

Susan Martins Lage

**CINEMÁTICA VENTILATÓRIA E PADRÃO RESPIRATÓRIO DURANTE  
EXERCÍCIO COM LIMAR DE CARGA INSPIRATÓRIA EM INDIVÍDUOS COM  
INSUFICIÊNCIA CARDÍACA**

Belo Horizonte  
Universidade Federal de Minas Gerais  
2011

Susan Martins Lage

**CINEMÁTICA VENTILATÓRIA E PADRÃO RESPIRATÓRIO DURANTE  
EXERCÍCIO COM LIMIAR DE CARGA INSPIRATÓRIA EM INDIVÍDUOS COM  
INSUFICIÊNCIA CARDÍACA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências da Reabilitação, nível Mestrado, 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<sup>a</sup>. Dra. Raquel Rodrigues Britto.

Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Verônica Franco Parreira.

Belo Horizonte  
Universidade Federal de Minas Gerais

2011

L174c Lage, Susan Martins  
2011 Cinemática ventilatória e padrão respiratório durante exercício com limiar de carga inspiratória em indivíduos com insuficiência cardíaca. [manuscrito] / Susan Martins Lage – 2011.  
97 f., enc.: il.

Orientadora: Raquel Rodrigues Britto  
Co- Orientadora: Verônica Franco Parreira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.  
Bibliografia: f. 38-42

1. Pulmões – Doenças - Teses. 2. Doenças Cardiovasculares – Teses. 3. Respiração artificial – Teses. 4. Sistema respiratório -Teses. 5. Exercícios Físicos – Aspectos fisiológicos – Teses. I. Britto, Raquel Rodrigues. II. Parreira, Verônica Franco. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. IV. Título.

CDU: 616.24



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL  
COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO  
DEPARTAMENTOS DE FISIOTERAPIA E DE TERAPIA OCUPACIONAL  
E-MAIL: [mesreab@eeffto.ufmg.br](mailto:mesreab@eeffto.ufmg.br) SITE: [www.eeffto.ufmg.br/mreab](http://www.eeffto.ufmg.br/mreab)  
Fone/fax: 31- 3409.4781

ATA DE NÚMERO 151 (CENTO E CINQUENTA E HUM ) DA SESSÃO DE ARGUIÇÃO  
E DEFESA DE DISSERTAÇÃO APRESENTADA PELA CANDIDATA SUSAN MARTINS  
LAGE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO

Aos 28 (vinte e oito) dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e onze, realizou-se na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, a sessão pública para apresentação e defesa da dissertação **“CINEMÁTICA VENTILATÓRIA E PADRÃO RESPIRATÓRIO DURANTE EXERCÍCIO COM LIMAR DE CARGA INSPIRATÓRIA EM INDIVÍDUOS COM INSUFICIÊNCIA CARDÍACA”**, constituída pelos seguintes professores doutores: Raquel Rodrigues Britto, Armele Dornelas de Andrade e Danielle Aparecida Gomes Pereira sob a presidência da primeira. Os trabalhos iniciaram-se às 15 horas com apresentação oral da candidata, seguida de arguição dos membros da Comissão Examinadora. Após avaliação, os examinadores consideraram a candidata *aprovada e apta a receber o título de Mestre após a entrega da versão definitiva da dissertação*. Nada mais havendo a tratar, eu, Marilane Soares, secretária do Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação dos Departamentos de Fisioterapia e de Terapia Ocupacional da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, lavrei a presente Ata, que depois de lida e aprovada será assinada por mim e pelos membros da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2011.

Professora Dra Raquel Rodrigues Britto

Professora Dra Armele Dornelas de Andrade

Professora Dra Danielle Aparecida Gomes Pereira

Marilane Soares

Secretária do Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL  
COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO  
DEPARTAMENTOS DE FISIOTERAPIA E DE TERAPIA OCUPACIONAL  
E-MAIL: [mesreab@ceffto.ufmg.br](mailto:mesreab@ceffto.ufmg.br) SITE: [www.ceffto.ufmg.br/mreab](http://www.ceffto.ufmg.br/mreab)  
Fone/fax: 31- 3409.4781

ATA DE NÚMERO 151 (CENTO E CINQUENTA E HUM ) DA SESSÃO DE ARGUIÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO APRESENTADA PELA CANDIDATA SUSAN MARTINS LAGE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO---

Aos 28 (vinte e oito) dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e onze, realizou-se na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, a sessão pública para apresentação e defesa da dissertação **"CINEMÁTICA VENTILATÓRIA E PADRÃO RESPIRATÓRIO DURANTE EXERCÍCIO COM LIMAR DE CARGA INSPIRATÓRIA EM INDIVÍDUOS COM INSUFICIÊNCIA CARDÍACA"**, constituída pelos seguintes professores doutores: Raquel Rodrigues Britto, Armele Dornelas de Andrade e Danielle Aparecida Gomes Pereira sob a presidência da primeira. Os trabalhos iniciaram-se às 15 horas com apresentação oral da candidata, seguida de arguição dos membros da Comissão Examinadora. Após avaliação, os examinadores consideraram a candidata *aprovada e apta a receber o título de Mestre após a entrega da versão definitiva da dissertação*. Nada mais havendo a tratar, eu, Marilane Soares, secretária do Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação dos Departamentos de Fisioterapia e de Terapia Ocupacional da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, lavrei a presente Ata, que depois de lida e aprovada será assinada por mim e pelos membros da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2011.-----

Professora Dra Raquel Rodrigues Britto

Professora Dra Armele Dornelas de Andrade

Professora Dra Danielle Aparecida Gomes Pereira

Marilane Soares

Secretária do Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação

## PREFÁCIO

A estrutura deste trabalho foi organizada em três partes, de acordo com as normas estabelecidas pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da UFMG. A primeira parte apresenta uma introdução do trabalho, composta por revisão bibliográfica e problematização do tema, justificativa e objetivos do estudo, bem como uma descrição detalhada de toda a metodologia utilizada. A segunda parte é composta por dois artigos a serem enviados para publicação: o primeiro consta de uma revisão sistemática, redigida de acordo com as normas adotadas pela Revista Brasileira de Fisioterapia, enquanto o segundo apresenta os resultados e a discussão do estudo, e foi redigido de acordo com as normas adotadas pelo *European Journal of Heart Failure*. Por fim, na terceira parte do trabalho, são apresentadas as considerações finais relacionadas aos resultados encontrados.

*Aos meus primeiros mestres,*

*Sandra e Ézio.*

*A vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta.*

*O que ela quer da gente é coragem...*

*(Guimarães Rosa)*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me conduzido de mãos dadas, iluminando o meu caminho até que eu chegasse aqui.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raquel Rodrigues Britto, pela oportunidade, paciência, confiança, incentivo e ensinamentos. Levarei o exemplo de dedicação profissional e conduta ética, e a lição de que tranquilidade e empenho devem caminhar juntos quando se deseja conquistar um objetivo. Obrigada por me trazer serenidade nos momentos difíceis e fazer dessa jornada um período mais leve. Serei eternamente grata.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Verônica Franco Parreira, por me ensinar que os desafios existem em consequência dos nossos sonhos e enfrentá-los é apenas um detalhe, que faz toda a diferença... Obrigada pelas valiosas lições acadêmicas e de vida.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Danielle Aparecida Gomes Pereira que, como um anjo da guarda, me acolheu e contribuiu muito para meu crescimento pessoal e profissional. Sinto-me feliz e orgulhosa em receber suas contribuições neste trabalho. Obrigada por tudo.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Audrey Heloisa Ivanenko Salgado, por ter me iniciado na pesquisa científica. Obrigada por me ajudar a enxergar a beleza que existe neste caminho.

À Danielle Soares Rocha Vieira, por me ensinar que simplicidade, dedicação e companheirismo são os preceitos mais importantes de uma grande cientista.

Aos voluntários, verdadeiros protagonistas dessa história. Obrigada pela disponibilidade, carinho e principalmente paciência durante as avaliações. Vocês fizeram das coletas de dados os momentos mais agradáveis deste trabalho.

Aos cardiologistas Eduardo de Sá Alvarenga e Maria Clara Noman de Alencar, por contribuírem “de coração” para este trabalho encaminhando os pacientes.

À Mariana Coutinho, pela amizade, parceria acadêmica e disposição em ajudar. Obrigada por abraçar este trabalho junto comigo, sua colaboração foi fundamental.

Às fantásticas “Labgirls”: Mariana Hoffmann, Aline Andrioni, Roseane Santo, Liliane Mendes, Ana Carolina Ferreira, Bruna Vieira, Giane Samora, Danielle França, Isabela Sclausser, Dayane Montemezzo, Cristiana Magalhães, Otávia Vieira e Thaysa Leite e ao Gabriel Fernandes, pela convivência harmoniosa, pelo auxílio nas coletas, por ouvirem meus desabafos e me trazerem palavras de conforto. À Daniela Mellilo, Gislaine Souza, Ariane Fadul e ao prof. Dr. Marcelo Velloso, pela ajuda dispensada desde o início.

Aos professores Dr. Guilherme Fregonezi e Dr<sup>a</sup>. Armele Dornelas de Andrade, por me proporcionarem a experiência do intercâmbio PROCAD-CAPES. A toda equipe de alunos da iniciação científica, mestrado e doutorado e aos professores da UFRN e UFPE, com os quais tive a oportunidade de viver agradáveis momentos de aprendizado. Especialmente, aos amigos Sílvia Brilhante, Thales Henrique Sales e Danielle Cunha, por me receberem com tanto carinho em suas casas.

Ao trio mais querido: Jana, meu verdadeiro dispositivo de auxílio nessa caminhada! Obrigada por oferecer sempre o sorriso mais generoso e o abraço mais sincero, pelas parcerias acadêmicas e pelas conversas de apoio. Nathi, por me ensinar que competência não se mede pela idade, que a alegria é fundamental no processo de aprendizagem e que amizade não tem distância... Sílvia, pelo carinho e pela capacidade ímpar de descontrair as mais diversas situações.

Ao meu grande amigo Thiago Teles, pelas conversas infinitamente produtivas, recheadas de discussões estatísticas e metodológicas, pela prontidão em me ajudar sempre que precisei, pelo companheirismo e pela torcida.

Aos fiéis amigos que sempre torceram por mim e me deram força para chegar até aqui, em especial: Babi, Alexandra, Vivi, Keila, Rafa (RP), Raquel, Ana Paula, Roberta, Viviane, Keyle, Mariana, Andréia e Rafael.

Aos amigos do mestrado: Rita, Henrique, Lucas, Renan, Sabrina, Luciana, Camila, Natália, Laura, Mariana, Paulinha, Edifrance e Beatriz, por compartilharem momentos de aprendizado e descontração ao longo desses dois anos.

Aos funcionários da EEEFTO, principalmente Marilane, Gilvana, Pollyana, Richard, Margaret, Rivamar, Cida e Sueli, pela atenção dispensada ao longo desse período.

Aos funcionários do LAPREV e ao Cassim, por me ajudarem na busca por voluntários. Muito obrigada!

À Dra. Louise Ada, por gentilmente compartilhar seu conhecimento e auxiliar tanto na construção da dissertação e dos artigos.

Aos meus familiares, especialmente tia Beth, tia Myriam e tio Orlando, pelo apoio incansável, por confiarem no meu trabalho e vibrarem junto comigo a cada conquista. À Vívian, minha verdadeira terapeuta, por me ouvir e simplificar os problemas mais complexos. Obrigada por estar sempre ao meu lado!

Aos meus pais, verdadeiros exemplos de princípios e valores, pela dedicação incondicional e abdicção dos próprios sonhos pela concretização dos meus. Por favor, desculpem-me pela ausência em tantos momentos... Amo muito vocês!

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1 REVISÃO DA LITERATURA.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	21
1.3 OBJETIVOS.....	22
1.3.1 Objetivo geral.....	22
1.3.2 Objetivos específicos.....	23
<b>2 MATERIAIS E MÉTODO.....</b>	<b>24</b>
2.1 TIPO DE ESTUDO.....	24
2.2 LOCAIS DE REALIZAÇÃO.....	24
2.3 AMOSTRA.....	24
2.3.1 Participantes.....	24
2.3.2 Critérios de inclusão para ambos os grupos.....	25
2.3.3 Critérios de inclusão específicos para o grupo com insuficiência cardíaca.....	26
2.3.4 Critérios de inclusão específicos para o grupo controle.....	26
2.3.5 Critérios de exclusão para ambos os grupos.....	26
2.4 ASPECTOS ÉTICOS.....	27
2.5 INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	27
2.5.1 Balança mecânica.....	27
2.5.2 Espirômetro.....	28
2.5.3 Manovacuômetro.....	29
2.5.4 Pletismógrafo optoeletrônico.....	30
2.5.5 Dispositivo de limiar de carga inspiratória.....	31
2.5.6 Instrumentos para monitorização.....	32
2.5.7 Questionário Perfil de Atividade Humana .....	32
2.6 VARIÁVEIS ANALISADAS.....	33
2.7 PROCEDIMENTOS.....	33
2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35

<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>36</b>
<b>4 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>43</b>
Termo de consentimento livre e esclarecido.....	43
<b>ANEXOS.....</b>	<b>47</b>
1. Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG.....	47
2. Questionário Perfil de Atividade Humana.....	48
3. Artigo I: Treinamento muscular inspiratório em indivíduos com insuficiência cardíaca – Revisão sistemática.....	50
4. Artigo: Ventilatory responses during exercise with inspiratory threshold device in patients with heart failure.....	74

## RESUMO

O treinamento muscular inspiratório realizado por meio do exercício com limiar de carga inspiratória é utilizado na reabilitação de indivíduos com insuficiência cardíaca (IC). Apesar de alguns estudos relatarem a realização desse exercício associado à respiração diafragmática (RD), é necessário identificar se essa associação traz vantagens do ponto de vista da ventilação. Os objetivos deste estudo foram caracterizar a cinemática ventilatória e o padrão respiratório de indivíduos com IC, avaliar a resposta ventilatória durante a realização do exercício inspiratório associado e não associado à RD e compará-los aos indivíduos saudáveis. Foram incluídos indivíduos com IC (grupo IC - GIC, fração de ejeção ventricular – FEVE  $\leq$  45%, classes funcionais I, II ou III da *New York Heart Association*, idade de 30 a 59 anos) e indivíduos sem doenças cardiovasculares (grupo controle - GC) pareados por idade. As variáveis de cinemática ventilatória e de padrão respiratório foram obtidas por meio da pletismografia optoeletrônica (*BTS bioengineering, Milan, Italy*) nas condições de repouso, exercício inspiratório (EI) e exercício inspiratório associado à respiração diafragmática (EI+RD). A carga do exercício foi estabelecida em 30% da pressão inspiratória máxima (P<sub>Imáx.</sub>) mensurada para cada indivíduo. Para comparar as variáveis nas diferentes condições em cada grupo foi utilizada ANOVA fatorial mista com desenho *split-plot* para medidas repetidas e para as comparações entre grupos foi aplicado o teste T de *student* não pareado. Resultados com  $p < 0,05$  foram considerados significativos. Foram avaliados 13 indivíduos no GIC (FEVE  $33,46 \pm 9,36\%$ , idade  $50,54 \pm 7,63$  anos) e 13 no GC (idade  $45,69 \pm 6,79$  anos). O GIC apresentou menores valores de capacidade vital forçada (CVF  $3,43 \pm 0,80$  vs  $4,21 \pm 0,66$  L;  $p = 0,012$ ), volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF<sub>1</sub>  $2,70 \pm 0,63$  vs  $3,36 \pm 0,52$  L;  $p = 0,008$ ) e P<sub>Imáx.</sub> ( $65,77 \pm 28,13$  vs  $109,62 \pm 16,13$  cmH<sub>2</sub>O;  $p < 0,0001$ ). Durante o repouso foi observada menor contribuição de volume da caixa torácica (V<sub>CT</sub>%) e maior do compartimento abdominal (V<sub>AB</sub>%) no GIC em relação ao GC ( $p = 0,028$ ). O mesmo comportamento foi observado durante o EI ( $p = 0,006$ ). A associação da RD produziu modificação da cinemática ventilatória apenas no GC, caracterizada pelo aumento do V<sub>AB</sub>% ( $p = 0,008$ ) e redução do V<sub>CT</sub>% ( $p < 0,0001$ ). Ambos os grupos apresentaram aumento do volume corrente (VC) e do tempo inspiratório (Ti) nas condições de

exercício em relação ao repouso ( $p < 0,05$ ), sendo que a relação tempo inspiratório/tempo total do ciclo respiratório ( $T_i/T_{tot}$ ) foi maior para o GIC durante EI ( $p = 0,042$ ). Em conclusão, foi observado que os indivíduos com IC apresentam, em repouso, menor deslocamento da caixa torácica em relação aos indivíduos saudáveis. A realização do exercício inspiratório não altera a cinemática ventilatória nesses indivíduos, independente da associação com a RD. Este fato pode estar relacionado à fraqueza da musculatura inspiratória e/ou à restrição pulmonar, manifestações crônicas desencadeadas pela doença.

**Palavras-chave:** Doenças cardiovasculares. Modalidades de fisioterapia. Exercício respiratório. Parede torácica.

## ABSTRACT

**Introduction:** Inspiratory muscle training through exercise with inspiratory threshold loading is used in rehabilitation of patients with heart failure (HF). Although studies have reported this exercise associated with diaphragmatic breathing (DB), it is necessary to identify whether this association is advantageous in regard to ventilation. **Objectives:** To characterize chest wall kinematics and breathing pattern of patients with HF, to evaluate ventilatory responses during inspiratory exercise with or without association of DB and to compare them with healthy subjects. **Methods:** There were included patients with systolic HF (HF group – HFG, left ventricular ejection fraction - LVEF  $\leq$  45%, functional classes I, II or III by New York Heart Association, aged 30-59 years) and subjects without heart diseases (healthy controls – HC) matched by age. Chest wall kinematics and breathing pattern variables were obtained by optoelectronic plethysmography (BTS bioengineering, Milan, Italy) in the conditions of quiet breathing (QB), inspiratory exercise (IE) and inspiratory exercise associated with diaphragmatic breathing (IE+DB). Inspiratory load was set in 30% of maximal inspiratory pressure (MIP) measured for each participant. Mixed factorial ANOVA split-plot design for repeated measures was used to compare variables within each group and unpaired student T test compared variables between groups. Statistical differences with a p value  $<.05$  were considered significant. **Results:** Thirteen patients in HFG (LVFE:  $33.46 \pm 9.36\%$ ; age  $50.54 \pm 7.63$  years) and 13 in HC (age  $45.69 \pm 6.79$  years) were evaluated. HFG showed lower values of forced vital capacity (FVC –  $3.43 \pm 0.80$  vs  $4.21 \pm 0.66$  L;  $p=0.012$ ), forced expiratory volume in one second (FEV<sub>1</sub> -  $2.70 \pm 0.63$  vs  $3.36 \pm 0.52$  L;  $p=0.008$ ) and MIP –  $65.77 \pm 28.13$  vs  $109.62 \pm 16.13$  cmH<sub>2</sub>O;  $p<0.0001$ ). During QB was found lower rib cage contribution - V<sub>RC</sub>% and higher abdomen contribution -V<sub>AB</sub>% in HFG than in HC ( $p=0.028$ ). Same results were found during IE ( $p=0.006$ ). Association of DB produced chest wall changes only in HC, with increase of V<sub>AB</sub>% ( $p=0.008$ ) and decrease of V<sub>RC</sub>% ( $p<0.0001$ ). Both groups showed increases in tidal volume (V<sub>T</sub>) and inspiratory time (Ti) during exercise conditions in relation to QB ( $p<0.05$ ), whereas duty cycle (Ti/Ttot) was higher in HFG during IE ( $p=0.042$ ). **Conclusion:** Patients with HF present lower rib cage motion than healthy controls during quiet breathing. Inspiratory exercise does not change chest wall kinematics in these patients, independently of the

association with DB. This can be related to lung restrictions and accessory inspiratory muscle weakness, which impaired the movement of rib cage.

**Key-words:** Cardiovascular diseases. Physical Therapy modalities. Breathing exercises. Chest wall.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 REVISÃO DA LITERATURA

A Insuficiência Cardíaca (IC) é uma síndrome clínica complexa, resultante de uma disfunção cardíaca estrutural ou funcional, (1) que prejudica a habilidade do coração em promover fluxo sanguíneo adequado para suprir as necessidades do organismo (2;3). Os principais sintomas encontrados são a fadiga muscular e a dispneia (1;4), os quais contribuem para a intolerância ao exercício e prejudicam o desempenho das atividades diárias realizadas por esses indivíduos (5-7). Considerada a via final comum da maioria das doenças que acometem o coração, a IC destaca-se como um dos importantes desafios clínicos atuais na área da saúde (8). Caracterizada por ser uma doença de alta prevalência mundial, afeta de forma negativa a condição funcional e a qualidade de vida dos pacientes (2;9). No Brasil, é estimado que existam até 6,4 milhões de indivíduos com IC (2) e 450 mil novos casos diagnosticados anualmente (8).

As disfunções da musculatura esquelética e respiratória têm sido descritas como um estado de comorbidade, refletindo o impacto sistêmico da IC (10;11). Em relação à musculatura respiratória, a literatura tem demonstrado que indivíduos com IC apresentam redução de força e *endurance* dos músculos inspiratórios e expiratórios (12;13), e que essas alterações podem estar relacionadas a mudanças no padrão respiratório e na biomecânica ventilatória desses pacientes (14;15).

