Rio de Janeiro, 2011.
8. Saibene F, Minetti A. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. *Europ J ApplPhysiol.* 2003, 88: 297-316.
9. Figueiredo P, Ribeiro PAB, Bona RL, Peyré-Tartaruga LA, Ribeiro JP. Ventilatory determinants of self-selected walking speed in chronic heart failure. *Med Sci Sports Exer.* 2013, 45(3): 415-419.
10. American Thoracic Society. Standards for the diagnosis and care of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995,152(5):S77-S120.
11. Pereira CAC, Sato T, Rodrigues, SC. Novos valores de referência para espirometria forçada em brasileiros adultos de raça branca. *J Bras Pneumol.* 2007, 33(4): 397-406.
12. Blaxter, K. Energy metabolism in animals and man. **Cambridge University Press**: Cambridge, UK, 1989.
13. Emtner MI, Arnardottir HR, Hallin R, Lindberg E, Janson C. Walking distance is a predictor of exacerbations in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Resp Med.* 2006, 101: 1037-1040.
14. Palange P, Forte S, Onorati P, Manfredi PS, Carlone S. Ventilatory and metabolic adaptation to walking and cycling in patients with COPD. *J App Physiol.* 2000, 88: 1715-1720.

15. Pepin V, Saey D, Whittom F, LeBlanc P, Maltais F. Walking versus cycling: sensitivity to bronchodilation in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Resp Crit Car Med*. 2005, 172(12): 1517-1522.
16. Parshall MB, Schwartzstein RM, Adams L, Banzett RB, Manning HL, Bourbeau J, Calverley PM, Giff AG, Harver A, Lareau SC, Mahler DA, Meek PM, O'Donnell DE. American Thoracic Society Committee on Dyspnea. An official American Thoracic Society statement: update on the mechanisms, assessment, and management of dyspnea. *Am J Resp Crit Car Med*. 2012, 185(4): 435-452.
17. Honda, Y. Dyspnea: Measurements and Mechanism. *Inter Med* 1998, 37(10): 799.
18. O'Donnell DE, Bertley JC, Chau LK, Webb KA. Qualitative aspects of exertional breathlessness in chronic airflow limitation: pathophysiologic mechanisms. *Am J Resp Crit Car Med*. 1997, 155(1): 109-115.
19. Rampulla C, Baiocchi S, Dacosto E, Ambrosino N. Dyspnea on exercise: pathophysiologic mechanisms. *Chest*. 1992, 101: 248S-252S.
20. Qin YY, Steier J, Jolley C, Moxham J, Zhong NS, Luo YM. Efficiency of neural drive during exercise in patients with COPD and healthy subjects. *Chest*. 2010, 138(6): 1309-1315.
21. Luo YM, Moxham J, Polkey MI. Diaphragm eletromyograph using an oesophageal catheter: current concepts. *Clin Sci*. 2008, 115: 233-244.
22. Jolley CJ, Luo YM, Steier J, Reilly C, Seymour J, Lunt A, Ward K, Rafferty GF, Polkey MI, Moxham J. Neural respiratory drive in healthy subjects and in COPD. *Eur Resp J*. 2009, 33(2): 289-297.
23. Wilmore JK, Costil DL, Kenney L. [tradução: Fernando Gomes Nascimento] Fisiologia do esporte e do exercício. Manoele: Barueri, 4^a ed, 2010.

10. ARTIGO 2

Revista alvo: Jornal Brasileiro de Pneumologia

VELOCIDADE AUTOSSELECIONADA, ESTABILIDADE DINÂMICA E PARÂMETROS ESPAÇO-TEMPORAIS DA MARCHA DE PACIENTES COM DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA

SELF-SELECTED SPEED, DYNAMIC STABILITY AND SPATIOTEMPORAL PARAMETERS OF THE GAIT FROM PATIENTS WITH CHRONIC OBSTRUCTIVE DISEASE

Autores:

Marcela Alves Sanseverino^{1,2}

Renata Luísa Bona³

Matteo Pecchiari⁴

Mathieu Gruet⁵

Danilo Cortozi Berton²

Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga^{1,2}

¹Laboratório de Pesquisa do Exercício, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Pneumológicas, Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

³ PDU Biomechanics, Centro Universitario de Paysandú, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay.

⁴Laboratorio di Meccanica Respiratoria, Dipartimento di Fisiopatologia Medico Chirurgica e dei Trapianti, Università degli Studi di Milano, Milan, Italy.

⁵LAMHESS EA 6312, Universities of Toulon and Nice Sophia-Antipolis, Toulon, France.

Resumo

Objetivo. Avaliar parâmetros espaço-temporais e a estabilidade dinâmica da marcha de indivíduos com DPOC em diferentes velocidades de caminhada e comparar com indivíduos saudáveis.

Métodos. Foram avaliados 11 participantes em cada um dos dois grupos (controles e pacientes). Os indivíduos foram submetidos a um teste de exercício cardiopulmonar na primeira visita. Em uma segunda visita os participantes caminharam em cinco velocidades diferentes que foram calculadas a partir da velocidade autosseleccionada (VAS). Para aquisição dos dados, a caminhada foi realizada em esteira rolante durante cinco minutos, com intervalos de também cinco minutos. Os participantes foram filmados durante um minuto para aquisição das principais variáveis estudadas: a frequência de passada (FP), o comprimento de passada (CP) e o coeficiente de variação (CoV) da FP. Para comparação das variáveis entre velocidades e grupos foi utilizada a GEE.

Resultados. Em comparação a indivíduos contemporâneos saudáveis, os pacientes com DPOC apresentaram menor FP, menor CP. O CoV dos pacientes foi maior em duas velocidades de caminhada, contudo os valores encontrados nas diferentes velocidades de caminhada, com exceção a menor velocidade do grupo DPOC, são considerados nos dois grupos.

Conclusão. Os pacientes com DPOC caminham mais devagar, com menor FP e passadas mais curtas do que indivíduos saudáveis. As alterações advindas da DPOC não impactaram fortemente a estabilidade dinâmica dos pacientes.

Palavras chave: estabilidade dinâmica; parâmetros espaço-temporais; velocidade autosseleccionada; doença pulmonar obstrutiva crônica.

Abstract

Objective. The aim of the present study was to investigate the response of dynamic stability and spatiotemporal parameters at different speeds of walking, and compare the VAS of patients and its matched controls.

Methods. 11 patients with COPD took part in this study and were matched with 11 controls subjects for sex and age. They underwent a cardiopulmonary exercise test and an evaluation of the gait. In this last evaluation, participants walked at five different walking speeds, among them VAS during five minutes, and the other four calculated based on VAS. The subjects were filmed during one minute so the main variables could

be acquired: stride frequency (FP), stride length (CP) and coefficient of variation (CoV) of FP. It was used GEE to compare each variable between groups and speeds.

Results. The patients showed slower VAS, shorter steps and minor FP comparing with controls. The CoV only differ from healthy subjects at two speeds, but the values found for different speed, except the slower speed of the COPD group, are considered normal.

Conclusion. Patients walked slower with less FP and shorter steps comparing to healthy controls. The dynamic stability appears to be normal in COPD patients.

Key words: dynamic stability; spatiotemporal parameters; self-selected speed; chronic obstructive disease.

INTRODUÇÃO

Os indivíduos acometidos pela doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) possuem prejuízos na capacidade funcional de exercício, que impactam a qualidade de vida^{1,2}. A reduzida tolerância ao exercício é a principal característica clínica desses pacientes², e os fatores que contribuem para essa limitação são inúmeros^{2,3,4}. Contudo, existem três deles que são ressaltados na literatura atualmente como fatores chave para a intolerância ao exercício na DPOC: (1) a hiperinsulflação pulmonar dinâmica², (2) a disfunção da musculatura locomotora³ e (3) o suprimento inadequado à musculatura respiratória e à locomotora⁴. Não sabe, entretanto, qual dos fatores seria o principal, mas eles provavelmente interagem de forma complexa resultando em baixa capacidade de exercício e redução das atividades realizadas no dia-a-dia dos pacientes¹.

