

Efeito agudo do exercício aeróbio em diferentes intensidades no transporte mucociliar de pacientes com DPOC

Acute effect of aerobic exercise in different intensities in mucociliary clearance of patients with COPD

Marceli R. Leite¹, Ercy Mara C. Ramos², Ana Paula C. F. Freire¹, Bruna S. de Alencar Silva¹, Juliana Nicolino¹, Alessandra C. de Toledo³, Luiz Carlos M. Vanderlei², Dionei Ramos²

RESUMO

Modelo do Estudo: Experimental. **Objetivo(s) do estudo:** Analisar o efeito agudo do exercício aeróbio em diferentes intensidades no transporte mucociliar de pacientes com DPOC, bem como investigar possíveis associações do sistema nervoso autônomo nesta resposta. **Metodologia:** Foram analisados 22 pacientes com DPOC que realizaram avaliação inicial para coleta de dados pessoais e espirometria a fim de avaliar a função pulmonar. Realizou-se um teste progressivo em esteira ergométrica para prescrição do exercício aeróbio. Por fim foram realizadas duas sessões de exercício aeróbio randomizadas em esteira ergométrica com intensidade de 60% e 90% do pico da velocidade atingida no teste incremental (vVO_{2pico}) com pelo menos 24 horas de descanso entre elas. O transporte mucociliar foi avaliado antes e após realização do exercício por meio do teste do tempo de trânsito da sacarina (TTS). A avaliação da modulação autonômica foi realizada por meio da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) a qual prosseguiu durante todo o protocolo. **Resultados:** Os valores obtidos no teste de TTS dos pacientes com DPOC após exercício aeróbio a 60% da vVO_{2pico} ($9,08 \pm 4,96$ minutos) foi menor comparado ao TTS antes do exercício ($11,96 \pm 6,31$; $p = 0,005$). O que também ocorreu após exercício aeróbio a 90% da vVO_{2pico} ($8,90 \pm 4,21$ minutos) quando comparado ao momento basal ($12,94 \pm 7,22$; $p = 0,023$). As análises de correlação entre os valores finais de TTS e índices da VFC não apontaram diferenças significativas. **Conclusões:** Pacientes com DPOC apresentaram aceleração da transportabilidade mucociliar frente a uma sessão de exercício aeróbio. Não foi possível observar associação da modulação autonômica nesta resposta após o exercício.

Palavras-chave: Tratamento Aeróbio. Terapia por Exercício. Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica. Depuração Mucociliar.

1. Discente do Departamento de Fisioterapia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.
2. Professor Doutor do Departamento de Fisioterapia, Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP. Presidente Prudente / SP.
3. Departamento de Clínica Médica, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP) São Paulo, SP, Brasil.

Correspondencia
Marceli Rocha Leite
Universidade Estadual Paulista (UNESP)
Rua Roberto Simonsen 305
CEP: 19060-900. Presidente Prudente, SP/ Brasil

Artigo recebido em 16/05/2014
Aprovado para publicação em 19/03/2015

ABSTRACT

Design of the Study: Clinical Trial. **Objective (s):** To analyze the acute effect of aerobic exercise at different intensities in mucociliary clearance in patients with COPD, and to investigate possible associations of the autonomic nervous system in this response. **Methods:** 22 COPD patients underwent an initial evaluation for collecting personal data and spirometry to assess lung function. It was performed a progressive treadmill test for aerobic exercise prescription. Finally two randomized sessions of aerobic exercise with intensity of 60 % and 90 % of peak speed reached during the incremental test (vVO_{2peak}) were performed with at least 24 hours of rest between them. The mucociliary clearance was assessed before and after the exercise sessions by testing the saccharin transit time (STT). Assessment of autonomic modulation was performed by heart rate variability (HRV) which continued throughout the protocol. **Results:** The values obtained in the STT test after aerobic exercise at 60 % of vVO_{2peak} (9,08 minutes \pm 4,96) was lower when compared to the STT before exercise (11,96 \pm 6,31, $p = 0,005$) . That response also occurred after aerobic exercise at 90% of vVO_{2peak} (8,90 \pm 4,21 min) compared to baseline (12,94 \pm 7,22 , $p = 0,023$). Correlation analysis between the final values of STT test and HRV indexes did not show significant differences. **Conclusions:** Patients with COPD showed acceleration of mucociliary clearance right after a session of aerobic exercise. It was not possible to observe the association of autonomic modulation in this response.

Keywords: Aerobic Treatment. Exercise Therapy. Pulmonary Disease, Chronic Obstructive. Mucociliary Clearance.