A força muscular pode ser definida como a capacidade da musculatura em realizar contração e trabalho muscular efetivos (16). Nos músculos respiratórios, a força é inferida por meio das pressões respiratórias máximas, que são as maiores pressões que um indivíduo pode gerar a partir da boca (17). Enquanto a pressão expiratória máxima (PE<sub>máx</sub>) está relacionada com a habilidade de tossir, os valores da pressão inspiratória máxima (PI<sub>máx</sub>) são mais importantes para a identificação de disfunções relacionadas com a fraqueza muscular, uma vez que necessitamos da contração ativa dos músculos inspiratórios para respirar. A *endurance*, por sua vez, é descrita como a capacidade em oferecer resistência à fadiga ou de manter um trabalho predeterminado, e pode ser avaliada por meio de medidas de pressão ou

cargas sustentadas e medidas de tempo da sustentação de determinada pressão ou carga (13).

Um dos primeiros estudos a avaliar a força muscular respiratória de indivíduos com IC foi o de *Hammond et al* (1990) (12). Os autores avaliaram as pressões respiratórias máximas de 16 pacientes e 18 indivíduos saudáveis, e observaram que a  $P_{Imax}$  e  $P_{Emax}$  estavam reduzidas significativamente no primeiro grupo. Quatro anos depois, *Mancini et al* (1994) avaliaram a *endurance* da musculatura inspiratória em 15 indivíduos com IC congestiva e oito saudáveis por meio de dois índices específicos: ventilação voluntária máxima (VVM), representada pelo maior volume ventilado em 15 segundos e corrigida para 1min e capacidade ventilatória sustentada máxima (CVSM), ventilação que o indivíduo pode sustentar por 15 minutos em hiperpneia (13). Esse estudo demonstrou que tanto a VVM quanto a CVSM estavam significativamente reduzidas no grupo dos pacientes. Os autores de cada estudo citam a redução de fluxo sanguíneo para a musculatura respiratória e a fraqueza da musculatura esquelética generalizada causada pela doença, respectivamente, como possíveis explicações para seus achados.

Fisiologicamente, a redução do débito cardíaco inerente à doença pode afetar a musculatura respiratória na medida em que esta responde à oxigenação ineficiente com o aumento do trabalho (7). Em sequência, o aumento do metabolismo anaeróbio leva à maior produção de lactato sanguíneo e liberação de íons  $H^+$ . Esse lactato circulante é tamponado pelo sistema bicarbonato ( $H^+ + HCO_3^- \rightleftharpoons H_2CO_3$ ), e resulta na produção de  $CO_2$  ( $H_2CO_3 \rightleftharpoons CO_2 + H_2O$ ), o qual estimula o centro respiratório e o aumento da ventilação (7;18). Dessa forma, foi observado que indivíduos com IC apresentam maiores níveis de ventilação minuto (VE) e aumento da frequência respiratória (FR) durante o exercício progressivo quando comparados aos indivíduos saudáveis (15).

Em relação aos volumes pulmonares, foi demonstrado que a capacidade vital, volume expiratório forçado no primeiro segundo ( $VE_{F1}$ ) e volume expiratório final podem estar reduzidos nos indivíduos com IC (15;19). Prováveis causas incluem situações de congestão pulmonar, edema, redução da capacidade de difusão alveolar (19) e a cardiomegalia apresentada por alguns pacientes (20). Tais fatores limitam a expansibilidade pulmonar e podem levar ao surgimento de um distúrbio ventilatório restritivo ou a alterações relacionadas às trocas gasosas, que também contribuem para acentuar a intolerância ao exercício (20).

Evans *et al* (1995) ressaltam que as alterações dos volumes pulmonares podem levar à modificação do posicionamento dos músculos inspiratórios, o que provocaria o deslocamento da curva de comprimento-tensão para uma posição subótima e conseqüentemente contribuiria para a fraqueza muscular (21). De fato, Caruana *et al* (2001) observaram mudanças no posicionamento e velocidade de excursão do diafragma de indivíduos com IC (14). Estudos realizados em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) demonstraram que as alterações na mecânica da musculatura respiratória levam a modificações na movimentação da parede torácica (22). Para os indivíduos com IC, no entanto, as repercussões das alterações mecânicas dos músculos respiratórios na cinemática ventilatória ainda não estão bem esclarecidas.

De acordo com o modelo proposto por Ward *et al* (1992), a parede torácica se apresenta como uma estrutura que pode ser dividida em três compartimentos: caixa torácica pulmonar (CTP) ou superior, caixa torácica abdominal (CTA) ou inferior e abdômen (AB) (23). Esse modelo leva em consideração o fato de que as áreas de aposição dos pulmões e do diafragma na caixa torácica são expostas a diferentes pressões, principalmente durante a inspiração (22). Dessa forma, e considerando as inserções musculares na caixa torácica, foi sugerido que o diafragma e os músculos abdominais interferem principalmente no deslocamento da CTA, enquanto os músculos inspiratórios não-diafragmáticos e os expiratórios apresentam maior contribuição para o deslocamento da CTP (22;24;25). De acordo com Aliverti *et al* (2003), o diafragma também apresentaria contribuição importante para o deslocamento do AB, dado que a variação de seu comprimento, avaliada por meio da imagem de ultra-som, foi fortemente relacionada à movimentação do compartimento abdominal (26). Atualmente, a pletismografia optoeletrônica é o instrumento que tem sido utilizado para a avaliação da cinemática ventilatória, pois permite a mensuração dos volumes de cada um dos três compartimentos da parede torácica. No entanto, ainda não foram publicados estudos que avaliassem indivíduos com IC por meio desse instrumento.

As alterações fisiológicas e mecânicas dos músculos respiratórios nos indivíduos com IC também foram observadas de forma microscópica. Estudos histológicos realizados a partir da biópsia do diafragma de indivíduos com IC demonstraram um aumento na proporção de fibras tipo I (oxidativas) (27), o que sugere um mecanismo compensatório ao aumento do trabalho ventilatório exercido

por esse músculo. Em contrapartida, decréscimo do diâmetro das fibras musculares inspiratórias sem distinção do tipo também foi observado, o que pode levar a alterações mecânicas que contribuem para a redução da força (7). É possível que essa hipotrofia esteja ainda relacionada à própria intolerância dos pacientes para a realização das atividades cotidianas, acentuando o processo de atrofia conseqüente à baixa demanda de utilização da musculatura (28).

A partir dos achados sobre a disfunção ventilatória nos indivíduos com IC, o treinamento da musculatura inspiratória tem sido apontado como um recurso capaz de gerar diversos benefícios, principalmente nas situações em que a fraqueza destes músculos é identificada (29;30). A literatura aponta que o treinamento seletivo pode melhorar a força e *endurance* da musculatura inspiratória, além de promover um aumento da capacidade de exercício submáxima e máxima, proporcionando ganhos funcionais para os pacientes (29-40).

Para a realização do treinamento inspiratório, os estudos analisados reportam principalmente a utilização de um dispositivo de carga linear, no qual a pressão obtida é independente do fluxo gerado pelo indivíduo (41). Para focar o treino de *endurance* com este instrumento, o tempo de treinamento é longo e pode ser progressivo. O treino de força, por sua vez, é geralmente realizado com o aumento progressivo da carga selecionada. O *Threshold*® é um equipamento de carga linear que permite o ajuste da carga por meio da compressão ou decompressão de uma mola em seu interior (42). Muitas vezes citado na literatura, este dispositivo foi indicado por Meyer (2001) para ser utilizado em indivíduos com IC, numa revisão de recomendações sobre exercício físico que abordou o treinamento muscular inspiratório para essa população (38). Alguns estudos que enfocaram o treinamento de *endurance* utilizaram o *Trainair*®. Este instrumento é acompanhado de um *software* que permite um *feedback* visual pelo indivíduo e apresenta uma sistematização progressiva de treinamento e mais específica para a manutenção de carga ou tempo de carga sustentada (33-35).

Embora os estudos (29-37;39;40) concordem sobre os benefícios do treinamento muscular inspiratório para os indivíduos com IC, os protocolos utilizados são divergentes em termos de valor da carga de resistência empregada, frequência e duração de treinamento (39). As orientações fornecidas aos participantes sobre o modo de realização do exercício também são variadas. A literatura demonstra que parâmetros como tempo inspiratório ( $T_i$ ), tempo expiratório ( $T_e$ ) e FR algumas vezes

são decorrentes do próprio padrão utilizado livremente pelo participante (29;31-35;37;39;40) e em outras, controlados pelos pesquisadores (30;36). A divergência metodológica colabora para a ocorrência de resultados também divergentes e dificulta o estabelecimento de um consenso sobre os reais efeitos do treinamento.

Outra questão ainda não estabelecida está relacionada aos efeitos da associação da respiração diafragmática durante a realização do exercício inspiratório em indivíduos com IC. A respiração diafragmática pode ser definida como aquela realizada predominantemente pelo diafragma, minimizando a ação dos músculos acessórios da inspiração (43). Essa manobra pode promover maior ventilação nas bases pulmonares quando os indivíduos apresentam condições biomecânicas favoráveis para sua realização (43).

Alguns estudos têm incluído nos protocolos de treinamento muscular inspiratório em indivíduos com IC a utilização da respiração diafragmática durante a execução do exercício (29;30;44;45). Dall’Lago *et al* (2006) realizaram treinamento em 32 pacientes (alocados de forma aleatória para os grupos placebo e intervenção) e orientaram aos participantes que “mantivessem a respiração diafragmática” durante a inspiração (30). A mesma orientação foi dada aos 18 indivíduos com IC e 10 saudáveis que realizaram treinamento inspiratório no estudo de Chiappa *et al* (2008) (29). Os dois estudos demonstraram melhora da função inspiratória, dispneia, capacidade de exercício e qualidade de vida nos participantes que receberam treinamento. Além disso, o estudo de Chiappa *et al* (2008) demonstrou aumento do trefismo do diafragma, mensurado por exame de ultrassonografia (29). Martins (2009), por sua vez, avaliou a atividade eletromiográfica dos músculos inspiratórios de 10 indivíduos com IC durante utilização de recurso que impõe resistência inspiratória sem fornecer orientação específica quanto ao tipo de respiração a ser mantido (46). Neste estudo, a autora observou que a atividade do músculo esternocleidomatóideo foi significativamente maior à do diafragma durante o exercício com sobrecarga inspiratória. No entanto, sugeriu que as respostas observadas poderiam ser diferentes caso fosse orientada a realização da respiração diafragmática.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O diafragma é considerado o músculo inspiratório primário, contribuindo, em condições normais, para aproximadamente 70% do volume corrente (VC) inspirado (47). Nos indivíduos com IC, por sua vez, mudanças no comprimento e na tensão dessa musculatura, bem como adaptações compensatórias têm sido descritas, as quais contribuem para gerar a fraqueza do diafragma frequentemente observada (14;27). Dessa forma, seria interessante enfatizar a ação do diafragma durante o treino inspiratório (46). Além disso, como citado anteriormente, a literatura mostra que grande parte dos indivíduos com IC apresentam redução dos volumes pulmonares, o que pode prejudicar a capacidade de difusão alveolar (19). De acordo com esses fatores, a respiração diafragmática poderia contribuir para priorizar a contribuição do diafragma e melhorar a ventilação das bases pulmonares durante a realização do exercício inspiratório. Os efeitos gerados a partir da associação dessas técnicas, no entanto, ainda não foram investigados.

Diante do exposto, considera-se pertinente avaliar as possíveis modificações geradas com a utilização da respiração diafragmática durante o exercício inspiratório em relação ao mesmo exercício realizado sem qualquer orientação relativa. A avaliação dos aspectos relacionados à movimentação da parede torácica e ao padrão respiratório pode colaborar para a definição de parâmetros mais adequados ao treinamento muscular inspiratório. Para que as respostas sejam mais bem compreendidas, é importante ainda considerar esses aspectos na população de indivíduos sem doenças cardiovasculares, a fim de facilitar a identificação das alterações apresentadas pelos indivíduos com IC. Dessa forma, esta dissertação abordou a caracterização da cinemática ventilatória de indivíduos com IC comparados a indivíduos saudáveis em repouso e durante a realização do exercício inspiratório, associado e não associado à respiração diafragmática.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo geral

Avaliar a cinemática ventilatória da parede torácica e o padrão respiratório em indivíduos com IC durante o exercício com limiar de carga inspiratória, associado e não associado à respiração diafragmática.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Comparar os valores das variáveis da cinemática ventilatória e do padrão respiratório nos indivíduos saudáveis e com IC, entre os grupos e nas seguintes condições: respiração em repouso, exercício com limiar de carga inspiratória com padrão respiratório natural utilizado pelo indivíduo e exercício com limiar de carga inspiratória associado à respiração diafragmática.

## 2 MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 TIPO DE ESTUDO

Estudo do tipo observacional transversal.

### 2.2 LOCAIS DE REALIZAÇÃO

As coletas de dados foram realizadas no Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare), do Departamento de Fisioterapia, localizado na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e no Laboratório de Fisioterapia Cardiopulmonar do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), o qual contém os mesmos equipamentos utilizados e a mesma estrutura do laboratório da UFMG.

### 2.3 AMOSTRA

#### 2.3.1 Participantes

A amostra foi constituída de indivíduos do sexo masculino diagnosticados com IC (GIC) e indivíduos saudáveis sem disfunções cardíacas (grupo controle - GC). Ambos os grupos foram recrutados por conveniência, a partir de contato com médicos cardiologistas e na comunidade, respectivamente. Os indivíduos do GIC foram pareados por idade pelos indivíduos do GC.

Para definição do tamanho amostral foi realizado um cálculo a partir de um estudo piloto que considerou os dez primeiros participantes avaliados em cada

grupo. Foram selecionadas para o cálculo as variáveis: VC, porcentagem de contribuição da CTP para o VC ( $V_{CTP}\%$ ), porcentagem de contribuição do AB para o VC ( $V_{AB}\%$ ), e a relação do tempo inspiratório pelo tempo total do ciclo respiratório ( $T_i/T_{tot}$ ). O teste estatístico utilizado foi análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas. A fórmula utilizada para o cálculo está demonstrada a seguir:

$$n = n_{.05} / 400 \cdot f^2 + 1$$

Onde  $n_{.05} = 1286$ ; tamanho de efeito ( $f$ ) =  $\sqrt{\text{soma quadrados fator} / \text{soma quadrados erro}}$ ;  $n$  = tamanho da amostra para cada grupo.

Para a determinação de  $n_{.05}$  foram utilizados dois graus de liberdade e estabelecidos  $\alpha = 0,05$  e  $power = 0,80$ . Sendo assim, de acordo com os parâmetros estabelecidos, os cálculos demonstraram a necessidade de avaliação de 2 a 16 indivíduos em cada grupo para detectar diferenças entre as condições nas variáveis estabelecidas.

### 2.3.2 Critérios de inclusão para ambos os grupos:

- Ler e assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE - APÊNDICE 1);
- Apresentar idade entre 30 e 59 anos (48);
- Apresentar Índice de Massa Corpórea (IMC) normal ou sobrepeso (18,5 – 29,9 Kg/m<sup>2</sup>) (46);
- Não ser fumante;
- Não ter feito atividade física regular nos últimos seis meses ou não acumular 30 minutos ou mais de atividade física moderada (3 a 6 METS) na maioria dos dias da semana (49);
- Não apresentar distúrbio respiratório obstrutivo indicativo de doença respiratória associada, confirmado pelo exame de espirometria (46).

### 2.3.3 Critérios de inclusão específicos para o GIC:

- Apresentar diagnóstico de IC predominantemente sistólica há no mínimo seis meses (30;46);
- Apresentar fração de ejeção do ventrículo esquerdo em repouso  $\leq 45\%$  avaliada por ecocardiograma por um período máximo de um ano (30);
- Apresentar estabilidade clínica e medicação com doses otimizadas há pelo menos 3 meses (30);
- Ser classificado nas classes funcionais I, II ou III da *New York Heart Association* (NYHA), que incluem indivíduos assintomáticos ou sintomáticos à realização de atividades, mas que não desencadeiam sintomas ao repouso (36);
- Pertencer aos estágios B ou C segundo diretrizes do *American College of Cardiology/American Heart Association*, que incluem indivíduos com disfunção ventricular assintomática ou sintomática, mas que não apresentam IC refratária (1);
- Não apresentar angina instável e arritmias não controladas; não ter apresentado infarto agudo do miocárdio ou angina recente (30;46).

### 2.3.4 Critérios de inclusão específicos para o GC:

- Não apresentar distúrbio respiratório restritivo ou obstrutivo indicativo de doença respiratória associada, confirmado pelo exame de espirometria.

### 2.3.5 Critérios de exclusão para ambos os grupos:

- Presença de estado febril, tosse ou expectoração (46);
- Sintomas de gripe nos sete dias antecedentes à coleta de dados (46);

- Doenças infecciosas ou metabólicas (30);
- Uso de esteróides ou hormônios (30);
- Problemas ortopédicos ou neurológicos que pudessem interferir na realização do protocolo (30);
- Dificuldade de compreensão para realizar algum dos procedimentos do estudo (46);
- Valores equivalentes a 30% da P<sub>Imáx.</sub> acima de 41cmH<sub>2</sub>O (limite superior de carga inspiratória do equipamento utilizado).

## 2.4 ASPECTOS ÉTICOS

O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG sob o parecer ETIC no. 0607.0.203.000-09 (ANEXO 1). Os participantes do estudo foram informados e instruídos quanto aos procedimentos, sendo esses realizados somente após a leitura e assinatura do TCLE.

## 2.5 INSTRUMENTOS DE MEDIDA

### 2.5.1 Balança mecânica

Para mensuração da massa corporal e estatura dos participantes foi utilizada uma balança (*Filizola ind. LTDA, São Paulo, Brasil*) acoplada a um estadiômetro e com resoluções de 100 g e 0,5 cm. O equipamento foi calibrado previamente a cada medida e os participantes permaneceram imóveis, com a mínima vestimenta e descalços. Em seguida, o cálculo do IMC foi realizado de acordo com a relação da massa dividida por altura ao quadrado (Kg/m<sup>2</sup>).

### 2.5.2 Espirômetro

O espirômetro utilizado (*Vitalograph® 2120 - Ennis, Irland* – FIGURA 1) apresenta os padrões mínimos de acurácia, erro, linearidade e registros gráficos estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (50). Possui uma resolução de 0,1 mL e um ponto percentual, e é compatível com o *software Spirotrat 4 (Buckingham, England)*, o que permitiu o registro eletrônico dos valores e gráficos obtidos.

A espirometria é um exame que avalia os volumes de ar inspirado e expirado, bem como os fluxos respiratórios, e permite a obtenção de variáveis relacionadas ao diagnóstico e à quantificação dos distúrbios ventilatórios (50). Para a realização do mesmo, os participantes executaram a manobra de capacidade vital forçada (CVF), a qual representa o maior volume de ar exalado com esforço máximo, a partir do ponto de máxima inspiração (50). O volume determinado pela CVF é utilizado como parâmetro na identificação de um distúrbio ventilatório restritivo. Além disso, auxilia o diagnóstico de obstrução ao fluxo aéreo. O VEF1, por sua vez, é utilizado no processo de estratificação dos níveis de obstrução. A redução desta variável associada à redução da razão VEF1/CVF define a presença de um distúrbio ventilatório obstrutivo (50).

Para realização do exame, o espirômetro foi calibrado diariamente conforme orientações do próprio manual (51). As manobras foram realizadas de acordo com as orientações de Pereira (2002) (50) e os valores previstos para os homens da população brasileira foram calculados de acordo com o estudo de Pereira *et al* (2007) (52). A espirometria foi utilizada para avaliar o atendimento aos critérios de inclusão dos participantes e caracterizar a função pulmonar da amostra.

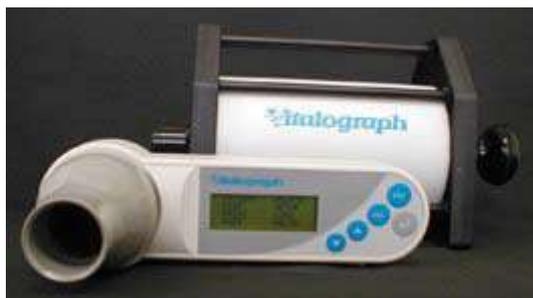


FIGURA 1 - Espirômetro *Vitalograph® 2120 - Ennis, Irland*

### 2.5.3 Manovacuômetro

A força da musculatura inspiratória foi mensurada por meio da P<sub>Imáx</sub>, definida como a maior pressão subatmosférica que pode ser gerada durante a inspiração máxima contra uma via aérea ocluída (53). Para a mensuração da P<sub>Imáx</sub>, foi utilizado um manovacuômetro analógico (*GeRar® Classe B – São Paulo, Brasil – FIGURA 2*) com intervalo operacional de  $\pm 300$  cmH<sub>2</sub>O e escala de 5 em 5 cmH<sub>2</sub>O. O manovacuômetro é um instrumento de fácil manuseio, reproduzível, preciso, confiável, válido e de possível calibração (54).

A manovacuometria é um método não invasivo para a mensuração da P<sub>Imáx</sub>, usualmente bem tolerado pelo indivíduo (17;55). Para a realização dessa medida, os participantes mantiveram-se sentados com o tronco e pés apoiados e utilizando um *clip* nasal. Ao executar a manobra, os participantes foram orientados a realizar três respirações tranquilas, expirar até o nível de volume residual e em seguida realizar uma inspiração forte contra a via aérea ocluída. O bocal e traqueia utilizados como interface apresentavam um orifício de fuga de 1,8mm, a fim de minimizar a influência da glote e a ação da musculatura facial (16).