Essa limitação torna-se evidente no pior desempenho dos pacientes com DPOC no teste de caminhada de 6min em relação a indivíduos saudáveis^{1,5}. Além disso, um estudo anterior demonstrou menor intensidade de caminhada na vida diária dos pacientes, estando reduzida de 17 a 33% em comparação com pessoas da mesma idade que não possuíam a doença¹. Corroborando com essa idéia, foi demonstrado que os pacientes possuem velocidade usual de caminhada também menor⁶, e que esta se correlaciona com sintomas e prognóstico dos pacientes com DPOC. Dessa forma, a velocidade de caminhada autosselecionada (VAS) pode ser apresentada como uma importante ferramenta de avaliação desses pacientes⁶.

Concomitantemente, tem-se demonstrado em alguns estudos que os indivíduos com DPOC apresentam risco de queda aumentado, relacionado à baixa velocidade de caminhada^{7,8}. Contudo, ainda não se sabe qual o mecanismo atuante para esse

acontecimento, e nem se está ligado aos mecanismos que acarretam na intolerância ao exercício.

Especulou-se que por causa dos comprometimentos gerados pela hiperinsuflação pulmonar dinâmica, esses pacientes teriam grande variabilidade no deslocamento do centro de massa, principalmente na direção médio-lateral, para conseguir manter o deslocamento ântero-posterior (correspondente a propulsão)⁹. Contudo, apesar de terem sido encontrados alguns distúrbios, não foram suficientes para comprovar essa hipótese⁹.

Outro mecanismo que poderia estar promovendo o maior risco de queda está relacionado à maior fatigabilidade da musculatura de membros inferiores, uma vez que não estão recebendo suprimentos energéticos de forma adequada⁴. Isso prejudicaria a ativação dessa musculatura, e os pacientes deveriam apresentar um padrão de contração diferente dos indivíduos saudáveis¹⁰. Contudo, foi observado que, apesar dos pacientes apresentarem maior sinal de fadiga, o padrão de recrutamento é similar ao de indivíduos controles durante o teste de caminhada de 6min¹⁰.

Por fim, poderia se hipotetizar que pelo déficit no controle do equilíbrio⁸ e fraqueza de membros inferiores³, relacionado ao risco de quedas aumentado^{7, 8}, os pacientes acometidos pela DPOC possuam comprometimentos na estabilidade dinâmica da marcha, assim como observado para idosos saudáveis¹¹ e indivíduos com hemiparesia¹². Essas populações apresentam passos mais curtos e largos, com menor cadência quando caminham na VAS¹³. O mecanismo do pêndulo invertido auxilia no entendimento das alterações da marcha dos idosos¹⁴. Esse mecanismo busca explicar a complexa relação existente entre as energias mecânicas da caminhada humana, e que quando não está otimizada podem acarretar em alteração do padrão de marcha e em maior consumo de energia metabólica^{15, 16, 17}. É possível que pacientes com DPOC demonstrem também alterações de parâmetros espaço-temporais e na estabilidade dinâmica, visto que costumam caminhar em velocidades menores que indivíduos contemporâneos saudáveis^{1,6}. Porém, não foram encontrados estudos que avaliassem parâmetros espaço-temporais da marcha desses pacientes.

Portanto, o presente estudo visa avaliar a VAS de pacientes com DPOC, além de analisar a cinemática da caminhada em diferentes velocidades de caminhada e compará-los a indivíduos saudáveis.

MÉTODOS

A amostra foi composta por um total 22 participantes, selecionados por voluntariedade. Eles foram separados em dois grupos: os casos (n=11), formado por pacientes com DPOC (GDPOC); e, os controles (n=11), formado por indivíduos sem a doença (GC). Para a realização deste estudo, foram necessários dois encontros com os participantes: (1) leitura e assinatura do TCLE e, caso o sujeito aceitasse, realização do teste de exercício cardiopulmonar; (2) avaliação da marcha em esteira.

O teste cardiopulmonar incremental máximo foi executado em esteira (INBRAMED 10200, Porto Alegre, Brasil), utilizando protocolo de rampa. Inicialmente, era questionado ao participante se já havia caminhado sobre esteira. Caso não houvesse, antes da colocação do eletrocardiograma (ECG), era realizada uma familiarização que durava entre cinco e sete minutos em velocidade baixa de 2 a 4 km.h⁻¹ dependendo do sujeito. O teste iniciava com um aquecimento a 2 ou a 2,5 km.h⁻¹. A velocidade inicial era igual a 2,5 ou 3 km.h⁻¹ e 1% de inclinação, a cada minuto era acrescido mais 0,5 ou 1 km.h⁻¹, até que se alcançasse 4, 5 ou 6 km.h⁻¹. Dessa velocidade em diante, eram realizados incrementos na inclinação de 3 pontos percentuais a cada minuto. O acréscimo na velocidade e a velocidade na qual começava os incrementos na inclinação dependiam da gravidade da doença do paciente com DPOC. Para os indivíduos do GC, o protocolo utilizado foi o com velocidade final de 6 km.h⁻¹ com acréscimos de 1 km.h⁻¹ até essa velocidade.

A avaliação da marcha iniciava com a verificação da VAS no solo. Era solicitado que o indivíduo caminhasse em uma velocidade confortável e que costuma utilizar no seu dia-a-dia, em um corredor de 15 metros. Para confirmação, era solicitado que o sujeito realizasse 3 vezes o percurso, e cada uma delas foi cronometrada pelo pesquisador responsável. Após, essa velocidade foi testada na esteira rolante, e servia novamente como uma familiarização. A partir do *feedback* dado pelo participante, era ajustada a velocidade de caminhada. Foi observado que, ao caminhar na esteira, os indivíduos diminuía a sua a VAS em menos 1 km.h⁻¹ nos dois grupos, mas diferenças como essa entre a caminhada em solo em esteira são conhecidas e aceitas na literatura¹⁸. Com a informação da VAS na esteira rolante eram definidas as outras quatro velocidades, 20 e 40% acima e abaixo da VAS.

Primeiramente, eram posicionados os marcadores reflexivos localizados na tuberosidade do calcâneo, na articulação proximal do quinto meta-tarso e no maléolo lateral, todos no lado esquerdo dos participantes. Além disso, eram posicionados no sujeito a máscara do analisador de gases e o oxímetro de pulso no dedo indicador

esquerdo. O protocolo de caminhada iniciou com a mensuração do VO_2 em repouso com o sujeito em posição ortostática em cima da esteira durante cinco minutos. A seguir, era solicitado que o participante caminhasse 5 minutos em cada uma das seis velocidades, cuja ordem foi aleatória e sorteada antes de começar o protocolo¹⁹. O tempo de intervalo entre as velocidades foi de cinco minutos ou o suficiente para que o indivíduo atingisse FC abaixo de 100 batimentos por minutos e/ou valores de VO_2 próximo aos valores de repouso¹⁹.

O sistema de vídeo utilizado para a coleta das imagens era composto por uma câmera de vídeo (CASIO, Exilim FH25, 120 Hz). A taxa de amostragem das câmeras era de 120 Hz e o tempo de abertura das câmeras (*shutter*) ajustado em 1/400. A aquisição das imagens das coletas (dos dados de posição do movimento estudado) foi realizada pelo *software Dvideow* através do qual foi registrado, para cada sujeito, o quadro do primeiro contato do pé esquerdo com o solo (*touchdown*) e o quadro do último contato do mesmo pé com o solo (*takeoff*) de onze passadas consecutivas. No software Excel (2007) uma rotina foi elaborada, a partir desses valores e da taxa de amostragem da câmera, para que fossem calculados: a frequência de passada (FP), o comprimento de passada (CP) e o coeficiente de variação (CoV) da FP.

O tratamento estatístico dos dados foi realizado no software SPSS versão 20.0. A estatística descritiva com média e desvio padrão foi utilizada para apresentação das variáveis estudadas. A normalidade e a homogeneidade dos dados foram verificadas a partir dos testes de Shapiro-Wilk e de Levene. Utilizou-se a análise Equação de Estimativas Generalizadas (GEE), com correção de Bonferroni para comparação dos valores de FP, CP e CoV entre os diferentes grupos e as cinco velocidades.

