

Efeito da estimulação diafragmática elétrica transcutânea em parâmetros respiratórios de pacientes com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

The effect of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation on respiratory parameters of Chronic Obstructive Pulmonary Disease patients

Efecto de la estimulación diafragmática eléctrica transcutánea en parámetros respiratorios de pacientes con Enfermedad Pulmonar Obstrutiva Crónica

Karina Maria Cancelliero-Gaiad¹, Daniela Ike¹, Dirceu Costa^{1,2}

RESUMO | O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da estimulação diafragmática elétrica transcutânea (EDET) sobre a força e endurance muscular respiratória, expansibilidade toracoabdominal e variáveis espirométricas de indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). Oito pacientes com DPOC submetidos à fisioterapia respiratória receberam tratamento com EDET duas vezes por semana durante 06 semanas, totalizando 12 sessões. Antes e depois do tratamento eles foram avaliados pelos seguintes parâmetros: pressão inspiratória máxima (P_{Imáx}); pressão expiratória máxima (PE_{máx}); cirtometria axilar, xifoideana e abdominal; e espirometria. Após o teste Shapiro-Wilk, o teste t de Student pareado e o teste Mann-Whitney foram aplicados para a comparação dos dois estágios (antes e após a EDET). Para a comparação dos estágios antes, após (pós-1ª sessão), 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semana, a ANOVA seguida do teste de Tukey foram aplicados (p<0,05). De acordo com os resultados obtidos, foi observado que a EDET promoveu aumento significativo em: P_{Imáx} (47,3%); PE_{máx} (21,7%); cirtometria axilar (55,5%); xifoideana (59,2%) e abdominal (74,2%), mas não nas variáveis espirométricas. Na análise longitudinal (nas 4 semanas seguintes) o aumento encontrado na P_{Imáx} e na expansibilidade toracoabdominal foi mantido. Assim conclui-se que a EDET promoveu melhora na força muscular respiratória e na expansibilidade toracoabdominal em pacientes com DPOC sem alteração nas variáveis espirométricas; e alguns parâmetros foram mantidos nas quatro semanas seguintes.

Descritores | Estimulação Elétrica; Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica.

ABSTRACT | The objective of this study was to evaluate the effect of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation (TEDS) on respiratory muscle strength and endurance, thoracic-abdominal expansibility and spirometric variables of subjects with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). Eight COPD patients submitted to respiratory physiotherapy received treatment with TEDS twice a week for 06 weeks, totaling 12 sessions. Before and after TEDS they were evaluated by the following parameters: maximal inspiratory pressure (MIP); maximal expiratory pressure (MEP); axillary, xiphoid and abdominal cyrtometry; and spirometry. After the Shapiro-Wilk test, the paired Student's t test and the Mann-Whitney test were applied for comparison of the two stages (before and after TEDS). For comparison of the before, after (post-1st session), 1st, 2nd, 3rd, 4th week stages, the ANOVA followed by Tukey test were applied (p<0.05). In accordance with the results obtained it was observed that TEDS promoted significant increase in: MIP (47.3%); MEP (21.7%); axillary (55.5%); xiphoid (59.2%) and abdominal (74.2%) cyrtometry, but not in the spirometric variables. In longitudinal analysis (in the 4 following weeks) the increase found in MIP and in thoracic-abdominal expansibility was maintained. Thus, we conclude that TEDS promoted improvement in respiratory muscle strength and thoracic-abdominal expansibility in COPD patients without alterations in spirometric variables, and some parameters were maintained in the following 4 weeks.

Keywords | Electric Stimulation; Pulmonary Disease, Chronic Obstructive.

Estudo desenvolvido na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - São Carlos (SP) e Universidade Nove de Julho (UNINOVE) - São Paulo (SP), Brasil.

¹Laboratório de Fisioterapia Respiratória do Programa de Pós-graduação em Fisioterapia da UFSCar - São Carlos (SP), Brasil.

²Laboratório de Avaliação Funcional respiratória do Programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação da UNINOVE - São Paulo (SP), Brasil.

Endereço para correspondência: Dirceu Costa - Programa de Pós-graduação em Ciência da Reabilitação, UNINOVE - Rua Vergueiro, 235 - CEP: 01504-001 - São Paulo (SP), Brasil - E-mail: dcosta@uninove.br; dirceu@ufscar.br
Apresentação: fev. 2013 - Aceito para publicação: out. 2013 - Fonte de financiamento: PNPd/CNPq - Conflito de interesses: nada a declarar - Parecer de aprovação no Comitê de Ética nº 114/2009.