Foram realizadas no mínimo três manobras aceitáveis (executadas corretamente e sem vazamento) e duas reproduzíveis (diferença de até 10% no valor), sendo que a última não poderia apresentar o valor mais alto (48). De acordo com esses critérios, a manobra de maior valor foi considerada como determinante da P<sub>Imáx</sub> e foi também utilizada para definição da carga do exercício inspiratório executado posteriormente.

Os participantes que apresentassem a P<sub>Imáx</sub> menor que 70% do valor previsto foram caracterizados com fraqueza muscular inspiratória (30). A determinação dos valores previstos foi realizada de acordo com o estudo de Neder *et al* (1999) (48).



FIGURA 2 – Manovacuômetro GeRar® Classe B – São Paulo, Brasil

#### 2.5.4 Pletismógrafo Optoeletrônico

A pletismografia optoeletrônica é um método confiável, não-invasivo e acurado para avaliação indireta da ventilação pulmonar por meio da mensuração de volumes da parede torácica e variáveis relacionadas ao padrão respiratório (56;57). O instrumento para mensuração (OEP, *BTS bioengineering, Milan, Italy*) é caracterizado por um sistema de análise de movimento computadorizado, composto por quatro a oito câmeras e um *software* específico. As câmeras emitem luz infravermelha e re-captam a luz que é refletida por marcadores posicionados nas regiões anterior, posterior e laterais do tórax e abdômen do indivíduo (58;59). Dessa forma, o sistema registra os pontos determinados pelos marcadores e gera um modelo geométrico para ser analisado.

Medidas contínuas do volume e tempo do ciclo respiratório são obtidas durante o registro das imagens. Após o processo de registro, o *software* possibilita a formação de uma imagem tridimensional da parede torácica (FIGURA 3). Tal imagem é configurada a partir de cálculos matemáticos, baseados no teorema de Gauss. O modelo tridimensional obtido permite analisar a contribuição de três compartimentos da parede torácica (CTP, CTA e AB) para os volumes gerados durante a respiração, sendo os volumes pulmonares estimados a partir da variação de volume durante o final da inspiração e final da expiração (60). O limite entre a CTP e CTA é determinado ao nível do apêndice xifóide e o limite entre a CTA e o AB

pela a margem costal inferior (anteriormente) e o ponto mais baixo da margem costal inferior (posteriormente) (60).

No presente estudo, foram utilizadas seis câmeras e a frequência de amostragem para captação de imagens foi estabelecida em 60 Hz. O instrumento foi calibrado anteriormente a cada coleta, não sendo necessária a calibração com o indivíduo. O processo de calibração constou de duas etapas. Primeiramente foram posicionadas três hastes com marcadores para que o sistema pudesse reconhecer três eixos de imagem. As hastes deveriam ser visualizadas completamente por pelo menos três câmeras, e o registro da imagem das hastes teve a duração de cinco segundos. Posteriormente foi realizada uma varredura da área onde o participante seria posicionado, por meio da movimentação de uma haste com três marcadores nos planos sagital (40 segundos), frontal (20 segundos) e transversal (20 segundos), totalizando 80 segundos de registro da movimentação.

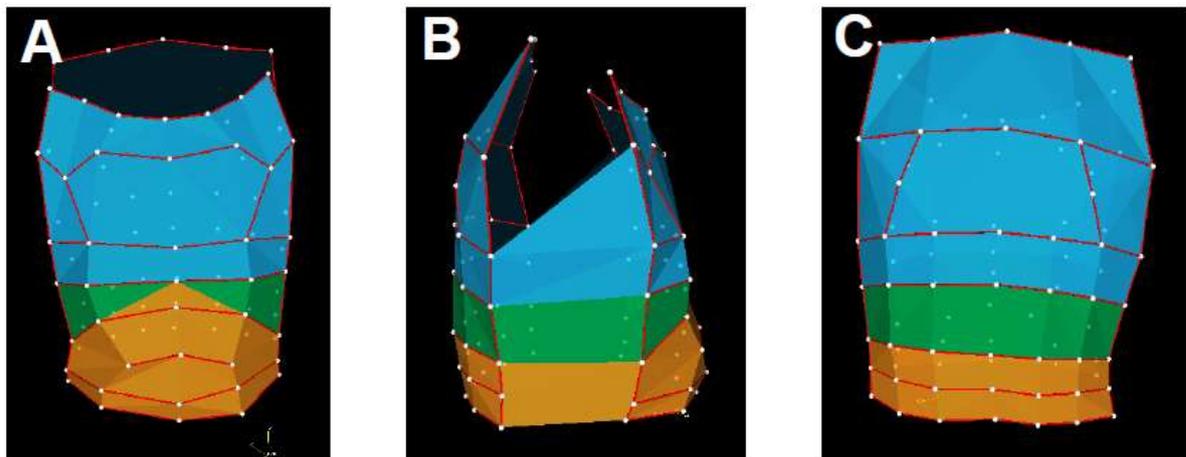


FIGURA 3 - Modelo tridimensional da parede torácica obtido durante registro de dados por meio da pletismografia optoeletrônica. A: Vista anterior, B: Vista lateral, C: Vista posterior.

#### 2.5.5 Dispositivo de limiar de carga inspiratória

O instrumento utilizado para a realização do exercício inspiratório (*Threshold® IMT, NJ, USA* – FIGURA 4) é constituído por um cilindro plástico com uma escala de pressão em  $\text{cmH}_2\text{O}$  e contém uma válvula de fluxo de ar acoplada a um bocal, por

onde o indivíduo inspira (32;39). A pressão da válvula é independente do fluxo ou da FR gerados pelo indivíduo (42) e pode ser aumentada ou diminuída, por meio da compressão ou descompressão da mola, respectivamente, com uma variação de -7 a -41cmH<sub>2</sub>O e incrementos de 2 em 2 cmH<sub>2</sub>O (32;41). Para realização do exercício, o indivíduo deve inspirar com um *clip* nasal até gerar pressão suficiente para abrir a válvula (39) e, sendo assim, quanto maior for a pressão selecionada para a mola, maior dificuldade terá o exercício.

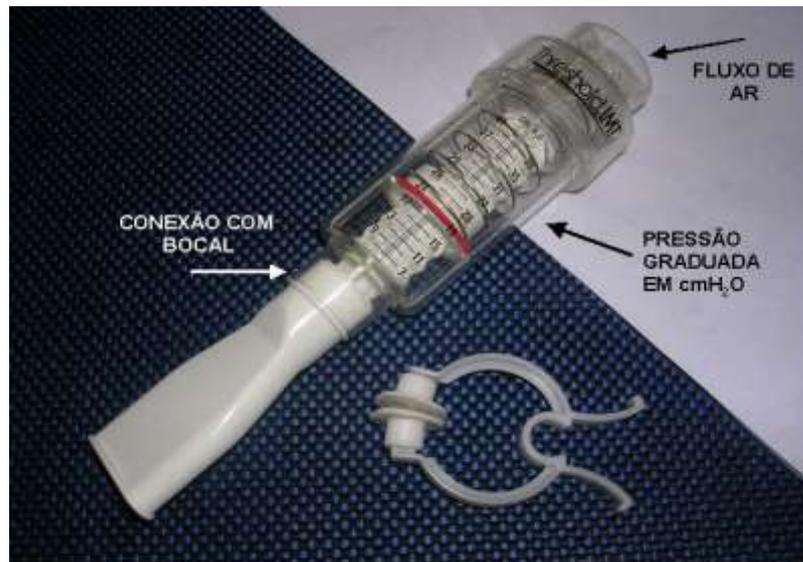


FIGURA 4 – *Threshold®* IMT, NJ, USA

#### 2.5.6 Instrumentos para monitorização

Foram utilizados um esfigmomanômetro (*Becton, Dickinson Ind. Cirúrgicas Ltda. Juiz de Fora, MG, Brasil*) e um estetoscópio (*3M™ Littmann® Lightweight II S.E., St. Paul, USA*) para aferir a pressão arterial (PA) e a escala de Borg modificada (49) para monitorização da percepção de esforço. A saturação periférica da hemoglobina em oxigênio (SpO<sub>2</sub>) e a frequência cardíaca (FC) foram mensuradas por meio de um oxímetro de pulso (*Datex-Ohmeda, Lousiville, CO, USA*).

#### 2.5.7 Questionário Perfil de Atividade Humana (ANEXO 2)

O Perfil de Atividade Humana objetiva avaliar a capacidade funcional e o nível de atividade física de indivíduos saudáveis ou com alguma disfunção (61). É composto por 94 itens referentes a atividades rotineiras, sendo que para cada um deles existem três possíveis respostas: “ainda faço”, “parei de fazer” ou “nunca fiz” (62;63). Ao final, podem ser calculados escores como o Escore Máximo de Atividade (EMA), correspondente ao valor do item com a atividade de maior demanda energética que o indivíduo “ainda faz” e o Escore de Atividade Ajustado (EAA) representado pela diferença entre o EMA e o número de itens que o indivíduo “parou de fazer”, anteriores ao item relativo ao EMA (61). Este questionário foi utilizado para classificar o nível de atividade física dos participantes, de acordo com pontos de corte pré-definidos segundo os valores obtidos do EAA. Foram considerados debilitados os indivíduos com EAA inferior a 53; moderadamente ativos aqueles com EAA entre 53 e 74 e ativos os que apresentaram EAA superior a 74 (61).

## 2.6 VARIÁVEIS ANALISADAS

- Variáveis primárias:  $V_{CTP}\%$ ,  $V_{CTA}\%$ ,  $V_{AB}\%$ , VC (L) e  $T_i/T_{tot}$  (s).
- Variáveis secundárias:  $V_{CT}\%$ , volume expiratório final (L) da parede torácica ( $V_{efPT}$ ), volume inspiratório final (L) da parede torácica ( $V_{ifPT}$ ), FR (cpm), ventilação minuto (L/s),  $T_i$ ,  $T_e$  e  $VC/T_i$  (L/s).

## 2.7 PROCEDIMENTOS

### Primeiro dia:

- Leitura e assinatura do TCLE pelo participante concordando em participar da pesquisa;
- Preenchimento de uma ficha com os dados clínicos do participante;
- Mensuração do peso e altura;
- Realização do teste de função pulmonar (espirometria);
- Realização da medida de  $PI_{máx}$  (manovacuometria analógica);

Segundo dia:

- Avaliação da cinemática ventilatória. Para tal procedimento, foram posicionados 89 marcadores no tronco de cada participante, sendo 42 anteriores, 37 posteriores e 10 laterais. Os participantes permaneceram sentados em um banco, com os membros superiores apoiados em duas tipóias e as mãos em dois bastões verticais, lateralmente ao tronco, de forma a possibilitar a captação de imagens das regiões anterior, posterior e laterais pelas câmeras (FIGURA 5). Durante a utilização do *Threshold®*, o equipamento foi segurado por uma pessoa da equipe de pesquisa, posicionada lateralmente ao participante.



FIGURA 5 – Posicionamento do participante durante a realização do exercício e registro dos dados.

Foram coletados os dados da pletismografia optoeletrônica nas condições:

- 1 - respiração em repouso.
- 2 - exercício com limiar de carga inspiratória (30% da  $PI_{máx}$ ) com padrão respiratório utilizado livremente pelo indivíduo;
- 3 - exercício com limiar de carga inspiratória (30% da  $PI_{máx}$ ) com respiração diafragmática.

Cada situação foi mantida e registrada por três minutos (42). Para a utilização do *Threshold*®, os indivíduos foram orientados a “puxar o ar pela boca até gerar força suficiente para o ar entrar”. Para a realização da respiração diafragmática, foram instruídos a “realizar uma inspiração movimentando predominantemente o abdômen e reduzindo a movimentação da caixa torácica superior” (43). Não houve aleatorização das condições, para evitar que o participante repetisse o exercício com a respiração diafragmática se a mesma tivesse sido ensinada primeiramente. Os parâmetros de SpO<sub>2</sub> e FC foram aferidos constantemente no repouso e durante a realização dos exercícios, bem como nos cinco minutos após a realização de cada exercício. A PA e a percepção do esforço foram aferidas no repouso, antes do início de registro pelas câmeras, e cinco minutos após a finalização dos exercícios. Entre os exercícios foi dado um período de descanso com intervalo de 10 minutos para que fossem iniciadas com o indivíduo nas mesmas condições basais. Entre os dois dias de avaliação foi dado intervalo mínimo de 24 horas e máximo de uma semana.

## 2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram descritos como média e desvio padrão da média. A normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste *Shapiro-Wilk*. Para a comparação dos grupos em relação aos dados antropométricos e a cada condição avaliada foi utilizado o teste *t* de *Student* para amostras independentes. Para a comparação de médias das variáveis entre as condições para cada grupo, foi utilizada análise de variância (ANOVA) fatorial mista com desenho *split-plot* para medidas repetidas e *post-hoc LSD*. Correlações entre variáveis foram avaliadas por meio do teste de correlação de *Pearson*. O nível de significância adotado foi  $\alpha = 5\%$ .

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo foi desenvolvido pelo programa de pós-graduação em Ciências da Reabilitação da UFMG, dentro da área de concentração em Desempenho Funcional Humano e na linha de pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório. Foram avaliados aspectos agudos relacionados a uma intervenção fisioterápica usualmente utilizada na reabilitação de indivíduos com insuficiência cardíaca que apresentam disfunção da musculatura respiratória. Dessa forma, de acordo com a Classificação Internacional de Funcionalidade e Incapacidade (CIF), este estudo abordou especialmente os domínios de estrutura e função do corpo, representado pelos músculos respiratórios e suas funções, bem como as funções cardíaca e da respiração.

Os resultados demonstraram que as respostas ventilatórias apresentadas pelos indivíduos com insuficiência cardíaca foram similares durante a realização do exercício inspiratório com ou sem a associação da respiração diafragmática, no que diz respeito à cinemática ventilatória e ao padrão respiratório. Dessa forma, a avaliação de outros parâmetros como pressão diafragmática durante o exercício, gasto calórico, distribuição de ventilação pulmonar e conforto reportado pelo paciente torna-se relevante para o processo de decisão terapêutica. Vale ressaltar que apenas as condições agudas foram avaliadas e que as respostas após um período de treinamento podem ser diferentes. Além disso, embora os estudos relatem benefícios do treinamento muscular inspiratório realizado com ou sem a associação da respiração diafragmática, ainda não foi esclarecido se os benefícios obtidos com a associação desse recurso são adicionais aos já observados com o treinamento realizado de forma independente.

Este estudo mostrou ainda que os indivíduos com insuficiência cardíaca apresentam, no repouso, diferença na movimentação da parede torácica em relação aos saudáveis, e adotam diferentes estratégias durante o exercício inspiratório. Já foi discutido que esse fato pode estar associado às restrições de volume pulmonar consequentes ao processo patológico da doença e também à fraqueza muscular inspiratória observada na maioria dos pacientes avaliados. No entanto, o desenho deste estudo e o número de pacientes avaliados não permitem discriminar qual desses fatores seria o mais relevante para gerar as alterações observadas. Outros

estudos que comparem pacientes com e sem fraqueza muscular inspiratória são necessários para investigar melhor essa questão.

Outro achado importante refere-se ao tempo gasto ao longo do ciclo respiratório. Observa-se que a razão entre tempo inspiratório e expiratório se inverteu durante a realização do exercício inspiratório para os pacientes, sendo que o tempo da inspiração ficou mais longo que o da expiração. Apesar disso, não houve aumento do volume final expiratório, o que sinalizaria a ocorrência de hiperinsuflação dinâmica. De qualquer forma, esse fato chama atenção para que o padrão respiratório seja monitorado durante um processo de treinamento, de forma a evitar que o tempo inspiratório seja maior do que o expiratório. Dado que o tempo de exercício num programa de treinamento é geralmente maior do que os três minutos aqui avaliados, a possibilidade de que os pacientes hiperinsuflem ao realizarem um tempo maior de exercício não deve ser descartada.

Mais uma consideração a ser realizada refere-se à influência do gênero na cinemática ventilatória. Estudos realizados com a pletismografia respiratória por indutância e também com a pletismografia optoeletrônica demonstraram diferenças no movimento toracoabdominal entre os indivíduos de sexo diferente, sendo que nas mulheres avaliadas em posição sentada foi encontrada maior contribuição da caixa torácica comparadas aos homens. O presente estudo contou apenas com participantes do sexo masculino, sendo que os pacientes apresentaram redução de contribuição da caixa torácica. Dessa forma, esses resultados não devem ser estendidos para as mulheres, uma vez que a menor contribuição abdominal já observada no repouso pode implicar em outras respostas para aquelas que apresentam insuficiência cardíaca ou durante a realização do exercício inspiratório.

**REFERÊNCIAS**

- (1) HUNT SA, ABRAHAM WT, CHIN MH, FELDMAN AM, FRANCIS GS, GANIATS TG, et al. ACC/AHA 2005 Guideline Update for the Diagnosis and Management of Chronic Heart Failure in the Adult: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Update the 2001 Guidelines for the Evaluation and Management of Heart Failure): developed in collaboration with the American College of Chest Physicians and the International Society for Heart and Lung Transplantation: endorsed by the Heart Rhythm Society. **Circulation** v. 112, n. 12, p. e154-e235, Sep 2005.
- (2) MESQUITA ET, BOCCHI EA, VILAS-BOAS F, MONTERA MW, MOREIRA MCV, BATLOUNI M. Revisão das II Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia para o Diagnóstico e Tratamento da Insuficiência Cardíaca. **Arq Bras Cardiol** v. 79, n. s.IV, 2002.
- (3) METRA M, PONIKOWSKI P, DICKSTEIN K, MCMURRAY JJ, GAVAZZI A, BERGH CH, et al. Advanced chronic heart failure: A position statement from the Study Group on Advanced Heart Failure of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. **Eur J Heart Fail** v. 9, n. 6-7, p. 684-94, Jun 2007.
- (4) VIBAREL N, HAYOT M, LEDERMANN B, MESSNER PP, RAMONATXO M, PREFAUT C. Effect of aerobic exercise training on inspiratory muscle performance and dyspnoea in patients with chronic heart failure. **Eur J Heart Fail** v. 4, n. 6, p. 745-51, Dec 2002.
- (5) COATS AJ. Heart failure: What causes the symptoms of heart failure? **Heart** v. 86, n. 5, p. 574-8, Nov 2001.
- (6) KARAPOLAT H, EYIGOR S, ATASEVER A, ZOGHI M, NALBANTGIL S, DURMAZ B. Effect of dyspnea and clinical variables on the quality of life and functional capacity in patients with chronic obstructive pulmonary disease and congestive heart failure. **Chin Med J (Engl )** v. 121, n. 7, p. 592-6, Apr 2008.
- (7) STASSIJNS G, LYSSENS R, DECRAMER M. Peripheral and respiratory muscles in chronic heart failure. **Eur Respir J** v. 9, n. 10, p. 2161-7, Oct 1996.
- (8) BOCCHI EA, MARCONDES-BRAGA FG, AYUB-FERREIRA SM, RHODE LE, OLIVEIRA WA, ALMEIDA DR, et al. III Diretriz Brasileira de Insuficiência Cardíaca Crônica. **Arq Bras Cardiol** v. 93, n. 1 Supl. 1, p. 1-71, 2009.
- (9) BAAS LS, BEERY TA, FONTANA JA, WAGONER LE. An exploratory study of developmental growth in adults with heart failure. **J Holist Nurs** v. 17, n. 2, p. 117-38, Jun 1999.
- (10) MANCINI DM, HENSON D, LAMANCA J, LEVINE S. Respiratory muscle function and dyspnea in patients with chronic congestive heart failure. **Circulation** v. 86, n. 3, p. 909-18, Sep 1992.

