

Gislaine de Souza Alves

**PADRÃO RESPIRATÓRIO E MOVIMENTO TORACOABDOMINAL
DURANTE O EXERCÍCIO EM INDIVÍDUOS COM DOENÇA PULMONAR
OBSTRUTIVA CRÔNICA**

Belo Horizonte
Universidade Federal de Minas Gerais
2006

Gislaine de Souza Alves

**PADRÃO RESPIRATÓRIO E MOVIMENTO TORACOABDOMINAL
DURANTE O EXERCÍCIO EM INDIVÍDUOS COM DOENÇA PULMONAR
OBSTRUTIVA CRÔNICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências da Reabilitação.

Área de Concentração: Desempenho Funcional Humano.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Raquel Rodrigues Britto.

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Verônica Franco Parreira.

Belo Horizonte
Universidade Federal de Minas Gerais
2006

Dedico este trabalho aos meus pais,
Geraldo e Marli,
meus verdadeiros mestres.

AGRADECIMENTOS

Aos funcionários do Departamento de Fisioterapia da UFMG, obrigada por todo apoio técnico.

Aos pacientes que participaram deste estudo, obrigada pela cooperação.

Aos pneumologistas Luiz Fernando, Cláudia Botelho e Rosiane Adaid C. Almeida, por todo auxílio durante a fase de recrutamento dos voluntários.

A toda equipe do LabCare, obrigada pelo apoio, em especial à Karoline Simões e Ana Beatriz Vilaça que foram imprescindíveis na coleta de dados. Muito obrigada!

À Flávia Cristina Campos, minha parceira nas coletas, obrigada pela amizade e pela ótima parceria.

À todos os colegas de mestrado, em especial à Érika Baião e Clarissa Campos que estiveram mais próximas, obrigada pelo companheirismo e apoio.

Ao Laboratório de Avaliação e Carga, obrigada pela ajuda fornecida sempre que necessária.

Às professoras Luci Fuscaldi Teixeira-Salmela e Renata Noce Kirkwood pela disponibilidade e colaboração.

Às minhas irmãs Gilmara e Jussara, obrigada pela força. Ju agradeço-lhe muito por você ter feito parte da minha vida neste momento, mais que ninguém você acompanhou cada fase desta conquista.

Ao André, pelo apoio, carinho e amizade sem fim.

Aos meus amigos e parentes, agradeço por entenderem minha ausência e falta de tempo.

À minha co-orientadora, Prof^ª. Dr^ª. Verônica Franco Parreira, obrigada pelo auxílio, disponibilidade e pelas válidas e brilhantes sugestões.

Em especial à minha orientadora Prof^ª. Dr^ª Raquel, pela oportunidade de vivenciar a realização deste sonho. Obrigada por toda confiança, incentivo e aprendizado ao longo deste processo.

E a Deus, pela força e bênçãos.

SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
Capítulo 1- INTRODUÇÃO	8
1.1- Padrão respiratório e movimento toracoabdominal durante o repouso.....	9
1.2- Padrão respiratório e movimento toracoabdominal durante o exercício..	13
1.3- Objetivo do estudo.....	19
Capítulo 2- MATERIAIS E MÉTODOS	20
2.1- Tipo de estudo.....	20
2.2- Local de realização.....	20
2.3- Amostra.....	20
2.3.1- Critérios de inclusão.....	20
2.3.2- Critérios de exclusão.....	21
2.4- Aspectos éticos.....	21
2.5- Instrumentos.....	21
2.5.1- Balança.....	21
2.5.2- Oximetria de pulso.....	22
2.5.3- Esfigmomanômetro e cardiofrequencímetro.....	22
2.5.4- Escala de Borg.....	22
2.5.5- Perfil de atividade humana.....	23
2.5.6- Pletismografia respiratória por indutância.....	23

2.5.7- Cicloergômetro.....	27
2.5.8- Protocolo.....	28
2.6- Procedimentos.....	28
2.7- Análise dos dados.....	30
2.8- Aspectos estatísticos.....	30
2.8.1- Cálculo de amostra.....	30
2.8.2- Análise estatística.....	31
Capítulo 3- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
Capítulo 4- - BREATHING PATTERN AND THORACOABDOMINAL MOTION DURING EXERCISE IN COPD.....	38
Capítulo 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
ANEXO	

RESUMO

Alves, G.S. **Padrão respiratório e movimento toracoabdominal durante exercício em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica.** Belo Horizonte, 2006.

Os indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) podem apresentar anormalidades no padrão respiratório e no movimento toracoabdominal que contribuem para a limitação ao exercício. O objetivo deste estudo foi comparar o padrão respiratório e o movimento toracoabdominal no repouso e durante o exercício progressivo no cicloergômetro em pacientes com DPOC. Foram avaliados 22 pacientes com média de idade de 68 ± 8 anos (média \pm desvio-padrão), índice de massa corporal de 23 ± 3 Kg/m², volume expiratório forçado no 1° segundo (VEF₁) de $42,6 \pm 13,5\%$ do previsto. A pletismografia respiratória por indutância foi utilizada para análise dos componentes de volume e tempo do padrão respiratório e movimento toracoabdominal durante repouso e em três fases do exercício progressivo (30-50%, 70-80% e 100% da maior carga atingida) realizado na bicicleta mecânica. O protocolo foi realizado com o indivíduo pedalando inicialmente em 20 watts, com incrementos de 10 watts a cada 2 minutos até a exaustão ou até que 90% da frequência cardíaca máxima fosse alcançada. As seguintes variáveis foram avaliadas a cada ciclo respiratório: frequência respiratória (FR), volume corrente (VC), ventilação minuto (VE), tempo inspiratório (Ti), tempo expiratório (Te), tempo total do ciclo respiratório (Ttot), razão do tempo inspiratório pelo tempo total do ciclo respiratório (Ti/Ttot), fluxo inspiratório médio (VC/Ti), contribuição do abdômen (AB) para o volume corrente e ângulo de fase (AngFase). Para análise dos dados foi utilizada ANOVA para medidas repetidas seguida de contraste pré-planejado e correção de Bonferroni ($p < 0,008$). Como esperado, houve aumento progressivo da VE, VC da FR ($p = 0,001$). A contribuição de AB aumentou significativamente do repouso ($49,82 \pm 11,19\%$) para o exercício ($63,96 \pm 9,79$; $63,46 \pm 10,46$ e $66,03 \pm 10,46\%$ respectivamente em 30-50%, 70-80% e 100%). O AngFase variou de $11,95 \pm 7,24$ no repouso para $22,30 \pm 8,74$ durante o exercício máximo indicando aumento da assincronia durante o exercício ($p = 0,001$). Estes resultados demonstram que o aumento da ventilação nos pacientes com DPOC durante exercício progressivo em cicloergômetro está relacionado ao aumento da frequência respiratória e do volume corrente associado principalmente ao aumento da contribuição abdominal, sugerindo maior participação do diafragma.

ABSTRACT

Alves, G.S. **Breathing pattern and thoracoabdominal motion during exercise in patients with chronic pulmonary obstructive disease.** Belo Horizonte, UFMG, 2006.

Subjects with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) have abnormalities of breathing pattern and thoracoabdominal motion that can contribute to exercise limitation. The aim of this study was to compare breathing pattern and thoracoabdominal motion at rest and during incremental exercise in subjects with COPD. Twenty two patients with age of 68 ± 8 yrs (mean \pm standard deviation), body mass index of 23 ± 3 Kg/m² and forced expiratory volume in 1 second (FEV₁) of $42.6 \pm 13.5\%$ predicted were studied. The respiratory inductive plethysmography was used to measure volume and time components of breathing pattern and thoracoabdominal motion at rest and during three levels of an incremental cycling exercise (30-50%, 70-80% e 100% of maximal work load reached). The patients began the exercise with a work load of 20 watts which was increased progressively by 10 watts every two minutes until exhaustion or if 90% of heart rate was reached. The following variables were analysed: respiratory rate (RR), tidal volume (V_T), minute ventilation (V_E), inspiratory time (T_I), expiratory time (T_E), fractional inspiratory time (T_I/T_{TOT}), mean inspiratory flow (V_T/T_I), the percentage of abdomen (AB) contribution to V_T and the phase angle (PhaseAng). Repeated measures ANOVA followed by pre-planned contrasts and Bonferroni corrections were used for analyses ($p < 0.008$). As expected, it was observed progressive increase in V_E, V_T and RR ($p = 0.001$). The AB contribution increased significantly from rest ($49.82 \pm 11.19\%$) to exercise (63.96 ± 9.79 , 63.46 ± 10.46 , $66.03 \pm 10.46\%$; respectively at 30-50%, 70-80% e 100%, $p = 0.001$). The PhaseAng varied from 11.95 ± 7.24 at rest to 22.30 ± 8.74 during maximal exercise suggesting an increase in asynchronism ($p = 0.001$). These results demonstrated that the increase in ventilation during exercise in patients with COPD was related to increase in the respiratory frequency and in the tidal volume associated with the major contribution of the abdominal compartment suggesting higher participation of diaphragma.

Capítulo 1- INTRODUÇÃO

A doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) é uma entidade clínica progressiva caracterizada pela limitação crônica do fluxo aéreo que não é totalmente reversível. Essa limitação está freqüentemente associada a uma resposta inflamatória anormal dos pulmões devido à exposição de partículas e gases nocivos, os quais induzem alterações vasculares e destruição do parênquima pulmonar.¹ Estima-se que a DPOC seja uma das maiores causas de mortalidade e morbidade em todo o mundo², sendo considerada a quinta maior causa de internação no Brasil em 2003, com prevalência de 12% em maiores de 40 anos.³

As alterações ocorridas no parênquima pulmonar do indivíduo com DPOC causam aumento da resistência das vias aéreas e hiperinsuflação pulmonar, que por sua vez afetam a função dos músculos respiratórios, particularmente o diafragma⁴, o qual se encontra em desvantagem mecânica devido ao aplainamento de sua cúpula e ao encurtamento de suas fibras musculares. Estes fatores levam ao aumento do raio de curvatura diafragmático e diminuição da capacidade dos músculos respiratórios de gerarem pressão durante o ciclo respiratório. Conseqüentemente, o movimento da caixa torácica inferior diminui pela redução da zona de aposição diafragmática.^{4,5}

A obstrução ao fluxo aéreo e a desvantagem dos músculos inspiratórios secundária à hiperinsuflação pulmonar são fatores que contribuem para o desenvolvimento de anormalidades do padrão respiratório e do movimento

toracoabdominal de indivíduos com DPOC.^{6,7,8,9,10} Essas anormalidades estão bem descritas e avaliadas durante o repouso^{7,8,9,11,12}, sendo caracterizadas principalmente pela presença de movimentos assíncronicos (quando ambos compartimentos movimentam-se para fora, porém com atraso na excursão de um em relação ao outro) e paradoxais (quando tórax e abdômen movem-se em oposição durante a respiração). Entretanto, existem poucos estudos demonstrando o percentual de contribuição da CT e do AB para o volume corrente (VC) durante o esforço, e as alterações do padrão respiratório em diferentes níveis de intensidade de exercício.^{13,14}

1.1- Padrão respiratório e movimento toracoabdominal durante o repouso.