RESULTADOS

Os controles foram pareados por sexo e idade com os indivíduos com DPOC. As principais características dos grupos estão apresentadas na tabela 1. Participaram mais mulheres, com idade média de 65 anos. Os valores espirométricos confirmam que os controles não possuem alteração na sua capacidade respiratória. Além disso, no TCPE os indivíduos controles apresentaram melhor desempenho em comparação aos indivíduos com DPOC. Não foi encontrada diferença no comprimento de membro inferior entre os grupos. As velocidades de caminhada do grupo com DPOC foram menores do que no grupo controle. Na velocidade 1 a média dos controles foi igual a $2,12 \pm 0,41$, 2 igual a $2,85 \pm 0,55$, 3 igual a $3,54 \pm 0,70$, 4 igual $4,24 \pm 0,86$ e 5 igual

4,98 ± 1,00, enquanto que nos pacientes com DPOC as médias foram 1,54 ± 0,30, 2,07 ± 0,40, 2,59 ± 0,48, 3,09 ± 0,60 e 3,61 ± 0,68, respectivamente.

Tabela 10.7 - Principais dados de caracterização da amostra

	Grupo Controle	Grupo DPOC	<i>p</i>
Sexo (fem/masc)	7/4	7/4	-
Idade (anos)	65,09 ± 10,86	65,09 ± 9,70	1,000
IMC (kg.m ⁻²)	24,36 ± 2,79	27,63 ± 5,24	0,076
VEF ₁ (l)	2,65 ± 0,58	1,07 ± 0,53*	0,000
VEF ₁ (%predito)	108,12 ± 23,45	45,36 ± 16,62*	0,000
CVF (l)	3,49 ± 0,75	2,00 ± 0,77*	0,000
CVF (%predito)	111,76 ± 24,37	68,09 ± 16,75*	0,000
VEF ₁ /CVF (%)	75,82 ± 4,78	52,41 ± 11,31*	0,000
<i>Dados do TCPE</i>			
VO ₂ PICO (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	26,91 ± 4,28	18,72 ± 4,24*	0,000
VE _{PICO} /VVM (%)	66,78 ± 14,05	103,30 ± 31,93*	0,002
SpO ₂ (%)	96,91 ± 1,22	87,67 ± 7,64*	0,001
FC _{MÁX}	157,73 ± 19,24	123,73 ± 16,98*	0,000
<i>Avaliação da marcha</i>			
CMI (m)	0,82 ± 0,05	0,77 ± 0,07	0,090
VAS (km.h ⁻¹)	3,55 ± 0,70	2,73 ± 0,70*	0,013

Os valores são referentes a média ± desvio padrão. IMC: índice de massa corporal. VEF₁: volume expiratório forçado no primeiro segundo. CVF: capacidade vital forçada. VO₂PICO: consumo de oxigênio de pico. VE_{PICO}: ventilação de pico. VVM: ventilação voluntária máxima. SpO₂: saturação periférica de oxigênio. FC_{MÁX}: frequência cardíaca máxima. CMI: comprimento de membro inferior. VAS: velocidade autosseleccionada.

Os valores médios referentes à FP e à CP estão apresentados na tabela 10.6, na qual se observa menores valores para as duas variáveis no GDPOC.

Tabela 10.8 - Variáveis espaço-temporais da marcha

Velocidade	Frequência de passada (Hz)			Comprimento de passada (m)		
	GC	GDPOC	<i>p</i>	GC	GDPOC	<i>p</i>
V _{-40%}	0,71 ± 0,09 ^{b,c,d,e}	0,64 ± 0,13 ^{b,c,d,e}	0,085	0,84 ± 0,19 ^{b,c,d,e}	0,66 ± 0,09 ^{b,c,d,e*}	0,002
V _{-20%}	0,82 ± 0,13 ^{a,c,d,e}	0,71 ± 0,11 ^{a,c,d,e*}	0,026	0,97 ± 0,19 ^{a,c,d,e}	0,79 ± 0,08 ^{a,c,d,e*}	0,001
VAS	0,91 ± 0,10 ^{a,b,d,e}	0,79 ± 0,12 ^{a,b,d,e*}	0,014	1,07 ± 0,17 ^{a,b,d,e}	0,88 ± 0,08 ^{a,b,d,e*}	0,000
V _{+20%}	0,96 ± 0,11 ^{a,b,c,e}	0,86 ± 0,11 ^{a,b,c,e*}	0,020	1,22 ± 0,17 ^{a,b,c,e}	0,94 ± 0,11 ^{a,b,c,e*}	0,000
V _{+40%}	1,03 ± 0,11 ^{a,b,c,d}	0,91 ± 0,11 ^{a,b,c,d*}	0,010	1,34 ± 0,18 ^{a,b,c,d}	1,02 ± 0,12 ^{a,b,c,d*}	0,000

Os valores são referentes a média ± desvio padrão. Os valores de *p* são referentes às diferenças encontradas entre os grupos. As letras são referentes as diferenças entre as velocidades dentro do mesmo grupo com *p*<0,05, sendo sendo: 'a' diferente V_{-40%}, 'b' de V_{-20%}, 'c' da VAS, 'd' de V_{+20%} e 'e' de V_{+40%}. O * assinala a diferença entre os grupos com *p*<0,05.

Na figura 1 está representada o comportamento do CoV com o aumento da velocidade de caminhada, tanto para o GC quanto GDPOC. As únicas diferenças significativas foram encontradas nas velocidades 1 e 4. No GDPOC os únicos valores que apresentaram diferença significativa foram da $V_{-40\%}$ para $V_{+40\%}$ com $P= 0,045$. Da mesma maneira, no GC, velocidade 1 foi diferente da velocidade 5 com $P=0,020$, mas ainda a velocidade 2 foi significativamente maior que a 4 com $P< 0,001$ e que a 5, com $P= 0,006$.

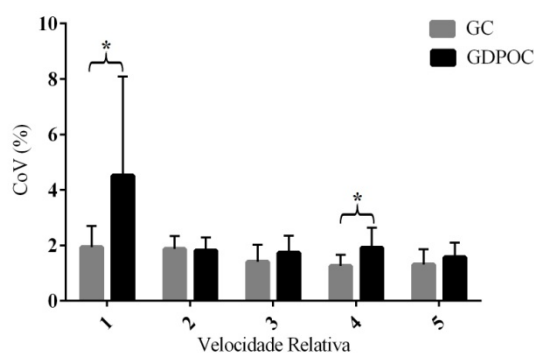


Figura 1 – Coeficiente de variação da frequência de passada em função a velocidade relativa de caminhada. O * assinala $p<0,05$ na diferença entre os grupos. as velocidades 1, 2, 3, 4 e 5 são referentes à -40% , -20% , VAS, $+20\%$ e $+40\%$, respectivamente.

DISCUSSÃO

O principal achado desse estudo foi o comportamento do CoV em função da velocidade e seus os valores encontrados para o GDPOC. Essa variável é uma medida indireta de estabilidade dinâmica^{11, 12}, e se esperava que apresentasse grande variabilidade, indicando prejuízos na estabilidade dinâmica da marcha. Contudo, os resultados demonstram prejuízos mínimos nessa variável. Até 3% de CoV considera-se que a estabilidade da marcha está normal¹², e com exceção a $V_{-40\%}$ no GDPOC, os valores estão dentro da normalidade tanto para os pacientes quanto controles que compõe a amostra do presente estudo.

A FP e a CP apresentaram aumento com o incremento da velocidade, sendo esse o comportamento esperado para os dois grupos do presente estudo. Em outros estudos existem relatos de que pessoas com múltiplas comorbidades, com idade avançada, com comprometimento no equilíbrio e com maior propensão a cair que possuem menor cadência de caminhada e seus passos costumam ser mais curtos e mais largos¹³. Esse comportamento se repetiu nesse estudo para os indivíduos com DPOC. Além disso, está bem estabelecido na literatura o fato de indivíduos acometidos pela DPOC apresentarem

menor velocidade usual⁶ e máxima^{6, 8, 20, 21} de caminhada, concordando com nossos resultados. Ainda, os estudos afirmam que essas velocidades diminuem com o agravamento da doença⁶, podendo apresentar também maior risco de quedas^{8, 22}. Sugere-se, portanto, que a FP e CP também reduzam com a progressão da doença. É possível que, em indivíduos com maior gravidade da doença, o CoV seja então maior do que indivíduos controles, tendo em vista que sua velocidade de caminhada será ainda menor, e foi nesta que se encontrou a maior variabilidade, e portanto menor estabilidade da marcha. Além disso, a menor VAS pode ser indicativa de menor estabilidade²³.