- (11) MEYER FJ, ZUGCK C, HAASS M, OTTERSPOOR L, STRASSER RH, KUBLER W, et al. Inefficient ventilation and reduced respiratory muscle capacity in congestive heart failure. **Basic Res Cardiol** v. 95, n. 4, p. 333-42, Aug 2000.
- (12) HAMMOND MD, BAUER KA, SHARP JT, ROCHA RD. Respiratory muscle strength in congestive heart failure. **Chest** v. 98, n. 5, p.1091-4, Nov 1990.
- (13) MANCINI DM, HENSON D, LAMANCA J, LEVINE S. Evidence of reduced respiratory muscle endurance in patients with heart failure. **J Am Coll Cardiol** v. 24, n. 4, p. 972-81, Oct 1994.
- (14) CARUANA L, PETRIE MC, MCMURRAY JJ, MACFARLANE NG. Altered diaphragm position and function in patients with chronic heart failure. **Eur J Heart Fail** v. 3, n. 2, p. 183-7, Mar 2001.
- (15) DIMOPOULOU I, TSINTZAS OK, ALIVIZATOS PA, TZELEPIS GE. Pattern of breathing during progressive exercise in chronic heart failure. **Int J Cardiol** v. 81, n. 2-3, p.117-21, Dec 2001.
- (16) SOUZA RB. Pressões respiratórias estáticas máximas. **J Pneumol** v. 28, n. Supl 3, p. S155-S165, 2002.
- (17) BLACK LF, HYATT RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. **Am Rev Respir Dis** v. 99, n. 5, p. 696-702, May 1969.
- (18) WILSON JR, MANCINI DM. Factors contributing to the exercise limitation of heart failure. **J Am Coll Cardiol** v. 22, n. 4 Suppl A, p. 93A-8A, Oct 1993.
- (19) AMBROSINO N, OPASICH C, CROTTI P, COBELLI F, TAVAZZI L, RAMPULLA C. Breathing pattern, ventilatory drive and respiratory muscle strength in patients with chronic heart failure. **Eur Respir J** v. 7, n. 1, p. 17-22, Jan 1994.
- (20) OLSON TP, BECK KC, JOHNSON BD. Pulmonary function changes associated with cardiomegaly in chronic heart failure. **J Card Fail** v. 13, n. 2, p. 100-7, Mar 2007.
- (21) EVANS SA, WATSON L, HAWKINS M, COWLEY AJ, JOHNSTON ID, KINNEAR WJ. Respiratory muscle strength in chronic heart failure. **Thorax** v. 50, n. 6, p. 625-8 Jun 1985.
- (22) VOGIATZIS I, GEORGIADOU O, GOLEMATI S, ALIVERTI A, KOSMAS E, KASTANAKIS E, et al. Patterns of dynamic hyperinflation during exercise and recovery in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. **Thorax** v. 60, n. 9, p. 723-9, Sep 2005.
- (23) WARD ME, WARD JW, MACKLEM PT. Analysis of human chest wall motion using a two-compartment rib cage model. **J Appl Physiol** v. 72, n. 4, p. 1338-47, apr 1992.
- (24) ALIVERTI A, CALA SJ, DURANTI R, FERRIGNO G, KENYON CM, PEDOTTI A, et al. Human respiratory muscle actions and control during exercise. **J Appl Physiol** v. 83, n. 4, p. 1256-69, Oct 1997.
- (25) MACKLEM PT. The diaphragm in health and disease. **J Lab Clin Med** v. 99, n. 5, p. 601-10, May 1982.

- (26) ALIVERTI A, GHIDOLI G, DELLACA RL, PEDOTTI A, MACKLEM PT. Chest wall kinematic determinants of diaphragm length by optoelectronic plethysmography and ultrasonography. **J Appl Physiol** v. 94, n. 2, p. 621-30, Feb 2003.
- (27) HUGHES PD, POLKEY MI, HARRUS ML, COATS AJ, MOXHAM J, GREEN M. Diaphragm strength in chronic heart failure. **Am J Respir Crit Care Med** v. 160, n. 2, p. 529-34, Aug 1999.
- (28) FORGIARINI LA, JR., RUBLESKI A, DOUGLAS G, TIEPPO J, VERCELINO R, DAL BA, et al. Evaluation of respiratory muscle strength and pulmonary function in heart failure patients. **Arq Bras Cardiol** v. 89, n. 1, p. 36-41, jul 2007.
- (29) CHIAPPA GR, ROSEGUINI BT, VIEIRA PJ, ALVES CN, TAVARES A, WINKELMANN ER, et al. Inspiratory muscle training improves blood flow to resting and exercising limbs in patients with chronic heart failure. **J Am Coll Cardiol** v. 51, n. 17, p. 1663-71, Apr 2008.
- (30) DALL'AGO P, CHIAPPA GR, GUTHS H, STEIN R, RIBEIRO JP. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness: a randomized trial. **J Am Coll Cardiol** v. 47, n. 4, p. 757-63, Feb 2006.
- (31) CAHALIN LP, SEMIGRAN MJ, DEC GW. Inspiratory muscle training in patients with chronic heart failure awaiting cardiac transplantation: results of a pilot clinical trial. **Phys Ther** v. 77, n. 8, p. 830-8, Aug 1997.
- (32) JOHNSON PH, COWLEY AJ, KINNEAR WJ. A randomized controlled trial of inspiratory muscle training in stable chronic heart failure. **Eur Heart J** v. 19, n. 8, p. 1249-53, Aug 1998.
- (33) LAOUTARIS I, DRITSAS A, BROWN MD, MANGINAS A, ALIVIZATOS PA, COKKINOS DV. Inspiratory muscle training using an incremental endurance test alleviates dyspnea and improves functional status in patients with chronic heart failure. **Eur J Cardiovasc Prev Rehabil** v. 11, n. 6, p. 489-96, Dec 2004.
- (34) LAOUTARIS ID, DRITSAS A, BROWN MD, MANGINAS A, KALLISTRATOS MS, DEGIANNIS D, et al. Immune response to inspiratory muscle training in patients with chronic heart failure. **Eur J Cardiovasc Prev Rehabil** v. 14, n.5, p. 679-85, Oct 2007.
- (35) LAOUTARIS ID, DRITSAS A, BROWN MD, MANGINAS A, KALLISTRATOS MS, CHAIDAROGLU A, et al. Effects of inspiratory muscle training on autonomic activity, endothelial vasodilator function, and N-terminal pro-brain natriuretic peptide levels in chronic heart failure. **J Cardiopulm Rehabil Prev** v. 28, n. 2, p. 99-106, Mar 2008.
- (36) MANCINI DM, HENSON D, LA MJ, DONCHEZ L, LEVINE S. Benefit of selective respiratory muscle training on exercise capacity in patients with chronic congestive heart failure. **Circulation** v. 91, n. 2, p. 320-9, Jan 1995.
- (37) MARTÍNEZ A. Entrenamiento selectivo de los músculos respiratórios em pacientes com Insuficiência Cardíaca Crônica. **Rev Med Chil** v. 129, n. 2, p. 133-9, Feb 2001.

- (38) MEYER K. Exercise training in heart failure: recommendations based on current research. **Med Sci Sports Exerc** v. 33, n. 4, p. 525-31, Apr 2001.
- (39) PADULA CA, YEAW E, MISTRY S. A home-based nurse-coached inspiratory muscle training intervention in heart failure. **Appl Nurs Res** v. 22, n. 1, p. 18-25, Feb 2009.
- (40) WEINER P, WAIZMAN J, MAGADLE R, BERAR-YANAY N, PELLED B. The effect of specific inspiratory muscle training on the sensation of dyspnea and exercise tolerance in patients with congestive heart failure. **Clin Cardiol** v. 22, n. 11, p. 727-32, Nov 1999.
- (41) GOSSELINK R, WAGENAAR RC, DECRAMER M. Reliability of a commercially available threshold loading device in healthy subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. **Thorax** v. 51, n. 6, p. 601-5, Jun 1996.
- (42) DE ANDRADE AD, SILVA TN, VASCONCELOS H, MARCELINO M, RODRIGUES-MACHADO MG, FILHO VC, et al. Inspiratory muscular activation during threshold therapy in elderly healthy and patients with COPD. **J Electromyogr Kinesiol** v. 15, n. 6, p. 631-9, Dec 2005.
- (43) CAHALIN LP, BRAGA M, MATSUO Y, HERNANDEZ ED. Efficacy of diaphragmatic breathing in persons with chronic obstructive pulmonary disease: a review of the literature. **J Cardiopulm Rehabil** v. 22, n. 1, p. 7-21, Jan 2002.
- (44) STEIN R, CHIAPPA GR, GUTHS H, DALL'AGO P, RIBEIRO JP. Inspiratory muscle training improves oxygen uptake efficiency slope in patients with chronic heart failure. **J Cardiopulm Rehabil Prev** v. 29, n. 6, p. 392-5, Nov 2009.
- (45) WINKELMANN ER, CHIAPPA GR, LIMA CO, VIECILI PR, STEIN R, RIBEIRO JP. Addition of inspiratory muscle training to aerobic training improves cardiorespiratory responses to exercise in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness. **Am Heart J** v. 158, n. 5, p. 768-7, Nov 2009.
- (46) MARTINS DM. **Ativação muscular inspiratória durante exercício com limiar de carga inspiratória em pacientes com Insuficiência Cardíaca**. Belo Horizonte UFMG. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Ciências da Reabilitação, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
- (47) EPSTEIN SK. An overview of respiratory muscle function. **Clin Chest Med** v. 15, n. 4, p. 619-39, Dec 1994.
- (48) NEDER JA, ANDREONI S, LERARIO MC, NERY LE. Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. **Braz J Med Biol Res** v. 32, n. 6, p. 719-27, Jun 1999.
- (49) AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Triagem de saúde e estratificação dos riscos. In: Guanabara Koogan, editor. **Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição**. Rio de Janeiro, p. 15-21, 2003.

- (50) PEREIRA CAC. Espirometria. **J Pneumol** v. 28, n. Supl 3, p. S1-S22, 2002.
- (51) VITALOGRAPH. **Spirotac IV user manual**. 2 edition., p. 1-116. 2002.
- (52) PEREIRA CA, SATO T, RODRIGUES SC. New reference values for forced spirometry in white adults in Brazil. **J Bras Pneumol** v. 33, n. 4, p. 397-406, Aug 2007.
- (53) GREEN M, ROAD J, SIECK GG, SIMILOWSKI T. Tests of respiratory muscle strenght. **J Respir Crit Care Med** v. 166, p. 528-47, 2002.
- (54) RODRIGUES F, BARBARA C. Pressões máximas respiratórias. **Revista Portuguesa de Pneumologia** v. 1, n. 4, p. 297-307, 2000.
- (55) ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. **Am J Respir Crit Care Med** v. 166, n. 4, p. 518-624, Aug 2002.
- (56) ALIVERTI A, DELLACA R, PELOSI P, CHIUMELLO D, GATIHNONI L, PEDOTI A. Compartmental analysis of breathing in the supine and prone positions by optoelectronic plethysmography. **Ann Biomed Eng** v. 29, n. 1, p. 60-70, Jan 2001.
- (57) BIANCHI R, GIGLIOTTI F, ROMAGNOLI I, LANINI B, CASTELLANI C, BINAZZI B, et al. Patterns of chest wall kinematics during volitional pursed-lip breathing in COPD at rest. **Respir Med** v. 101, n. 7, p. 1412-8, Jul 2007.
- (58) ALIVERTI A, DELLACA R, PELOSI P, CHIUMELLO D, PEDOTTI A, GATTINONI L. Optoelectronic plethysmography in intensive care patients. **Am J Respir Crit Care Med** v. 161, n. 5, p. 1546-52, May 2000.
- (59) FERRIGNO G, PEDOTTI A. ELITE: a digital dedicated hardware system for movement analysis via real-time TV signal processing. **IEEE Trans Biomed Eng** v. 32, n. 11, p. 943-50, Nov 1985.
- (60) ALIVERTI A, PEDOTTI A. Opto-electronic plethysmography. **Monaldi Arch Chest Dis** v. 59, n. 1, p. 12-6, Jan 2003.
- (61) SOUZA AC, MAGALHAES LC, TEIXEIRA-SALMELA LF. [Cross-cultural adaptation and analysis of the psychometric properties in the Brazilian version of the Human Activity Profile]. **Cad Saude Publica** v. 22, n. 12, p. 2623-36, Dec 2006.
- (62) DAVIDSON M, DE MORTON N. A systematic review of the Human Activity Profile. **Clin Rehabil** v. 21, n. 2, p. 151-62, Feb 2007.
- (63) FIX AJ, DAUGHTON D.M. **Human Activity Profile**. Professional Manual. Psychological Assessment Resources, Inc. 1988.

## APÊNDICE

### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

O senhor está sendo convidado a participar do estudo: **“CINEMÁTICA VENTILATÓRIA DURANTE EXERCÍCIO COM LIMIAR DE CARGA INSPIRATÓRIA EM INDIVÍDUOS COM INSUFICIÊNCIA CARDÍACA”**. Esta é uma pesquisa muito importante para pessoas com doenças do coração, pois tem como objetivo avaliar a respiração e o movimento do tórax durante a realização de um exercício muito utilizado na fisioterapia para melhorar a força dos músculos da respiração.

**Antes de autorizar sua participação neste estudo é necessário que o senhor compreenda as explicações sobre os procedimentos, benefícios, riscos e informações adicionais da pesquisa.** Caso o Sr. Aceite participar deste estudo, irá realizar os seguintes **procedimentos**:

O (a) sr. (a) deverá comparecer duas vezes ao Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG, que fica no Campus da universidade na Pampulha. O tempo gasto será de aproximadamente 2 horas em cada dia. No **primeiro dia** serão feitas perguntas sobre o seu estado de saúde, serão medidos seu peso, altura, e dados vitais. Depois o senhor realizará duas avaliações, uma para saber a quantidade de ar que entra e sai do seu pulmão e outra para saber a força dos músculos da respiração. Para a primeira avaliação o senhor irá soprar o máximo que conseguir dentro de um equipamento. Para a segunda, o senhor deverá puxar o ar com a boca, o máximo que conseguir. No momento de fazer as avaliações e o

senhor deverá ficar sentado com as costas e os pés apoiados e será colocado um pregador em volta do nariz, para que o ar só entra e saia pela boca. Antes e depois de cada avaliação o senhor descansará por aproximadamente 10 minutos e seus dados vitais serão medidos nos momentos de descanso. No **segundo dia** o senhor deverá ficar sem camisa durante as avaliações, pois serão colocados marcadores adesivos, que não provocam alergia, na superfície do seu tórax e nas costas. O senhor aprenderá então a realizar um exercício para os músculos da respiração de duas formas diferentes, usando um aparelho que será posicionado na boca. Com esse aparelho, o senhor fará força para puxar o ar. O senhor ficará sentado em um banco, com os braços apoiados, e realizará os exercícios aprendidos, sendo que cada um será realizado por três minutos, com intervalo de 10 minutos para descansar. Os batimentos do coração serão medidos durante todo o procedimento, e a pressão arterial, nos momentos de descanso. Todos os procedimentos não provocam dor e nem são invasivos, ou seja, não haverá uso de agulhas. Somente serão realizados se o senhor estiver se sentindo bem. Todo o material utilizado é descartável ou esterilizado.

Poderá ocorrer uma vermelhidão passageira na pele onde os marcadores serão colocados. O senhor poderá sentir cansaço e o coração batendo mais rápido. Estas alterações são normais durante o exercício. Qualquer um dos procedimentos será imediatamente interrompido ao seu pedido ou diante de qualquer reação diferente do normal, sendo tomadas as providências necessárias. Em situação de emergência, será acionado o SAMU (rede interna da UFMG) para realização de atendimento. Além disso, o laboratório contém todo o material de primeiros socorros necessários para situações de emergência.

O senhor receberá um relatório para ter conhecimento da força dos seus músculos da respiração. Os resultados dessa pesquisa ajudarão a melhorar a avaliação e o tratamento de pessoas com doenças do coração.

As avaliações e exercícios serão realizados pela mestrandia Susan Martins Lage. O senhor tem o direito de receber informações sobre a pesquisa e dos procedimentos que serão realizados em qualquer momento. Sua identidade não será revelada em nenhum momento. Os dados obtidos serão confidenciais e utilizados apenas para fins científicos. A sua participação é livre e o senhor poderá se recusar a participar ou retirar seu consentimento em qualquer momento, sem qualquer penalização ou prejuízo. Não haverá nenhum gasto financeiro e nem será paga nenhuma quantia. O senhor será indenizado se houver algum dano decorrente da pesquisa. Gastos com transporte serão pagos. Em caso de dúvidas o senhor poderá entrar em contato com qualquer um dos pesquisadores nos telefones abaixo.

**Consentimento:**

Declaro que li e entendi as informações contidas acima e que todas as dúvidas foram esclarecidas. Desta forma, eu \_\_\_\_\_ concordo em participar deste estudo. Belo Horizonte, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do participante

\_\_\_\_\_  
Assinatura do pesquisador

**Responsáveis:**

- Profa. Dra. Raquel Rodrigues Britto do Departamento de Fisioterapia / UFMG, fisioterapeuta.
- Susan Martins Lage, fisioterapeuta, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Telefones e endereços para contato:**

- Susan Martins Lage

**Endereço:** Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha. Belo Horizonte. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional - Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare).

**Telefone:** 3409-4777 / 8751-7751.

- Professora Raquel Rodrigues Britto

**Endereço:** Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha. Belo Horizonte. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. **Tel:** 3409 – 4783.

- Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (COEP)

**Endereço:** Avenida Antônio Carlos, 6627. Unidade Administrativa II – 2º andar. Sala 2005. Pampulha. Campus UFMG. Belo Horizonte. MG. CEP. 31270-901. **Telefone:** 3409-4592. **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

**ANEXO 1**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP**

**Parecer nº. ETIC 0607.0.203.000-09**

**Interessado(a): Profa. Raquel Rodrigues Britto  
Departamento de Fisioterapia  
EEFFTO - UFMG**

**DECISÃO**

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 08 de abril de 2010, após atendidas as solicitações de diligência, o projeto de pesquisa intitulado **"Cinemática ventilatória durante exercício com limiar de carga inspiratória em indivíduos com insuficiência cardíaca"** bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.

**Profa. Maria Teresa Marques Amaral  
Coordenadora do COEP-UFMG**

## ANEXO 2

## Perfil de Atividade Humana

Atividades	Ainda faço	Parei de fazer	Nunca fiz
1. Levantar e sentar em cadeiras ou cama (sem ajuda)			
2. Ouvir rádio			
3. Ler livros, revistas ou jornais			
4. Escrever cartas ou bilhetes			
5. Trabalhar numa mesa ou escrivaninha			
6. Ficar de pé por mais que um minuto			
7. Ficar de pé por mais que cinco minutos			
8. Vestir e tirar a roupa sem ajuda			
9. Tirar roupas de gavetas ou armários			
10. Entrar e sair do carro sem ajuda			
11. Jantar num restaurante			
12. Jogar baralho ou qualquer jogo de mesa			
13. Tomar banho de banheira sem ajuda			
14. Calçar sapatos e meias sem parar para descansar			
15. Ir ao cinema, teatro ou a eventos religiosos ou esportivos			
16. Caminhar 27 metros (um minuto)			
17. Caminhar 27 metros sem parar (um minuto)			
18. Vestir e tirar a roupa sem parar para descansar			
19. Utilizar transporte público ou dirigir por 1 hora e meia (158km ou menos).			
20. Utilizar transporte público ou dirigir por ± 2 hora (160km ou mais).			
21. Cozinhar suas próprias refeições			
22. Lavar ou secar vasilhas			
23. Guardar mantimentos em armários			
24. Passar ou dobrar roupas			
25. Tirar poeira, lustrar móveis ou polir o carro			
26. Tomar banho de chuveiro			
27. Subir 6 degraus			
28. Subir 6 degraus sem parar			
29. Subir 9 degraus			
30. Subir 12 degraus			
31. Caminhar metade de um quarteirão no plano			
32. Caminhar metade de um quarteirão no plano sem parar			
33. Arrumar a cama (sem trocar os lençóis)			
34. Limpar as janelas			
35. Ajoelhar ou agachar para fazer trabalhos leves			
36. Carregar uma sacola leve de mantimentos			
37. Subir 9 degraus sem parar			
38. Subir 12 degraus sem parar			
39. Caminhar metade de um quarteirão numa ladeira			
40. Caminhar metade de um quarteirão numa ladeira, sem parar			
41. Fazer compras sozinho			
42. Lavar roupa sem ajuda (pode ser com máquina)			
43. Caminhar um quarteirão no plano			

44. Caminhar dois quarteirões no plano			
45. Caminhar um quarteirão no plano, sem parar			
46. Caminhar dois quarteirões no plano, sem parar			
47. Esfregar o chão, paredes ou lavar carros			
48. Arrumar a cama trocando os lençóis			
49. Varrer o chão			
50. Varrer o chão por 5 minutos, sem parar			
51. Carregar uma mala pesada ou jogar uma partida de boliche			
52. Aspirar o pó de carpetes			
53. Aspirar o pó de carpetes por 5 minutos sem parar			
54. Pintar o interior ou o exterior da casa			
55. Caminhar 6 quarteirões no plano			
56. Caminhar 6 quarteirões no plano, sem parar			
57. Colocar o lixo para fora			
58. Carregar uma sacola pesada de mantimentos			
59. Subir 24 degraus			
60. Subir 36 degraus			
61. Subir 24 degraus, sem parar			
62. Subir 36 degraus, sem parar			
63. Caminhar 1,6 quilômetro ( $\pm 20$ minutos)			
64. Caminhar 1,6 quilômetro ( $\pm 20$ minutos), sem parar			
65. Correr 100 metros ou jogar peteca, vôlei, baseball			
66. Dançar socialmente			
67. Fazer exercícios calistênicos ou dança aeróbia por cinco minutos, sem parar			
68. Cortar grama com cortadeira elétrica			
69. Caminhar 3,2 quilômetros ( $\pm 40$ minutos)			
70. Caminhar 3,2 quilômetros sem parar ( $\pm 40$ minutos)			
71. Subir 50 degraus (2 andares e meio)			
72. Usar ou cavar com a pá			
73. Usar ou cavar com a pá por 5 minutos, sem parar			
74. Subir 50 degraus (2 andares e meio), sem parar			
75. Caminhar 4,8 quilômetros ( $\pm 1$ hora) ou jogar 18 buracos de golf			
76. Caminhar 4,8 quilômetros ( $\pm 1$ hora), sem parar			
77. Nadar 25 metros			
78. Nadar 25 metros, sem parar			
79. Pedalar 1,6 quilômetro de bicicleta (2 quarteirões)			
80. Pedalar 3,2 quilômetro de bicicleta (4 quarteirões)			
81. Pedalar 1,6 quilômetro de bicicleta, sem parar			
82. Pedalar 3,2 quilômetro de bicicleta, sem parar			
83. Correr 400 metros ( meio quarteirão)			
84. Correr 800 metros (um quarteirão)			
85. Jogar tênis/frescobol ou peteca			
86. Jogar uma partida de basquete ou de futebol			
87. Correr 400 metros, sem parar			
88. Correr 800 metros, sem parar			
89. Correr 1,6 quilômetro (2 quarteirões)			
90. Correr 3,2 quilômetro (4 quarteirões)			
91. Correr 4,8 quilômetro (6 quarteirões)			
92. Correr 1,6 quilômetro em 12 minutos ou menos			
93. Correr 3,2 quilômetro em 20 minutos ou menos			
94. Correr 4,8 quilômetro em 30 minutos ou menos			

### ANEXO 3

#### **Artigo I: Treinamento muscular inspiratório em indivíduos com Insuficiência Cardíaca – Revisão Sistemática**

**AUTORES:** SUSAN MARTINS LAGE<sup>1</sup>, DANIELLA CUNHA BRANDÃO<sup>2</sup>, DANIELLE APARECIDA GOMES PEREIRA<sup>1</sup>, ARMELE DE FÁTIMA DORNELAS DE ANDRADE<sup>2</sup>, VERÔNICA FRANCO PARREIRA<sup>1</sup>, RAQUEL RODRIGUES BRITTO<sup>1</sup>.

1- Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, Departamento de Fisioterapia, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte-MG, Brasil.

2- Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE, Brasil.

#### **Endereço para correspondência:**

Prof<sup>a</sup>. Raquel Rodrigues Britto

Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório

Departamento de Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais.

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha

CEP: 31.270-091 - Belo Horizonte-MG, Brasil

e-mail: rbrito@effto.ufmg.br

- Este artigo será submetido à Revista Brasileira de Fisioterapia (<http://www.scielo.br/rbfis>).

## RESUMO

**Introdução:** O treinamento muscular inspiratório (TMI) tem sido empregado em indivíduos com insuficiência cardíaca (IC) que apresentem disfunção da musculatura respiratória. **Objetivos:** Conduzir uma revisão sistemática para avaliar as evidências sobre os efeitos do TMI nos indivíduos com IC, com ênfase nos desfechos de força e *endurance* da musculatura inspiratória, dispneia, capacidade de exercício e qualidade de vida. **Método:** Foi realizada uma busca eletrônica nas bases de dados *Medline* e *PeDro* utilizando palavras-chaves relevantes para o tema. **Resultados:** Foram incluídos dez estudos que avaliaram os efeitos do TMI em relação aos desfechos requisitados. Melhoras consistentes foram encontradas para as variáveis de força e *endurance* da musculatura respiratória, bem como para a sensação de dispneia. Também foram observadas melhoras na tolerância ao exercício e qualidade de vida, sendo que para essas variáveis os resultados ainda são diferentes entre os estudos. **Conclusão:** as evidências disponíveis reforçam as indicações do TMI para os indivíduos com IC que apresentem fraqueza da musculatura inspiratória. A realização de novos estudos experimentais é necessária para esclarecer as questões ainda controversas.

**Palavras-chave:** Doenças cardiovasculares, músculos respiratórios, exercício respiratório.

**Título Condensado:** Treinamento inspiratório na Insuficiência Cardíaca.

## ABSTRACT

**Introduction:** Inspiratory muscle training (IMT) has been used in patients with heart failure (HF) who present inspiratory muscle dysfunction. **Objective:** The purpose of the present review was to assess the evidence in the literature regarding the specific benefits of inspiratory muscle training with an emphasis on the changes in inspiratory muscle function, dyspnea, exercise capacity and quality of life. **Methods:** A *Medline* and *PeDro* search was done using relevant key-words. **Results:** Ten studies met the inclusion criteria and were used in this review. Consistent improvements in maximal inspiratory pressure, inspiratory muscle endurance and dyspnea were found. Exercise capacity and quality of life were found to improve in several studies, however the evidence is controversial. **Conclusion:** Evidences sustain the indication of IMT to patients with HF and inspiratory muscle weakness. Other studies are necessary to clarify controversial questions.

**Key-words:** Cardiovascular diseases, respiratory muscles, breathing exercise.

**Running title:** Inspiratory muscle training in Heart Failure.

## INTRODUÇÃO

A Insuficiência Cardíaca (IC) é uma síndrome clínica complexa que desencadeia nos indivíduos acometidos sintomas de fadiga muscular e dispneia (1-5), os quais contribuem para a intolerância ao exercício e prejudicam o desempenho das atividades diárias (6-8). A disfunção da musculatura respiratória tem sido descrita como um estado de co-morbidade, refletindo o impacto sistêmico da IC (9-19). Fisiologicamente, a redução do débito cardíaco inerente à doença também afeta essa musculatura, que responde à oxigenação ineficiente com o aumento do trabalho respiratório (9;19). Em sequência, a maior produção de lactato gera alterações metabólicas que estimulam o centro respiratório e o aumento da ventilação minuto (19). Dessa forma, indivíduos com IC apresentam maiores níveis de ventilação em repouso e durante o exercício, quando comparados aos indivíduos saudáveis (20).

Além disso, a presença de cardiomegalia, congestão e edema pulmonar, frequentemente observadas nesses indivíduos, podem alterar os volumes pulmonares (21) e levar ao comprometimento mecânico da função respiratória, que inclui mudanças no posicionamento e velocidade de excursão do diafragma (9;12;22-25). Assim, as alterações fisiológicas contribuem para o aumento compensatório das fibras lentas do tipo I enquanto as alterações mecânicas, por sua vez, contribuem para a atrofia das fibras musculares, sem distinção do tipo (16). Ambas colaboram para a redução na força e *endurance* da musculatura respiratória, disfunções bem descritas nos indivíduos com IC (13;14;26).

Nesse contexto, o treinamento da musculatura inspiratória (TMI) em indivíduos com IC tem sido apontado como um recurso capaz de gerar diversos benefícios, principalmente nas situações em que a fraqueza destes músculos é identificada (27;28). A literatura aponta que o treinamento seletivo pode melhorar a força e *endurance* da musculatura inspiratória, além de promover redução da dispnéia, aumento da capacidade de exercício submáxima e máxima, e melhora da qualidade de vida dos pacientes (29). Os protocolos empregados nesses estudos, no entanto, apresentam-se variáveis, o que colabora para a ocorrência de resultados divergentes e dificulta o esclarecimento sobre os reais efeitos do TMI e sua aplicação (29;30).

Sendo assim, os objetivos deste estudo foram revisar a literatura disponível sobre o tema, avaliar a qualidade das evidências geradas a partir de estudos que avaliaram os efeitos do TMI nos indivíduos com IC e discutir sobre os principais desfechos avaliados nesses estudos: força e *endurance* da musculatura inspiratória, dispneia, capacidade de exercício e qualidade de vida.

## **MÉTODOS**

### *Busca eletrônica*

Dois examinadores independentes e cegos realizaram uma busca eletrônica nas bases de dados *Medline* (via *Pubmed*) (31) e *PEDEro* (32), com a palavra-chave "*heart failure*" adicionada aos termos "*inspiratory muscle training*", "*respiratory muscle training*", "*ventilatory muscle training*", "*breathing exercise*" e "*resistive breathing*". Foram estabelecidos limites para linguagem, sendo considerados apenas os artigos

publicados em português, inglês e espanhol. Não foi estabelecido limite para o ano de publicação. Após a análise dos artigos selecionados, discrepâncias entre os examinadores foram resolvidas por consenso.

#### *Crítérios para seleção dos estudos*

Os critérios de inclusão utilizados na presente revisão foram os seguintes: (1) avaliação de indivíduos diagnosticados com IC causada por diversas etiologias, (2) avaliação dos efeitos do TMI isoladamente ou associado a outras intervenções, (3) ensaios clínicos controlados, aleatorizados ou não, (4) avaliação de pelo menos dois dos desfechos: força e *endurance* da musculatura inspiratória, dispneia, capacidade de exercício máxima ou submáxima, qualidade de vida.

#### *Definições*

Em relação aos grupos avaliados, o grupo de intervenção foi definido como aquele que realizasse TMI com sobrecarga regular, isoladamente ou associado a outras intervenções. O grupo controle foi definido como aquele que não realizou TMI ou que realizou TMI com carga mínima ou ausente, sem sobrecarga, ou ainda que realizou outro tipo de intervenção.

## **RESULTADOS**

#### *Descrição dos estudos incluídos*

Depois de realizada a análise dos critérios de inclusão, foram selecionados dez artigos dentre os 37 gerados pela busca eletrônica. A razão mais frequente para a exclusão dos demais artigos foi o desenho do estudo diferente do experimental. As outras razões estão representadas na figura 1. Em relação à formação dos grupos, um dos estudos comparou um grupo que realizou TMI a outro que sofreu apenas intervenções educacionais e encontrou melhora dos desfechos apenas no grupo de TMI (30). Outro estudo comparou a adição do TMI ao treinamento aeróbico com um grupo que só realizou este treinamento, e verificou que os resultados foram potencializados no primeiro grupo (8). Os demais estudos compararam grupos que realizaram TMI *versus* treinamento placebo ou com carga mínima. A tabela 1 apresenta os artigos ordenados de acordo com a data de publicação e categorizados de acordo a metodologia empregada.

#### *Qualidade metodológica dos estudos*

Para classificação da qualidade metodológica dos estudos avaliados foi utilizado o método de classificação da escala *PEDro* (33), que inclui a pontuação baseada no cumprimento (1 ponto) ou não cumprimento (0 ponto) de dez itens estabelecidos. Dessa forma, o escore final pode variar de 0 (pior classificação) até 10 (melhor classificação). A pontuação dos estudos avaliados está demonstrada na tabela 2.

#### *Participantes*

Os estudos avaliaram amostras de indivíduos diagnosticados com IC, em maioria do gênero masculino e com faixa etária média de 53 a 66 anos. A maioria dos estudos

incluiu indivíduos com fraqueza da musculatura inspiratória, determinada por valores de P<sub>Imáx.</sub> menores do que 70% da P<sub>Imáx.</sub> prevista.

#### *Tipo de equipamento utilizado*

Todos os estudos analisados reportaram a utilização de um dispositivo de carga linear para a realização do TMI, na qual a pressão obtida é independente do fluxo gerado pelo indivíduo (34). A maioria dos estudos utilizou o *Threshold*®, equipamento que permite um ajuste de carga de -7 a -41cmH<sub>2</sub>O, a qual pode ser aumentada ou diminuída por meio da compressão ou descompressão de uma mola em seu interior (35). Este dispositivo foi indicado por *Meyer* (2001) para ser utilizado em indivíduos com IC, numa revisão de recomendações sobre exercício físico que abordou o TMI para essa população (36). Três estudos, realizados pelo mesmo grupo de pesquisadores, utilizaram o *Trainair*®. Este instrumento é acompanhado de um *software* que permite um *feedback* visual pelo indivíduo e apresenta uma sistematização de treinamento mais específico para a *endurance* da musculatura inspiratória (37-39).

## **DISCUSSÃO**

#### *Força e endurance da musculatura inspiratória*

Todos os estudos avaliaram a força da musculatura inspiratória por meio da P<sub>Imáx.</sub> (40) e encontraram aumentos significativos da mesma para os grupos de treinamento (8;28;30;37-39;41-44). Os aumentos da P<sub>Imáx.</sub> variaram de 31,7% no estudo de *Laoutaris et al* (2007) (38) a 115% no estudo de *Dall'Ago et al* (2006) (28). A diferença

entre os aumentos percentuais encontrados nesses dois estudos pode ser explicada pela própria diferença metodológica entre eles. No último estudo (28) a frequência e duração do TMI eram maiores e semanalmente a carga do equipamento era ajustada, de forma que o trabalho da força era mais enfatizado que no primeiro estudo (38). Cabe ressaltar que a medida de pressão inspiratória máxima reflete a força de toda a musculatura inspiratória, incluindo os músculos acessórios da respiração (45). Nos estudos avaliados nesta revisão, não foi relatada avaliação específica do diafragma, como as medidas de área de secção transversa que podem ser obtidas por meio da ultrassonografia (27).

Em relação à *endurance*, foram avaliadas variáveis de pressões sustentadas e variáveis de tempo de sustentação da máxima carga atingida em testes incrementais para a musculatura inspiratória. Todos os estudos que avaliaram essa variável também relataram melhora apresentada pelos grupos de intervenção (8;28;37-39;42-44).

A melhora verificada na força e *endurance* da musculatura inspiratória pode ser explicada pela remodelação e condicionamento das fibras musculares, especialmente devido ao aumento da densidade dos capilares e enzimas oxidativas dessa musculatura (28;44). Tais efeitos são decorrentes dos princípios do treinamento, como especificidade e sobrecarga, também empregados nos protocolos de TMI. Alguns estudos, no entanto, utilizaram cargas mais leves de TMI nos grupos controle e também reportaram melhora na força e *endurance* da musculatura inspiratória (37-39;41;43). Embora esse aumento tenha sido menor que aquele apresentado pelos grupos que utilizaram uma carga mais alta, esses achados demonstram a capacidade de se obter benefícios da função respiratória mesmo em cargas mínimas de TMI.

### *Dispneia*

A melhora estatisticamente significativa da dispneia, mensurada geralmente por meio da escala de Borg (46), foi relatada após o TMI para o grupo de treinamento em todos os estudos que avaliaram essa variável; seja durante e após a realização dos testes de capacidade funcional, bem como durante as atividades de vida diária (28;30;37-39;41-44). Apenas no estudo de Johnson *et al* (1998) (41) não foi encontrada diferença entre os grupos ( $p>0,05$ ), o que pode ter ocorrido porque o grupo controle treinou com 15% da P<sub>Imáx.</sub> e pode também ter apresentado um efeito de treinamento que desencadeou a melhora do sintoma.

De acordo com Weiner *et al* (1999) (44) a dispneia é parcialmente determinada pela percepção do trabalho inspiratório e pela força da musculatura inspiratória. Sendo assim, nos indivíduos com IC que apresentam aumento do trabalho respiratório e fraqueza da musculatura inspiratória, seria esperada uma exacerbação desse sintoma. Dentro desse contexto, o TMI poderia reduzir a sensação de dispneia a partir da redução do trabalho respiratório para uma mesma demanda e do aumento da força inspiratória. De fato, o alívio da dispneia se associa com a melhora da função respiratória (43), o que ressalta a importância do TMI como tratamento adicional para a melhora sintomática dos indivíduos com IC.

### *Capacidade de exercício*

As capacidades de exercício máxima e submáxima foram avaliadas por meio do teste de esforço máximo e pelo teste de caminhada (de seis ou de 12 minutos), respectivamente,

em nove dentre os dez estudos analisados (8;28;37-39;41-44). A maioria encontrou aumento significativo para o grupo treinamento no  $VO_2$  pico de 11,1% (39) a 23,5% (28) e na distância percorrida no teste de caminhada de 6,9% (38;39) a 29% (42). Entretanto, dois dos nove estudos encontraram resultados diferentes dos demais. No estudo de Johnson *et al* (1998) (41), não foi encontrada diferença para a capacidade funcional entre os grupos. Esse achado pode ser explicado, novamente por um efeito de treinamento obtido pelo grupo controle, que de fato treinou a musculatura inspiratória com uma carga mais leve que a do outro grupo. No estudo de Weiner *et al* (1999) (44), por sua vez, não foi encontrada diferença entre os grupos apenas para o  $VO_2$  pico obtido no teste de esforço máximo. Os autores argumentam que, uma vez que o TMI é específico para a musculatura inspiratória, não seria esperado obter melhora no teste de esforço máximo. Para a distância do teste de caminhada, entretanto, foi encontrado aumento significativo no grupo de treinamento. Para explicar este achado, os autores sugerem que a melhora dos sintomas também verificada pode ter contribuído para o melhor desempenho neste teste (44).

A justificativa para a melhora da capacidade de exercício baseada na melhora dos sintomas também foi utilizada por outros estudos (43;44). Apesar de coerente, outra justificativa tem sido bastante relatada nos estudos mais recentes (8;27;28;37). Tal justificativa baseia-se na teoria do metaborreflexo, que seria um reflexo originado a partir das contrações fatídicas de determinada musculatura (47). Ao atingir o limiar de ativação desse reflexo, seria ocasionada uma excitação simpática com a redução do fluxo sanguíneo periférico, em caso da fadiga da musculatura inspiratória, e vice-versa para o caso da fadiga primariamente periférica (37). Alguns autores sugerem que este reflexo poderia estar cronicamente ativo nos indivíduos com IC, e que isso explicaria

inclusive a elevada capacidade oxidativa do diafragma observada nesses pacientes (37). Durante a execução do exercício aeróbico, o diafragma entraria em fadiga mais rapidamente que a musculatura periférica e desviaria o fluxo sanguíneo, reduzindo a oxigenação periférica e limitando o desempenho do exercício (27). Ao fortalecer a musculatura inspiratória e otimizar o trabalho da mesma, o TMI poderia, então, modificar o limiar do metaborreflexo, ativando a circulação dos músculos respiratórios para os membros (37;47). Dessa forma, seriam explicados os aumentos encontrados principalmente no  $VO_2$ pico após o TMI.

A melhora da capacidade de exercício verificada por variáveis metabólicas e ventilatórias também foi encontrada quando o TMI foi acoplado ao treinamento aeróbico, no estudo de Winkelmann et al (2009) (8). Nesse estudo os autores compararam um grupo que realizou apenas treinamento aeróbico em cicloergômetro a outro que realizou o mesmo treino aeróbico e ainda o TMI. Maiores aumentos na  $PI_{máx}$ . e no  $VO_2$ pico foram detectados no grupo que associou os dois tipos de treinamento, o que sugere que o TMI seja capaz de gerar efeitos adicionais ao treinamento aeróbico, cujos benefícios já estão bem pautados na literatura (8). No entanto, vale ressaltar que o tempo total gasto na realização das atividades foi maior no grupo que associou os dois tipos de treinamento, o que pode ter provocado maior gasto calórico relativo e também influenciado na melhora da capacidade de exercício.

### *Qualidade de vida*

Já está bem estabelecido que a IC é caracterizada por uma deficiência primária na estrutura do coração e das funções por ele determinadas. Além disso, os sintomas dessa

doença também repercutem na limitação de atividades e restrição da participação dos indivíduos, na medida em que dificultam a realização das mesmas. Sendo assim, a avaliação de todos os domínios estabelecidos pela Classificação Internacional de Funcionalidade e Incapacidade (CIF) (48) antes e após a realização de determinada intervenção seria uma forma de se obter uma análise mais completa da influência daquela intervenção na saúde do indivíduo (49). No entanto, de acordo com os estudos avaliados nessa revisão, o domínio mais avaliado é o de estrutura e função do corpo, e por isso poucas são as inferências que podem ser feitas para os outros domínios.

Dentro do contexto dos modelos estabelecidos pela CIF, a qualidade de vida é o desfecho relatado que está mais próximo de incluir os seus diferentes domínios. Os questionários que a avaliam geralmente utilizam domínios de função física, psicológica e social, e conseguem captar as mudanças nesse desfecho, bem como identificar os fatores responsáveis por essas mudanças. A melhora da qualidade de vida após o TMI em indivíduos com IC, no entanto, ainda parece controversa. Dos sete estudos que avaliaram esse desfecho, apenas quatro relataram melhora significativa dessa variável, adquirida no grupo de treinamento. Dado que a qualidade de vida é uma variável multifatorial e que os questionários empregados refletem diferentes domínios, é possível que a melhora dos sintomas ou melhoras no condicionamento físico expliquem, em parte, a melhora observada nesses estudos (28). De acordo com Laoutaris *et al* (2004) (37), a melhora da qualidade de vida observada após o TMI sugere que essa modalidade seja complementar às outras modalidades já empregadas nos programas de reabilitação cardíaca.

## CONCLUSÃO

Esta revisão sistemática demonstra a existência de um consenso sobre o efeito do TMI na melhora da função respiratória e da dispneia em indivíduos com IC. Dado que os benefícios na capacidade de exercício e na qualidade de vida ainda são controversos, outras pesquisas com maior tamanho amostral são necessárias para reforçar as evidências disponíveis. A qualidade metodológica avaliada nos estudos incluídos nessa revisão foi alta, dado que a pontuação na escala *PEDro* foi igual ou maior a 5 para todos os estudos (50). Além disso, três ensaios clínicos aleatorizados apresentaram pontuação igual a 7. Esses resultados sugerem evidência forte para a indicação do treinamento muscular inspiratório em pacientes com Insuficiência Cardíaca, especialmente naqueles que apresentam fraqueza da musculatura inspiratória, nos quais os efeitos benéficos são ainda mais significativos. Em relação à primeira revisão sistemática já publicada sobre este tema (29), a revisão atual acrescentou a análise de quatro estudos, a fim de abranger melhor as evidências e discutir as explicações existentes a respeito dos principais desfechos encontrados.