Vários estudos descrevem o movimento toracoabdominal (MTA) de indivíduos saudáveis durante o repouso.^{15,16,17,18} Um estudo pioneiro foi o de Sharp *et al.* (1975).¹⁷ Nesse estudo as análises foram realizadas por meio do magnetômetro, que é um equipamento composto por sensores capazes de gerar e captar campos magnéticos quando colocados em posições diametralmente opostas da caixa torácica (CT) e do abdômen (AB). Desse modo, as distâncias entre os sensores é medida e após calibração são obtidas as variações volumétricas. Este autor avaliou 81 voluntários incluindo mulheres e homens jovens (17 a 54 anos) e homens acima de 55 anos (55 a 81 anos). Observou-se que durante respiração espontânea, a contribuição de AB para o VC (considerando variação de 100% a soma do movimento de CT e AB) predominou na posição supina (média \pm desvio-padrão de 75 \pm 4%; 72 \pm 4% e

79±3% para homens jovens, mulheres jovens e idosos, respectivamente) e a contribuição da CT predominou na posição sentada (72±3%; 61±4% e 74±3% para mulheres jovens, homens jovens e acima de 55 anos, respectivamente). Durante a realização da manobra de ventilação voluntária máxima, houve predominância da CT na maioria dos voluntários em ambas as posições. Tobin *et al.* (1983)¹⁶ observaram resultados semelhantes durante respiração espontânea na posição supina, entretanto a posição sentada não foi avaliada nesse estudo.

Teramoto *et al.* (1995)¹⁵ avaliaram o MTA na posição sentada no cicloergômetro, entretanto neste estudo foi utilizada a pletismografia respiratória por indutância (PRI), que é um sistema preciso de medidas quantitativas e não invasivas do MTA baseado no mesmo princípio do magnetômetro, capaz de avaliar inclusive variáveis relacionadas ao padrão respiratório. Este estudo objetivou comparar indivíduos saudáveis jovens (25±5 anos) com idosos (71,9±5,3 anos). Em ambos os grupos o MTA foi caracterizado pela maior contribuição de AB para o VC (53,6% vs 53,9% para jovens e idosos respectivamente). Este resultado foi oposto ao encontrado por Grimby *et al.* (1968)¹⁹ que observou predominância de CT (76%) em indivíduos jovens e saudáveis também sentados no cicloergômetro. A diferença entre os estudos pode estar relacionada às diferentes técnicas de medida empregadas.

Buscando avaliar o MTA de indivíduos com DPOC (63±11 anos) de grau moderado e grave (estáveis) e em insuficiência respiratória aguda, Sharp *et al.* (1977)⁷ realizaram um estudo utilizando magnetômetros. A avaliação foi feita na posição sentada e em supino, durante respiração espontânea e após

inspiração máxima até a capacidade pulmonar total (CPT) e expiração forçada até volume residual (VR). Os autores observaram que nos indivíduos com DPOC, respirando espontaneamente, sem insuficiência respiratória aguda (IRA), houve maior participação da CT ($61\pm 7\%$) durante a inspiração na posição sentada. Em supino a participação do AB predominou ($66\pm 4\%$). Naqueles com IRA houve também o predomínio da contribuição da CT, porém com a presença de movimento paradoxal entre CT e AB, sugerindo ineficiência dos músculos respiratórios, particularmente do diafragma. Durante as manobras de inspiração máxima e expiração forçada, houve também o predomínio do movimento da CT em 80% da amostra na posição sentada, e em 70% na posição supina. Grimby *et al.* (1973)¹⁴ e Dodd *et al.* (1984)¹³ encontraram resultados similares durante o repouso, na posição sentada no cicloergômetro. Houve maior predomínio do compartimento torácico para o VC (75% e 69%), mas sem a presença de movimento paradoxal.

Tobin *et al.* (1983)⁸ também avaliaram o MTA e o padrão respiratório de indivíduos com DPOC de grau leve e moderado comparando-os a grupos de idosos, asmáticos e jovens. Foi utilizada a PRI. Os autores observaram que apesar da assincronia entre CT e AB, o percentual de contribuição do AB para o VC foi de $50\pm 20\%$ nos indivíduos com DPOC não hipercápnicos e $48\pm 29\%$ nos hipercápnicos, durante o repouso em posição supina. Nos demais grupos a contribuição de AB foi de $54\pm 14\%$ nos idosos, $58\pm 3\%$ nos jovens e $45\pm 15\%$ nos asmáticos assintomáticos. Além disso, os padrões respiratórios dos indivíduos com DPOC foram caracterizados pela presença de moderada elevação da frequência respiratória (FR) e do VC, aumento do volume minuto

(VE) acima dos valores normais, reduzido tempo inspiratório (T_i) e relação tempo inspiratório sobre tempo respiratório total (T_i/T_{tot}), com aumento do fluxo inspiratório médio (VC/T_i). Neste estudo, dez entre os 28 pacientes com DPOC apresentaram assincronia do MTA mensurado por meio do índice da relação entre a amplitude máxima compartimental e o volume corrente (MCA/VC).

Sackner *et al.* (1984)⁹ avaliaram especificamente a presença de assincronia e movimentos paradoxais em indivíduos com DPOC (59 ± 9 anos) e indivíduos saudáveis (28 ± 4 anos) durante o repouso. Os voluntários foram avaliados na posição supina durante respiração espontânea e após realização de exercício respiratório abdominal. Foi utilizada a PRI para análise. Durante respiração espontânea, os pacientes com DPOC apresentaram menores contribuições de AB ($45 \pm 17\%$) para o VC que os indivíduos saudáveis ($69 \pm 10\%$), as quais aumentaram durante a realização do exercício abdominal tanto no grupo com DPOC ($69 \pm 15\%$) quanto no grupo de indivíduos saudáveis ($87 \pm 11\%$). A presença de movimento paradoxal durante respiração espontânea foi mínima, aumentando diante da realização da inspiração e expiração controladas tanto nos indivíduos saudáveis quanto nos pacientes com DPOC.

Recentemente Fernandes (2004)²⁰, utilizando PRI, avaliou o padrão respiratório, o MTA e a variável de assincronia MCA/VC durante o repouso, na posição semi-sentada a 45° , de 44 indivíduos divididos em três grupos conforme o volume expiratório forçado no 1º segundo (VEF_1): grupo controle (valores normais), grupo moderado (VEF_1 entre 35 e 50%) e grupo grave ($VEF_1 < 35\%$). Os grupos moderado e grave apresentaram redução do T_i e do T_{tot} , aumento do VC/T_i , da FR e da VE comparado ao grupo controle. A

contribuição do AB foi predominante em todos os grupos sem diferenças estatisticamente significantes (67 ± 13 , 71 ± 17 e $72\pm 9\%$ para o grupo controle, moderado e grave respectivamente) e não foi encontrada assincronia entre os compartimentos.

Portanto, apesar de existirem algumas controvérsias entre os estudos que avaliaram os pacientes com DPOC, em geral os resultados dependem da posição adotada.

1.2- Padrão respiratório e movimento toracoabdominal durante o exercício.

Muitos estudos avaliando o MTA durante o exercício foram realizados em indivíduos saudáveis^{15,19,21,22,23}. Grimby *et al.* (1968)¹⁹ utilizando magnetômetro, estudaram a contribuição da CT e AB para a ventilação de 8 indivíduos (34 ± 6 anos) durante exercício no cicloergômetro, com cargas de 300, 600 e 900 Kpm/min. A contribuição da CT, que já era predominante durante o repouso na posição sentada no cicloergômetro (76%), manteve-se elevada durante todo o exercício (com média de 78% durante a maior carga de exercício).

Outro estudo descrito por Teramoto *et al.* (1995)¹⁵ comparou o padrão respiratório de 12 idosos (72 ± 5 anos) e 12 jovens (25 ± 5 anos) do sexo masculino durante duas intensidades fixas de exercício em cicloergômetro (20 W e 40 W) utilizando PRI. Durante o exercício, os jovens mantiveram aumentos

crecentes e significativos no deslocamento de CT ($49,4\pm 3\%$ e $51,1\pm 2\%$; $p=0,001$ comparado ao repouso), o qual predominou durante todo o exercício, ao contrário dos idosos, que apresentaram aumentos crescentes e predomínio da contribuição de AB ($57,3\pm 2\%$ e $59,8\pm 2\%$; $p<0,01$ comparado ao repouso). Os autores consideraram que esse padrão apresentado pelos idosos durante o exercício pode ocorrer em função da crescente rigidez torácica presente durante o envelhecimento.

TamaKi *et al.* (2000)²³ avaliaram por meio da PRI o movimento toracoabdominal de oito homens saudáveis (24.5 ± 3.5 anos) submetidos a três intensidades fixas de exercício em bicicleta ergométrica, na posição sentada. Os indivíduos pedalarão com aumentos progressivos de carga (60, 90 e 120w), permanecendo durante cinco minutos em cada. Os autores observaram maior contribuição da CT para o VC à medida que a carga era aumentada durante o exercício, porém não evidenciaram aumento do VC de acordo com o incremento da carga em todos os sujeitos estudados. Cabe salientar que neste estudo a determinação da carga não foi individualizada.

Lopes em 2004²⁴ avaliou e comparou o padrão respiratório de mulheres jovens saudáveis realizando exercício no cicloergômetro, durante o repouso e em três níveis de atividade física (leve, moderada e intensa baseados na frequência cardíaca) e recuperação. Este estudo foi realizado em nosso laboratório utilizando a PRI. Foi observado diminuição da contribuição da CT para o VC entre o repouso e o exercício leve, e incremento entre o exercício leve e o moderado e entre o exercício leve e o intenso ($p=0,001$). Em todas as

situações a contribuição da CT aumentou, porém mesmo diante deste incremento o AB continuou a ser predominante.

Vogiatzis *et al.* (2005)²⁵ avaliaram se a resposta dos volumes pulmonares durante o exercício era diferente entre os sexos em níveis similares de esforço. As variáveis foram avaliadas através da pletismografia optoeletrônica (POE), que também é uma técnica capaz de medir as mudanças de volume em cada incursão respiratória de toda a parede torácica e dos compartimentos torácico e abdominal com grande acurácia durante o exercício. Foram avaliados 15 indivíduos saudáveis (10 homens, 5 mulheres) com média de idade de 24±1 anos, durante realização de exercício progressivo no cicloergômetro. Não houve diferença no VC entre os sexos. Com o aumento da carga de trabalho, houve diminuição do volume pulmonar expiratório final (VPEF) e ambos os sexos aumentaram a contribuição da CT para o VC ao invés do AB.