Introdução

O transporte mucociliar, um mecanismo vital de defesa pulmonar que permite remoção eficiente de partículas inaladas e micro-organismos do trato respiratório, encontra-se deficiente em pacientes com DPOC.^{1,2} Essa deficiência causa hipersecreção crônica de muco que está associada com significativo declínio do VEF1, tosse severa, desconforto e aumento do risco de hospitalizações.¹

O funcionamento adequado do transporte mucociliar depende da estrutura, sincronia e frequência do batimento ciliar, quantidade e qualidade da secreção brônquica e da perfeita interação entre estes componentes.³⁻⁷ Algumas condições como processos inflamatórios e exposição excessiva de partículas inaladas são capazes de alterar a eficiência do batimento ciliar.^{8,9} Além disso, sabe-se que em indivíduos saudáveis a realização aguda de exercício físico promove uma aceleração da transportabilidade mucociliar.^{4,10}

Aumento do transporte mucociliar agudamente, ou seja, 15 minutos após a execução do exercício aeróbio foi observado em atletas. Tais mudanças podem ser explicadas, principalmente, pelo aumento da ventilação e fluxo aéreo exigidos durante o exercício.¹¹ Além disso, a realização de exercícios promove estimulação simpática dos cílios por meio da liberação de catecolaminas^{12,13,14,15} que levam a alterações

na frequência de batimento ciliar.¹¹

Assim, observa-se que o sistema nervoso autônomo (SNA) exerce importante influência no sistema mucociliar. Estudos realizados em indivíduos saudáveis demonstraram que a administração de agentes anticolinérgicos diminuiu o clearance,¹³ enquanto a estimulação colinérgica⁵ e agentes simpatomiméticos aumentaram sua ação.^{7,13}

Pacientes com DPOC apresentam alterações na modulação autonômica, caracterizada por aumento da atividade simpática e, conseqüente, redução da atividade parassimpática.¹⁶

Acredita-se que esta condição possa influenciar, pelo menos em parte, a integridade do transporte mucociliar e promover modificações na resposta do transporte mucociliar desses indivíduos frente ao estímulo agudo do exercício físico, o que ainda é desconhecido na literatura.

A DPOC afeta a estrutura do sistema mucociliar, portanto é importante conhecer as respostas desse sistema, principalmente frente ao estímulo do exercício físico, considerando que o exercício físico é fundamental no tratamento da DPOC. Portanto o presente estudo tem por objetivo analisar o efeito agudo do exercício aeróbio em diferentes intensidades no transporte mucociliar de pacientes com DPOC, bem como investigar possíveis associações do sistema nervoso autônomo nesta resposta.

Métodos

Sujeitos

Para realização desse estudo foram analisados 22 pacientes, de ambos os sexos, com diagnóstico de DPOC conforme recomendações do Global Initiative for Obstructive Lung Disease.¹⁷

Não foram incluídos no estudo voluntários que apresentaram pelo menos uma das seguintes condições: tabagismo ou não estarem em abstinência há minimamente um ano, presença de condições incapacitantes e/ou doença cardíaca instável que pudesse influenciar no desempenho da atividade física, instabilidade clínica (ou seja, exacerbações e mudanças na medicação por pelo menos 30 dias), uso de terapia de oxigênio domiciliar, presença de condições patológicas que pudessem influenciar o processo inflamatório sistêmico e participação em qualquer programa de treinamento físico antes do proposto neste estudo.

Os voluntários foram devidamente informados sobre os procedimentos e objetivos deste estudo e, após concordarem, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. Todos os procedimentos utilizados nesse estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição (CAAE: 01114912.0.0000.5402.).

Delineamento Experimental

O protocolo experimental foi realizado em quatro etapas de forma individual em sala com temperatura entre 21 e 23°C e umidade relativa entre 50 e 60%,¹⁶ sempre no período da manhã, entre as 8 e 12 horas, para minimizar a interferência do ritmo circadiano. Para realização de todas as etapas os pacientes foram orientados a abster-se durante o período de 12 horas prévias às avaliações de bebidas alcoólicas e/ou estimulantes, como café e chá, consumir refeição leve duas horas antes, evitar esforços físicos vigorosos no dia anterior e manter sua medicação habitual.

Inicialmente (primeira etapa) os pacientes foram submetidos a uma avaliação fisioterapêutica padronizada composta de: identificação, história clínica do paciente e medidas antropométricas. O peso foi mensurado em uma balança digital (Welmy R/I 200 – Brasil) e a altura, por meio de um estadiômetro (Sanny, Brasil). O IMC foi calculado usando a seguinte fórmula: peso (kg)/altura (m).² Em seguida foram submetidos a uma avaliação da função pulmonar, por

meio da espirometria, realizada segundo as diretrizes da American Thoracic Society e European Respiratory Society,¹⁸ usando um espirômetro portátil (Spirobank-MIR3.6, Itália). Os valores de referência considerados foram àqueles específicos para a população brasileira.¹⁹

Na segunda etapa de avaliação, após orientação sobre todos os procedimentos, realizou-se um teste progressivo em esteira ergométrica (Inbrasport ATL 2000) acompanhado por um médico cardiologista, para a prescrição do exercício aeróbio. Por fim, na terceira e quarta etapas realizadas com pelo menos 24 horas de descanso entre elas os pacientes foram submetidos a sessões de exercício aeróbio randomizadas em esteira ergométrica com intensidade de 60% ou 90% do pico da velocidade atingida no teste incremental (vVO_{2pico}).