Pode-se sugerir que o fato de o comportamento da FP e da CP dentro das velocidades terem sido parecidos para os dois grupos demonstra que a os parâmetros espaço-temporais dos pacientes com DPOC possui alterações mínimas. Este achado vai ao encontro dos resultados apresentado no estudo realizado por Yentes e colaboradores (2015)²⁴, no qual a partir de uma análise tridimensional da caminhada em solo, os autores concluíram que as diferenças significativas de pacientes com DPOC comparados aos indivíduos controles são poucas²⁴. Portanto, é possível inferir que o mecanismo do pêndulo invertido nos pacientes com DPOC não esteja comprometido da forma que seria esperada pelas alterações centrais e periféricas resultantes da doença crônica¹⁹. Dessa forma, a reconversão de energias mecânicas, que ocorrem no centro de massa durante a caminhada^{14, 15, 16, 17}, pode estar ocorrendo de modo parecido ao de indivíduos saudáveis.

Além disso, medida avaliada da estabilidade dinâmica também demonstra mínimos prejuízos no pêndulo invertido. De forma geral, ao longo das cinco velocidades caminhadas, o CoV mostrou uma tendência de diminuição. Isso mostra que a variabilidade da marcha diminuiu nos dois grupos com o aumento da velocidade de caminhada, estando de acordo com o descrito na literatura^{11, 12}. Portanto, quanto maior a velocidade de caminhada, a estabilidade dinâmica do movimento também é maior, independente do grupo. Contudo, como ilustrado na figura 1, nas velocidades $V_{-40\%}$ e $V_{+20\%}$, o GDPOC apresentou valores de CoV significativamente maiores do que no GC, o que significa que nessas velocidades, os pacientes com DPOC apresentam maior instabilidade de marcha.

Ainda, o CoV não parece ser um fator determinante na escolha da VAS, uma vez que são nas velocidades mais altas de caminhada que os participantes demonstraram maior estabilidade da marcha, evidenciados na figura 1. Em contra ponto, Annegarn e colaboradores em seu estudo concluem que juntamente com a intensidade de caminhada

e a FP, a variabilidade de deslocamento, independente da direção, está associada ao desempenho no TC6⁹. É importante ressaltar, contudo que esse é um teste no qual o indivíduo deve manter uma velocidade máxima, e não usual de caminhada.

É importante considerar que o estudo teve algumas limitações. A provável diferença encontrada entre o solo e a esteira pode ter influenciado os resultados. Para ambos os grupos o solo teve maior velocidade que a marcha na esteira rolante. Além disso, a análise de cinemetria contou com uma câmera o que não permite inclusão de detalhes nos dados de mecânica da caminhada, como avaliação de cada hemitorço, informações de trabalho mecânico e mecanismo pendular.

CONCLUSÃO

Em suma, apesar de demonstrarem caminhar em menor FP e com passos mais curtos, e apresentarem em duas velocidades maior variabilidade da marcha, a estabilidade dinâmica dos pacientes pareceu apresentar distúrbios mínimos em relação aos indivíduos controles. Esse padrão encontrado pode ser um dos fatores relacionados ao número de quedas aumentado e os distúrbios de equilíbrio que vem sendo referido para essa população^{7, 8, 21}, e provavelmente mais atuante nos estágios mais avançados da doença. Contudo, este não é principal fator que resulta nas baixas velocidades de caminhadas dos indivíduos com DPOC. Esses resultados sugerem, portanto, que os pacientes possuem mínimos prejuízos no mecanismo do pêndulo invertido.

Considera-se relevante a realização de estudos adicionais que se aprofundassem sobre a relação existente da estabilidade dinâmica, o controle de equilíbrio e o número de quedas nessa população.

REFERÊNCIAS

1. Louvaris Z, Kortianou EA, Spetsioti S, Vasilopoulou M, Nasis I, Asimakos A, Zakynthinos S, Vogiatzis I. Intensity of daily physical activity is associated with central hemodynamic and leg muscle oxygen availability in COPD. *J Appl Physiol*. 2013.
2. O'Donnell DE, Webb KA. Point-counterpoint: the major limitation to exercise performance in COPD is dynamic hyperinflation. *J Appl Physiol*. 2008, 105 (2): 753-755.
3. DebigarèR, Maltais F. Point-counterpoint: the major limitation to exercise performance in COPD is lower limb dysfunction. *J Appl Physiol*. 2008, 105 (2): 751-753.

4. Aliverti A, Maklen PT. Point-counterpoint: the major limitation to exercise performance in COPD is inadequate energy supply to the respiratory and locomotor muscles. *J Appl Physiol.* 105 (2): 749-751, 2008.
5. Palange P, Forte S, Onorati P, Manfredi PS, Carlone S. Ventilatory and metabolic adaptation to walking and cycling in patients with COPD. *J App Physiol.* 2000, 88: 1715-1720.
6. Karpman C, DePew ZS, LeBrausser NK, Novotny PJ, Benzo RP. Determinants of gait speed in COPD. *CHEST.* 2014, 146 (1): 104-110.
7. Roig M, Eng JJ, Road JD, Reig WD. Falls in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a call for further research. *Resp Med* 2009, 103: 1257-1269.
8. Beauchamp MK, Hill K, Goldstein RS, Janaudis-Ferreira T, Brooks D. Impairment in balance discriminates fallers from non-fallers in COPD. *Resp Med.* 2009, 103: 1885-1891.
9. Annegarn J, Spruit MA, Savelberg HHCM, Willems PJB, van de 'Bool C, Schols AMJ, Wouters EFN, Meijei K. Differences in walking pattern during 6-min walk test between patients with COPD and healthy subjects. *PlosOne.*2012, 7(5).
10. Marquis N, Debigarè R, Bouyer L, Saey D, Laviolatte CB, Maltais F. Physiology of walking in patients with moderate to severe chronic obstructive pulmonary *Med Sci Sports Exer.*2009, 41(8): 1540-1548.
11. Malatesta, D; Simar, D; Dauvilliers, Y; Candau, R; Borrani, F; Pre´faut, C; Caillaud, C. Energy cost of walking and gait instability in health 65-80yr old. *J Appl Physiol.* 2003, 95: 2248-2256.
12. Oliveira HB, da Rosa RG, Gomeñuka NA, Peyré-Tartaruga LA. Estabilidade dinâmica da caminhada em indivíduos hemiparéticos: a influência da velocidade. *Rev Ed Física/UEM.* 2013, 24 (4): 559-565.
13. Shimada H, Kim H, Yoshid H, Suzukawa M, Makizako H, Yoshida Y, Saito K, Suzuki T. Relationships between age-associated changes of gait and falls and life-space in elderly people. *J Phys Ther Sci.* 2010, 22(4): 419-424.
14. Mian OS, Thom JM, Ardigo LP, *et al.* Metabolic cost, mechanical work, and efficiency during walking in young and older men. *Acta Physiol.*2006, 186: 127-139.
15. Saibene F, Minetti A. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. *Europ J Appl Physiol.*2003, 88: 297-316.

16. Margaria R. Biomechanics and energetics of muscular exercise. *Clarendon Press: Oxford* 1976, 146.
17. Cavagna GA, Kaneko M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. *J Appl Physiol.*1977, 268 (2): 467-481.
18. Dal U, Erdogan T, Resitoglu B, Beydagi H. Determination of preferred walking speed on treadmill may lead to high oxygen cost on treadmill walking. *Gait Posture.* 2010, 31(3):366-369.
19. Figueiredo P, Ribeiro PAB, Bona RL, Peyré-Tartaruga LA, Ribeiro JP. Ventilatory determinants of self-selected walking speed in chronic heart failure. *Med Sci Sports Exer.*2013, 45(3): 415-419.
20. Emtner MI, Arnardottir HR, Hallin R, Lindberg E, Janson C. Walking distance is a predictor of exacerbations in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Resp Med.*2006, 101: 1037-1040.
21. Kawagoshi A, Kiyokawa N, Sugawara K, Takahashi H, Sakata S, Miura S, Sawamura S, Satake M, Shioya T. Quantitative assessment of walking time and postural change in patients with COPD using a new triaxial accelerometer system. *Int J Chron Obstr Pulm Dis.*2013, 8: 397-404.
22. Smith MD, Chang AT, Seale HE, Walsh JR, Hodges PW. Balance is impaired in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Gait Posture.* 2010, 31: 456-460.
23. Beauchet O, Allali G, Annweiler C, Bridenbaugh S, Assal F, Kressing RW, Hermann FR. Gait variability among healthy adults: low and high stride-to-stride variability are both a reflection of gait stability. *Gerontol.* 2009, 55: 702-706.
24. Yentes JN, Schmid KK, Blanke D, Romberger DJ, Rennard SI, Stergiu N. Gait mechanics in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respiratory Research.* 2015, 16(31).