Uma característica comum ao indivíduo com DPOC é a presença de limitação à realização de exercícios físicos, que ocorre sobretudo pelo aumento da sobrecarga e redução das reservas ventilatórias.²⁶ Uma das conseqüências da limitação ao fluxo expiratório, especialmente em altos níveis ventilatórios, é a geração da hiperinsuflação dinâmica (incapacidade de expirar o volume total de ar inspirado, com conseqüente aprisionamento aéreo).²⁷ Acredita-se que durante o exercício a limitação ao fluxo aéreo seja a grande responsável pela hiperinsuflação dinâmica e conseqüente limitação ao exercício apesar de poderem coexistir outros fatores²⁷ como a presença da dispnéia, que na maior parte das vezes, está relacionada à intensidade do exercício, podendo

entretanto estar presente durante o repouso. A dispnéia além de limitar a tolerância ao exercício, também reduz a qualidade de vida desses pacientes.²⁸ Apesar de muitos estudos avaliarem a tolerância do indivíduo com DPOC à realização de exercícios^{26,29,30,31,32}, poucos descreveram o padrão respiratório e a configuração toracoabdominal durante a condição de esforço.^{13,14,32}

A resposta ventilatória de pacientes com DPOC está associada à respiração mais rápida e superficial do que a de indivíduos saudáveis.³³ Nield *et al.* (2003)³² por meio da ergoespirometria, compararam o padrão respiratório de 13 indivíduos com DPOC e 7 com doença restritiva durante exercício progressivo em cicloergômetro. As mudanças no padrão respiratório com o exercício progressivo foram semelhantes nos dois grupos e incluíram aumento da frequência respiratória (FR), modesto aumento no VC e redução no tempo expiratório (T_E).

O primeiro estudo que avaliou o MTA de indivíduos com DPOC durante o exercício foi o de Grimby *et al.* (1973)¹⁴ utilizando magnetômetros. Participaram do estudo 9 voluntários com 48 anos em média (27-65) e VEF_1 de 52 ± 13 e capacidade vital de 74 ± 9 . As medidas foram feitas na posição sentada no cicloergômetro em 2 cargas submáximas (300 e 600 kpm) por 6 minutos. Nesse estudo, o autor demonstrou que antes do início do exercício, durante o repouso, a contribuição de AB que era de 25%, aumentou durante as duas intensidades de exercício analisadas (300 e 600 kpm) exercício (32-37%), porém sem predominar em nenhum momento.

Outro estudo que avaliou o MTA foi o de Dodd *et al.* (1984).¹³ Neste estudo foi utilizado PRI e medidas de pressão esofágica e gástrica para medida

da pressão transdiafragmática. Foram avaliados sete pacientes com DPOC (63 ± 9 anos) durante a realização de exercício em cicloergômetro, com carga de 50 e 100% da carga máxima de trabalho previamente alcançada em teste progressivo. Houve aumento da VE durante o exercício que ocorreu principalmente pelo aumento da FR, aumento do VC/Ti e constante Ti/Ttot. O aumento da VE foi associado predominantemente ao aumento do deslocamento de AB com 50% da carga (66 ± 8) e deslocamento de AB menor durante a carga máxima ($52 \pm 5\%$). O VPEF, o qual foi mensurado pela medida de capacidade inspiratória e subtraída da capacidade pulmonar total, aumentou durante o exercício, demonstrando que houve hiperinsuflação dinâmica. Os autores relatam que não foi observada a presença de movimento paradoxal.

Delgado *et al.* (1984)³⁴ avaliaram o MTA durante o exercício progressivo, em esteira, de 40 indivíduos com DPOC (48 a 79 anos, VEF_1 25 a 62% do predito) e 6 homens saudáveis (25 a 53 anos). Os autores utilizaram a PRI para avaliação do padrão respiratório. Os homens saudáveis apresentaram sincronia toracoabdominal, entretanto, nos indivíduos com DPOC foram observados três padrões de resposta. No primeiro deles, observou-se a presença de movimento sincrônico e um pico do movimento do AB que precedia o de CT em 200 a 500 ms. No segundo, houve persistência do movimento abdominal paradoxal durante toda a expiração, e no terceiro padrão de resposta, foi identificada a presença de movimento paradoxal do AB durante a inspiração. A sincronia encontrada no primeiro grupo de homens saudáveis, os quais apresentavam obstrução moderada, pode estar relacionada a uma resposta normal. Neste estudo, a coordenação toracoabdominal do indivíduo

com DPOC esteve relacionada ao grau de obstrução e não houve descrição do percentual de contribuição toracoabdominal para o V_C .

Conforme descrito anteriormente, os estudos avaliando o padrão respiratório e o MTA durante o exercício demonstraram que em geral os jovens apresentavam aumento da contribuição da CT durante o exercício e os idosos da contribuição de AB. Em indivíduos com DPOC, apenas dois estudos avaliaram o MTA e a contribuição de CT e AB durante o exercício, porém utilizando equipamentos de mensuração diferentes. Estes estudos sugerem que a resposta ao exercício incremental está associada ao aumento da contribuição de AB e apenas um estudo avaliou esta resposta em exercício máximo.

Atualmente a prescrição de exercícios físicos e respiratórios tem sido considerada importante ferramenta na reabilitação de pneumopatas. Estudos que avaliem as respostas de adaptação ao esforço nestes indivíduos são essenciais para embasar a escolha dos melhores métodos de intervenção terapêutica na área de reabilitação pulmonar.

1.3-Objetivo do estudo

O objetivo deste estudo foi comparar o padrão respiratório e o movimento toracoabdominal, durante o repouso e durante atividade física progressiva no cicloergômetro em indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica.

Capítulo 2- MATERIAIS E MÉTODOS

2.1- Tipo de estudo

Observacional do tipo transversal.

2.2- Local de Realização

Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare) – Departamento de Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

2.3- Amostra

Participaram deste estudo 29 voluntários selecionados no Ambulatório de DPOC do Serviço Especial de Diagnóstico e Tratamento de Pneumologia e Cirurgia Torácica do Hospital das Clínicas da UFMG.

2.3.1- Critérios de inclusão

- Diagnóstico clínico de DPOC moderado ou grave, feito por clínico experiente e baseado em critérios espirométricos³⁵, com volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF_1) sobre capacidade vital forçada (CVF) - $VEF_1/CVF < 70\%$ e $VEF_1 < 80\%$ do previsto.
- Ser do sexo masculino.
- Ser capaz de realizar o teste de exercício.
- Não participar de programa regular de atividade física.

- Apresentar estabilidade clínica (sem exacerbação da DPOC nas últimas seis semanas),³⁶
- Apresentar índice de massa corporal entre 18 e 30 Kg/m².
- Ausência de diagnóstico de asma, doença pulmonar intersticial e comprometimento cardiovascular.
- Ausência de comprometimentos neuromusculares ou ortopédicas que limitassem a realização do exercício no cicloergômetro.

2.3.2- Critérios de exclusão

- Não conseguir realizar o teste proposto
- Não alcançar pelo menos três estágios do teste progressivo.

2.4- Aspectos éticos

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da instituição (COEP-UFMG, parecer n° 092/05) (anexo 1) e todos os participantes assinaram o consentimento livre e esclarecido por escrito.

2.5- Instrumentos

2.5.1- Balança

Foi utilizada a balança calibrada Filizola[®] Ind.Ltda, São Paulo-SP para aferir peso e estatura e para o cálculo do índice de massa corporal - IMC = peso (KG) / altura² (m²), com finalidade de atendimento do critério de inclusão.

2.5.2- Oximetria de pulso

O Oxímetro de pulso (Datex[®] - Ohmeda; Louisville, USA) é um equipamento portátil que realiza de maneira contínua e não invasiva a mensuração da saturação periférica da hemoglobina em oxigênio (SpO₂). É uma medida confiável que apresenta correlação de alta magnitude ($r=0,98$, $p<0,0001$) entre a saturação de oxigênio da hemoglobina medida por meio da gasometria e da oximetria de pulso em indivíduos saudáveis apresentando saturação arterial de oxigênio entre 70% e 100%.³⁷ Neste estudo a oximetria foi utilizada por motivo de segurança para implementação de oxigenioterapia se SpO₂ < 88%.³⁸

2.5.3- Esfigmomanômetro e cardiofreqüencímetro

Foi utilizado o esfigmomanômetro Diasyst[®] (São Paulo, Brasil, 1999) e o cardiofreqüencímetro Polar[®] (S810, NY, USA) para avaliação das respostas cronotrópicas e inotrópicas fisiológicas durante a realização do protocolo de teste.

2.5.4- Escala de Borg

A escala de Borg é uma escala confiável e muito utilizada para avaliar o grau de percepção do indivíduo ao esforço. Neste estudo foi utilizada a escala de Borg modificada com graduação de 0 a 10, onde o menor valor corresponde à menor sensação e o maior valor ao nível máximo de sensação de esforço percebido.³⁹

2.5.5- Perfil de atividade humana

Foi aplicado um questionário intitulado Perfil de Atividade Humana (PAH)⁴⁰, que é a versão brasileira do *Human Activity Profile*, para se classificar a aptidão física do voluntário. Esse questionário consta de 94 itens referentes a atividades rotineiras dispostas em ordem crescente de gasto energético em mets, partindo de um nível funcional baixo a um alto, podendo ser aplicado em indivíduos com diferentes níveis funcionais, sem efeito-teto. O item com o mais alto dispêndio de energia é considerado como o mais representativo do nível de atividade máximo do indivíduo, pois sua correlação com o consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$), uma medida objetiva do consumo máximo de oxigênio, foi ótima ($R=0,83$).^{41,42} Uma vantagem do questionário é que as atividades que o indivíduo nunca fez não são pontuadas no escore geral do teste. De acordo com a pontuação, os indivíduos são classificados como debilitados, moderadamente ativos ou ativos.

2.5.6- Pletismografia respiratória por indutância

O sistema de pletismografia respiratória por indutância (*Respirace*[®] 204, NIMS, Miami, FL, USA – FIG.1 e 2) foi utilizado para monitorar os componentes do volume, tempo e fluxos pulmonares e da configuração toracoabdominal durante repouso e durante a realização do exercício no cicloergômetro.