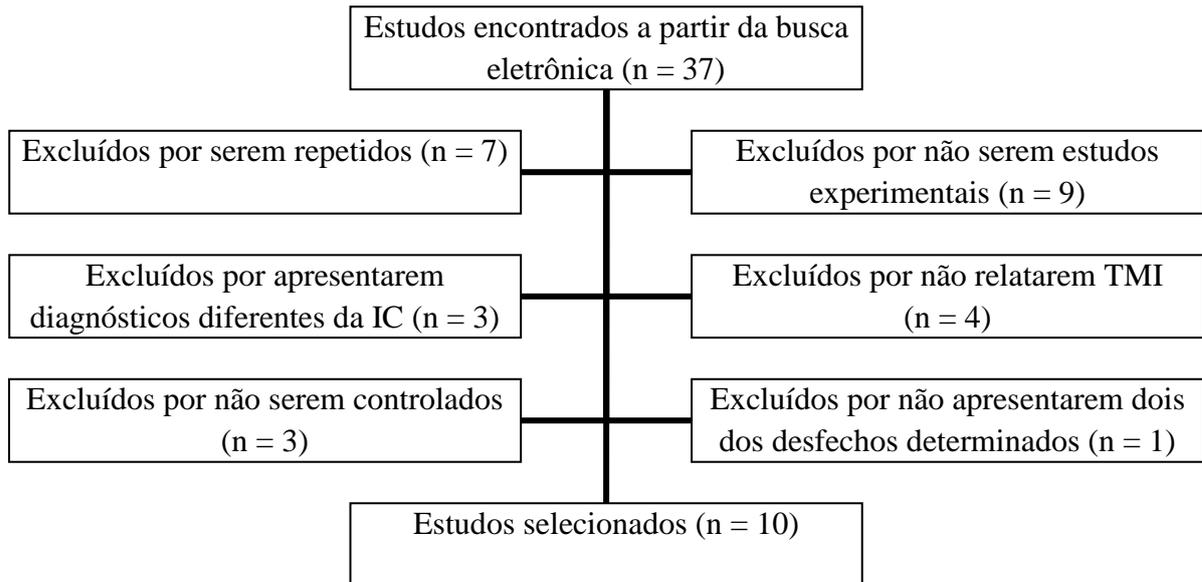


Figura 1. Fluxograma com o número de estudos encontrados na busca eletrônica e o número de estudos incluídos e excluídos nesta revisão sistemática.

Tabela 1. Característica dos estudos incluídos na revisão sistemática.

<b>Autores</b>	<b>Participantes</b>	<b>Intervenção</b>	<b>Resultados</b>
Mancini <i>et al</i> (1995)	<p><u>Treinamento:</u> N = 8      Idade = 56±15 M/F = 8/0    NYHA = I-IV</p> <p><u>Controle:</u> N = 6      Idade = 55±15 M/F = 6/0    NYHA = I-IV</p>	<p><u>Treinamento:</u> 30% da PImáx. por 20min + Hiperpneia isocápnica por 20min + 10 esforços máx. inspiratórios e expiratórios, sustentados por 10s + abdominais (4 séries de 8x) *90min ou 2x de 15min diários por 12 semanas</p> <p><u>Controle:</u> Desistentes após média de 3 sessões</p>	<p><u>Força e <i>endurance</i>:</u> aumento da PImáx., PEmáx., VVM e CVSM no grupo treinamento.</p> <p><u>Dispneia:</u> redução durante a hiperpneia isocápnica no grupo treinamento.</p> <p><u>Capacidade de exercício:</u> aumento da distância no TC6' e VO<sub>2</sub>pico no grupo treinamento.</p>
Johnson <i>et al</i> (1998)	<p><u>Treinamento:</u> N = 8      Idade = 70±4,6 M/F = 18/3    NYHA = II-III</p> <p><u>Controle:</u> N = 8      Idade = 63,4±4,5 M/F = 18/3    NYHA = II-III</p>	<p><u>Treinamento:</u> 30% da PImáx.</p> <p><u>Controle:</u> 15% da PImáx. *2x de 15min diários por 8 semanas</p>	<p><u>Força e <i>endurance</i>:</u> maior aumento da PImáx. no grupo treinamento</p> <p><u>Dispneia:</u> não houve diferença entre os grupos</p> <p><u>Capacidade de exercício:</u> não houve diferença entre os grupos</p> <p><u>Qualidade de vida:</u> não houve diferença entre os grupos</p>
Weiner <i>et al</i> (1999)	<p><u>Treinamento:</u> N = 10      Idade = 66,2±4,6 M/F = 9/1    NYHA = II-III</p> <p><u>Controle:</u> N = 10      Idade = 63,8±4 M/F = 9/1    NYHA = II-III</p>	<p><u>Treinamento:</u> 60% da PImáx. na 4ª semana</p> <p><u>Controle:</u> Equipamento sem resistência *30min por dia, 6 dias na semana, por 12 semanas</p>	<p><u>Força e <i>endurance</i>:</u> aumento de ambas no grupo treinamento.</p> <p><u>Dispneia:</u> redução do índice de dispneia no grupo treinamento.</p> <p><u>Capacidade de exercício:</u> aumento da distância no TC12' no grupo treinamento. Não houve aumento do VO<sub>2</sub>pico em nenhum dos grupos.</p>

Martinez <i>et al</i> (2001)	<u>Treinamento:</u> N = 11 Idade = 60+14 M/F = 16/4 NYHA = II-III  <u>Controle:</u> N = 9 Idade = 57+13 M/F = 16/4 NYHA = II-III	<u>Treinamento:</u> 30% da PImáx.  <u>Controle:</u> 10% da PImáx.  *2x de 15min por dia, 6 dias na semana por 6 semanas	<u>Força e endurance:</u> aumento da PImáx. e da PImáx. sustentada nos dois grupos <u>Dispneia:</u> redução nos dois grupos (escala de Mahler) <u>Capacidade de exercício:</u> aumento do VO <sub>2</sub> pico nos dois grupos e da distância no TC6' no grupo treinamento
Laoutaris <i>et al</i> (2004)	<u>Treinamento:</u> N = 20 Idade = 57,6±2,3 M/F = 18/2 NYHA = II-III  <u>Controle:</u> N = 17 Idade = 60±2,6 M/F = 13/2 NYHA = II-III	<u>Treinamento:</u> 60% da PImáx. sustentada até a fadiga em mais de 6 níveis com 6 esforços por nível e tempo de descanso entre esforços reduzidos de 60s para 5s no 6º nível.  <u>Controle:</u> 60% da PImáx. sustentada em 6 níveis.  *3 dias na semana por 10 semanas.	<u>Força e endurance:</u> aumento da PImáx. nos dois grupos e da PImáx. sustentada no grupo treinamento <u>Dispneia:</u> redução nos testes de capacidade de exercício no grupo treinamento <u>Capacidade de exercício:</u> aumento da distância no TC6' e do VO <sub>2</sub> pico no grupo treinamento <u>Qualidade de vida:</u> melhora no grupo treinamento
Dall'Ago <i>et al</i> (2006)	<u>Treinamento:</u> N = 16 Idade = 54±3 M/F = 11/5 NYHA = I-IV  <u>Controle:</u> N = 16 Idade = 58±2 M/F = 10/6 NYHA = I-IV	<u>Treinamento:</u> 30% da PImáx. por 30min diários  <u>Controle:</u> Equipamento sem resistência  *7 dias na semana por 12 semanas	<u>Força e endurance:</u> aumento da PImáx. e da PImáx. sustentada no grupo treinamento <u>Dispneia:</u> redução nos testes de capacidade de exercício no grupo treinamento <u>Capacidade de exercício:</u> aumento da distância no TC6' e do VO <sub>2</sub> pico no grupo treinamento <u>Qualidade de vida:</u> melhora no grupo treinamento

Laoutaris <i>et al</i> (2007)	<u>Treinamento:</u> N = 15      Idade = 53±2 M/F = 12/3    NYHA = II-III  <u>Controle:</u> N = 23      Idade = 59±2 M/F = 20/3   NYHA = II-III	<u>Treinamento:</u> TMI alta intensidade - 60% da PImáx. sustentada até a fadiga em mais de 6 níveis com 6 esforços por nível e tempo de descanso entre esforços reduzidos de 60s para 5s no 6º nível. *3 dias na semana por 10 semanas  <u>Controle:</u> TMI intensidade leve - 15% da PImáx. sustentada em 6 níveis.	<u>Força e <i>endurance</i>:</u> aumento da PImáx. em ambos os grupos e da PImáx. sustentada no grupo treinamento  <u>Dispneia:</u> redução no teste de capacidade de exercício máxima no grupo treinamento  <u>Capacidade de exercício:</u> aumento da distância no TC6' e do VO <sub>2</sub> pico no grupo treinamento  <u>Qualidade de vida:</u> melhora no grupo treinamento
Laoutaris <i>et al</i> (2008)	<u>Treinamento:</u> N = 14      Idade = 53,4±2,1 M/F = 14/0   NYHA = II-III  <u>Controle:</u> N = 9      Idade = 57,3±4 M/F = 14/0   NYHA = II-III	<u>Treinamento:</u> O mesmo de Laoutaris <i>et al</i> (2007)  <u>Controle:</u> O mesmo de Laoutaris <i>et al</i> (2007)	Mesmos resultados de Laoutaris <i>et al</i> (2007)
Padula <i>et al</i> (2009)	<u>Treinamento:</u> N = 15      Idade = 76±25 M/F = 5/10   NYHA = II-III  <u>Controle:</u> N = 17      Idade = 73±41 M/F = 7/10   NYHA = II-III	<u>Treinamento:</u> 30% da PImáx de 10 a 20min diários por 12 semanas  <u>Controle:</u> Instruções educacionais sobre anatomia, fisiologia, dieta, sono, medicação, hábitos ativos.	<u>Força e <i>endurance</i>:</u> aumento da PImáx. no grupo treinamento  <u>Dispneia:</u> redução no grupo treinamento  <u>Qualidade de vida:</u> sem alterações em ambos os grupos

Winkelmann <i>et al</i> (2009)	<u>Treinamento:</u> N = 12      Idade = 54±12 M/F = 7/5	<u>Treinamento:</u> 30% da P <sub>Imáx.</sub> em 30min diários + cicloergômetro em 60rpm por 45min em 3x por semana	<u>Força e <i>endurance</i>:</u> aumento da P <sub>Imáx.</sub> , P <sub>Emáx.</sub> e tempo de <i>endurance</i> inspiratória nos dois grupos, aumento P <sub>Imáx.</sub> maior no grupo treinamento <u>Capacidade de exercício:</u> aumento do VO <sub>2</sub> pico nos dois grupos, aumento do VO <sub>2</sub> pico maior no grupo treinamento, aumento da distância no TC6' nos dois grupos sem diferença entre os dois <u>Qualidade de vida:</u> melhora nos dois grupos sem diferença entre os dois
	<u>Controle:</u> N = 12      Idade = 59±9 M/F = 4/8	<u>Controle:</u> Apenas treino aeróbio (cicloergômetro em 60rpm por 45min em 3x por semana) *Duração de 12 semanas	

P<sub>Imáx.</sub>: pressão inspiratória máxima, P<sub>Emáx.</sub>: pressão expiratória máxima, VVM: ventilação voluntária máxima, CVSM: capacidade ventilatória sustentada máxima, TC6': teste de caminhada de seis minutos, TC12': teste de caminhada de 12 minutos.

Tabela 2. Qualidade metodológica dos estudos incluídos na revisão sistemática.

	<b>Mancini <i>et al</i> (1995)</b>	<b>Johnson <i>et al</i> (1998)</b>	<b>Weiner <i>et al</i> (1999)</b>	<b>Martinez <i>et al</i> (2001)</b>	<b>Laoutaris <i>et al</i> (2004)</b>	<b>Dall'Ago <i>et al</i> (2006)</b>	<b>Laoutaris <i>et al</i> (2007)</b>	<b>Laoutaris <i>et al</i> (2008)</b>	<b>Padula <i>et al</i> (2009)</b>	<b>Winkelmann <i>et al</i> (2009)</b>
*Critérios de inclusão especificados	N	N	S	N	S	S	S	S	S	S
<b>Alocação aleatória</b>	N	S	S	S	N	S	N	N	S	S
<b>Alocação Oculta</b>	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
<b>Grupos similares no <i>baseline</i></b>	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
<b>Participantes cegados</b>	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N
<b>Terapeutas cegados</b>	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
<b>Avaliadores cegados</b>	N	N	S	N	N	S	S	S	N	N
<b>Desfecho em 85% da amostra</b>	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N
<b>Intenção de tratar</b>	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
<b>Comparação entre grupos</b>	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
<b>Tendência central e variabilidade</b>	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
<b>Score total</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>

\* Item não pontuado.

**REFERÊNCIAS**

- (1) Bocchi EA, Marcondes-Braga FG, Ayub-Ferreira SM, Rhode LE, Oliveira WA, Almeida DR, et al. III Diretriz Brasileira de Insuficiência Cardíaca Crônica. *Arq Bras Cardiol* 2009;93(1 Supl. 1):1-71.
- (2) Hunt SA, Abraham WT, Chin MH, Feldman AM, Francis GS, Ganiats TG, et al. ACC/AHA 2005 Guideline Update for the Diagnosis and Management of Chronic Heart Failure in the Adult: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Update the 2001 Guidelines for the Evaluation and Management of Heart Failure): developed in collaboration with the American College of Chest Physicians and the International Society for Heart and Lung Transplantation: endorsed by the Heart Rhythm Society. *Circulation* 2005 Sep 20;112(12):e154-e235.
- (3) Mesquita ET, Bocchi EA, Vilas-Boas F, Montera MW, Moreira MCV, Batlouni M. Revisão das II Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia para o Diagnóstico e Tratamento da Insuficiência Cardíaca. *Arq Bras Cardiol* 2002;79(s.IV).
- (4) Metra M, Ponikowski P, Dickstein K, McMurray JJ, Gavazzi A, Bergh CH, et al. Advanced chronic heart failure: A position statement from the Study Group on Advanced Heart Failure of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail* 2007 Jun;9(6-7):684-94.
- (5) Vibarel N, Hayot M, Ledermann B, Messner PP, Ramonatxo M, Prefaut C. Effect of aerobic exercise training on inspiratory muscle performance and dyspnoea in patients with chronic heart failure. *Eur J Heart Fail* 2002 Dec;4(6):745-51.
- (6) Coats AJ. Heart failure: What causes the symptoms of heart failure? *Heart* 2001 Nov;86(5):574-8.
- (7) Karapolat H, Eyigor S, Atasever A, Zoghi M, Nalbantgil S, Durmaz B. Effect of dyspnea and clinical variables on the quality of life and functional capacity in patients with chronic obstructive pulmonary disease and congestive heart failure. *Chin Med J (Engl)* 2008 Apr 5;121(7):592-6.
- (8) Winkelmann ER, Chiappa GR, Lima CO, Viecili PR, Stein R, Ribeiro JP. Addition of inspiratory muscle training to aerobic training improves cardiorespiratory responses to exercise in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness. *Am Heart J* 2009 Nov;158(5):768-7.
- (9) Ambrosino N, Opasich C, Crotti P, Cobelli F, Tavazzi L, Rampulla C. Breathing pattern, ventilatory drive and respiratory muscle strength in patients with chronic heart failure. *Eur Respir J* 1994 Jan;7(1):17-22.
- (10) Carmo MM, Barbara C, Ferreira T, Branco J, Ferreira S, Rendas AB. Diaphragmatic function in patients with chronic left ventricular failure. *Pathophysiology* 2001 Aug;8(1):55-60.
- (11) Evans SA, Watson L, Hawkins M, Cowley AJ, Johnston ID, Kinnear WJ. Respiratory muscle strength in chronic heart failure. *Thorax* 1995 Jun;50(6):625-8.
- (12) Filusch A, Ewert R, Altesellmeier M, Zugck C, Hetzer R, Borst MM, et al. Respiratory muscle dysfunction in congestive heart failure-The role of pulmonary hypertension. *Int J Cardiol* 2010 May 3.

- (13) Forgiarini LA, Jr., Rubleski A, Douglas G, Tieppo J, Vercelino R, Dal BA, et al. Evaluation of respiratory muscle strength and pulmonary function in heart failure patients. *Arq Bras Cardiol* 2007 Jul;89(1):36-41.
- (14) Frankenstein L, Meyer FJ, Sigg C, Nelles M, Schellberg D, Remppis A, et al. Is serial determination of inspiratory muscle strength a useful prognostic marker in chronic heart failure? *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2008 Apr;15(2):156-61.
- (15) Hammond MD, Bauer KA, Sharp JT, Rocha RD. Respiratory muscle strength in congestive heart failure. *Chest* 1990 Nov;98(5):1091-4.
- (16) Hughes PD, Polkey MI, Harrus ML, Coats AJ, Moxham J, Green M. Diaphragm strength in chronic heart failure. *Am J Respir Crit Care Med* 1999 Aug;160(2):529-34.
- (17) Mancini DM, Henson D, LaManca J, Levine S. Respiratory muscle function and dyspnea in patients with chronic congestive heart failure. *Circulation* 1992 Sep;86(3):909-18.
- (18) Mancini DM, Henson D, LaManca J, Levine S. Evidence of reduced respiratory muscle endurance in patients with heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1994 Oct;24(4):972-81.
- (19) Stassijns G, Lysens R, Decramer M. Peripheral and respiratory muscles in chronic heart failure. *Eur Respir J* 1996 Oct;9(10):2161-7.
- (20) Dimopoulou I, Tsintzas OK, Alivizatos PA, Tzelepis GE. Pattern of breathing during progressive exercise in chronic heart failure. *Int J Cardiol* 2001 Dec;81(2-3):117-21.
- (21) Olson TP, Beck KC, Johnson BD. Pulmonary function changes associated with cardiomegaly in chronic heart failure. *J Card Fail* 2007 Mar;13(2):100-7.
- (22) Caruana L, Petrie MC, McMurray JJ, MacFarlane NG. Altered diaphragm position and function in patients with chronic heart failure. *Eur J Heart Fail* 2001 Mar;3(2):183-7.
- (23) Guazzi M. Alveolar gas diffusion abnormalities in heart failure. *J Card Fail* 2008 Oct;14(8):695-702.
- (24) Kee K, Naughton MT. Heart failure and the lung. *Circ J* 2010 Nov 25;74(12):2507-16.
- (25) Tzani P, Piepoli MF, Longo F, Aiello M, Serra W, Maurizio AR, et al. Resting lung function in the assessment of the exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Am J Med Sci* 2010 Mar;339(3):210-5.
- (26) Walsh JT, Andrews R, Johnson P, Phillips L, Cowley AJ, Kinnear WJ. Inspiratory muscle endurance in patients with chronic heart failure. *Heart* 1996 Oct;76(4):332-6.
- (27) Chiappa GR, Roseguini BT, Vieira PJ, Alves CN, Tavares A, Winkelmann ER, et al. Inspiratory muscle training improves blood flow to resting and exercising limbs in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2008 Apr 29;51(17):1663-71.
- (28) Dall'Ago P, Chiappa GR, Guths H, Stein R, Ribeiro JP. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness: a randomized trial. *J Am Coll Cardiol* 2006 Feb 21;47(4):757-63.

- (29) Arena R, Pinkstaff S, Wheeler E, Peberdy MA, Guazzi M, Myers J. Neuromuscular Electrical Stimulation and Inspiratory Muscle Training as Potential Adjunctive Rehabilitation Options for Patients With Heart Failure. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2009 Dec 22.
- (30) Padula CA, Yeaw E, Mistry S. A home-based nurse-coached inspiratory muscle training intervention in heart failure. *Appl Nurs Res* 2009 Feb;22(1):18-25.
- (31) PubMed/Medline: National Library of Medicine. [www pubmed com](http://www.pubmed.com) 2011 January 25
- (32) PEDro: Physiotherapy evidence database. [www pedro org au](http://www.pedro.org.au) 2011 January 25
- (33) Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther* 2003;83(8):713-21.
- (34) Gosselink R, Wagenaar RC, Decramer M. Reliability of a commercially available threshold loading device in healthy subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1996 Jun;51(6):601-5.
- (35) de Andrade AD, Silva TN, Vasconcelos H, Marcelino M, Rodrigues-Machado MG, Filho VC, et al. Inspiratory muscular activation during threshold therapy in elderly healthy and patients with COPD. *J Electromyogr Kinesiol* 2005 Dec;15(6):631-9.
- (36) Meyer K. Exercise training in heart failure: recommendations based on current research. *Med Sci Sports Exerc* 2001 Apr;33(4):525-31.
- (37) Laoutaris I, Dritsas A, Brown MD, Manginas A, Alivizatos PA, Cokkinos DV. Inspiratory muscle training using an incremental endurance test alleviates dyspnea and improves functional status in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2004 Dec;11(6):489-96.
- (38) Laoutaris ID, Dritsas A, Brown MD, Manginas A, Kallistratos MS, Degiannis D, et al. Immune response to inspiratory muscle training in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2007 Oct;14(5):679-85.
- (39) Laoutaris ID, Dritsas A, Brown MD, Manginas A, Kallistratos MS, Chaidaroglou A, et al. Effects of inspiratory muscle training on autonomic activity, endothelial vasodilator function, and N-terminal pro-brain natriuretic peptide levels in chronic heart failure. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2008 Mar;28(2):99-106.
- (40) Souza RB. Pressões respiratórias estáticas máximas. *J Pneumol* 2002;28(Supl 3):S155-S165.
- (41) Johnson PH, Cowley AJ, Kinnear WJ. A randomized controlled trial of inspiratory muscle training in stable chronic heart failure. *Eur Heart J* 1998 Aug;19(8):1249-53.
- (42) Mancini DM, Henson D, La MJ, Donchez L, Levine S. Benefit of selective respiratory muscle training on exercise capacity in patients with chronic congestive heart failure. *Circulation* 1995 Jan 15;91(2):320-9.
- (43) Martínez A. Entrenamiento selectivo de los músculos respiratorios em pacientes com Insuficiência Cardíaca Crônica. *Rev Med Chil* 2001 Feb;129(2):133-9.
- (44) Weiner P, Waizman J, Magadle R, Berar-Yanay N, Pelled B. The effect of specific inspiratory muscle training on the sensation of dyspnea and exercise tolerance in patients with congestive heart failure. *Clin Cardiol* 1999 Nov;22(11):727-32.