11. CONCLUSÃO

Em suma, os pacientes com DPOC apresentam menor valores de VAS em relação aos indivíduos que não possuem a doença quando caminham em esteira. Além disso, diferente dos indivíduos controles, nos pacientes com DPOC essa velocidade não corresponde à velocidade ótima de caminhada. A VAS menor do que a velocidade ótima de caminhada nos pacientes estudados está relacionada principalmente ao conforto ventilatório avaliado pela sensação subjetiva de dispnéia. Refutando a primeira hipótese do estudo, os pacientes com DPOC não apresentaram maior C, nem mesmo quando comparados na mesma velocidade de caminhada. Por outro lado, os pacientes demonstraram menor eficiência ventilatória independente da velocidade de caminhada.

Com relação às variáveis mecânicas, apesar de demonstrarem caminhar em menor FP e com passos mais curtos, e apresentarem em duas velocidades maior variabilidade da marcha, a estabilidade dinâmica dos pacientes não pareceu ser mais comprometida do que a dos indivíduos controles. Isso sugere, portanto, que se houver alterações no mecanismo do pêndulo invertido nos pacientes com DPOC, são pequenos distúrbios que parecem não comprometer o C. Contudo, devem-se realizar outros estudos que investiguem mais profundamente esse aspecto, pois houveram alguns indícios de maior instabilidade na marcha dos pacientes com DPOC.

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese de que os pacientes com DPOC apresentariam prejuízos na economia de caminhada, representada por um valor de C maior do que os controles pareados não foi comprovada. Entretanto, foram observadas características da marcha dos pacientes que são reflexos dos prejuízos na capacidade funcional, decorrentes da DPOC, como a baixa velocidade de caminhada, menor FP e passos mais curtos, relacionados ao conforto ventilatório. Esse padrão encontrado pode estar ligado ao número de quedas aumentado e os distúrbios de equilíbrio que vem sendo referido para essa população^{33, 34, 35}. Esses resultados sugerem, portanto, que os pacientes com DPOC não possuem prejuízos no mecanismo do pêndulo invertido.

Este é o primeiro estudo de acordo com o nosso conhecimento que mensurou o C e VAS além do IRT e das variáveis espaço-temporais em pacientes acometidos por DPOC. Notou-se a importância da avaliação locomotora, uma vez que além de refletir a capacidade funcional, está relacionada com os principais fatores de limitação ao exercício nessa população. Apesar de os pacientes não terem apresentado grandes prejuízos, seria importante proporcionar treinamento ou reabilitação específica para que eles alcancem um caminhar mais econômico, e que não aumente a sua sensação de dispneia.

Consideramos interessante a realização de estudos adicionais que se aprofundassem sobre a relação existente da estabilidade dinâmica, o controle de equilíbrio e o número de quedas nessa população. Além disso, se sugere a realização de um estudo que verifique as diferenças de percepção de esforço da caminhada em solo ou em esteira nos pacientes com DPOC.

13. REFERÊNCIAS

1. Corrêa Da Silva, LC. Pneumologia: princípios e prática. **Artmed**: Porto Alegre 2012, 1002p.
2. Barreto, SSM; Fiterman, J; Lima, MA. Práticas Pneumológicas. **Guanabara Koogan**: Rio de Janeiro, 2010, 668p.
3. Global Strategy for Diagnosis, Management and Prevention for Chronic Obstructive Pulmonary Diseases. www.goldcopd.org GOLD Report, February 2013.
4. Dourado, VZ. Exercício físico aplicado a reabilitação pulmonar: princípios fisiológicos, prescrição e avaliação dos resultados. **Revinter**: Rio de Janeiro, 2011.
5. Louvaris, Z; Kortianou, EA; Spetsioti, S; Vasilopoulou, M; Nasis, I; Asimakos, A; Zakynthinos, S; Vogiatzis, I. Intensity of daily physical activity is associated with central hemodynamic and leg muscle oxygen availability in COPD. *Journal of Applied Physiology*, July 2013.
6. O'Donnell, DE; Webb, KA. Point-counterpoint: the major limitation to exercise performance in COPD is dynamic hyperinflation. *Journal of Applied Physiology* 105 (2): 753-755, 2008.
7. Debigarè, R; Maltais, F. Point-counterpoint: the major limitation to exercise performance in COPD is lower limb dysfunction. *Journal of Applied Physiology* 105 (2): 751-753, 2008.
8. Aliverti, A; Maklen, PT. Point-counterpoint: the major limitation to exercise performance in COPD is inadequate energy supply to the respiratory and locomotor muscles. *Journal of Applied Physiology* 105 (2): 749-751, 2008.
9. Hill, K; Dolmage, TE; Woon, LJ; Brooks, D; Goldstein, RS. Rollators use does not consistently change the metabolic cost of walking people with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 93: 1077-1080, 2012.
10. Borghi-Silva, A; Beltrame, T; Reis, MS; Sampaio, LMM; Catai, AM; Arena, R; Costa, D. Relationship between O₂ consumption kinetics and BODE index in COPD patients. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease* 7: 711-718, 2012.
11. Kawagoshi, A; Kiyokawa, N; Sugawara, K; Takahashi, H; Sakata, S; Miur, S; Sawamura, S; Satake, M; Shioya, T. Quantitative assessment of walking time and

- postural change in patients with COPD using a new triaxial accelerometer system. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease* 8: 397-404, 2013.
12. Karpman, C; DePew, ZS; LeBrausser, NK; Novotny, PJ; Benzo, RP. Determinants of gait speed in COPD. *Chest* 146 (1): 104-110, 2014.
 13. Borghi-Silva, A; Baldissera, V; Sampaio, LMM.; Pires-DiLorenzo, VA; Jamami, M; Demonte, A; Marchini, JS; Costa, D. L-carnitineas an ergogenic aid for patients with chronic obstructive pulmonary disease submitted to whole-body and respiratory muscle training programs. *Brazilian Journal of Medical an Biological Research* 39(4): 467-474, 2006.
 14. Wegner, RE; Jörres, RA; Kirsten, DK; Magnussen, H. Factor analyses of exercise capacity, dyspnea ratings and lung function in patients with severe COPD. *European Respiratory Journal* 7: 725-729, 1994.
 15. Emtner, MI; Arnardottir, HR; Hallin, R; Lindberg, E; Janson, C. Walking distance is a predictor of exacerbations in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respiratory Medicine* 101: 1037-1040, 2006.
 16. Figueiredo, P; Ribeiro, PAB; Bona, RL; Tartaruga, LA; Ribeiro, JP. Ventilatory determinants of self-selected walking speed in chronic heart failure. *Medicine & Science of Sports Exercise* 45(3): 415-419, 2013.
 17. Saibene, F; Minetti, A. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. *European Journal of Applied Physiology* 88: 297-316, 2003.
 18. Mian, OS; Thom, JM; Ardigo, LP; *et al.* Metabolic cost, mechanical work, and efficiency during walking in young and older men. *Acta Physiologica* 186: 127-139, 2006.
 19. Mortaza, N; Abu Osman, NA; Mehdikhani, N. Are spatio-temporal parameters of gait capable of distinguishing a faller from a non-faller elderly? *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine* 50: 677-691, 2014.
 20. Thaler-Kall, K; Peters, A; Thorand, B; Autenrieth, CS; Horsh, A; Meisinger, C. Description of spatio-temporal gait parameters in elderly people and their association with history of falls: results of a cross-sectional KORA-Age study. *BioMedC Geriatrics* 15 (32), 2015.
 21. Oliveira, HB; da Rosa, RG; Gomeñuka, NA; Peyré-Tartaruga, LA. Estabilidade dinâmica da caminhada em indivíduos hemiparéticos: a influência da velocidade. *Revista de Educação Física/UEM* 24 (4): 559-565, 2013.