Esse sistema é um método indireto e não invasivo de monitorização da ventilação pulmonar, e que requer pouco esforço por parte do sujeito. É baseado no princípio de Konno e Mead descrito em 1967⁴³, segundo o qual a parede torácica possui dois compartimentos, a CT e o AB, onde cada

compartimento tem funções diferentes, movendo-se cada um como uma unidade, mas com considerável independência.⁴³

A literatura apresenta estudos em que foi avaliada a acurácia da pletismografia em diferentes condições, como repouso e exercício^{44,45}, assim como quando esse método foi utilizado para avaliação do padrão respiratório de indivíduos de idades variadas^{46,47}, em condições de saúde¹⁶ e doença^{8,9}, durante o repouso ou exercício^{13,15,23,48}.

As medidas da pletismografia respiratória por indutância são baseadas em mudanças na área de secção transversa captadas por duas faixas de indutância (FIG. 2). Cada faixa é composta por duas partes elásticas finas e aderidas que envolvem um fio transdutor disposto de forma sinusoidal.



FIGURA 1: Respirace®



FIGURA 2: Faixas de teflon.

Uma das faixas é posicionada na região da axila, e a outra na linha média entre a borda inferior da CT e a borda superior das cristas ilíacas, local que normalmente corresponde à linha umbilical. Para aquisição dos dados, as faixas são conectadas por meio de cabos ao equipamento, que fornece três curvas,

sendo uma correspondente ao deslocamento da caixa torácica, uma do abdômen e outra que corresponde à soma dos sinais dos compartimentos torácico e abdominal (FIG. 3). Os transdutores das faixas detectam a variação na área de secção transversa decorrentes dos movimentos da CT e do AB. Neste estudo, as faixas da pletismografia foram envolvidas por bandas elásticas a fim de evitar a movimentação excessiva e criação de artefatos de movimento durante a realização do exercício.

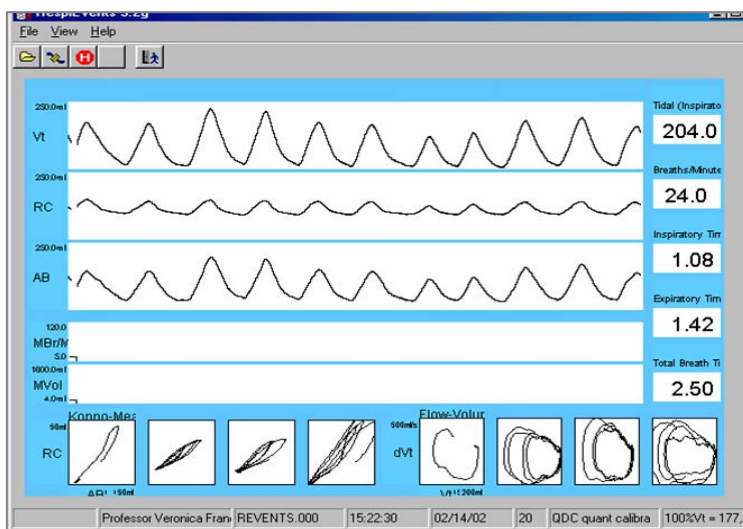


FIGURA 3: registro do traçado da pletismografia respiratória por indutância pelo *software* RespiEvents[®]. As siglas Vt, RC e AB, em inglês, correspondem, respectivamente, a tidal volume (volume corrente), rib cage (caixa torácica) e abdomen (abdômen). O traçado superior (Vt) corresponde à soma dos sinais provenientes da caixa torácica e abdômen.

O procedimento de calibração pode ser realizado por meio de um sistema de aquisição digital (RespiEvents 5.2, NIMS, Miami, FL, USA). Durante cinco minutos, ocorre a calibração relativa, um procedimento específico (*Qualitative diagnostic calibration*)⁴⁹ que permite o equilíbrio dos ganhos elétricos dos canais relativos à CT e AB. Tal sistema de aquisição digital

possibilita que os sinais dos dois compartimentos e a soma deles sejam visualizados em tempo real (FIG. 3) e gravados em um computador.⁴⁸ Os registros dos movimentos respiratórios em forma de onda são convertidos em arquivos de dados, que podem ser importados para uma planilha na qual dados numéricos correspondem às variáveis medidas a cada ciclo respiratório.

Nesse estudo foram avaliadas as seguintes variáveis:

Primárias

- Volume corrente (VC): volume de gás que entra e sai dos pulmões durante a respiração normal; sua curva é equivalente à soma do deslocamento de CT e AB.
- Frequência respiratória (FR): número de incursões respiratórias por minuto.
- Percentual de contribuição da caixa torácica e do abdômen para o volume corrente (%AB/VC e %CT/VC): são obtidos pela razão entre a amplitude de CT ou AB e a soma algébrica de CT+AB no pico inspiratório do VC, sendo plotado em uma base de ciclo por ciclo.

Secundárias

- Ventilação minuto (VE): é calculada na fase inspiratória do ciclo respiratório por meio do produto do VC e da FR.
- Tempo inspiratório (Ti): tempo gasto durante a inspiração, medido em segundos.
- Tempo expiratório (Te): tempo gasto durante a expiração, medido em segundos.
- Tempo total do ciclo (Ttot).

- Percentual do tempo inspiratório em relação ao tempo total do ciclo respiratório Relação do tempo inspiratório pelo tempo total (T_i/T_{tot}): percentual do tempo inspiratório em relação ao tempo total do ciclo respiratório.
- Fluxo inspiratório médio (VC/T_i): quantidade de volume de gás que entra e sai dos pulmões por tempo inspiratório, medida que reflete o *drive* respiratório.
- Ângulo de fase ($AngFase$): é uma medida de assincronismo entre os compartimentos CT e AB, obtida por meio do loop de Konno-Mead em uma base de ciclo por ciclo. Seus valores variam entre 0° (movimento sincrônico) e 180° (movimento totalmente assincrônico).

2.5.7- Cicloergômetro

O teste de exercício foi realizado no ergômetro Maxx Pro[®], padrão Monark, de frenagem mecânica e associado ao software *Multi Cycle Ergometer* -MCE para sistema DOS (Windows 95, 98, Millenium; Hidrofit[®], Brasil). O software possibilitou o feedback visual do incremento de potência estipulado durante o exercício⁵⁰. A figura 4 mostra o cicloergômetro utilizado associado ao software MCE, e a figura 5 ilustra especificamente o software.



FIGURA 4- Cicloergômetro MAXX Pro



FIGURA 5– Software MCE.

2.5.8 – Protocolo

O protocolo consistiu num teste progressivo submáximo limitado por sintomas. Os voluntários iniciaram o exercício com uma carga de 20 W que era aumentada em 10 W a cada dois minutos⁵¹, através do software *Multi Cycle Ergometer – MCE*⁵⁰, que permitiu o controle do incremento da potência.

2.6-Procedimentos

Depois de obtida a história clínica e familiarização com os procedimentos, foi mensurado peso e altura para cálculo do IMC. Quando incluídos no estudo, os voluntários eram instruídos a assinar o termo de consentimento livre e esclarecido e a responder ao questionário de atividade física PAH. Em seguida o voluntário foi posicionado sentado no cicloergômetro, sendo a altura do selim ajustada de acordo com a altura de sua crista ilíaca, e do guidom ajustada para manter os braços apoiados e estendidos, de forma a evitar contração isométrica excessiva e tensão muscular.

As bandas elásticas da pletismografia foram posicionadas ao redor do tórax, na altura da axila, e ao redor do abdômen, na altura da cicatriz umbilical, sendo em seguida conectadas a cabos interligados à PRI. As bandas foram envolvidas por faixas elásticas extras para assegurar maior firmeza e prevenir oscilações no traçado, conforme mostra a figura 6 e 7. Todas as medidas, tanto do repouso quanto do exercício, foram realizadas na mesma posição sentada no cicloergômetro.

Os voluntários foram instruídos a pedalar por dois minutos, sem carga, para familiarização com o cicloergômetro, e em seguida iniciava o

procedimento de calibração da PRI, para posteriormente realizar-se a coleta dos dados durante realização do protocolo progressivo no cicloergômetro.

Durante este estudo foi realizada a medida contínua da SpO₂ com o oxímetro, da frequência cardíaca com o cardiofrequencímetro e aferição da pressão arterial sistêmica durante cada estágio de exercício para controle da intensidade do mesmo. A sensação de esforço foi monitorada pela escala de Borg e foi ofertado oxigênio a todos os voluntários que apresentassem uma saturação periférica de oxigênio abaixo de 88% a fim de manter a saturação neste limite mínimo³⁸.

O exercício terminava quando o voluntário manifestava a necessidade de parar ou pelo aumento da pressão diastólica maior que 110 mmHg, ou da frequência cardíaca em 90% da FC máxima prevista para a idade.⁵² Após o término da atividade, foi perguntado a cada voluntário o motivo que o levou a terminar o exercício, se dispnéia ou fadiga dos membros inferiores.



Figura 6. Visão anterior da coleta de dados



Figura 7. Visão posterior da coleta de dados

2.7- Análise dos dados

Estipulou-se que seria utilizado um minuto dos traçados do repouso e de cada um dos três níveis do exercício, determinados em 30-50%, 70-80% e 100% da maior carga atingida e classificados como exercício leve, moderado e máximo, respectivamente.

Para análise dos traçados, foi realizado um ajuste manual do volume mínimo aceitável que determina um ciclo respiratório, a fim de eliminar artefatos das curvas de movimento respiratório do Respitrace[®]. Seu valor padrão em repouso foi fixado em 25% do valor basal durante o QDC, o que significa que quando o valor basal do VC fosse de 400 ml, uma deflexão menor que 100 ml não era considerada um ciclo respiratório. Durante o exercício, o valor mínimo aceitável foi modificado para 75% ou 90% do valor basal, visto que existe um aumento das oscilações do traçado.

2.8-Aspectos estatísticos

2.8.1-Cálculo amostral

O número amostral foi calculado com base em um estudo piloto com os primeiros dez participantes do estudo, por meio do cálculo do coeficiente de variação⁵³ das principais variáveis analisadas neste estudo. De acordo com este cálculo, no qual foi considerado um nível de significância de 0,05 e um poder de 80%, o número ideal seria de 20 participantes, sendo que exceto para a variável secundária, Ângulo de Fase, o cálculo indicou a necessidade de 35 participantes.

2.8.2- Análise estatística

Foram realizadas medidas descritivas, apresentadas em média e desvio-padrão, para as variáveis relativas à caracterização da amostra e à análise do padrão respiratório e configuração toracoabdominal. O teste de normalidade *Kolmogorov-Smirnov* foi utilizado para confirmação da distribuição normal dos dados. Para comparação das variáveis no repouso e durante os três níveis de exercício foi utilizada a análise da variância (ANOVA) para medidas repetidas seguida de contraste pré-planejado e correção de *Bonferroni*, considerando como significativo $p < 0,008$. Os valores de Fisher (F) foram apresentados quando o valor de p foi significativo e similar durante as comparações. As análises foram realizadas no software *Statistical Package for Social Sciences (SPSS, Chicago, IL, USA)* versão 13.