O transporte mucociliar foi avaliado antes e após a realização do exercício aeróbio por meio do teste do tempo de trânsito da sacarina (TTS).

A avaliação da modulação autonômica foi realizada por meio da VFC. Para essa avaliação foi posicionada no tórax do paciente, na altura do processo xifóide, uma cinta elástica de captação e, no seu pulso, o receptor de frequência cardíaca Polar S810i, (Polar Electro, Kempele, Finland) equipamento previamente validado para captação da frequência cardíaca batimento a batimento e a sua utilização para análise de índices de VFC.²⁰ Em seguida os pacientes foram posicionados sentados e instruídos a manter-se em silêncio com respiração espontânea por 20 minutos antes do exercício. A avaliação da VFC prosseguiu durante toda a sessão de exercício aeróbio a 60 e 90% da vVO_{2pico} até a avaliação do TTS após o exercício.

Teste de Exercício Cardiopulmonar

Para a prescrição do exercício aeróbio, os pacientes foram submetidos a um teste cardiopulmonar em esteira (Inbrasport ATL 2000) com velocidade inicial de 2,0 km.h⁻¹, inclinação constante de 3% e incrementos de 0,5 km.h⁻¹ a cada 2 min. O teste foi realizado até a exaustão voluntária.²¹ Nenhum dos pacientes apresentou alterações clínicas e/ou eletrocardiográficas que impedissem a conclusão do teste.

Foram monitoradas continuamente as variáveis: frequência cardíaca (Polar S810i, Finlândia), saturação parcial de oxigênio no sangue arterial (oxímetro Mindray PM 50, Brasil) e a percepção subjetiva de esforço.²² Além disso, as variáveis ventilatórias foram obtidas por meio do analisador de gases (VO2000,

Medical Graphics, USA), que foi calibrado previamente a cada teste, conforme as especificações do fabricante. O fluxo de ar médio foi utilizado em todos os testes e as amostras de gases foram obtidas a cada 10s (Aerograph®, Michigan, USA).

O $VO_{2\text{pico}}$ foi assumido como a maior média do consumo de oxigênio (VO_2) dos últimos 30s de exercício, quando pelo menos dois dos três seguintes critérios foram observados: 1) frequência cardíaca $> 90\%$ da máxima predita para a idade ($220 - \text{idade}$); 2) coeficiente respiratório (QR) $> 1,10$; 3) variação no VO_2 entre o penúltimo e último estágio de exercício menor que $2,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. A velocidade correspondente ao $VO_{2\text{pico}}$ ($vVO_{2\text{pico}}$) foi assumida como a maior intensidade atingida durante o teste. No caso do paciente entrar em exaustão antes do término do estágio, a $vVO_{2\text{pico}}$ foi ajustada pela equação proposta por Kuipers et al.²³

Exercício Aeróbio

O exercício aeróbico foi realizado em uma esteira ergométrica por 30 minutos a 60% ou 90% da $vVO_{2\text{pico}}$. As sessões de exercício realizadas a intensidade de 90% foram interrompidas sempre que os pacientes atingissem a exaustão voluntária, portanto nem sempre os pacientes foram capazes de realizar 30 minutos de exercício aeróbio em alta intensidade devido à dispnéia e/ou cansaço nos membros inferiores.

Avaliação do Transporte Mucociliar Nasal

Para avaliação do TTS em condição basal, ou seja, antes da realização do exercício, os pacientes permaneceram em repouso durante 20 minutos, com o intuito de minimizar o efeito do ambiente externo no batimento ciliar nasal.

Os pacientes foram posicionados sentados com a cabeça estendida a 10° . O teste do tempo de trânsito da sacarina foi iniciado pela introdução de aproximadamente $250\mu\text{g}$ de sacarina sódica granulada por meio de um canudo plástico, sob controle visual, a 2cm para dentro da narina direita. A partir deste momento, o cronômetro foi acionado e os pacientes foram orientados a não andar, não falar, não tossir, não espirrar, não coçar ou assoar o nariz, até que sentissem um sabor em sua boca; então o examinador foi imediatamente avisado por meio de um gesto do avaliado e o tempo foi registrado.²⁴ O teste foi interrompido quando o paciente não teve percepção do sabor dentro de 30 minutos. A avaliação do TTS foi realizada antes e

após cinco minutos da finalização das sessões de exercício aeróbio.

Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC)

Para análise dos índices de VFC foram utilizados 256 intervalos RR consecutivos, onde, 128 intervalos RR correspondiam ao período antes da percepção do sabor da sacarina pelo paciente, e os outros 128 intervalos RR correspondiam ao período após a percepção do sabor, após filtragem digital pelo software Polar Precision Performance SW (versão 4.01.029) complementada por manual, para eliminação de batimentos ectópicos prematuros e artefatos, e somente séries com mais de 95% de batimentos sinusais foram incluídas no estudo.^{25,26,27}

Para análise da VFC foram utilizados índices calculados nos domínios do tempo e da frequência. No domínio do tempo foram calculados os seguintes índices: SDNN (ms) [desvio padrão dos intervalos normais a RR normais] e RMSSD (ms) [raiz quadrada média das diferenças entre os intervalos RR normais adjacentes em um intervalo de tempo].^{26,27} Para análise da VFC no domínio da frequência, foram utilizados os componentes espectrais de baixas frequências (LF: 0,04 - 0,15 Hz) e alta (HF: 0,15 - 0,4 Hz), em milissegundos quadrados (ms^2) e unidades normalizadas (nu), que representa o valor relativo de cada componente espectral em relação à potência total menos o componente de muito baixa frequência (VLF), e a razão entre estes componentes (razão LF/HF).^{10,16} Para cálculo destes índices foi utilizado o software Kubios versão 2.0.²⁸

Análise Estatística

Para descrição dos dados foram utilizados valores da média e desvio-padrão e mediana e intervalo interquartil 25-75%. A normalidade na distribuição dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Para comparação dos valores de TTS antes e após exercício aeróbio em cada intensidade, foi utilizado teste t de Student para dados pareado ou teste de Wilcoxon de acordo com a normalidade dos dados apresentada.

Já para as comparações do TTS entre os protocolos a 60% e 90% da $vVO_{2\text{pico}}$ foram realizados teste t de Student não pareado e teste de Mann Whitney para os dados paramétricos e não paramétricos respectivamente. As correlações entre os índices da VFC e TTS após o exercício nas duas intensidades foram avaliadas por meio da correlação de Pearson ou

Tabela 1: Variáveis antropométricas e espirométricas dos pacientes com DPOC. Dados expressos em média, desvio padrão

Variáveis	Média ± DP
Antropométricas	
Idade (anos)	63,09 ± 7,958
Gênero (M/F)	(13/9)
Altura (cm)	160,8 ± 10,40
Peso (Kg)	69,65 ± 14,69
IMC (Kg/ m ²)	27,17 ± 5,264
Espirométricas	
VEF1 (%pred)	49,83 ± 16,70
CVF (% pred)	74,38 ± 20,71
FEV1/FVC	52,77 ± 11,51

Legendas: Cm= centímetros; kg = Quilograma; m = Metro; VEF1 = Volume expiratório forçado no 1º segundo; pred = Predito; CVF = Capacidade vital forçada.

Spearman, dependendo da normalidade na distribuição dos dados. Adotou-se o valor 0,05 como nível de significância e o *software* empregado para a análise dos dados foi o Graphpad Prism5.0®.

Resultados

Características da amostra

Vinte e dois pacientes com DPOC foram incluídos no estudo (Grau II, n = 10; Grau III, n = 10 e Grau IV, n = 2). Os dados antropométricos e espirométricos dos pacientes analisados estão apresentados na Tabela 1.

Com relação aos valores da transportabilidade mucociliar antes e após a realização exercício aeróbio, observou-se que os valores obtidos no teste de TTS dos pacientes com DPOC após exercício aeróbio a 60% (9,08 ± 4,96 minutos) da vVO_{2pico} foi menor comparado ao TTS antes do exercício (11,96 ± 6,31 minutos; p = 0,005). Resposta semelhante também ocorreu após exercício aeróbio de intensidade a 90% (8,90 ± 4,21 minutos) quando comparado ao momento basal (12,94 ± 7,22 minutos) (p = 0,023). Estes dados estão expressos no Gráfico 1.

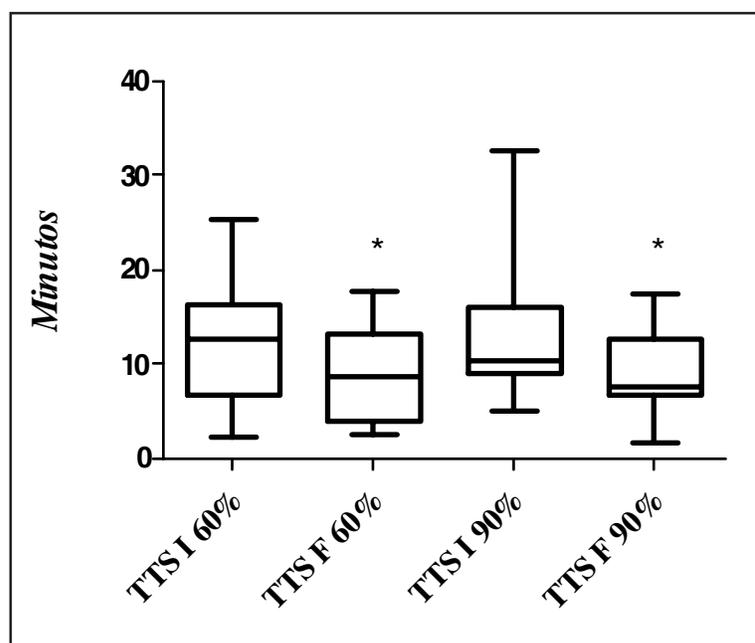


Gráfico 1: Valores de TTS antes e após uma sessão de exercício aeróbio a 60% e 90% da vVO_{2pico} .