RESUMEN | El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la estimulación diafragmática eléctrica transcutánea (EDET) sobre la fuerza y endurance muscular respiratoria, expansibilidad toracoabdominal y variables espirométricas de individuos con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Ocho pacientes con EPOC sometidos a fisioterapia respiratoria recibieron tratamiento con EDET dos veces por semana durante 6 semanas, totalizando 12 sesiones. Antes y después del tratamiento fueron evaluados por los siguientes parámetros: presión inspiratoria máxima (PI_{máx}); presión expiratoria máxima (PE_{máx}); cirtometría axilar, xifoidea y abdominal; y espirometría. Después del test Shapiro-Wilk, el test t de Student pareado y el test Mann-Whitney fueron aplicados para la comparación de los dos niveles (antes y después de la EDET). Para la comparación de los niveles

antes, después (post-1a sesión), 1ª, 2ª, 3ª y 4ª semana, la ANOVA seguida del test de Tukey fueron aplicados ($p < 0,05$). De acuerdo con los resultados obtenidos, fue observado que la EDET promovió aumento significativo en: PI_{máx} (47,3%); PE_{máx} (21,7%); cirtometría axilar (55,5%); xifoidea (59,2%) y abdominal (74,2%), pero no en las variables espirométricas. En el análisis longitudinal (en las 4 semanas siguientes) el aumento encontrado en la PI_{máx} y en la expansibilidad toracoabdominal fue mantenido. Así se concluye que la EDET promovió mejora en la fuerza muscular respiratoria y en la expansibilidad toracoabdominal en pacientes con EPOC sin alteración en las variables espirométricas; y algunos parámetros fueron mantenidos en las cuatro semanas siguientes.

Palabras claves | Estimulación Eléctrica; Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.

INTRODUÇÃO

Entre os diferentes aspectos da disfunção muscular esquelética, a regulação da massa muscular tem atraído a atenção de muitos grupos de pesquisadores¹ devido à sua relevância clínica, particularmente em pacientes com DPOC e outras doenças crônicas. Especificamente na DPOC, a disfunção muscular inspiratória está associada a consequências clínicas desfavoráveis, como dispneia, insuficiência respiratória com hipercapnia e até mesmo mortalidade precoce^{2,3}, justificando a exploração de técnicas que podem preveni-la.

De acordo com Testelmans *et al.*⁴, a fraqueza muscular respiratória em pacientes com DPOC é clinicamente relevante, uma vez que a pressão inspiratória máxima (PI_{máx}) está correlacionada à sobrevivência destes pacientes. Alguns estudos têm demonstrado que uma adaptação ocorre no músculo diafragma nesta condição clínica, caracterizada por um aumento nas fibras do tipo I e uma redução nas fibras do tipo II^{4,8}, se tornando mais resistente à fadiga, e isto é devido ao aumento na sua atividade nesta condição clínica^{9,10}. Porém, devido a esta mudança, uma redução também ocorre na geração de força muscular do diafragma, com redução no conteúdo de miosina e na sensibilidade ao cálcio, os quais contribuem para a fraqueza muscular na ativação submáxima¹¹.

Um dos recursos da fisioterapia respiratória que pode contribuir para a melhora da força muscular inspiratória é a estimulação diafragmática elétrica transcutânea (EDET). Com objetivo de obter melhor conhecimento sobre este recurso que age diretamente no músculo diafragma, alguns estudos têm sido realizados tanto

em animais^{12,13} quanto em humanos, por exemplo, no período pós-cirúrgico de gastroplastia pela obesidade¹⁴. Porém, não foram encontrados estudos com a aplicação da EDET em pacientes com DPOC, e como este recurso poderia ser utilizado em pacientes com fraqueza muscular inspiratória, isto é justificável para conduzir estudos que podem mostrar evidências dos benefícios desta técnica nestes pacientes.

Baseado no exposto, este estudo objetivou avaliar o efeito da EDET na força muscular respiratória, expansibilidade toracoabdominal e em variáveis espirométricas em pacientes com DPOC, em curto prazo (pós-tratamento) e após quatro semanas (efeito residual). A hipótese é que a EDET melhore a força muscular respiratória, principalmente inspiratória pelo fato de a EDET estimular a contração do músculo diafragma.

METODOLOGIA

Amostra

Um total de 18 pacientes com diagnóstico de DPOC (diagnóstico aceito pelos critérios de acordo com Rabe *et al.*¹⁵) foram selecionados, dos quais oito foram incluídos na amostra do estudo. O número de indivíduos foi selecionado em oito com *power* da amostra em 80%.