Capítulo 3- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PAUWELS, R. A. et al. Global Strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. NHBLI/WHO Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) workshop summary. *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.*, v. 163, p. 1256-1276, 2001.
2. MANNINO, D. M. Chronic obstructive pulmonary disease: definition and epidemiology. *Respir. Care*, v. 48, n.12, p. 1185-1191, 2003.
3. SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA. II Consenso brasileiro sobre doença pulmonar obstrutiva crônica-DPOC. *J. Bras. Pneumol.*, v. 30, n.(Suppl 5), p. 1-42, 2004.
4. SHARP, J. T. The respiratory muscles in chronic obstructive pulmonary disease. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 134, p. 1089-1091, 1986.
5. LUCE, J. M.; CULVER, B. H. Respiratory muscle function in health and disease. *Chest*, v. 81, n.1, p. 82-90, 1982.
6. CELLI, B. R.; RASSULO, J.; MAKE, B. J. Dyssynchronous breathing during arm but not leg exercise in patients with chronic airflow obstruction. *N. Engl. J. Med.*, v. 314, n.23, p. 1485-1490, 1986.
7. SHARP, J. T. et al. Thoracoabdominal motion in chronic obstructive pulmonary disease. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 115, n.47, p. 56- 1977.
8. TOBIN, M. J. et al. Breathing Patterns. 2 Diseased subjects. *Chest*, v. 84, n.3, p. 286-294, 1983.
9. SACKNER, M. A. et al. Assessment of asynchronous and paradoxical motion between rib cage and abdomen in normal subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 130, p. 588-593, 1984.
10. JUBRAN, A.; TOBIN, M. J. The effect of hyperinflation on rib cage-abdominal motion. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 146, p. 1378-1382, 1992.

11. ASHUTOSH, K. R.; GILBERT, J. H.; AUCHINLOSS, D. Asynchronous breathing movements in patients with COPD. *Chest*, v. 67, p. 553-557, 1975.
12. SACKNER, M. A. et al. Effects of abdominal and thoracic breathing on breathing pattern components in normal subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 130, p. 584-587, 1984.
13. DODD, D. S.; BRANCATISANO, T.; ENGEL, L. A. Chest wall mechanics during exercise in patients with severe chronic air-flow obstruction. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 129, p. 33-38, 1984.
14. GRIMBY, G.; ELGEFORS, B.; OXHOJ, H. Ventilatory levels and chest wall mechanics during exercise in obstructive lung disease. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, v. 54, p. 45-52, 1973.
15. TERAMOTO, S. et al. A comparison of ventilation components in young and elderly men during exercise. *J Gerontol. A Biol. Sci. Med Sci.*, v. 50A, n.1, p. B34-B39, 1995.
16. TOBIN, M. J. et al. Breathing patterns: Normal subjects. *Chest*, v. 84, n.2, p. 202-205, 1983.
17. SHARP, J. T. et al. Relative contributions of rib cage and abdomen to breathing in normal subjects. *J. Appl. Physiol*, v. 39, n.4, p. 608-618, 1975.
18. SACKNER, J. D. et al. Non-invasive measurement of ventilation during exercise using a respiratory inductive plethysmograph. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 122, p. 867-871, 1980.
19. GRIMBY, G.; BUNN, J.; MEAD, J. Relative contribution of rib cage and abdomen to ventilation during exercise. *J. Appl. Physiol*, v. 24, n.2, p. 159-166, 1968.
20. FERNANDES, M. et al. Estudo comparativo do padrão respiratório, movimentação toracoabdominal e ventilação em pacientes portadores de doença pulmonar obstrutiva crônica de grau moderado, grave e indivíduos saudáveis. *Rev. Brasil. Fisiot.*, v. 09, p. 34-34, 2004.

21. CHAPMAN, K. R. et al. Thoracoabdominal motion during hypercapnia, hypoxia and exercise. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, v. 63, p. 188-192, 1985.
22. SPENGLER, C. M. et al. Breathing pattern and exercise endurance time after exhausting cycling or breathing. *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 81, p. 368-374, 2000.
23. TAMAKI, A. et al. Analysis of thoracoabdominal motion during incremental work cycle exercise. *J. Phys. Ther. Sci.*, v. 12, p. 131-135, 2000.
24. LOPES, R. B. *Avaliação do padrão respiratório e da configuração toracoabdominal no repouso e em três níveis de exercício*. Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
25. VOGIATZIS, I. et al. Respiratory kinematics by optoelectronic plethysmography during exercise in men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 93, p. 581-587, 2005.
26. JONES, N. L.; EDWARDS, H. T. Exercise tolerance in chronic airway obstruction. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 103, p. 477-491, 1971.
27. O'DONNELL, D. E.; REVILL, S. M. Exertional breathlessness in patients with chronic air flow limitation. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 148, p. 1351-1357, 1993.
28. MURARIU, C. et al. Exercise limitation in obstructive lung disease. *Chest*, v. 114, p. 965-968, 1998.
29. O'DONNELL, D. E.; LAM, M.; WEBB, K. A. Measurement of symptoms, lung hyperinflation, and endurance during exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *Am. J. Respir. Care Med.*, v. 158, p. 1557-1565, 1998.
30. BAUERLE, O.; CHRUSCH, C. A.; YOUNES, M. Mechanisms by which COPD affects exercise tolerance. *Am. J. Respir. Care Med.*, v. 157, p. 57-68, 1998.
31. CARLSON, D. J.; RIES, A. L.; KAPLAN, R. M. Prediction of maximum exercise tolerance um patients with COPD. *Chest*, v. 100, p. 307-311, 1991.

32. NIELD, M. et al. Comparison of breathing patterns during exercise in patients with obstructive and restrictive ventilatory abnormalities. *J. Reab. Reser. Devel.*, v. 40, n.5, p. 407-414, 2003.
33. GALLACHER, C. G. Exercise limitation and clinical exercise testing in chronic obstructive pulmonary disease. *Clin. Chest. Med.*, v. 15, n.2, p. 305-326, 1994.
34. DELGADO, H. R. et al. Chest wall and abdominal motion during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 126, p. 200-205, 1982.
35. PEREIRA, C. A. C. et al. Valores de referência para espirometria em uma amostra da população brasileira adulta. *J. Pneumol.*, v. 18, p. 10-22, 1992.
36. ALIVERTI, A. et al. Regional chest wall volumes during exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*, v. 59, n.3, p. 210-216, 2004.
37. YELDERMAN, M.; NEW, W. Evaluation of pulse oximetry. *Anesthesiology*, v. 59, n.349, p. 352- 1983.
38. COOPER, C. B. Pulmonary Disease. In: AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE *ACSM'S Exercise Management for Persons with Chronic Diseases and Disabilities*. 1 ed. USA: Human Kinetics, 1997. cap. 13, p. 74-77.
39. BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, v. 14, n.5, p. 377-381, 1982.
40. SOUZA, A. C. et al. *Cross-cultural adaptation and analysis of the psychometric properties in the Brazilian version of the Human Activity Profile*. *Cad Saúde Pública*, v. 22, n. 12, p. 2623-36, 2006.
41. DAUGHTON, D. et al. Relationship between a pulmonary function test (FEV1) and the adapt quality-of-life scale. *Perceptual and Motor Skills.*, v. 57, p. 359-362, 1983.
42. DAUGHTON, D. M. et al. Maximum oxygen consumption and the ADAPT quality-of-life scale. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, v. 63, p. 620-622, 1982.

43. KONNO, K.; MEAD, J. Measurement of the separate volume changes of rib cage and abdomen during breathing. *J. Appl. Physiol*, v. 22, n.3, p. 407-422, 1967.
44. CARETTI, D. M. et al. Reliability of respiratory inductive plethysmography for measuring tidal volume during exercise. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, v. 55, n.10, p. 918-923, 1994.
45. CHADA, T. S. et al. Validation of respiratory inductive plethysmography using different calibration procedures. *Am. Rev. Respir. Dis.*, v. 125, p. 644-649, 1982.
46. MAYER, O. H. et al. Respiratory inductance plethysmography in healthy 3-to5-year-old children. *Chest*, v. 124, p. 1812-1819, 2003.
47. VERSCHAKELEN, J. A.; DEMEDTS, B. Normal Thoracoabdominal Motions. *Am. J. Respir. Crit. Care.*, v. 151, p. 399-405, 1995.
48. BLOCH, K. E.; BARANDUN, J.; SACKNER, M. A. Effect of mounthpiece breathing on cardiorespiratory response to intense exercise. *Am. J. Respir. Crit Care Med.*, v. 151, p. 1087-1092, 1995.
49. SACKNER, M. A.; WATSON, H.; BELSITO, A. Calibration of respiratory inductive plethysmography during natural breathing. *J. Appl. Physiol*, v. 66, n.1, p. 410-420, 1989.
50. STANIAK, A. Informacyjny system do wspomagania testow wydolnosciovych prowadzonych na cykloergometrze. *Trening*, v. 21, p. 251-258, 1994.
51. YAN, S.; KAMINSKI, D.; SLIWINSKI, P. Inspiratory muscle mechanics of patients with chronic obstructive pulmonary disease during incremental exercise. *Am. J. Respir. Crit Care Med.*, v. 156, n.3 Pt 1, p. 807-813, 1997.
52. MCCONNELL, T. R. Cardiorespiratory Assessment of Apparently Healthy Populations. In: *ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*. 3 ed. Baltimore: Lippincott Williams&Wilkins, 1998. cap. 41, p. 347-353.

53. SAMPAIO, I. B. M. *Estatística aplicada à experimentação animal*. 2ed. Belo Horizonte: 2002.

Capítulo 4- BREATHING PATTERN AND THORACOABDOMINAL MOTION DURING EXERCISE IN COPD.

Abstract

Subjects with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) present breathing pattern and thoracoabdominal motion abnormalities that may contribute to exercise limitation. We compared the breathing pattern and thoracoabdominal motion of 22 subjects with COPD ($FEV_1 = 42.6 \pm 13.5\%$ predicted; mean \pm SD) at rest and during an incremental cycle exercise test (10 watts/2 minutes). Changes in respiratory frequency (f_R), tidal volume (V_T), minute ventilation (V_E), timing components of breathing pattern, the percentage of abdomen (AB) contribution to V_T and the phase angle (PhaseAng) were analyzed by inductive respiratory plethysmography at rest and during three levels of exercise (30-50%, 70-80% e 100% of maximal work load reached). Repeated measures ANOVA followed by pre-planned contrasts and Bonferroni corrections were used for analyses ($p < 0.008$). As expected, there were progressive increases in V_E , V_T and f_R ($p = 0.001$). The AB contribution increased (rest: $49.82 \pm 11.19\%$ vs exercise: 63.96 ± 9.79 , 63.46 ± 10.46 and $65.66 \pm 10.17\%$, respectively; $p = 0.001$). The PhaseAng varied from 11.95 ± 7.24 at rest to 22.75 ± 8.38 during maximal exercise ($p = 0.001$). In conclusion, the present findings showed that the increase in V_E during exercise in patients with COPD was related to an increase in the f_R and V_T , associated to the major contribution of the abdominal compartment.