22. West, JB. Fisiopatologia pulmonar: principios básicos. 7 ed **Artmed**: Porto Alegre 2010, 244p.
23. Margaria, R. Sulla fisiologia, e specialmente sul consumo energetico della Márcia e della corsa a varia velocità ed inclinazione. *Atti Accademia Nazionale Lincei Classe Memorie 7*: 299-368, 1938.
24. Cavagna, GA; Kaneko, M. mechanical work and efficiency in level walking and running. *Journal of Applied Physiology* 268 (2): 467-481, 1977.
25. Margaria, R. Biomechanics and energetics of muscular exercise. *Clarendon Press Oxford* 146, 1976.
26. Gomeñuka, NA; Bona, RL; da Rosa, RG; Peyré-Tartaruga, LA. Adaptations to changing speed, load and gradient in human walking: cost of transport, optimal speed, and pendulum. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 24: e165-e173, 2014.
27. Houdijk, H; Kerkum, Y; Droog, L; Rijntej, D; Tolsma, M. The relation between gait stability and economy in hemi paretic. *Gait & Posture* 36: 2012.
28. Malatesta, D; Simar, D; Dauvilliers, Y; Candau, R; Borrani, F; Pre´faut, C; Caillaud, C. Energy cost of walking and gait instability in health 65-80yr old. *Journal of Applied Physiology* 95: 2248-2256, 2003.
29. Bruijn, SN; Meijer, OG; Beek, PJ; van Dieen, JH. Assessing the stability of human locomotion: a review of current measures. *Journal of Royal Society Interface* 10: 2013.
30. Reynard, F; Terrier, P; Vuadens, P; Deriaz, O. Gait stability in paretic patients and its association with tone and strength of lower limbs. *Annal of Physical and Rehabilitation Medicine*, conference paper, 2012.
31. Mahmoudian, A; Bruijn, SN; Yakhdani, HRF; Meijer, OG; Verschueren, SMP; van Dieen, JH. Phase-dependent changes in local dynamic stability during walking in elderly with and without osteoarthritis. *Journal of Biomechanics* in press, 2015.
32. Mohan-Kumar, T; Gimenez, M. Maximal ventilation at rest and exercise in patients with chronic pulmonary disease. *Respiration* 46(3): 291-302, 1984.
33. Shimada, H; Kim, H; Yoshid, H; Suzukawa, M; Makizako, H; Yoshida, Y; Saito, K; Suzuki, T. Relationsheep between age-associated changes of gait and falls and life-space in elderly people. *Journal of Physical Therapy Science* 22(4): 419-424, 2010.

34. Roig, M; Eng, JJ; Road, JD; Reig, WD. Falls in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a call for further research. *Respiratory Medicine* 103: 1257-1269, 2009.
35. Smith, MD; Chang, AT; Seale, HE; Walsh, JR; Hodges, PW. Balance is impaired in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Gait & Posture* 31: 456-460, 2010.
36. Beauchamp, MK; Hill, K; Goldstein, RS; Janaudis-Ferreira, T; Brooks, D. Impairment in balance discriminates fallers from non-fallers in COPD. *Respiratory Medicine* 103: 1885-1891, 2009.
37. Beauchamp, MK; O'Hoski, S; Goldstein, RS; Brooks, D. Effects of pulmonary rehabilitation on balance in persons with chronic obstructive pulmonary disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 91: 1460-1465, 2010.
38. Blaxter, K. Energy metabolism in animals and man. **Cambridge University Press:** Cambridge, UK, 1989.
39. Palange, P; Forte, S; Onorati, P; Manfredi, PS; Carlone, S. Ventilatory and metabolic adaptation to walking and cycling in patients with COPD. *Journal of Applied Physiology* 88: 1715-1720, 2000.
40. Pepin, V; Saey, D; Whittom, F; LeBlanc, P; Maltais F. Walking versus cycling: sensitivity to bronchodilation in chronic obstructive pulmonary disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 172(12): 1517-1522, 2005.
41. Trooters, T; Vilaro, J; Rabinovich, R; Casas, A; Barberá, JA; Rodriguez-Roisin, R; Roca, J. Physiological response to the 6-min walk test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *European Respiratory Journal* 20: 564-569, 2002.
42. Wilmore, JK; Costil, DL; Kenney, L. [tradução: Fernando Gomes Nascimento] Fisiologia do esporte e do exercício. Manoele: Barueri, 4^a ed, 2010.
43. Marquis, N; Debigarè, R; Bouyer, L; Saey, D; Laviolatte, CB; Maltais, F. Physiology of walking in patients with moderate to severe chronic obstructive pulmonary disease. *Medicine & Science of Sports Exercise* 41(8): 1540-1548, 2009.
44. Yentes, JN; Schmid, KK; Blanke, D; Romberger, DJ; Rennard, SI; Stergiu, N. Gait mechanics in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respiratory Research* 16(31), 2015.
45. Annegarn, J; Spruit, MA; Savelberg, HHCM; Willems, PJB; van de 'Bool, C; Schols, AMJ; Wouters, EFN; Meijer, K. Differences in walking pattern during 6-

- min walk test between patients with COPD and healthy subjects. *PlosOne* 7(5), 2012.
46. Beauchet, O; Allali, G; Annweiler, C; Bridenbaugh, S; Assal, F; Kressing, RW; Hermann, FR. Gait variability among healthy adults: low and high stride-to-stride variability are both a reflection of gait stability. *Gerontology*. 55: 702-706, 2009.
 47. Man, WD; Soliman, MG; Gearing, J; Radford, SG; Rafferty, GF; Gray, BJ; Polkey, MI; Moxham, J. Symptoms and quadriceps fatigability after walking and cycling in COPD. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 168(5): 562-567, 2003.
 48. Parshall, MB; Schwartzstein, RM; Adams, L; Banzett, RB; Manning, HL; Bourbeau, J; Calverley, PM; Gift, AG; Harver, A; Lareau, SC; Mahler, DA; Meek, PM; O'Donnell, DE; American Thoracic Society Committee on Dyspnea. An official American Thoracic Society statement: update on the mechanisms, assessment, and management of dyspnea. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 185(4): 435-452, 2012.
 49. Honda, Y. Dyspnea: Measurements and Mechanism. *Internal Medicine* 37(10): 799, 1998.
 50. O'Donnell, DE; Bertley, JC; Chau, LK; Webb, KA. Qualitative aspects of exertional breathlessness in chronic airflow limitation: pathophysiologic mechanisms. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 155(1): 109-115, 1997.
 51. Rampulla, C; Baiocchi, S; Dacosto, E; Ambrosino, N. Dyspnea on exercise: pathophysiologic mechanisms. *Chest* 101: 248S-252S, 1992.
 52. Qin, YY; Steier, J; Jolley, C; Moxham, J; Zhong, NS; Luo, YM. Efficiency of neural drive during exercise in patients with COPD and healthy subjects. *Chest* 138(6): 1309-1315, 2010.
 53. Luo, YM; Moxham, J; Polkey, MI. Diaphragm eletromyograph using an oesophageal catheter: current concepts. *Clinical Science* 115: 233-244, 2008.
 54. Jolley, CJ; Luo, YM; Steier, J; Reilly, C; Seymour, J; Lunt, A; Ward, K; Rafferty, GF; Polkey, MI; Moxham, J. Neural respiratory drive in healthy subjects and in COPD. *European Respiratory Journal*. 33(2): 289-297, 2009.
 55. Gigliotti, F. Mechanisms of dyspnea in healthy subjects. *Multidisciplinary Respiratory Medicine* 5(3): 195-201, 2010.

56. Henchoz, Y; Soldini, N; Peyrot, N; Malatesta, D. Energetics and mechanics of walking in patients with chronic low back pain and healthy matched controls. *European Journal of Applied Physiology* 115: 2433-2443, 2015.
57. Da Silva, SG; Guidetti, L; Buzzachera, CF; Elsangedy, HM; Krinski, K; De Campo, W; Baldari, C. Psychophysiological responses to self-paced treadmill and overground exercise. *Medicine & Science of Sports Exercise* 46(6): 1114-1124, 2011.
58. Riley, PO; Paolini, G; Croce, UD; Paylo, KW; Kerrigan, DC. A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking and healthy subjects. *Gait & Posture* 26: 17-24, 2007.