Não houve diferença nos valores de TTS entre os protocolos no início ($p = 0,824$) e no final do ($p = 0,935$) do protocolo experimental. As análises de correlação entre os valores finais de TTS e índices da VFC não apontaram diferenças significativas (Tabela 2).

Em relação aos índices de VFC, a Tabela 3, mostra diminuição significativa do índice RMSSD após a sessão de exercício aeróbio a 60% da vVO_{2pico}

($p=0,0365$). Assim como uma diminuição dos índices SDNN e RMSSD após a sessão de exercício aeróbio a 90% da vVO_{2pico} ($p=0,0212$, $p=0,0031$) respectivamente (Tabela 4).

Discussão

O presente estudo demonstrou o exercício físico promoveu diminuição significativa do TTS e, con-

Tabela 2: Análise de correlação entre os índices da VFC e TTS final nas intensidades de 60 e 90% com seus respectivos valores de r .

	Intensidade 60%		Intensidade 90%	
	r	p value	r	p value
SDNN	0,199	0,374	-0,220	0,324
RMSSD	0,348	0,113	0,025	0,911
LF (ms)	0,168	0,456	-0,298	0,178
HF (ms)	0,308	0,163	-0,018	0,935
LF (un)	-0,226	0,311	-0,211	0,347
HF (un)	0,226	0,311	0,258	0,246
LF/HF	0,031	0,891	0,117	0,604

Legenda: SDNN = desvio-padrão da média de todos os intervalos RR normais, expresso em milissegundos; RMSSD = raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos RR normais adjacentes, em um intervalo de tempo, expresso em milissegundos. LF = Baixa frequência; HF = Alta frequência; LF/HF = Relação LF/HF; ms = milissegundos; un = unidades normalizadas.

Tabela 3: Valores dos índices da VFC nos momentos antes e após a sessão de exercício aeróbio a 60% da vVO_{2pico} expressos em mediana e intervalo interquartilico 25-75%.

	Antes da sessão	Após a sessão	P
SDNN	32,3 [23-45]	29,2 [21-42]	0,3301
RMSSD	19 [11-29]	16,5 [10-23]	0,0365*
LF(ms ²)	319 [161-657]	294,5 [73-756]	0,6968
HF (ms ²)	67,5 [35-287]	67,5 [34-164]	0,1261
LF(un)	76 [66-86]	75 [61-88]	0,5451
HF (un)	23,4 [13-33]	25 [11-38]	0,5451
LF/HF	4 [2-7]	5,38 [2-10]	0,6968

Legenda: SDNN = desvio padrão dos intervalos normais a RR normais; RMSSD = raiz quadrada média das diferenças entre os intervalos RR normais adjacentes em um intervalo de tempo; ms = milissegundos; un = unidades normalizadas; LF = componente espectral de baixa frequência; HF = componente espectral de alta frequência.

Tabela 4: Valores dos índices da VFC nos momentos antes e após a sessão de exercício aeróbio a 90% da vVO_{2pico} expressos em mediana e intervalo interquartilico 25-75%.

	Antes da sessão	Após a sessão	P
SDNN	31 [25-48]	23,5 [14-34]	0,0212*
RMSSD	15,6 [12-25]	13,5 [6-18]	0,0031*
LF(ms ²)	314,5 [147-509]	198,5 [68-380]	0,0715
HF (ms ²)	86,5 [31-177]	58,5 [5-93]	0,0064*
LF(un)	79,7 [70-87]	83,7 [75-91]	0,2696
HF (un)	20,2 [12-29]	16,2 [9-24]	0,1440
LF/HF	5 [2-9]	5,4 [3-15]	0,1832

Legenda: SDNN = desvio padrão dos intervalos normais a RR normais; RMSSD = raiz quadrada média das diferenças entre os intervalos RR normais adjacentes em um intervalo de tempo; ms = milissegundos; un = unidades normalizadas; LF = componente espectral de baixa frequência; HF = componente espectral de alta frequência.

sequestramente, aumento do clearance mucociliar em pacientes com DPOC que foi independente da intensidade de exercício executada. Além disso, não foi possível observar associação da modulação autonômica nesta resposta após o exercício.