Keywords: abdomen, chronic obstructive pulmonary disease, exercise, plethysmography, thorax, ventilation.

Introduction

Breathlessness and exercise intolerance are the most common symptoms in COPD and progress as the disease advances, limiting the patients' participation in daily activities and leading to further inactivity and social isolation (1).

Dynamic hyperinflation contributes greatly to the limitation of exercise tolerance in most patients with COPD (2). In addition, maximal ventilation during exercise is often limited by the mechanical constraints imposed by the lung pathophysiology (3). The presence of the mechanical disadvantages contributes to abnormalities in thoracoabdominal motion at rest (4) and during exercise (5).

The respiratory inductive plethysmography (IRP), with the appropriate calibration, is a technique capable of measuring accurately breath by breath changes in the volumes of the chest wall and its rib cage (RC) and abdominal compartments (6;7). Using this device, Tobin *et al.* (7;8) found higher contribution of the abdomen (AB) to tidal volume (V_T) in healthy subjects and similar thoracoabdominal contribution in COPD subjects at rest in supine position. Sackner *et al.* (9) also observed a predominance of AB in healthy subjects and an RC predominance in COPD subjects at rest in the same position. Sharp *et al.* (4) and Grimby *et al.* (10) using magnetometers, another kind of equipment based on the same principle, identified a major contribution of RC in a sitting position in COPD patients.

Few studies have described thoracoabdominal motion during exercise in COPD (5;10;11). During incremental exercise on a treadmill, Delgado *et al.* (5),

using RIP, demonstrated a paradoxical motion which was associated to the severity of the exercise limitation. However, thoracoabdominal compartments' contributions to tidal volume were not evaluated. Dodd *et al.* (11) and Grimby *et al.*(10) observed that the relative contribution of the AB to V_T in COPD patients during cycling exercise tended to increase more than in healthy subjects.

Understanding breathing pattern and thoracoabdominal motion at rest and during exercise may contribute to the assessment of exercise limitation in COPD patients and to an improvement of the strategies in pulmonary rehabilitation. In this context, the aim of this study was to compare the breathing pattern and thoracoabdominal motion, at rest and during cycling exercise, of subjects with COPD.

Methods

Subjects

Twenty nine men with stable COPD diagnosed by accepted criteria (12) were selected among subjects with COPD admitted for treatment in a university-based hospital. Patients with ages ranging from 50 to 80 years old, FEV₁ under 80% of the predicted value, FEV₁/forced vital capacity (FVC) lower than 0.7 and body mass index (BMI) between 18 and 30 were included in this study. All patients were former smokers and none of them had any clinical or physiological features of bronchial asthma or a history of exacerbation in the previous 6 weeks. There were no co-morbidities limiting exercise. The patients were receiving medical therapy with usual pulmonary drugs and none of them

was taking part in a regular physical activity program. The protocol was approved by the institutional ethics committee and informed consent was obtained from the participants. Four patients were excluded due to irregular tracings during exercise, preventing data interpretation, and three others were excluded due to higher respiratory frequency at rest. The excluded patients were not different from the other patients.

Level of regular physical activity

The Human Activity Profile (HAP) questionnaire was used to measure activity level (13). The translation and adaptation of HAP is comprised of 94 self-report items. Each item represents a common activity requiring a known amount of average energy expenditure. Subjects are classified in active, moderately active and impaired.

Measurements

The experiments were carried out with the patients seated on a mechanical MAXX Pro (Monark standard, Hydrofit[®], Brazil) cycle ergometer. The patients remained in the same position both at rest and during exercise. Respiratory variables were obtained by respiratory inductive plethysmography (Respirace[®], Nims, Miami, Fl, USA). Teflon-coated inductance coils of appropriate size were placed around the rib cage and abdomen; the upper edge of the rib cage band was placed at the level of the axilla and the abdominal band at the level of the umbilicus. An extra elastic band was placed over the bands to minimize movement artifacts. Signals were calibrated using qualitative

diagnostic calibration (14) during natural breathing. This is a two-step procedure whereby the rib cage and abdominal electrical gains of the respiratory inductive plethysmography amplifiers are correctly partitioned during tidal breathing and subsequently compared to the output of a spirometer to attain equivalence. The subject then breathed into a spirometer via a mouthpiece (Vitrace, Pro Médico, Rio de Janeiro, RJ, Brazil), with the nose clipped, for 30 to 60 s. The electrical spirometer output was recorded in a computer and used to calibrate the respiratory inductive plethysmographic sum signal for absolute volume in ml(15). The spirometer was calibrated with a 1-liter syringe (Hans Rudolph Inc., Kansas City, MO, USA) using computer software (RespiPanel, 4.0, Nims). Signals were recorded through a digital acquisition system (RespiEvents 5.2, Nims). Transcutaneous oxygen saturation (SaO_2) and pulse rate were continuously monitored during exercise by pulse oximetry (Datex-Ohmeda Inc., Louisville, CO, USA) and heart rate monitor (Polar[®] S810, NY, USA).

Experimental protocol

First all subjects were familiarized with exercise testing. The resting breathing data were recorded for at least 2 min. The patients began the exercise with a work load of 20 watts which was increased progressively by 10 watts every two minutes until exhaustion (16). Supplementary oxygen was offered if SaO_2 decreased to values lower than 88% (17). The interruption criteria for exercise tests were followed strictly based on the American College of Sports Medicine (ACSM) (18). The subjective assessment of breathing

difficulty or effort sensation and leg fatigue were collected during each stage of exercise using a 10 point modified Borg category scale (19).

Data analysis

Respiratory frequency (f_R), tidal volume (V_T), minute ventilation (V_E), inspiratory time (T_I), fractional inspiratory time (T_I/T_{TOT}), mean inspiratory flow (V_T/T_I), the percentage of AB and RC contribution to V_T and the phase angle (PhaseAng) (20) were measured continuously at rest and during exercise. When the RC and AB move in perfect synchrony, PhaseAng = 0° . With increasingly asynchronous thoracoabdominal motion, PhaseAng increases to 180° , the point at which the RC and AB are completely out of phase.

The cut-off tracings, corresponding to one minute at rest and in each of the three levels of exercise (30-50%, 70-80% e 100% of maximal work load reached, corresponding to mild exercise, moderate exercise and maximal exercise, respectively), were used for analysis. The acceptable minimum volume in the plethysmography during exercise was modified to 75% and sometimes to 90% of the basal value, to reduce movement artifacts.

Statistics analysis

The normal distribution was evaluated by the Kolmogorov-Smirnov test. Data are reported as mean \pm SD. Comparisons of the variables between rest and each exercise phase were made by repeated measures ANOVA, followed by pre-planned contrasts. Bonferroni corrections were applied in the comparisons and the significance level was set at $p < 0.008$ (21). The results

were showed in F (Fisher) and p values. Data were analyzed using Statistical Package for Social Science (SPSS 13, Chicago, IL, USA).

RESULTS

Baseline anthropometric and spirometric values of 22 volunteers are shown in table 1. Patients achieved an average maximum workload of 60 ± 16 watts and an exercise duration of 9.76 ± 3.2 minutes. As expected, the heart rate and Borg scale augmented, showing the increase of exercise intensity (table 2). Seven patients (32%) needed to use oxygen during the total time of exercise. Nine (41%) patients stopped the exercise due to dyspnea and 13 (59%) due to leg fatigue.

According to the HAP questionnaire, 5 (23%) patients were considered active, with a score of > 74 , 15 (68%) were considered moderately active, with a score of 53-74, and 2 (9%) patients were considered impaired, with a score of < 53 .

Breathing pattern

As expected, V_E increased progressively ($p<0.001$) according to the increase of V_T and f_R . The increase of V_T was significant in all levels of exercise ($F=53.6, 79.0$ and 97.5 between rest and mild, moderate and maximal exercise, respectively; $p<0.001$). The increase of f_R was also significant in moderate and maximal exercise ($F=37$ e 71 ; $p<0.001$), as shown in table 3.

Timing of breathing

At the beginning of the exercise, only the T_E decreased ($p < 0.001$). However, during the final level of exercise, both T_I and T_E decreased ($p < 0.001$), contributing to a significant reduction of T_{TOT} (table 3). The T_I/T_{TOT} ratio increased significantly during exercise, compared to rest ($F = 70.8, 53.0$ and 46.34 to mild, moderate and maximal exercise, respectively; $p < 0.001$), and remained constant while the intensity of exercise increased. The V_T/T_I ratio increased in all levels of exercise ($F = 45.6, 63.7$ e 90.33 to mild, moderate and maximal exercise, respectively; $p < 0.001$), with significant differences between mild and moderate exercise ($F = 55$) and between moderate and maximal exercise ($F = 93.7$).

Thoracoabdominal motion

The relative contributions of RC and AB at rest were $49.82 \pm 11.19\%$ and $50.18 \pm 11.19\%$, respectively. During exercise, RC and AB volume increased (figure 1). However, only the relative AB contribution increased in all three exercise levels, in comparison to rest ($64.15 \pm 9.7, 63.41 \pm 10$ and $65.56 \pm 10.2\%$ with $F = 17.9, 16.9, 22.8$ between rest and mild, moderate and maximal exercise, respectively; $p < 0.001$), as shown in figure 2. The AB/CT ratio increased during exercise, ranging from 1.11 ± 0.5 at rest conditions to 2.22 ± 1 in the final level of exercise ($p < 0.008$). Compared to rest, all levels of exercise showed significant increase in AngFase ($11.95 \pm 7, 22.2 \pm 15, 22.6 \pm 9$ and $22.7 \pm 8\%$ to rest, mild, moderate and maximal exercise, respectively; $F = 12.1, 33.4$ and 31.3 between

rest and mild, moderate and maximal exercise, respectively; $p < 0.001$), presenting more asynchrony during exercise.

DISCUSSION

The major finding of the present study was that the increase of V_T during cycling exercise in COPD patients was associated to the predominance of AB contribution to the V_T . Additionally, physiological responses of the breathing pattern and an increase of asynchronism at the beginning of exercise were observed.