Apêndices

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(GRUPO CASOS)

TÍTULO DA PESQUISA: Comportamento de parâmetros metabólicos e eletromiográficos na caminhada de indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica

OBJETIVOS: A finalidade do estudo é analisar o comportamento do gasto de energia e do equilíbrio de pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica em diferentes velocidades da caminhada, e comparar com indivíduos saudáveis.

JUSTIFICATIVA: Necessidade de estudos mais específicos que verifiquem a quantidade de energia utilizada para percorrer uma distância durante a caminhada de pacientes com DPOC para que em longo prazo possa se elaborar um treinamento aeróbico específico para essas pessoas.

O senhor (a) está convidado (a) a participar de algumas atividades neste hospital (Hospital de Clínicas de Porto Alegre - HCPA), que serão acompanhadas por um grupo de pessoas especializadas no seu problema (doença pulmonar crônica). Essas atividades serão exames simples que avaliam a capacidade dos seus pulmões e de suas atividades da vida diária, principalmente a caminhada:

TESTE 1 - Teste cardiopulmonar: Esse exame é realizado para análise da quantidade de oxigênio utilizada para fazer um exercício físico. Dessa forma, o teste cardiopulmonar avalia seus sistemas cardiovascular e respiratório de uma forma conjunta, sendo realizado em esteira. O (A) senhor (a) não deverá comer muito antes do exame. Deverá vir ao local do exame com uma roupa apropriada para a prática de exercício físico (short, moletom, tênis, etc). Mulheres deverão usar sutiã ou top. O teste pode ser interrompido em caso de dificuldade de respirar, dor no peito, cansaço extremo, alteração importante na pressão arterial, ou outro sintoma relatado durante o teste, ou por sua simples vontade.

TESTE 2 - Teste de caminhada: será pedido que o (a) senhor (a) caminhe normalmente em um corredor de 15m plano em linha reta. Após isso, o (a) senhor (a) irá caminhar com a mesma velocidade em uma esteira. Em seguida será necessário que caminhe em velocidades que serão instruídas pelo pesquisador. Essas velocidades serão duas mais lentas e duas mais baixas que sua velocidade escolhida na primeira parte do teste. Será necessário caminhar 5 minutos em cada velocidade e haverá um intervalo

para descansar entre elas. Também serão verificadas sua pressão arterial e sua FC. A caminhada pode ser interrompida em caso de dificuldade de respirar, dor no peito, cansaço extremo, alteração importante na pressão arterial, outro sintoma relatado durante o teste, ou por sua simples vontade.

Os exames descritos acima poderão apresentar os seguintes efeitos colaterais: cansaço e falta de ar, tontura, dor de cabeça, dor no peito e nas pernas.

Para sua segurança, os testes de caminhada serão realizados no Serviço de Pneumologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, que também, estará à disposição para qualquer problema durante a realização de todas as avaliações. Se ocorrer qualquer problema durante o teste e os protocolos realizados na esteira rolante, como dificuldades de respirar, dor no peito, cansaço extremo, alteração importante da pressão arterial, desmaio, dormência no membro superior, o indivíduo será imediatamente atendido pelo médico do serviço de pneumologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre e lhe será dado todo o atendimento necessário.

Os benefícios dessas avaliações serão: saber da sua capacidade de caminhada e das condições do seu coração e pulmão.

EU, _____, abaixo assinado, sob responsabilidade do pesquisador que assina este documento, declaro ter recebido uma explicação completa sobre a pesquisa acima a que me submeto de livre e espontânea vontade, reconhecendo que:

- Foram explicadas as justificativas e objetivos da pesquisa.
- Foram explicados os exames que serão realizados.
- Foram descritos os desconfortos e riscos possíveis.
- Foram ditos os benefícios que eu poderei ter.
- Foi dada garantia de receber resposta a qualquer pergunta sobre os procedimentos, riscos, benefícios e outros assuntos relacionados com a pesquisa.
- Caso tiver novas perguntas sobre esse estudo, sobre meus direitos como participante do mesmo ou se penso que fui prejudicado pela minha participação, posso chamar a Prof. Marcela Alves Sanseverino – Educadora Física (investigadora) pelo telefone (51) 3359-6332, no Laboratório de Fisiopatologia do Exercício (LaFiEx). Além disso, posso ligar para o Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital de Clínicas de Porto

Alegre pelo telefone (51) 3359-7640, ou ainda para o Grupo de Pesquisa e Pós Graduação pelo telefone 3359-8304.

- Poderei desistir de participar da pesquisa a qualquer momento sem que isso prejudique a continuação dos meus cuidados e tratamento nesse hospital.
- Foi dada a garantia de não ser identificado e de ser mantido o caráter confidencial de informação em relação aos meus dados pessoais e/ou profissionais.
- Assino o presente documento, em duas vias iguais, ficando uma em minha posse.
- A minha assinatura neste Consentimento Livre e Esclarecido dará autorização ao patrocinador do estudo, ao comitê de ética do hospital, a utilizarem os dados obtidos quando for necessário, incluindo a divulgação desses dados, sempre preservando minha identidade e meu nome.
- Os resultados dos exames serão disponibilizados para os participantes, podendo ser retirado o primeiro exame no segundo exame e os resultados do segundo exame. Assim que forem realizadas as análises necessárias, a pesquisadora entrará em contato para fornecer os resultados.

Para qualquer dúvida ou esclarecimentos sobre o projeto de pesquisa é possível entrar em contato com o pesquisador responsável: Dr. Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga, professor da Escola de Educação Física da UFRGS, através do telefone 3308-5820.

Por este instrumento participo voluntariamente do presente estudo.

Porto Alegre, _____, _____, _____.
(dia) (mês) (ano)

Nome do participante: _____

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(GRUPO CONTROLE)

TÍTULO DA PESQUISA: Comportamento de parâmetros metabólicos e eletromiográficos na caminhada de indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica

OBJETIVOS: A finalidade do estudo é analisar o comportamento do gasto de energia e do equilíbrio de pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica em diferentes velocidades da caminhada, e comparar com indivíduos saudáveis.

JUSTIFICATIVA: Necessidade de estudos mais específicos que verifiquem a quantidade de energia utilizada para percorrer uma distância durante a caminhada por pacientes com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), para que em longo prazo possa se elaborar um treinamento aeróbico específico a esta população.

O (A) senhor (a) está convidado (a) a participar como controle, isto é, que não apresenta problemas em exames médicos. Dessa forma, realizará algumas atividades neste hospital (HOSPITAL DE CLÍNICAS DE PORTO ALEGRE - HCPA), que serão acompanhadas por um grupo de pessoas especializadas em pneumologia. Os resultados dos seus testes serão utilizados para ajudar na análise dos resultados dos pacientes com DPOC. Essas atividades serão testes simples que avaliam a capacidade dos seus pulmões e de suas atividades da vida diária, principalmente a caminhada:

TESTE 1 - Teste cardiopulmonar: Esse exame é realizado para análise da quantidade de oxigênio utilizada para fazer um exercício físico. Dessa forma, o teste cardiopulmonar avalia seus sistemas cardiovascular e respiratório de uma forma conjunta, sendo realizado em esteira. O (A) senhor (a) não deverá comer muito antes do exame. Deverá vir ao local do exame com uma roupa apropriada para a prática de exercício físico (short, moletom, tênis, etc). Mulheres deverão usar sutiã. O teste pode ser interrompido em caso de dificuldade de respirar, dor no peito, cansaço importante, alteração importante na pressão arterial, outro sintoma relatado durante o teste, ou por sua simples vontade.

TESTE 2 - Teste de caminhada: será pedido que o (a) senhor (a) caminhe normalmente em um corredor de 15m plano em linha reta. Após isso o (a) senhor (a) irá caminhar com a mesma velocidade em uma esteira. Em seguida será necessário que caminhe em velocidades que serão instruídas pelo pesquisador. Essas velocidades serão duas mais lentas e duas mais rápidas que sua velocidade escolhida na primeira parte do teste. Será necessário caminhar 5 minutos em cada velocidade, e haverá um intervalo para descansar entre elas. Além disso, serão verificadas sua pressão arterial e sua FC. A caminhada pode ser interrompida em caso de dificuldade de respirar, dor no peito, cansaço importante, alteração importante na pressão arterial, outro sintoma relatado durante o teste, ou por sua simples vontade.

Os testes descritos acima poderão apresentar os seguintes efeitos colaterais: cansaço e falta de ar, tontura, dor de cabeça, dor no peito e nas pernas.