De todos os pacientes selecionados, aqueles com idade acima de 80 anos (n=03), que utilizavam oxigenoterapia domiciliar (n=02), marcapasso cardíaco (n=02), com câncer (n=01) e doença gastrointestinal (n=02)

foram excluídos. Outros critérios de exclusão foram: pacientes com histórico recente de exacerbação da DPOC ou infecção do trato respiratório, hipertensão arterial não controlada, rinite alérgica e tuberculose. Os pacientes com DPOC tiveram a doença documentada, incluindo terapia medicamentosa relacionada ao sistema respiratório, e todos eram fumantes ou ex-fumantes, nenhum deles tendo característica clínica ou fisiológica de asma brônquica.

O grupo de DPOC selecionado estava clinicamente estável e participava de um programa de Reabilitação Pulmonar (RP), frequentando a fisioterapia respiratória duas vezes por semana. Este programa consistiu de exercícios de treinamento de força e *endurance* (membros superiores e inferiores) associados à reeducação respiratória, alongamento, exercícios aeróbios, orientação de atividades de vida diária e de técnicas de conservação de energia. Destaca-se que o treinamento muscular respiratório não foi realizado, nem no período de intervenção da EDET, nem no período pós-EDET. Todos os pacientes participavam do programa há pelo menos um ano.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da universidade (Protocolo nº 114/2009) e os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido sobre a participação na pesquisa.

Intervenção

Para o procedimento da EDET, o modelo Phrenics do equipamento Dualpex 961 (Quark®; Brazil) foi utilizado. A corrente elétrica utilizada foi pulsada, bifásica e simétrica, com os seguintes parâmetros: frequência de 30 Hz (ciclos por segundo); largura de fase de 0,4 ms, tempo de subida de 0,7 segundos e frequência respiratória de 14 respirações por minuto. A intensidade da corrente foi a mínima requerida para obter a contração muscular do diafragma com uma sensação agradável aos indivíduos¹⁶.

Para esta proposta, quatro eletrodos de silicone-carbono (3x5 cm) foram colocados na pele (previamente limpa) com gel e micropore (3M®). Dois eletrodos foram colocados em cada lado do tórax, especificamente no 3º espaço intercostal próximo à linha média do esterno e no 7º espaço intercostal, na linha axilar média. Cada sessão teve a duração de 30 minutos e os pacientes foram instruídos a coordenar a respiração (inspiração) com a contração gerada pela corrente elétrica.

Os indivíduos permaneceram na posição semi-Fowler (30°) com os membros inferiores estendidos e os membros superiores posicionados ao longo do corpo.

A intervenção foi realizada na frequência de duas vezes por semana durante seis semanas, totalizando 12 sessões.

Avaliação

Antes e após a intervenção, as seguintes avaliações foram realizadas:

- Força muscular respiratória: avaliada pela PImáx e PEmáx com um manovacuômetro analógico (Ger-Ar®), escalonado em cmH₂O, com variações de ± 300 cmH₂O, equipado com um adaptador de bucais, contendo um orifício de aproximadamente 2 mm de diâmetro, para evitar a elevação da pressão intraoral, gerada pela contração indesejada dos músculos da parede bucal, impedindo com isso a interferência nos resultados, de acordo com as recomendações da literatura^{17,18}. Os indivíduos permaneceram na posição sentada, estando o tronco em um ângulo de 90° com o quadril, e utilizando clipe nasal em toda a manobra. A medida da PImáx foi obtida a partir de uma inspiração máxima e sustentada por no mínimo dois segundos, após uma expiração máxima, ao nível do Volume Residual (VR). Enquanto a PEmáx foi obtida a partir de um esforço expiratório máximo, após uma inspiração máxima, ao nível da Capacidade Pulmonar Total (CPT), também com sustentação mínima de dois segundos¹⁸. Foram realizadas no mínimo três medidas tecnicamente satisfatórias de cada pressão, ou seja, evitando-se o vazamento de ar pela boca ou nariz, e com valores próximos entre si (sem exceder 10% entre eles), sendo considerado para análise estatística o maior valor obtido em cada pressão mensurada¹⁹.
- Expansibilidade toracoabdominal: avaliada pela cirtometria (axilar, xifoideana e abdominal), por meio de uma fita métrica. Foram considerados três pontos anatômicos de referência — prega axilar, apêndice xifóide e linha umbilical e o examinador solicitou aos pacientes a realização da inspiração e expiração máximas para cada ponto durante três vezes. Os registros foram feitos em centímetros²⁰.
- Espirometria: realizada com um espirômetro portátil da marca Easy One®, pelo qual as seguintes variáveis foram obtidas: Capacidade Vital Lenta (CV), Capacidade Vital Forçada (CVF), Ventilação Voluntária Máxima (VVM, *endurance* muscular), Volume Expiratório Forçado no Primeiro Segundo (VEF₁) e o índice VEF₁/CVF. As medidas foram obtidas com a utilização do clipe nasal. Para cada manobra foram realizadas três medidas aceitáveis e