Breathing patterns

Patients with COPD have increased dead space ventilation at rest and during exercise. In addition, COPD patients usually have a higher V_E than healthy subjects at the same metabolic rate (22). The increased ventilatory requirements during exercise may be achieved either by augments in f_R and/or in V_T . Generally, healthy subjects at high work rates maintain V_T constant at about 50% to 60% of vital capacity, and further increases in V_E are due to increases in f_R . The same general pattern usually occurs in COPD patients. Nevertheless, patients with COPD have greater f_R and lower V_T than healthy subjects at similar levels of V_E (23), due to the severity of respiratory mechanical impairments (24). In this study, V_T and f_R contributed to the further increments in V_E .

Timing of breathing

As in previous studies (25;26), the decreases in both T_I and T_E observed in the present study were due to the increase in f_R . Usually patients with COPD present lower T_I than healthy subjects during exercise. Our results demonstrated a significant reduction in T_{TOT} during the two final levels of exercise. Nield *et al.* (27) observed a reduction in T_{TOT} during incremental exercise protocols and suggested that a decrease in T_{TOT} occurred to increase V_E in flow limitation conditions.

It has been well documented that the T_I/T_{TOT} reflects the timing components of ventilation. In this study the T_I/T_{TOT} increased significantly from rest to the first exercise level and remained constant during the different levels of exercise. Patients with severe COPD often show less or no increase in the T_I/T_{TOT} with exercise. (24) This behavior allows greater time for expiration, facilitating increases of V_E . However, patients with less severe COPD often show increases in the T_I/T_{TOT} . The fact that T_I/T_{TOT} increased with V_E supports the hypothesis of Yamashiro *et al.* (28) that the relative durations of inspiration and expiration are regulated to minimize respiratory work. These results during exercise are consistent with those of Neder *et al.* (26) and Prioux *et al.* (25), who also demonstrated in young and elderly healthy participants constant T_I/T_{TOT} during cardiopulmonary test.

The V_T/T_I reflects the respiratory center drive. Tobin *et al.* (8) found that COPD patients had V_T/T_I above or at the upper limit observed in healthy subjects. Indeed, Prioux *et al.* (25) observed that increases in V_E during maximal exercise in elderly subjects were due to high values of V_T/T_I . Other

authors (11;26;27) also described increases in V_T/T_I during exercise in different populations, as observed in this study. Thus, the neural mechanisms play an important role in the control of ventilation during exercise in COPD patients.

Thoracoabdominal motion

In this study, the thoracoabdominal motion at rest was associated to a slightly greater AB expansion. During exercise, the AB expansion increased more than the CT expansion and remained predominant.

The present study did not observe a greater RC predominance at rest, as observed by Grimby *et al.* (10) and by Dodd *et al.* (11) Grimby *et al.* (10) evaluated the changes in end-tidal volume in COPD patients at rest and during submaximal exercise on a bicycle ergometer and the flow-volume curves and volume displacements of the RC and AB. It is important to consider that, in this study, the magnetometers were used to measure the variables. Dodd *et al.* (11) studied the dynamic properties of the chest wall in seven patients with severe chronic air-flow obstruction ($VEF_1 = 0.7 \pm 0.19$ L) at rest and during cycling exercise (50 and 100% of their previously maximal work rate). Regarding thoracoabdominal motion at rest, the greater the COPD severity, the higher the rib cage volume in both sitting and supine positions during normal breathing and during maximal forced inspirations and expirations (4).

Similar results were found during exercise by Grimby *et al.* (10). This study demonstrated increases in the contribution of the AB to V_T (from 25% to 30% and 37% at 300 and 600 Kpm, respectively). Dodd *et al.* (11) also showed with RIP an increase in ventilation during exercise associated to an augment in

abdomen volume (from 31 ± 7 to $66\pm 8\%$ at 50% and $37\pm 8\%$ to $52\pm 5\%$ at 100% of maximal work rate). These authors suggested that the diaphragm plays a major role in generating greater inspiratory pleural pressure and in increasing the abdominal volume during exercise. The passive relaxation of the abdominal muscles after expiration, at the start of inspiration, appeared to be a major contributor to the increases in lung volume and to the predominance of the AB during exercise. The pattern of AB movements with exercise serves to optimize diaphragm function despite the increase in end expiratory lung volume (EELV) (11).

Dynamic hyperinflation increases the ability of the respiratory system to generate expiratory flow but limits the maximum V_T and reduces the ability of the inspiratory muscles to produce force by reducing their length. Aliverti *et al.*(3) observed that the exercise limitation in COPD is not necessarily associated to dynamic pulmonary hyperinflation. EELV increased in hyperinflator patients and decreased in non-hyperinflator COPD patients. Grimby *et al.* (10) reported that patients who had the most marked increase in EELV showed a decreased relative contribution of AB. Therefore, although we did not measure hyperinflation, we can speculate that, due to increases in AB contribution during exercise in this study, the patients probably had a drop of the EELV.

Similar patterns of thoracoabdominal motion were observed in elderly subjects during exercise, in comparison with young normal male subjects using RIP. All subjects underwent an exercise test on a cycle ergometer for 3 minutes at 20 watts and at 40 watts (29). During exercise, AB contribution to V_T

decreased in the young, in comparison to rest, but increased significantly in the elderly subjects, probably due to the stiffening of the thorax with advancing age. It has been well established that the abdominal wall is more compliant in the elderly to compensate the greater rigidity of the rib cage (30). Based on this study, we should consider that part of our results might be related to ageing.

In the present study the asynchrony of the thoracoabdominal motion was evaluated by the PhaseAng. No reference values for PhaseAng in COPD patients at rest and during exercise were found. Reported PhaseAng values for healthy subjects were found to range from 8°(15) to 9.8° (31) in supine position and 8° (15) in supine position with 60° inclination. In this study, the PhaseAng was analyzed in the sitting position on the bicycle and similar values were found for the rest positions. However, during exercise, the PhaseAng values increased, reflecting the changes in the biomechanics of the respiratory system. It is important to emphasize that, although the increases were statistically significant, they were probably not clinically relevant.

FINAL CONSIDERATIONS

Some limitations should be considered. First, supplementary oxygen was offered to seven patients, who had SaO₂ values under 88%. This could have led to increases in exercise duration and improvements in exercise tolerance. O'Donnell *et al.* (32) demonstrated that the use of oxygen during exercise reduces V_E as a result of a decrease in f_R , with no significant changes in inspiratory capacity. However, Delgado *et al.*(5) did not observe alterations in

thoracoabdominal motion related to the use of oxygen in 11 out of 40 patients with COPD during progressive exercise on a treadmill.

Second, in this study inspiratory capacity and changes in operational lung volumes (EELV) during exercise were not measured. These measures are important determinants of inspiratory muscle length and hyperinsufflation during exercise.

Future studies should associate the evaluation of thoracoabdominal motion with the cardiopulmonary exercise tests to investigate whether these results are more related to ventilatory, cardiovascular or metabolic responses.

Exercise intolerance is the major cause of disability in COPD patients. Among the lung functions, evaluation of the breathing patterns and of the thoracoabdominal motion may contribute to elucidate the pulmonary-ventilatory mechanisms involved in the responses observed during exercise. This study observed that the contribution of AB was predominant in the increase of the V_T during exercise, suggesting that a strategy for improving the diaphragmatic function in COPD patients appears to be an effective way of enhancing exercise capacity.

In conclusion, the present results showed that the increase in ventilation during exercise in patients with COPD was related to an increase in the respiratory frequency and in the tidal volume, associated to the major contribution of the abdominal compartment.

Reference List

- (1) ATS. American Thoracic Society/ European respiratory society statement on pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Care Med* 2006; 173:1390-1413.
- (2) O'Donnell DE, Lam M, Webb KA. Measurement of symptoms, lung hyperinflation, and endurance during exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Care Med* 1998; 158:1557-1565.
- (3) Aliverti A, Stevenson N, Dellacà RL, Mauro A, Pedotti A, Calverley PMA. Regional chest wall volumes during exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 2004; 59(3):210-216.
- (4) Sharp JT, Goldberg NB, Druz WS, Fishman HC, Danon J. Thoracoabdominal motion in chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1977; 115(47):56.
- (5) Delgado HR, Braun SR, Skatrud JB, Reddan WG, Pegelow DF. Chest wall and abdominal motion during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1982; 126:200-205.
- (6) Chada TS, Watson H, Birch SJ, Jenouri G, Schneider AW, Cohn MA et al. Validation of respiratory inductive plethysmography using different calibration procedures. *Am Rev Respir Dis* 1982; 125:644-649.
- (7) Tobin MJ, Chadha TS, Jenouri G, Birch SJ, Gazeroglu HB, Sackner MA. Breathing patterns: Normal subjects. *Chest* 1983; 84(2):202-205.
- (8) Tobin MJ, Chadha TS, Jenouri G, Birch SJ, Gazeroglu HB, Sackner MA. Breathing Patterns. 2 Diseased subjects. *Chest* 1983; 84(3):286-294.
- (9) Sackner MA, Gonzalez HF, Jenouri G, Rodriguez M. Effects of abdominal and thoracic breathing on breathing pattern components in normal subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1984; 130:584-587.
- (10) Grimby G, Elgefors B, Oxhoj H. Ventilatory levels and chest wall mechanics during exercise in obstructive lung disease. *Scand J Clin Lab Invest* 1973; 54:45-52.
- (11) Dodd DS, Brancatisano T, Engel LA. Chest wall mechanics during exercise in patients with severe chronic air-flow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129:33-38.
- (12) NHLBI/WHO Global initiative for chronic obstructive lung disease (GOLD). Global strategy for the diagnosis, management, and prevention

- of chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care* 2001; 163:1256-1276.
- (13) Daughton D, Fix AJ, Kass I, McDonald T, Stevens C. Relationship between a pulmonary function test (FEV1) and the adapt quality-of-life scale. *Perceptual and Motor Skills* 1983; 57:359-362.
 - (14) Sackner MA, Watson H, Belsito A. Calibration of respiratory inductive plethysmography during natural breathing. *J Appl Physiol* 1989; 66(1):410-420.
 - (15) Bloch KE, Barandun J, Sackner MA. Effect of mouthpiece breathing on cardiorespiratory response to intense exercise. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 151:1087-1092.
 - (16) Yan S, Kaminski D, Sliwinski P. Inspiratory muscle mechanics of patients with chronic obstructive pulmonary disease during incremental exercise. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 156(3 Pt 1):807-813.
 - (17) Cooper CB. Pulmonary Disease. In: American College of Sports Medicine, editor. *ACSM'S Exercise Management for Persons with Chronic Diseases and Disabilities*. USA: Human Kinetics, 1997: 74-77.
 - (18) McConnell TR. Cardiorespiratory Assessment of Apparently Healthy Populations. *ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*. Baltimore: Lippincott Williams&Wilkins, 1998: 347-353.
 - (19) Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 14(5):377-381.
 - (20) Mayer OH, Clayton RG, Jawad AF, McDonough JM, Allen JL. Respiratory inductance plethysmography in healthy 3-to5-year-old children. *Chest* 2003; 124:1812-1819.
 - (21) Munro BH. *Statistical methods for health care research*. 4 ed. New York, Baltimore.: 2001.
 - (22) Jones NL, Edwards HT. Exercise tolerance in chronic airway obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1971; 103:477-491.
 - (23) Gallagher CG, Brown E, Younes M. Breathing pattern during maximal exercise and during submaximal exercise with hypercapnia. *J Appl Physiol* 1987; 63(1):238-244.
 - (24) Gallacher CG. Exercise limitation and clinical exercise testing in chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Chest Med* 1994; 15(2):305-326.