Para sua segurança, os testes de caminhada serão realizados no Serviço de Pneumologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre que também estará à disposição para qualquer problema durante a realização de todas as avaliações. Se ocorrer qualquer problema durante o teste e o protocolo realizado na esteira rolante, como dificuldades de respirar, dor no peito, cansaço importante, alteração importante da pressão arterial, desmaio, dormência no membro superior, o indivíduo será imediatamente atendido pelo médico do serviço de pneumologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre e lhe será dado todo o atendimento necessário.

Os benefícios dessas avaliações serão: saber da sua capacidade de caminhada e das condições do seu coração e dos seus pulmões.

Eu, _____, abaixo assinado, sob a responsabilidade do pesquisador que assina este documento, declaro ter recebido uma explicação clara e completa sobre a pesquisa acima a que me submeto de livre e espontânea vontade, reconhecendo que:

- Foram explicadas as justificativas e os objetivos da pesquisa.
- Foram explicados os exames que serão realizados.
- Foram descritos os desconfortos e riscos esperados.
- Foi dada garantia de receber resposta a qual quer pergunta sobre os procedimentos, riscos, benefícios e outros assuntos relacionados com a pesquisa.
- Caso tiver novas perguntas sobre esse estudo, sobre meus direitos como participante do mesmo ou se penso que fui prejudicado pela minha participação, posso chamar a Prof. Marcela Alves Sanseverino – Educadora Física (investigadora) pelo telefone (51) 3359-6332, no Laboratório de Fisiopatologia do Exercício (LaFiEx). Além disso, posso ligar para o Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital de Clínicas de Porto Alegre pelo telefone (51) 3359-7640, ou ainda para o Grupo de Pesquisa e Pós Graduação pelo telefone 3359-8304.
- Poderei desistir de participar da pesquisa a qualquer momento.
- Foi dada a garantia de não ser identificado e de ser mantido o caráter confidencial de informação em relação aos meus dados pessoais e/ou profissionais.

- Assino o presente documento, em duas vias iguais, ficando uma em minha posse.
- A minha assinatura neste Consentimento Livre e Esclarecido dará autorização ao patrocinador do estudo, ao comitê de ética do hospital, a utilizarem os dados obtidos quando se fizer necessário, incluindo a divulgação dos mesmos, sempre preservando minha identidade e meu nome.
- Os resultados dos exames serão disponibilizados para os participantes, podendo ser retirado o primeiro exame no segundo exame e os resultados do segundo exame. Assim que forem realizadas as análises necessárias, a pesquisadora entrará em contato para fornecer os resultados.

Para qualquer dúvida ou esclarecimentos sobre o projeto de pesquisa é possível entrar em contato com o pesquisador responsável: Dr. Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga, professor da Escola de Educação Física da UFRGS, através do telefone 3308-5820.

Por este instrumento participo voluntariamente do presente estudo.

Porto Alegre, _____, _____, _____.
(dia) (mês) (ano)

Nome do participante: _____

FOLHA DE COLETA 1: Teste de Exercício Cardio Pulmonar

FOLHA DE COLETA 2: Avaliação do Custo de Transporte

Nome:

Prontuário:

Data de nascimento

Idade:

Massa corporal:

Estatura:

CMI:

salto:

VO₂ de repouso

(tempo):

PA repouso:

V	km/h	tempo início/fim	VO2	FC	SPO2	BORG

Observações:

CARTA DE ACEITAÇÃO DO CEP

ANEXO

Tabela A.9 - Parâmetros metabólicos e ventilatórios

Velocidade	Custo de transporte ($J.kg^{-1}.m^{-1}$)			Eficiência ventilatória ($VE.VCO_2^{-1}$)			Ventilação ($l.min^{-1}$)		
	GC	GDPOC	<i>p</i>	GC	GDPOC	<i>p</i>	GC	GDPOC	<i>p</i>
V _{-40%}	3,40 ± 0,84 ^{b,c,d}	3,89 ± 0,70 ^{b,c,d,e}	0,124	33,95 ± 2,75 ^{d,e}	40,50 ± 5,27 ^{b,c,d,e,*}	<0,01	18,08 ± 3,48 ^{b,c,d,e}	20,26 ± 2,78 ^{c,d,e}	0,008
V _{-20%}	3,10 ± 0,75 ^{a,c}	3,57 ± 1,09 ^{a,c,d,e}	0,094	33,40 ± 4,06 ^{d,e}	39,04 ± 5,21 ^{a,e,*}	0,003	20,17 ± 2,91 ^{a,c,d,e}	21,72 ± 3,90 ^{b,c,d,e}	0,268
VAS	2,92 ± 0,65 ^{a,b,d,e}	3,28 ± 0,96 ^{a,b,d,e}	0,142	32,56 ± 3,81	38,41 ± 4,68 ^{a,e,*}	0,001	21,86 ± 3,58 ^{a,b,d,e}	23,13 ± 3,98 ^{a,b,d,e}	0,412
V _{+20%}	3,01 ± 0,67 ^{a,c,e}	3,06 ± 0,58 ^{a,b,c}	0,863	32,25 ± 3,22 ^{a,b}	37,52 ± 4,48 ^{a,*}	0,001	24,76 ± 3,47 ^{a,b,c,e}	24,75 ± 4,39 ^{a,b,c}	0,997
V _{+40%}	3,17 ± 0,63 ^{b,c,d}	2,99 ± 0,80 ^{a,b,c}	0,435	31,14 ± 3,71 ^{a,b}	36,63 ± 5,25 ^{a,b,c,*}	0,003	29,53 ± 7,08 ^{a,b,c,d}	25,88 ± 4,97 ^{a,b,c}	0,141

Os valores da tabela são referentes a média ± desvio padrão. As letras representam diferenças intragrupo, com $p < 0,05$ sendo: 'a' diferente V-40%, 'b' de V-20%, 'c' da VAS, 'd' de V+20% e 'e' de V+40%. As variáveis assinaladas com * apresentaram $p < 0,05$.

Tabela A.10 - Parâmetros espaço-temporais

Velocidade	Frequência de passada (Hz)			Comprimento de passada (m)			Coeficiente de variação (%)		
	GC	GDPOC	<i>p</i>	GC	GDPOC	<i>p</i>	GC	GDPOC	<i>p</i>
V _{-40%}	0,71 ± 0,09 ^{b,c,d,e}	0,64 ± 0,13 ^{b,c,d,e}	0,085	0,84 ± 0,19 ^{b,c,d,e}	0,66 ± 0,09 ^{b,c,d,e}	0,002	1,93 ± 0,76 ^e	4,52 ± 3,56 ^e	0,015
V _{-20%}	0,82 ± 0,13 ^{a,c,d,e}	0,71 ± 0,11 ^{a,c,d,e}	0,026	0,97 ± 0,19 ^{a,c,d,e}	0,79 ± 0,08 ^{a,c,d,e}	0,001	1,87 ± 0,46 ^{d,e}	1,82 ± 0,47	0,968
VAS	0,91 ± 0,10 ^{a,b,d,e}	0,79 ± 0,12 ^{a,b,d,e}	0,014	1,07 ± 0,17 ^{a,b,d,e}	0,88 ± 0,08 ^{a,b,d,e}	<0,001	1,41 ± 0,61	1,73 ± 0,62	0,358
V _{+20%}	0,96 ± 0,11 ^{a,b,c,e}	0,86 ± 0,11 ^{a,b,c,e}	0,020	1,22 ± 0,17 ^{a,b,c,e}	0,94 ± 0,11 ^{a,b,c,e}	<0,001	1,26 ± 0,40 ^b	1,91 ± 0,73	0,014
V _{+40%}	1,03 ± 0,11 ^{a,b,c,d}	0,91 ± 0,11 ^{a,b,c,d}	0,010	1,34 ± 0,18 ^{a,b,c,d}	1,02 ± 0,12 ^{a,b,c,d}	<0,001	1,31 ± 0,56 ^{a,b}	1,58 ± 0,52 ^a	0,163

Os valores da tabela são referentes a média ± desvio padrão. As letras representam diferenças intragrupo, com $p < 0,05$ sendo: 'a' diferente V-40%, 'b' de V-20%, 'c' da VAS, 'd' de V+20% e 'e' de V+40%. As variáveis assinaladas com * apresentaram $p < 0,05$.