reprodutíveis de acordo com os guias da American Thoracic Society²¹.

Os voluntários permaneceram sentados na 1ª e 3ª avaliação, e em pé na 2ª avaliação.

O protocolo experimental pode ser observado na Figura 1.

Análise estatística

Após a aplicação do teste de normalidade *Shapiro-Wilk*, o seguinte procedimento foi realizado: comparação de duas fases, pré e pós-intervenção, utilizando o teste t pareado de Student (paramétrico) ou o teste *Mann-Whitney* (não paramétrico), dependendo dos resultados do teste de normalidade; comparação das fases antes, após (pós-intervenção), após 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semana da intervenção, utilizando o teste paramétrico ANOVA One-Way seguido do teste de Tukey. O nível de significância utilizado foi 5% ($p < 0,05$) e o *software* utilizado foi o Graph Pad Prism 5®.

RESULTADOS

As características gerais e respiratórias dos pacientes com DPOC estão apresentadas na Tabela 1.

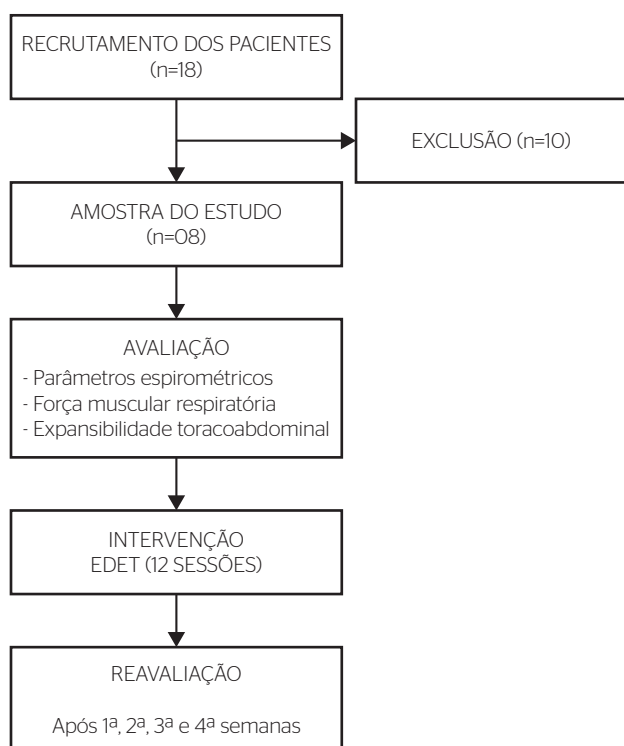


Figura 1. Protocolo experimental

Após a intervenção com EDET, foi observado um aumento nos valores da força muscular respiratória (média±DP; cmH₂O), representado por 47,3% na PIMáx (antes: -59,4±17,0; após: -87,5±22,4; $p < 0,001$ comparado com a fase pré) e por 21,7% na PEMáx (antes: 71,9±18,1; após: 87,50±16,0; $p < 0,001$ comparado com a fase pré).

Na avaliação realizada após a intervenção, os valores da PIMáx (cmH₂O) (Figura 2A) continuaram a mostrar o ganho, representado por: 28,4% (-76,3±15,1; $p < 0,001$ comparado com a fase pré) na 1ª semana; 24,2% (-73,8±16,0; $p < 0,01$ comparado com a fase pré) na 2ª semana; 29,5% (-76,9±16,7; $p < 0,001$ comparado com a fase pré) na 3ª semana; e 28,4% (76,3±16,6; $p < 0,001$ comparado com a fase pré) na 4ª semana. Estes são valores percentuais, em comparação com aqueles da fase pré-intervenção.