- (45) Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res* 1999 Jun;32(6):719-27.
- (46) Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14(5):377-81.
- (47) Witt JD, Guenette JA, Rupert JL, McKenzie DC, Sheel AW. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *J Physiol* 2007 Nov 1;584(Pt 3):1019-28.
- (48) Sampaio RF, Mancini MC, Gonçalves GGP, Bittencourt NFN, Miranda AD, Fonseca ST. Aplicação da Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF) na prática clínica do fisioterapeuta. *Rev Bras Fisioter* 2005;9(2):129-36.
- (49) Noonan VK, Kopec JA, Noreau L, Singer J, Chan A, Masse LC, et al. Comparing the content of participation instruments using the international classification of functioning, disability and health. *Health Qual Life Outcomes* 2009;7:93.
- (50) Arantes NF, Vaz DV, Mancini MC, Ferreira MSDC, Pinto FP, Pinto TPS. Efeitos da estimulação elétrica funcional nos músculos do punho e dedos em indivíduos hemiparéticos: uma revisão sistemática da literatura. *Rev Bras Fisioter* 2007;11(6):419-27.

## ANEXO 4

### **Artigo II: Chest wall volumes and breathing pattern during inspiratory loaded and diaphragmatic breathing in patients with heart failure**

**AUTHORS:** Susan Martins Lage<sup>1</sup>, Mariana Alves Coutinho<sup>2</sup>, Mariana Hoffman Barbosa<sup>3</sup>, Danielle Soares Rocha Vieira<sup>4</sup>, Danielle Aparecida Gomes Pereira<sup>5</sup>, Armele de Fátima Dornelas de Andrade<sup>6</sup>, Verônica Franco Parreira<sup>5</sup>, Raquel Rodrigues Britto<sup>5</sup>.

- 1- Physiotherapist, Msc, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, Brazil.
- 2- Physiotherapist, Msc student, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, Brazil.
- 3- Physiotherapist, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, Brazil.
- 4- Physiotherapist, PhD student, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, Brazil.
- 5- Physiotherapist, PhD, Associate Professor of Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, Brazil.
- 6- Physiotherapist, PhD, Associate Professor of Federal University of Pernambuco, Recife-PE, Brazil.

#### **Address of corresponding author:**

Prof<sup>a</sup>. Raquel Rodrigues Britto, Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório, Departamento de Fisioterapia, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha  
CEP: 31.270-091 - Belo Horizonte-MG, Brazil  
e-mail: [rbrito@effto.ufmg.br](mailto:rbrito@effto.ufmg.br)

## ABSTRACT

**Aims:** The purposes of this study were to characterize chest wall kinematics and breathing pattern of patients with heart failure (HF), to evaluate ventilatory responses during inspiratory exercise with or without association of diaphragmatic breathing (DB) and to compare them with healthy controls. **Methods and results:** This analysis included 13 patients with HF (HFG) and 13 controls (CG) matched by age. Participants were evaluated by optoelectronic plethysmography during quiet breathing (QB), inspiratory exercise (IE) and inspiratory exercise associated with diaphragmatic breathing (IE+DB). Inspiratory load was set in 30% of maximal inspiratory pressure. During QB was found lower rib cage contribution  $-V_{RC}\%$  and higher abdomen contribution  $-V_{AB}\%$  in HFG ( $p=0.028$ ). Same results were found during IE ( $p=0.006$ ). Association of DB produced changes only in HC, with increase of  $V_{AB}\%$  ( $p=0.008$ ) and decrease of  $V_{RC}\%$  ( $p<0.0001$ ). Both groups showed increases in tidal volume and inspiratory time during exercise conditions in relation to QB ( $p<0.05$ ), whereas duty cycle was higher in HFG during IE ( $p=0.042$ ). **Conclusion:** Patients with HF present lower rib cage motion than controls during QB. Inspiratory exercise does not alter chest wall kinematics in these patients, independently of the association with DB, which can be related to lung restrictions and inspiratory muscle weakness impairing the movement of rib cage.

**Key-words:** Cardiovascular diseases, ventilatory kinematics, breathing exercises.

**Running title:** Chest wall volumes in heart failure

This article will be submitted to the European Journal of Heart Failure. (<http://eurjhf.oxfordjournals.org>).

## INTRODUCTION

Patients with heart failure (HF) may present impairments in strength and endurance of respiratory muscles (1-3). It contributes to increase respiratory effort, which exaggerates dyspnea and limit the activities of daily living (4;5). Therefore, inspiratory muscle training has been indicated in order to improve the respiratory muscle function, especially when inspiratory muscle weakness is identified (6;7). Despite the benefits obtained, effects can depend on load level and modulation, breathing pattern, frequency and duration of training (8). Another factor that may influence is the association of diaphragmatic breathing during inspiratory exercise (9).

Diaphragmatic breathing has been described as breathing predominantly with the diaphragm while minimizing the action of accessory muscles that assist inspiration and has been used to improve ventilation in lower lung zones (10). Diaphragm is the main inspiratory muscle and its function is greatly impaired in patients with HF, due to restricted cardiac output and abnormalities in the optimal length for contraction (11-13). Therefore, it would be interesting to emphasize the diaphragm action during inspiratory exercise. Furthermore, several studies have shown that those patients may also present reduction in lung volumes, such as vital capacity, which can lead to abnormalities in the alveolar diffusion (14;15). For this reason, diaphragmatic breathing might help to improve the contribution of diaphragm and the ventilation in lower lung zones during the exercise.

Dall'Ago et al (2006) (7) and Chiappa et al (2008) (6) investigated the effects of inspiratory muscle training in patients with HF and instructed them to maintain

diaphragmatic breathing during inspiration with threshold loading. Both studies showed significant increases in inspiratory strength, by measures of maximal inspiratory pressure (MIP). In addition, the last one (6) measured the diaphragm thickness and showed its hypertrophy after training.

On the other hand, a cross-sectional study from our group measured the electromyography activation of the inspiratory muscles in patients with HF during inspiratory exercise without instructions about diaphragmatic breathing (9). It was shown that sternocleidomastoid muscle was more activated than diaphragm during exercise, but it was suggested that results could be different if it was instructed the association of diaphragmatic breathing. However, it has not known about the chest wall kinematics during inspiration with threshold loading neither if the diaphragmatic breathing changes it. Therefore, the objectives for this study were to evaluate the ventilatory responses in kinematics and breathing pattern during inspiratory exercise associated and not associated with diaphragmatic breathing and to compare responses with healthy controls.

## **METHODS**

### **Design**

A cross-sectional observational study was conducted with patients recruited after contact with cardiologists. Measures were collected in two days, with an interval of up to one week and duration of two hours each day. In the first day, after measurement of weight and height participants were evaluated by medical history, physical examination, pulmonary function and inspiratory muscle strength. Preview two-dimensional

echocardiogram was analyzed for patients only. Physical activity level was obtained for all participants through Human Activity Profile (HAP) (16) answers. In the second day, it were evaluated the chest wall kinematics and breathing pattern during rest and inspiratory exercise. The protocol was approved by the committee for ethics in research of the university and all participants signed an informed consent form.

### **Participants**

Patients (males) aged 30-59 years diagnosed with HF attributable to left ventricular systolic dysfunction (left ventricular ejection fraction - LVEF  $\leq$  45%) (7) were invited to participate. They were included if they had body mass index (BMI) 18-30 Kg/m<sup>2</sup>, were not smokers and did not practice regular physical activity (at least 30 minutes of moderate activity on most days of week) (17). In addition they needed to be clinical stables, including no change in medications for the past three months (7) and not present obstructive ventilatory pattern (forced expiratory volume on the first second/forced vital capacity – FEV<sub>1</sub>/FVC  $<$ 0.7 of predicted), confirmed by spirometry (18). They were excluded if they were not able to carry out the procedures, if they presented fever or flu symptoms those days or for the past seven days and if they had unstable angina, myocardial infarction or cardiac surgery within the previous three months (7;9) and if 30% of MIP was above 41cmH<sub>2</sub>O. A group of healthy participants with no history of cardiac and pulmonary diseases were recruited as controls, and matched patients for age. The same protocol was performed for both groups.

### **Pulmonary and respiratory muscle function evaluation**

Lung function was assessed by measurements of FVC and FEV<sub>1</sub> obtained with a computerized spirometer (Vitalograph® 2120 - Ennis, Irland) and predicted values were

corrected for age, gender, weight and height (19). Inspiratory muscle strength was performed using an analogical pressure transducer (GeRar® Classe B – São Paulo, Brazil) and MIP was determined at rest, in deep inspiration from residual volume against an occluded airway with a minor air leak (1.8 mm). The highest pressure of least three measurements (differences until 10%) was used for analysis and predicted values were corrected for age and gender (20). For both tests participants were comfortably seated, wearing a nose clip.

### **Chest wall kinematics and breathing pattern evaluation**

Chest wall volume ( $V_{cw}$ ) was computed as the sum of pulmonary rib cage, abdominal rib cage and abdomen volumes ( $V_{RCp}$ ,  $V_{RCa}$  and  $V_{AB}$ , respectively). The percentage of contribution for each compartment to tidal volume ( $V_T$ ) was considered for analysis, as well as end-inspiratory volume of the chest wall ( $V_{cw_{ei}}$ ), end-expiratory volume of the chest wall ( $V_{cw_{ee}}$ ),  $V_T$ , minute ventilation ( $V_E$ ), breathing frequency ( $f$ ), inspiratory time ( $T_i$ ), expiratory time ( $T_e$ ), duty cycle ( $T_i/T_{tot}$ ) and mean inspiratory flow ( $V_T/T_i$ ). These variables were evaluated during three conditions: quiet breathing (QB), inspiratory exercise (IE) and inspiratory exercise associated with diaphragmatic breathing (IE+DB). QB was defined as habitual comfortable breathing in rest. For the second and third condition, participants wear a nose clip and were instructed to inspire through the mouth against a load of 30% of MIP, followed by expiration without resistance. For the third one, they were additionally instructed to inspire while emphasizing the expansion of abdomen and reducing rib cage motion (10). There was no allocation between exercises to avoid a possible learning effect during IE+DB that could be repeated during IE. Heart rate and peripheral oxygen saturation were monitored at rest and during exercises. In addition, blood pressure and effort sensation

(21) were verified before and after each exercise. There was an interval of at least 10 minutes between exercises and the second one began only after returning to rest parameters.

Chest wall kinematics and breathing pattern were computed by optoelectronic plethysmography system (BTS, Milan, Italy). Details of the technique are reported elsewhere (22). In brief, six cameras (three in front of the participant and three behind) tracked the three-dimensional movements of 89 surface markers (23) attached to the skin by biadhesive hypoallergenic tape (BTS, Milan, Italy), through infrared light-emitting diodes coaxial with the lenses (24). The markers, 10mm spheres and hemispheres coated with reflective paper, were positioned according to the method of Cala et al (1996) (24) along seven horizontal and vertical lines in front of, laterally and posterior to the rib cage and abdomen. Participants were seated with semi abducted arms, laterally rotated for best trunk visualization. Arms were supported by two cabs to avoid activation of muscles around upper limbs joints (FIGURE 1). All conditions were registered during three minutes and the second one was analyzed.

### **Data analysis**

Normal distribution was confirmed by Shapiro-Wilk test for all outcomes. Groups were characterized and compared in each condition by unpaired student *t* test. Changes among QB, IE and IE+DB for each group were compared by mixed factorial analysis of variance (ANOVA) split-plot design for repeated measures and post-hoc analysis was conducted by the Least Significance Difference (LSD) test. Correlations between variables were evaluated by Pearson's correlation test. Results with  $p < 0.05$  were considered as statistically significant. Data were analyzed on the Statistical Package for

Social Sciences (SPSS version 17.0, Chicago, Illinois).

## **RESULTS**

### **Anthropometric and clinical characteristics**

Fifty-two subjects were screened, but nineteen did not meet the inclusion criteria for BMI (eight), spirometry (six), LVEF (two) and high blood pressure values (three). Among thirty-four subjects included, five were excluded for not complete the protocol and two for present 30% of MIP > 41cmH<sub>2</sub>O. Therefore, thirteen participants completed the protocol in each group. Table 1 describes baseline characteristics for participants. Anthropometric data and air flow limitation represented by FEV<sub>1</sub>/FVC did not differ significantly between groups ( $p>0.05$ ). FVC and FEV<sub>1</sub> were significantly lower in patients, as well as values of MIP ( $p<0.0001$ ). In relation to HAP questionnaire, 53.87% of patients were classified as moderately active, 38.46% as active and 7.69% as inactive, in accordance with lower values of adjusted activity score ( $p<0.0001$ ). All healthy controls were classified as active.

### **Chest wall kinematics**

Table 2 shows chest wall and compartmental volumes during conditions in the studied groups. Between groups: During QB, patients exhibited similar V<sub>RCp</sub>%, V<sub>RCa</sub>%, V<sub>cw<sub>ee</sub></sub> and V<sub>cw<sub>ei</sub></sub> ( $p>0.05$ ) although lower V<sub>RC</sub>% and higher V<sub>AB</sub>% ( $p=0.028$ ) than healthy controls. During IE, V<sub>RCp</sub>% and V<sub>RCa</sub>% were lower in patients ( $p<0.05$ ), and V<sub>AB</sub>% was greater ( $p=0.006$ ). During IE+DB groups did not differ significantly.

Within groups: In patients with HF, it was found a significant increase in  $V_{cw_{ei}}$  during IE and IE+DB in relation to QB ( $p < 0.05$ ). No significant differences were found in chest wall variables between IE and IE+DB ( $p > 0.05$ ). For healthy controls,  $V_{cw_{ei}}$ ,  $V_{RCp}\%$ ,  $V_{RCa}\%$  and  $V_{RC}\%$  increased ( $p < 0.05$ ) whereas  $V_{AB}\%$  decreased ( $p = 0.004$ ) from QB to IE. During IE+DB,  $V_{RCp}\%$ ,  $V_{RC}\%$ ,  $V_{cw_{ei}}$  and  $V_{cw_{ee}}$  decreased and  $V_{AB}\%$  increased in relation to IE ( $p < 0.05$ ).

### **Breathing pattern**

Table 3 shows breathing pattern variables during conditions in the studied groups. Between groups: During QB and IE+DB groups did not differ significantly for all variables ( $p > 0.05$ ). During IE,  $T_i/T_{tot}$  was higher in patients than in healthy controls ( $p = 0.042$ ). Within groups: Comparing conditions for each group, both groups increased  $V_T$ ,  $V_E$ ,  $V_T/T_i$  and  $T_i$  whereas decreased  $f$  ( $p < 0.05$ ) during IE and IE+DB in relation to QB.

### **Correlations**

Table 4 shows correlations between ventilatory variables (chest wall volumes and breathing pattern) and characteristics of participants (inspiratory muscle strength and spirometric volumes) during QB and IE. The strongest correlation is shown in FIGURE 2.

## **DISCUSSION**

The main findings of this study were: patients with HF adopted a different strategy than healthy controls of chest wall movement and breathing pattern during exercise with

threshold loading and there was no difference in ventilatory responses when they associated diaphragmatic breathing to inspiratory exercise.

In regard to chest wall compartments, healthy controls presented lower abdominal and higher rib cage volumes. This result is in accordance with Verschakelen et al (1995) (25), who showed a major contribution for rib cage in these subjects while in seated position. On the other hand, present patients showed higher abdominal and lower rib cage contributions during QB and difference between groups was more significant during IE, with both pulmonary and abdominal rib cage contributions reduced. Increased cardiac volume may partly explain this result, since limited lung filling can reduce tidal volume displaced in pulmonary rib cage area, where heart is anatomically positioned.

Another possible reason for that includes lower values of MIP presented by patients, which represents diaphragm and accessory muscles strength together. The respiratory function of the diaphragm is to expand the pleural cavity and the lungs and to balance the difference between abdominal pressure ( $P_{ab}$ ) and pleural pressure ( $P_{pl}$ ) that results from that expansion (26). Therefore,  $P_{pl}$  gradient is developed predominantly by contraction and flattening of the diaphragm (12) and the ventilatory effect is proportional to the magnitude of its descent (26). In relation to accessory inspiratory muscles, they are mainly responsible to displacement of the rib cage (27). Therefore, changes in the length-tension relationship for diaphragm and accessory inspiratory muscles contraction can be followed by changes in thoracic volume. In fact, the present study found significant positive correlations between inspiratory muscle strength and

pulmonary rib cage volumes whereas abdominal volumes were inversely correlated with inspiratory muscle strength and spirometric volumes.

Carmo et al (2001) (11) studied patients with moderate left ventricular failure NYHA II/III and matched controls without cardiopulmonary disease. They observed no significant difference for transdiaphragmatic pressure between groups, whereas the oesophageal one was lower for patients. According to authors, this indicates that the contribution of the diaphragm to the total ventilation is normal in these patients. Nevertheless, its ability to generate negative intra-thoracic pressures is smaller, as demonstrated by the decrease in oesophageal pressure (11). Caruana et al (2001) (12) evaluated patients with HF and healthy controls and observed that in patients a downward craniocaudal displacement of the diaphragm at the end of expiration was strongly correlated with the changes of left ventricular morphology. Authors believed that the diaphragm displacement could represent an adaptive response to a change in the heart size. Despite of the lower craniocaudal displacement, the data provided by this study also demonstrates that diaphragm anteroposterior excursion was greater in patients during rest. The major anteroposterior excursion of the diaphragm can be related to a greater abdominal pressure to compensate the lower oesophageal one. Therefore, in the present study, major abdominal displacement observed in patients could be related to anteroposterior diaphragm motion. In present healthy controls, preserved accessory muscle strength and diaphragmatic descent seems favored the displacement of rib cage during IE. For those, just in IE+DB the abdominal compartment was displaced as in patients and probably accessory muscles were less activated.

Results also showed that  $V_T$  was similar in present groups, for all conditions. This result was similar to findings of Witt (1997) (28), who evaluated patients with dilative cardiomyopathy and healthy controls during quiet breathing, and also compared patients divided in two groups. The first group consisted in 88% of patients NYHA II/III and showed no difference in  $V_T$  when compared to controls; whereas the second one was consisted by 73% of patients NYHA III/IV, and presented lower  $V_T$  than controls. For that reason, author suggested that changes in  $V_T$  might be related to restriction imposed by cardiac area and functional status. In the present study, it was included only one patient with dilative cardiomyopathy and any patients in NYHA IV, which, in fact, could emphasize changes in  $V_T$ .

In relation to breathing pattern time variables, patients increased  $T_i$  more than  $T_e$ , during both exercises, resulting in higher  $T_i/T_{tot}$  than healthy controls. This result is in accordance to Hart et al (2004) (29), who evaluated breathing pattern of patients with HF during an endurance test with inspiratory muscle loading. According to these authors, changes in  $T_i/T_{tot}$  may be an indirect result of a reduction in pulmonary dynamic compliance presented in patients with HF, which would increase the central inspiratory motor output and modify breathing strategy (29). In addition, ratio  $T_i/T_e$  was reversed in present patients during both exercises, which limits inspiratory muscle rest time and exposes them a higher relative load. On the other hand, present results showed similar values of  $T_i/T_{tot}$  comparing with Johnson et al (1996) (30), who evaluated patients with HF during inspiratory threshold loading with different loads and flows. According to authors, the threshold valve opens at pressures several centimetres of water below the intended opening pressure, and at low flow rates the pressure remains below the set pressure. At high pressures and high flow rates, the measured

opening pressure across the trainer valve exceeds the set value. Therefore,  $T_i/T_{tot}$  increases during inspiratory exercises in patients could be related to inspiratory muscle weakness, in attempt to reduce inspiratory flow and work (30;31). However, the present study did not show significant correlations between these variables.

There is good evidence that lung and respiratory muscle function are impaired in HF (32;33). The present study demonstrated significant lower values of FVC,  $FEV_1$  and MIP in patients than in healthy controls. Moreover, as is typical of a restrictive pattern of pulmonary dysfunction, both FVC and  $FEV_1$  were reduced proportionately resulting in a normal  $FEV_1/FVC$  ratio, attesting to the absence of coexisting obstructive pulmonary disease (34). These results are similar to the findings of Olson et al (2007) (34). They evaluated patients with HF divided in two groups, NYHA I/II and NYHA III/IV, compared them with a healthy control group and observed that values of FVC and  $FEV_1$  were significant lower in patients independently of functional class. Furthermore, authors found an inverse correlation between spirometric variables and the cardiac area measured by cardiothoracic indices. In the present study, all the patients showed higher values of left ventricular diameters, compared to reference values on echocardiogram. Therefore, it was suggested that increased cardiac volume may play an important role in reducing intrathoracic space and limiting the ability of the lungs to fill adequately (34).

In regard to inspiratory muscle function, the present study showed a mean of 56.88% of predicted MIP in Brazilian patients with HF, quite similar to Chiappa et al (2008) (6), which found a mean of 60.00%. However, this percentage can vary substantially among centers (2). Several mechanisms have been suggested to contribute for respiratory

muscle dysfunction in HF, as a general atrophic loss of skeletal muscle mass (32). Even in early stages of the disease, peripheral muscle function is impaired due to structural and metabolic abnormalities of skeletal myocytes (32). In other stages, physical deconditioning can also contribute to loss of skeletal muscle mass. In fact, present patients showed reduced physical activity scores in HAP than healthy controls. Hammond et al (1990) (35) also proposed that blood flow reduction should be responsible for the inspiratory muscle weakness, which can be relevant for patients with systolic dysfunction, as in the present study.