O comportamento do clearance mucociliar frente ao estímulo do exercício provocou diminuição no tempo de TTS em pacientes com DPOC, resposta semelhante à de estudos prévios que observaram esta mesma resposta em indivíduos saudáveis.

Salzano et. al¹¹ também observaram um efeito agudo do clearance mucociliar em 15 minutos após a realização do exercício aeróbio em atletas, entretanto, outros estudos que analisaram o clearance mucociliar durante e após exercício físico por meio de outras ferramentas como, por exemplo, inalação de partículas de radioisótopo, não demonstraram alterações na transportabilidade mucociliar.^{12,29,30} Estes resultados mostram que o TTS é uma ferramenta sensível para análise após a realização de exercício, é um método simples, de baixo custo, além de estar bem estabelecido na literatura que a transportabilidade mucociliar nasal apresenta boa correlação com a transportabilidade traqueobrônquica^{31,32}, portanto o seu emprego poupa a necessidade de outros métodos que demandam equipamentos relativamente complexos, invasivos e de alto custo³³.

Acredita-se que devido á normalidade inicial apresentada nos valores de TTS, observou-se respos-

ta da transportabilidade mucociliar preservada nos indivíduos DPOC participantes do presente estudo.

Estudos previamente realizados demonstram que pacientes com DPOC apresentam prejuízo e alterações significativas na transportabilidade mucociliar,^{1,34,35} porém tais alterações não foram detectadas no presente estudo. Os pacientes apresentaram função mucociliar preservada, com valores basais considerados dentro da normalidade.³⁶ Acredita-se que estes níveis podem estar associados ao tempo de abstinência tabagística destes pacientes, os quais só foram incluídos no estudo após estarem, minimamente, há um ano sem fumar.

Estes indivíduos apresentaram um tempo médio de abstinência de 9,5 anos. Sabe-se que existem reparação e remodelamento do tecido do trato respiratório em pacientes com DPOC, porém os mecanismos para tais reestruturações ainda não estão claros.³⁷ Reversibilidade da função mucociliar em tabagistas sem comprometimento pulmonar após 15 dias de abstinência tabagística foi relatada na literatura.³⁸ Acredita-se que mecanismo similar também ocorra nos pacientes com DPOC.

A resposta do transporte mucociliar desses pacientes frente ao estímulo do exercício em ambas as intensidades realizadas pode ser explicada pelo aumento da ventilação e fluxo respiratório e alteração da viscosidade do muco nasal durante e após estímulos como a atividade física.¹¹

As análises de correlações do TTS após o exercício e os índices de VFC não mostraram resultados significativos, apesar da literatura estabelecer uma relação entre o sistema nervoso autônomo e o sistema mucociliar.³⁹ Acredita-se que estes resultados possam estar relacionados à disfunção autonômica apresentada por pacientes DPOC^{40,41} e também a sua resposta inadequada frente ao exercício.^{42,43}

Pacientes com DPOC apresentam prejuízos da modulação autonômica em repouso.^{40,41} Durante a realização de exercício físico, estudos prévios mostraram que estes pacientes também apresentam resposta inadequada da modulação autonômica, caracterizada por aumento da atividade parassimpática.⁴² Esta resposta pode ser explicada pelo aumento de frequência respiratória e hiperinsuflação dinâmica, características de pacientes com obstrução de vias aéreas durante execução de exercício físico, a qual pode gerar um quadro de hipercapnia que pode explicar o aumento de atividade parassimpática.⁴²

Neste estudo, apesar de não observarmos correlações entre a modulação autonômica e a transportabilidade mucociliar, os índices de VFC mostraram um comportamento esperado após o exercício. Os índices RMSSD e HFms², que indicam a modulação parassimpática²⁵, diminuíram significativamente em relação ao repouso o que provavelmente reflita a redução da atividade vagal em resposta ao aumento da demanda metabólica⁴⁴. Já o índice SDNN, que representa a variabilidade global, também diminuiu significativamente após o exercício a 90%. O aumento da frequência cardíaca durante o exercício, decorrente do aumento da demanda metabólica, tem sido relacionado com a diminuição da VFC como resultado da redução da atividade vagal durante o exercício.⁴⁵

Conhecer a resposta do transporte mucociliar em pacientes com DPOC frente ao exercício físico é essencial a todos os profissionais envolvidos em reabilitação pulmonar e que prescrevem exercício físico no tratamento de DPOC, visto que o transporte mucociliar é a primeira linha de defesa do sistema respiratório contra agentes agressores e irritantes e sua integridade está inteiramente relacionada à diminuição de risco de infecções respiratórias que possuem impacto extremamente negativo nos pacientes com DPOC, pois aumentam o risco de exacerbações.^{1,2,7,36}

Deste modo o presente estudo pôde concluir que pacientes com DPOC apresentaram aceleração da transportabilidade mucociliar frente a uma sessão de exercício aeróbio e que não foi possível observar

uma associação da modulação autonômica nesta resposta após o exercício.