- (25) Prioux J, Ramonatxo M, Hayot M, Mucci P, Prefaut C. Effect of ageing on the ventilatory response and lactate kinetics during incremental exercise in man. *Eur J Appl Physiol* 2000; 81:100-107.
- (26) Neder JA, Dal Corso S, Malaguti C, Reis S, De Fuccio MB, Schmidt H et al. The pattern and timing of breathing during incremental exercise: a normative study. *Eur Respir J* 2003; 21:530-538.
- (27) Nield M, Aora A, Dracup K, Soo Hoo GW, Cooper CB. Comparison of breathing patterns during exercise in patients with obstructive and restrictive ventilatory abnormalities. *J Reab Reser Devel* 2003; 40(5):407-414.
- (28) Yamashiro SM, Daubenspeck JA, Lauritsen TN, Grodins FS. Total work rate of breathing optimization in CO₂ inhalation and exercise. *J Appl Physiol* 1975; 38:702-709.
- (29) Teramoto S, Fukuchi Y, Nagase T, Matsuse T, Orimo H. A comparison of ventilation components in young and elderly men during exercise. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1995; 50A(1):B34-B39.
- (30) Rizzato G, Marazzini L. Thoracoabdominal mechanics in elderly men. *J Appl Physiol* 1970; 28(4):457-460.
- (31) Sackner MA, Gonzalez H, Rodriguez M, Belsito A, Sackner DR, Grenvik S. Assessment of asynchronous and paradoxical motion between rib cage and abdomen in normal subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1984; 130:588-593.
- (32) Peters MM, Webb KA, O'Donnell DE. Combined physiological effects of bronchodilators and hyperoxia on exertional dyspnoea in normoxic COPD. *Thorax* 2006; 61:559-567.

Table 1. Anthropometric and spirometric variables

Variables	Mean \pm SE	Minimum	Maximum
Age, years	68 \pm 8	52	79
Weight, Kg	63.2 \pm 9.8	50	80
Height, cm	166.4 \pm 6.1	152	179
BMI, Kg.m ⁻²	23 \pm 3	18	30
FVC, %pred	74.2 \pm 13.4	51	98
FEV ₁ , %pred	42.6 \pm 13.5	25	70
FEV ₁ , l	1.14 \pm 0.4	0.58	2.07
FEV ₁ /FVC, l	43.1 \pm 9.6	29	62

n=22. BMI: body mass index; FVC: forced vital capacity and FEV₁: forced expiratory volume in one second.

Table 2. Heart rate (HR) and Borg scale (n=22) values.

Variables	Mild exercise	Moderate exercise	Maximal exercise
HR, bpm	92±15*	107±17*	126±15*
Borg	1.16±1.22*	3.43±1.85*	6.27±2.68*

*p<0.008 compared with rest.

Table 3. Respiratory variables at rest and during each level of exercise (n=22)

<i>Variables</i>	Rest	Mild exercise	Moderate exercise	Maximal exercise
V_C , ml	463.76±129.31	911.93±339.4*	1206.74±422.27*†	1396.21±466*†‡
V_E , l/min	8.4±2.07	18.49±6.7*	27.92±10.10*†	37.69±13.3*†‡
f_R , bpm	18.73±3.62	21.08±4.94*	23.73±4.74*†	27.56±4.83*†‡
T_I , s	1.25±0.31	1.33±0.44	1.14±0.26†	0.99±0.16*†‡
T_E , s	2.13±0.48	1.75±0.44*	1.53±0.34*†	1.29±0.28*†‡
T_{TOT} , s	3.38±0.75	3.03±0.84	2.7±0.57*	2.24±0.41*†‡
V_T/T_I , l/s	0.38±0.1	0.75±0.3*	1.1±0.4*†	1.5±0.5*†‡
T_I/T_{TOT}	0.37±0.03	0.43±0.04*	0.43±0.04*	0.44±0.04*

* p<.008 compared to rest, † p<.008 compared to previous level and ‡ p<.008 compared to 30% of total time of exercise.

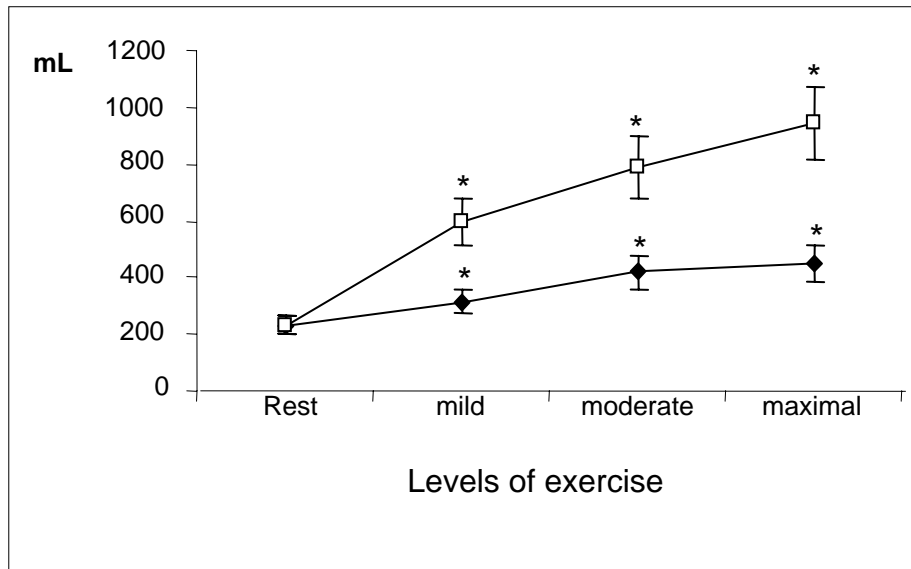


Figure 1. The volume (mL) of the rib cage (RC) and the abdomen (AB) at rest and during the three levels of exercise. * $p < .008$ compared with rest.

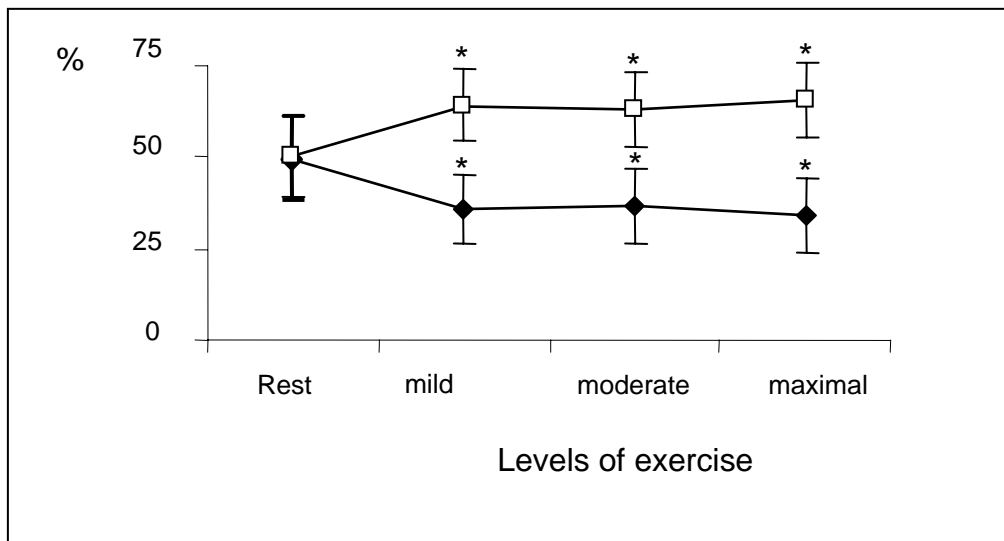


Figure 2. Relative contribution of the abdomen (AB) and rib cage (RC) to tidal volume during rest and during three levels of exercise. Close circle = RC; Open circle = AB. * $p < .008$ compared with rest.

Capítulo 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo comparar o padrão respiratório e o movimento toracoabdominal de pacientes com DPOC durante repouso e exercício progressivo no cicloergômetro. Apesar de muitos estudos avaliarem este grupo de indivíduos durante o exercício, poucos investigaram as respostas associadas do padrão respiratório ao movimento toracoabdominal utilizando a pletismografia respiratória por indutância durante um protocolo progressivo.

A ausência de um grupo controle pode ser considerada uma limitação deste estudo. Entretanto, essa limitação é minimizada pela comparação dos dados do repouso com os dados do exercício de cada voluntário, que desta forma foram controles deles mesmos.

Os resultados deste estudo demonstraram que os pacientes com DPOC apresentaram resposta fisiológica do padrão respiratório, com aumentos crescentes da ventilação minuto, do volume corrente e da frequência respiratória com o aumento da intensidade do esforço. O fluxo inspiratório médio também aumentou à medida que a intensidade do exercício se elevou. Houve redução progressiva do tempo inspiratório, do tempo expiratório e do tempo total da respiração. A relação do tempo inspiratório para o tempo total aumentou do repouso para o início do exercício e manteve-se constante durante todo o exercício. Nosso principal resultado foi o aumento da contribuição do abdômen para o

volume corrente durante o exercício, sugerindo maior movimentação do diafragma durante a realização deste tipo de exercício.

A implicação clínica destes resultados está relacionada com o fato de que, em geral, estes pacientes são abordados em programas de reabilitação pulmonar que evidentemente incluem o exercício físico como ferramenta terapêutica. Nossos dados indicam a necessidade de incluir nestes programas exercícios que enfatizem o trabalho do diafragma como forma de condicionar e preparar os pacientes para a demanda que este músculo estará sujeito em situações de esforço. Além disso, estes dados sustentam a controvérsia observada na literatura com relação à utilização de exercícios respiratórios que dão ênfase ao trabalho do diafragma. Novos estudos deverão ser realizados a fim de avaliar se a utilização destes exercícios em programas de reabilitação poderá influenciar a movimentação toracoabdominal durante o esforço e/ou aumentar a tolerância ao exercício.

Concluindo, estes resultados demonstram que o aumento da ventilação dos pacientes com DPOC deste estudo, durante o exercício, foi devido ao aumento da frequência respiratória e do volume corrente associado a maior contribuição abdominal, sugerindo maior movimentação do diafragma.

ANEXO