On the other hand, several studies have postulated that impaired lung function in patients with HF can be the result of recurrent episodes of elevated pulmonary capillary pressure leading to pulmonary edema and capillary stress fracture, which produces lung fibrosis (33). In accordance to Guazzi (2008) (36), changes in gas transfer not only reflect the underlying lung tissue damage but also bring independent prognostic information and may influence the pathogenesis of exercise limitation and ventilatory abnormalities. Filusch et al (2010) (32) speculated that pulmonary hypertension contributing to inefficient ventilation either plays a role in the development of inspiratory muscle weakness. However, the present study does not provide data about pulmonary capillary pressure in the evaluated patients.

Although some studies have shown that diaphragmatic breathing in association with inspiratory exercise provided positive effects after inspiratory muscle training, acute effects in the chest wall kinematics and breathing pattern to patients with HF were similar without that association. Therefore, evaluation of aspects like diaphragmatic pressure during exercise, energy expenditure, lung ventilation distribution and comfort

reported by patient became relevant to therapeutic decision process, which is a study limitation. On the other hand, healthy individuals presented changes in chest wall kinematics during inspiratory exercise with diaphragmatic breathing and may be benefited of volume dislocation to abdominal compartment. Therefore, it is important to consider that acute effects can result in different outcomes after training. For this reason, authors suggest for future researches clinic trials to compare training effects between both exercises. Furthermore, it seems that patients with HF may have benefices in performance if expiratory time was improved during inspiratory exercise.

## **CONCLUSION**

The present study demonstrated that patients with heart failure NYHA I, II and III present lower rib cage motion than controls during quiet breathing. Inspiratory exercise did not alter chest wall kinematics in these patients, independently of the association with diaphragmatic breathing, which can be related to lung restrictions and inspiratory muscle weakness impairing the movement of rib cage. However, in healthy controls, the association of diaphragmatic breathing to inspiratory exercise favored the movement of abdominal compartment possibly reflecting a better response to the maneuver.

Table 1. Characteristics of participants.

Characteristic	Heart failure (n = 13)	Healthy controls (n=13)
Age ( <i>yr</i> ), mean (SD)	50.54 (7.63)	45.69 (6.79)
Weight ( <i>kg</i> ), mean (SD)	70.66 (12.64)	69.80 (9.60)
Height ( <i>m</i> ), mean (SD)	1.68 (0.07)	1.70 (0.09)
BMI ( <i>kg/m<sup>2</sup></i> ), mean (SD)	24.75 (2.96)	24.24 (1.81)
LVEF (%), mean (SD)	33.46 (9.36)	-
LVSD ( <i>mm</i> ), mean (SD)	53.25 (6.82)	-
LVDD ( <i>mm</i> ), mean (SD)	65.25 (7.50)	-
Etiology of heart failure, n (%)		
Isquemic	3 (23.08)	-
Non-isquemic	10 (77.92)	-
Drugs, number of users (%)		
Beta-blockers	12.0 (92.31)	-
ACE inhibitors	9.0 (69.23)	-
Diuretics	8.0 (61.54)	-
Digoxin	4.0 (30.77)	-
FVC ( <i>L</i> ), mean (SD)	3.43 (0.80)	4.21 (0.66)*
FVC (% <i>pred</i> ), mean (SD)	76.17 (18.00)	89.71 (6.95)*
FEV <sub>1</sub> ( <i>L</i> ), mean (SD)	2.70 (0.63)	3.36 (0.52)**
FEV <sub>1</sub> (% <i>pred</i> ), mean (SD)	73.73 (16.47)	90.87 (16.12)*
FEV <sub>1</sub> /FVC ( <i>ratio</i> ), mean (SD)	0.79 (0.06)	0.80 (0.04)
MIP ( <i>cmH<sub>2</sub>O</i> ), mean (SD)	65.77 (28.13)	109.62 (16.13)**
MIP (% <i>pred</i> ), mean (SD)	56.88 (23.57)	93.01 (13.69)**
AAS ( <i>value</i> ), mean (SD)	67.69 (16.12)	89.15 (4.20)**

BMI = body mass index; LVEF = left ventricular ejection fraction; LVSD = left ventricular systolic diameter; LVDD = left ventricular diastolic diameter; HF = heart failure; FEV<sub>1</sub>= forced expiratory volume on the first second; FVC = forced vital capacity; MIP = maximal inspiratory pressure; AAS = adjusted activity score.

\* p<0.05 for unpaired Student *t* test.

\*\* p<0.01 for unpaired Student *t* test.

Table 2. Chest wall volumes (n=26).

Variable	Groups and conditions					
	QB		IE		IE+DB	
	HF (n = 13)	HC (n = 13)	HF (n = 13)	HC (n = 13)	HF (n = 13)	HC (n = 13)
$V_{RCp}(\%)$	27.77(9.30)	34.28(8.07)	32.10(11.82) <sup>#</sup>	42.99(11.56) <sup>*</sup>	28.08(14.51)	26.73(13.42) <sup>*§</sup>
$V_{RCa}(\%)$	17.21(3.57)	19.92(5.60)	16.57(6.95) <sup>#</sup>	22.58(4.82) <sup>*</sup>	15.82 (4.30)	17.80(13.29)
$V_{RC}(\%)$	44.97(8.87) <sup>#</sup>	54.21(11.08)	48.67(15.50) <sup>#</sup>	65.57(12.70) <sup>*</sup>	43.90(15.39)	44.53(24.64) <sup>§</sup>
$V_{AB}(\%)$	55.03(8.87) <sup>#</sup>	45.79(11.09)	51.33(15.50) <sup>#</sup>	34.43(12.69) <sup>*</sup>	56.10(15.39)	55.47(24.64) <sup>§</sup>
$V_{cw_{ei}}(L)$	25.92(5.58)	24.68(3.79)	26.72(5.60) <sup>*</sup>	25.33(4.01) <sup>*</sup>	26.63(5.42) <sup>*</sup>	25.04(3.90) <sup>§</sup>
$V_{cw_{ee}}(L)$	25.40(5.52)	24.08(3.76)	25.46(5.66)	23.82(4.03)	25.33 (5.52)	23.52(3.98) <sup>*§</sup>

Values are expressed as mean (standard deviation). HF: patients with heart failure; HC: healthy controls; IE: exercise with threshold; DB: diaphragmatic breathing;  $V_{RCp}$ : tidal volume of the pulmonary rib cage;  $V_{RCa}$ : tidal volume of the abdominal rib cage;  $V_{AB}$ : tidal volume of the abdomen;  $V_{cw_{ei}}$ : end-inspiratory volume of the chest wall;  $V_{cw_{ee}}$ : end-expiratory volume of the chest wall.

\*  $p < 0.05$  (from QB).

§  $p < 0.05$  (between IE and IE+DB).

#  $p < 0.05$  (between groups on each condition).

Table 3. Breathing pattern (n=26).

Variable	Groups and conditions					
	QB		IE		IE+DB	
	HF (n = 13)	HC (n = 13)	HF (n = 13)	HC (n = 13)	HF (n = 13)	HC (n = 13)
$V_T$ (L)	0.52(0.14)	0.60(0.27)	1.26(0.46)*	1.51(0.40)*	1.30(0.40)*	1.51(0.42)*
$V_E$ (L/min)	8.54(2.00)	8.70(2.05)	14.97(4.99)*	17.99(6.59)*	14.66(3.32)*	16.45(5.65)*
$f$ (b/min)	17.22(4.93)	15.72(3.02)	12.21(2.12)*	12.12(4.01)*	11.81(2.94)*	11.51(4.62)*
$V_T/Ti$ (L/s)	0.35(0.08)	0.36(0.07)	0.50 (0.20)*	0.73(0.36)*	0.49(0.14)*	0.61(0.29)*
Ti/Ttot (s)	40.87(3.20)	40.10(3.86)	52.15(7.50) <sup>#</sup> *	44.57(10.31)	51.54(7.46)*	47.41(8.69)*
Ti (s)	1.53(0.37)	1.62(0.44)	2.65(0.61)*	2.43(0.89)*	2.81(0.86)*	2.82(1.02)*
Te (s)	2.28(0.73)	2.42(0.57)	2.46(0.65)	3.11(1.35)	2.60(0.71)	3.27(1.91)

Values are expressed as mean (standard deviation). HF: patients with heart failure; HC: healthy controls; DB: diaphragmatic breathing;  $V_T$ : tidal volume;  $V_E$ : minute ventilation;  $f$ : breathing frequency; Ti: inspiratory time; Te: expiratory time;  $V_T/Ti$ : mean inspiratory flow; Ti/Ttot: duty cycle.

\*  $p < 0.05$  (from QB).

<sup>#</sup>  $p < 0.05$  (between groups on each condition).

Table 4. Correlation between characteristics of participants and ventilatory variables during quiet breathing and inspiratory exercise (n=26).

Variables	Characteristics of participants			
	MIP ( <i>cmH<sub>2</sub>O</i> )	MIP (% <i>pred</i> )	FVC ( <i>L</i> )	FEV <sub>1</sub> ( <i>L</i> )
<b>Quiet breathing</b>				
V <sub>T</sub> ( <i>L</i> )	0.429 (0.029)*	0.396 (0.045)*	0.391 (0.048)*	0.314 (0.118)
V <sub>RCp</sub> (%)	0.425 (0.031)*	0.417 (0.034)*	0.275 (0.174)	0.279 (0.168)
V <sub>AB</sub> (%)	-0.508 (0.008)**	-0.485 (0.012)*	-0.346 (0.083)	-0.356 (0.074)
Ti/Ttot ( <i>s</i> )	-0.128 (0.533)	-0.131 (0.524)	0.232 (0.254)	0.164 (0.424)
<b>Inspiratory exercise</b>				
V <sub>T</sub> ( <i>L</i> )	0.225 (0.270)	0.233 (0.252)	0.239 (0.239)	0.211 (0.302)
V <sub>RCp</sub> (%)	0.410 (0.037)*	-0.392 (0.047)*	0.367 (0.065)	0.366 (0.066)
V <sub>AB</sub> (%)	-0.509 (0.008)**	-0.481 (0.013)*	-0.485 (0.012)*	-0.47 (0.015)*
Ti/Ttot ( <i>s</i> )	-0.342 (0.087)	-0.350 (0.080)	-0.144 (0.484)	-0.122 (0.554)

Values are expressed as Pearson's correlation coefficient - r (p value). MIP: maximal inspiratory pressure; FVC: forced vital capacity; VEF<sub>1</sub>: forced expiratory volume in one second; V<sub>T</sub>: tidal volume; V<sub>RCp</sub>: tidal volume of the pulmonary rib cage; V<sub>AB</sub>: tidal volume of the abdomen; Ti/Ttot: duty cycle.

\* p<0.05.

\*\* p<0.01.



FIGURE 1 – Participant positioning during inspiratory exercise and data collection.

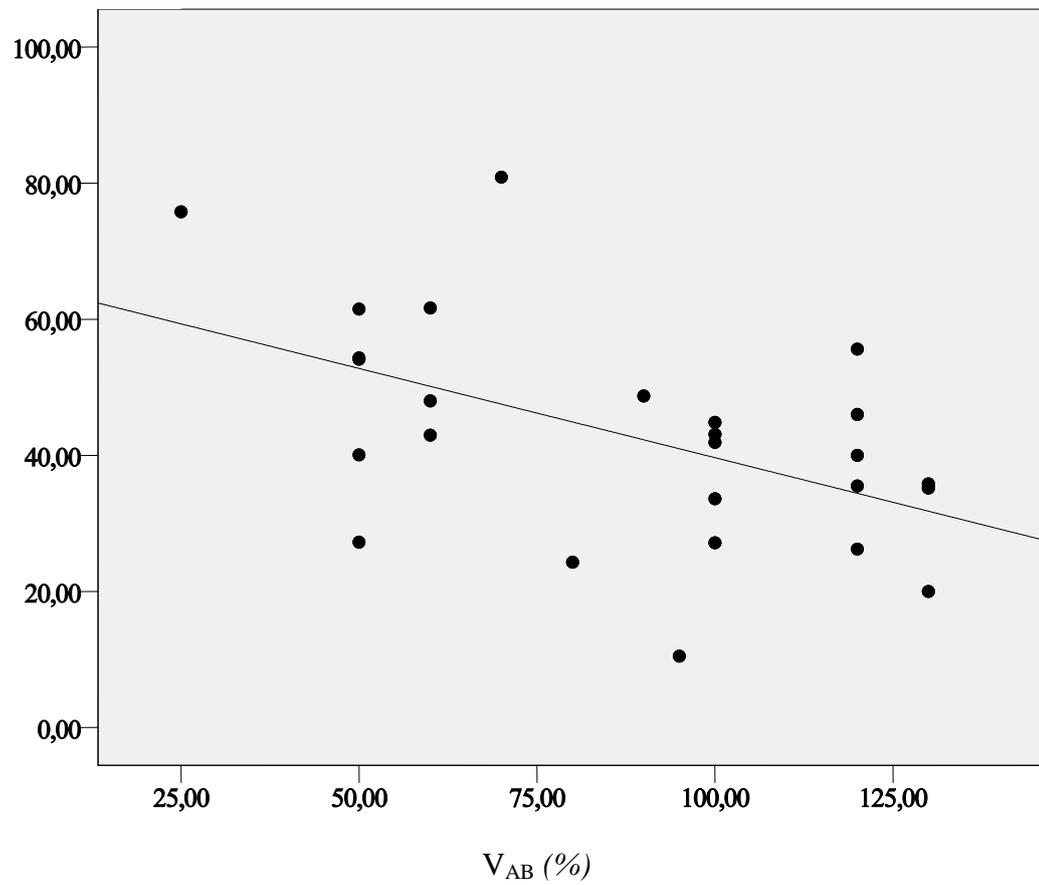
MIP ( $cmH_2O$ )

FIGURE 2 – Correlation between inspiratory muscle strength and abdomen volume during exercise with inspiratory threshold loading.  $r: -0.509$ ;  $p$  value:  $0.008$ .

**REFERENCES**

- (1) Evans SA, Watson L, Hawkins M, Cowley AJ, Johnston ID, Kinnear WJ. Respiratory muscle strength in chronic heart failure. *Thorax* 1995 Jun;50(6):625-8.
- (2) Forgiarini LA, Jr., Rubleski A, Douglas G, Tieppo J, Vercelino R, Dal BA, et al. Evaluation of respiratory muscle strength and pulmonary function in heart failure patients. *Arq Bras Cardiol* 2007 Jul;89(1):36-41.
- (3) Mancini DM, Henson D, LaManca J, Levine S. Evidence of reduced respiratory muscle endurance in patients with heart failure. *J Am Coll Cardiol* 1994 Oct;24(4):972-81.
- (4) Mancini DM, Henson D, LaManca J, Levine S. Respiratory muscle function and dyspnea in patients with chronic congestive heart failure. *Circulation* 1992 Sep;86(3):909-18.
- (5) Meyer FJ, Zugck C, Haass M, Otterspoor L, Strasser RH, Kubler W, et al. Inefficient ventilation and reduced respiratory muscle capacity in congestive heart failure. *Basic Res Cardiol* 2000 Aug;95(4):333-42.
- (6) Chiappa GR, Roseguini BT, Vieira PJ, Alves CN, Tavares A, Winkelmann ER, et al. Inspiratory muscle training improves blood flow to resting and exercising limbs in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2008 Apr 29;51(17):1663-71.
- (7) Dall'Ago P, Chiappa GR, Guths H, Stein R, Ribeiro JP. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness: a randomized trial. *J Am Coll Cardiol* 2006 Feb 21;47(4):757-63.
- (8) Padula CA, Yeaw E, Mistry S. A home-based nurse-coached inspiratory muscle training intervention in heart failure. *Appl Nurs Res* 2009 Feb;22(1):18-25.
- (9) Martins DM. Ativação muscular inspiratória durante exercício com limiar de carga inspiratória em pacientes com Insuficiência Cardíaca. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional: Universidade Federal de Minas Gerais; 2009.
- (10) Cahalin LP, Braga M, Matsuo Y, Hernandez ED. Efficacy of diaphragmatic breathing in persons with chronic obstructive pulmonary disease: a review of the literature. *J Cardiopulm Rehabil* 2002 Jan;22(1):7-21.
- (11) Carmo MM, Barbara C, Ferreira T, Branco J, Ferreira S, Rendas AB. Diaphragmatic function in patients with chronic left ventricular failure. *Pathophysiology* 2001 Aug;8(1):55-60.

- (12) Caruana L, Petrie MC, McMurray JJ, MacFarlane NG. Altered diaphragm position and function in patients with chronic heart failure. *Eur J Heart Fail* 2001 Mar;3(2):183-7.
- (13) Hughes PD, Polkey MI, Harrus ML, Coats AJ, Moxham J, Green M. Diaphragm strength in chronic heart failure. *Am J Respir Crit Care Med* 1999 Aug;160(2):529-34.
- (14) Iversen KK, Kjaergaard J, Akkan D, Kober L, Torp-Pedersen C, Hassager C, et al. The prognostic importance of lung function in patients admitted with heart failure. *Eur J Heart Fail* 2010 Jul;12(7):685-91.
- (15) Tzani P, Piepoli MF, Longo F, Aiello M, Serra W, Maurizio AR, et al. Resting lung function in the assessment of the exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Am J Med Sci* 2010 Mar;339(3):210-5.
- (16) Souza AC, Magalhaes LC, Teixeira-Salmela LF. [Cross-cultural adaptation and analysis of the psychometric properties in the Brazilian version of the Human Activity Profile]. *Cad Saude Publica* 2006 Dec;22(12):2623-36.
- (17) American College of Sports Medicine. Triagem de saúde e estratificação dos riscos. In: Guanabara Koogan, editor. *Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição*. Rio de Janeiro: 2003. p. 15-21.
- (18) Gold PM. The 2007 GOLD Guidelines: a comprehensive care framework. *Respir Care* 2009 Aug;54(8):1040-9.
- (19) Pereira CA, Sato T, Rodrigues SC. New reference values for forced spirometry in white adults in Brazil. *J Bras Pneumol* 2007 Aug;33(4):397-406.
- (20) Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res* 1999 Jun;32(6):719-27.
- (21) Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14(5):377-81.
- (22) Romagnoli I, Lanini B, Binazzi B, Bianchi R, Coli C, Stendardi L, et al. Optoelectronic plethysmography has improved our knowledge of respiratory physiology and pathophysiology. *Sensors* 2008;8:7951-2.
- (23) Aliverti A, Pedotti A. Opto-electronic plethysmography. *Monaldi Arch Chest Dis* 2003 Jan;59(1):12-6.
- (24) Cala SJ, Kenyon CM, Ferrigno G, Carnevali P, Aliverti A, Pedotti A, et al. Chest wall and lung volume estimation by optical reflectance motion analysis. *J Appl Physiol* 1996 Dec;81(6):2680-9.

- (25) Verschakelen JA, Demedts MG. Normal thoracoabdominal motions. Influence of sex, age, posture, and breath size. *Am J Respir Crit Care Med* 1995 Feb;151(2 Pt 1):399-405.
- (26) Wilson TA, De TA. Diagrammatic analysis of the respiratory action of the diaphragm. *J Appl Physiol* 2010 Feb;108(2):251-5.
- (27) Aliverti A, Cala SJ, Duranti R, Ferrigno G, Kenyon CM, Pedotti A, et al. Human respiratory muscle actions and control during exercise. *J Appl Physiol* 1997 Oct;83(4):1256-69.
- (28) Witt C, Borges AC, Haake H, Reindl I, Kleber FX, Baumann G. Respiratory muscle weakness and normal ventilatory drive in dilative cardiomyopathy. *Eur Heart J* 1997 Aug;18(8):1322-8.
- (29) Hart N, Kearney MT, Pride NB, Green M, Lofaso F, Shah AM, et al. Inspiratory muscle load and capacity in chronic heart failure. *Thorax* 2004 Jun;59(6):477-82.
- (30) Johnson PH, Cowley AJ, Kinnear WJ. Evaluation of the THRESHOLD trainer for inspiratory muscle endurance training: comparison with the weighted plunger method. *Eur Respir J* 1996 Dec;9(12):2681-4.
- (31) Reid WD, Dechman G. Considerations when testing and training the respiratory muscles. *Phys Ther* 1995 Nov;75(11):971-82.
- (32) Filusch A, Ewert R, Altesellmeier M, Zugck C, Hetzer R, Borst MM, et al. Respiratory muscle dysfunction in congestive heart failure-The role of pulmonary hypertension. *Int J Cardiol* 2010 May 3.
- (33) Kee K, Naughton MT. Heart failure and the lung. *Circ J* 2010 Nov 25;74(12):2507-16.
- (34) Olson TP, Beck KC, Johnson BD. Pulmonary function changes associated with cardiomegaly in chronic heart failure. *J Card Fail* 2007 Mar;13(2):100-7.
- (35) Hammond MD, Bauer KA, Sharp JT, Rocha RD. Respiratory muscle strength in congestive heart failure. *Chest* 1990 Nov;98(5):1091-4.
- (36) Guazzi M. Alveolar gas diffusion abnormalities in heart failure. *J Card Fail* 2008 Oct;14(8):695-702.