Limitações do estudo

O presente estudo possuiu como limitação os diferentes tempos de execução no protocolo de exercício aeróbio de alta intensidade (90%), já que os pacientes não conseguiram permanecer o tempo estipulado (30 minutos) devido à dispneia intensa ou cansaço em membros inferiores.

Agradecimentos

Os autores do presente estudo agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Referências

1. Bhowmik A; Chahal K; Austin G; Chakravorty I. Improving mucociliary clearance in chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med.* 2009; 103: 496-502.
2. Smaldone GC, Foster WM, O' Riordan TG, Messina MS, Perry RJ, Langenback EG. Regional Impairment of mucociliary clearance in chronic obstructive pulmonary disease. *Chest.* 1993; 103: 1390-6.
3. Ferri RG, Zonato A, Guilherme A, Gregório LC. Análise do clearance mucociliar nasal e dos efeitos adversos do uso de CPAP nasal em pacientes com SAHOS. *Rev Bras Otorrinolaringol.* 2004; 70: 150-5.
4. Elliot MK, Sisson JH, Wyatt TA. Effects of Cigarette Smoke and Alcohol on Ciliated Tracheal Epithelium and Inflammatory Cell Recruitment. *Am J Respir Cell Mol Biol.* 2007;36: 452.
5. Smith DJ, Gaffney EA, Blake JR. Modelling mucociliary clearance. *Respir Physiol. Neurobiol.* 2008; 30:163:178-88.
6. Trindade SHK, de Mello JF Jr, Mion Ode G, Lorenzi-Filho G, Macchione M, Guimarães ET, et al. Métodos de estudo do transporte mucociliar. *Rev Bras Otorrinolaringol.* 2007; 73: 704-12.
7. O' Brien D W, Morris MI, Ding J, Zayas J G, Tai S, King M. A mechanism of airway injury in an epithelial model of mucociliary clearance. *Respir Res.* 2004; 24:5-10.
8. Casaburi R, Porszasz J, Burns MR, Carithers ER, Chang RS, Cooper CB Physiologic benefits of exercise training in rehabilitation of patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997;155:1541-51.
9. Nici L, Donner C, Wouters E, Zuwallack R, Ambrosino N, Bourbeau J, et al. American Thoracic Society/European Respiratory Society statement on pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med.*2006; 173:1390-413.
10. Zhou H, Wang X, Brighton L, Hazucha M, Jaspers I, Carson JL. Increased nasal epithelial ciliary beat frequency associated with lifestyle tobacco smoke exposure. *Inhal Toxicol.* 2009; 21: 875-81.

11. Salzano FA, Manola M, Tricarico D, Precone D, Motta G. Mucociliary clearance after aerobic exertion in athletes. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2000; 20: 171-6.
12. Wolff R. K., Dolovich M. B., Obminski G, Nousehouse M. T. Effects of exercise and eucapnic hyperventilation on bronchial clearance in man. *J Appl Physiol.* 1977; 43: 46-50.
13. Vendsalu, A. Studies on adrenaline and noradrenaline in human plasma. *Acta Physiol. Scand.* 1960, 49:1-123.
14. Faridy EE. Effect of ventilation on movement of surfactant in airways. *Respir Physiol.* 1976; 27: 323-34.
15. Nousehouse MT, Wolff RK, Dolovich M. B., Obminski G. Effect of TLV levels of SO₂ and H₂ SO₄ on bronchial clearance in exercising man. *Arch Environ Health.* 1978, 33:24-32.
16. Arouldus JR, Gestel V, Kohler M, Steier J, Techler S, Russi EW, et al. Cardiac autonomic dysfunction and health-related quality of life in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respirol.* 2011; 16: 939-46.
17. GOLD –Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease – Revised 2011.
18. Nici L, Donner C, Wouters E, Zuwallack R, Ambrosino N, Bourbeau J, et al. American Thoracic Society/European Respiratory Society statement on pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006; 173:1390-413.
19. Neder JA, Andreoni S, Castelo-filho A, Nery LE. Reference values for lung function tests. I. Static volumes. *Braz J Med Biol Res.* 1999; 32: 703-17.
20. Vanderlei LCM, Silva RA, Pastre CM, Azevedo FM, Godoy MF. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Braz J Med Biol Res.* 2008; 41:854-9.
21. Borghi-Silva A, Baldissera V, Sampaio LM, Pires-DiLorenzo VA, Jamami M, Demonte et al. L-carnitine as an ergogenic aid for patients with chronic obstructive pulmonary disease submitted to whole-body and respiratory muscle training programs. *Braz J Med Biol Res.* 2006; 39:465-74.
22. Kendrick KR, Baxi SC, Smith RM Usefulness of the modified 0-10 Borg scale in assessing the degree of dyspnea in patients with COPD and asthma. *J Emerg Nurs.* 2000; 26:216-22.
23. Kuipers H, Verstappen FTJ, Keizer, HA, Guerten P, Van Kranenburg G. Variability of anaerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med.* 1985; 6:197-201.
24. Salah B, Xuan Dihn AT, Fouilladieu JL, et al. Nasal Mucociliary transport in healthy subjects is slower when breathing dry air. *Eur Respir J.* 1988; 1: 852-5.
25. Vanderlei LCM, Pastre CM, Hoshi RA, et.al. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. *Rev Bras Cir Cardiovasc.* 2009; 24: 205-17.
26. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation.* 1996; 93:1043-65.
27. Godoy MF, Takakura IT, Correa PR. The relevance of nonlinear dynamic analysis (Chaos Theory) to predict morbidity and mortality in patients undergoing surgical myocardial revascularization. *Arq Ciênc Saúde.* 2005, 12:167-71.
28. Tarvainen MP, Niskanen J-P, Lipponen JA, Ranta-Aho PO, Karjalainen PA. Kubios HRV – A software for advanced heart rate variability analysis. Berlin: Springer: In: 4th European Conference on the International Federation for Medical and Biological Engineering, Sloten JV, Verdonck P, Nyssen M, Hauelsen J, editors; 2008:1022–25.
29. Olséni L, Wollmer P. Mucociliary clearance in healthy men at rest and during exercise. *Clin Physiol Funct Imaging.*, 2008, 10: 381-7.
30. Olséni L, Midgren B, Wollmer P. Mucus clearance at rest and during exercise in patients with bronchial hypersecretion. *Scand J Rehabil Med.* 1992;24:61-4.
31. Andersen IB, Camner P, Jensen PI, Philipson K, Proctor DF. A comparison of nasal and tracheobronchial clearance. *Arch Environ Health.* 1974;29:290-3.
32. Vália PP, Valero FC, Pardo JM, Rentero DB, Monte CG. Saccharin test for the study of mucociliary clearance: reference values for a spanish population. *Arch Bronconeumol.* 2008;44:540-5.
33. Sin DD, McAlister FA, Man SF, Anthonisen NR. Contemporary management of chronic obstructive pulmonary disease: scientific review. *JAMA.* 2003;290:2301-12.
34. Afonso JL, Tambascio J, Souza HCD, Jardim JR, Martinez JAB, Gastaldi AC. Transporte de secreções mucóides de indivíduos saudáveis e pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica e bronquiectasias. *Rev Port Pneumol.* 2013; 19: 211-16.
35. Smaldone GC, Foster WM, O' Riordan TG, Messina MS, Perry RJ, Langenback EG. Regional Impairment of mucociliary clearance in chronic obstructive pulmonary disease. *Chest.* 1993; 103: 1390-6.
36. Nakagawa NK, Franchini ML, Driusso P, de Oliveira LR, Saldiva PH, Lorenzi-Filho G. Mucociliary clearance is impaired in acutely ill patients. *Chest.* 2005; 128:2772-7.
37. Ganesan S, Sajjan US. Repair and remodeling of airway epithelium after injury in chronic obstructive pulmonary disease. *Curr Respir Care Rep.* 2013; 2:145-54.
38. Ramos EM, De Toledo AC, Xavier RF, Fosco LC, Vieira RP, Ramos D, Jardim JR. Reversibility of impaired nasal mucociliary clearance in smokers following a smoking cessation programme. *Respirol.* 2011;16:849-55.
39. Wanner A. Autonomic control e mucocilliary functions. *Chest.* 1987; 91:49-52.
40. van Gestel AJ, Kohler M, Clarenbach CF. Sympathetic overactivity and cardiovascular disease in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Discov Medicin.* 2012;14:359-68.
41. Gunduz H, Talay F, Arinc H, Ozyildirim S, Akdemir R, Yolcu M, et. al. Heart rate variability and heart rate turbulence in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Cardiol J.* 2009;16:553-9.

42. Bartels MN, Jelic S, Ngai P, Basner RC, DeMeersman RE. High-frequency modulation of heart rate variability during exercise in patients with COPD. *Chest*. 2003;124:863-9.
43. van Gestel AJ, Kohler M, Steier J, Sommerwerck U, Teschler S, Russi EW, et. al. Cardiac autonomic function and cardiovascular response to exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *COPD*. 2012;9:160-5.
44. Arai Y, Saul JP, Albrecht P, Hartley LH, Lilly LS, Cohen RJ, Colucci WS Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *Am J Physiol*. 1989;256(1 Pt 2):H132-41.
45. Casadei B, Cochrane S, Johnston J, Conway J, Sleight P. Pitfalls in the interpretation of spectral analysis of the heart rate variability during exercise in humans. *Acta Physiol Scand*.1995;153:125-31.