Os valores da PEMáx (cmH₂O) não se diferiram nas avaliações seguintes quando comparadas com a fase pré (71,9±18,1), porém com diferença da fase pós (87,50±16,0), isto é, com valores menores, nos períodos: 1ª semana (76,9±17,1; $p < 0,05$ comparado com a fase pós); 2ª semana (77,5±19,6; $p < 0,05$ comparado com a fase pós); e 4ª semana (76,9±17,1; $p < 0,05$ comparado com a fase pós), como mostra a Figura 2B.

Com relação à espirometria, não houve diferença na porcentagem do valor predito (% predito) para as variáveis analisadas, entre elas CV (antes: 74,2±18,2; após: 72,9±22,3; $p = 0,65$), CVF (antes: 75,4±18,8; após: 75,1±20,9; $p = 0,95$) e VVM (antes: 50,4±22,1; após: 55,5±30,5; $p = 0,25$).

A análise da expansibilidade toracoabdominal, avaliada pela cirtometria (cm), apresentou diferença, representada por um aumento de 55,5% no nível axilar (antes: 3,6±1,2; após: 5,6±0,4; $p = 0,0004$), 59,2% no

Tabela 1. Variáveis antropométricas e espirométricas do grupo Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (n=08)

Variável	DPOC
Idade (anos)	68,5±6,2
Sexo (M/F)	6/2
Altura (cm)	163,1±14,2
Peso (kg)	67,7±9,0
IMC (kg/m ²)	25,6±3,3
FC (bpm)	84,8±9,9
SpO ₂ (%)	95,6±2,7
Espirometria	
CVF (% predito)	75,4±18,8
VEF ₁ (% predito)	51,2±25,7
VEF ₁ /CVF (% predito)	64,2±16,8

Valores da média±DP (desvio padrão); DPOC: doença pulmonar obstrutiva crônica; M: masculino; F: feminino; IMC: índice de massa corporal; FC: frequência cardíaca (bpm); SpO₂: saturação periférica de oxigênio; CVF: capacidade vital forçada; FEV₁: volume expiratório forçado no primeiro segundo

xifoideano (antes: $2,7 \pm 1,3$; após: $4,3 \pm 1,1$; $p=0,0022$) e 87,1% no abdominal (antes: $3,1 \pm 1,5$; após: $5,8 \pm 1,5$; $p=0,0011$). Nas quatro semanas seguintes estes aumentos foram mantidos nos três níveis.

Não foram encontrados efeitos contralaterais nos indivíduos do estudo.

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo mostraram que a EDET promoveu um aumento na força muscular inspiratória e expiratória, e expansibilidade toracoabdominal em pacientes com DPOC, sem interferir nas variáveis espirométricas. Este aumento na força muscular inspiratória e expansibilidade toracoabdominal foi mantido nas quatro semanas após a conclusão da intervenção.

De acordo com Sarlabous *et al.*²², o músculo diafragma é o principal responsável pela atividade mecânica respiratória. Em pacientes com DPOC, a função muscular respiratória e a função mecânica da cavidade torácica são severamente afetadas. A eficiência muscular (relação entre atividades elétrica e mecânica do músculo) é fortemente reduzida devido às mudanças na configuração do espaço tóraco-diafragmático, produzidas pela doença, e as quais tornam a contração muscular ineficaz, levando à perda de uma grande quantidade de energia.

Essa contração muscular comprometida do diafragma na DPOC pode ser explicada pelos estudos utilizando imagem por ressonância magnética dinâmica, os quais mostraram rebaixamento do diafragma

e limitação do seu movimento e/ou movimento paradoxal nos pacientes quando comparados aos indivíduos saudáveis^{23,24}. De acordo com Iwasawa *et al.*²⁴, o exato mecanismo do movimento paradoxal do músculo diafragma não tem sido completamente entendido, porém, isto pode ser relacionado à reduzida eficiência da contração diafragmática na DPOC.

Além do rebaixamento muscular, vários estudos também têm mostrado que ocorre uma adaptação no músculo diafragma na DPOC, com aumento das fibras do tipo I, tornando-o mais resistente à fadiga. Devido a contínua sobrecarga do músculo causada pela doença, alguns autores^{4,8,11} têm proposto que ocorre uma adaptação, considerada benéfica aos pacientes. Associada a esta alteração no tipo de fibra muscular, ocorre também uma redução na área de secção transversa, em ambas fibras tipo I e tipo II, caracterizando atrofia do músculo diafragma, embora seja um músculo submetido à contínua sobrecarga com aumento nesta atividade⁴.

Levine *et al.*²⁵ estudaram dois pacientes com DPOC grave e concluíram que as fibras do músculo diafragma destes pacientes exibem uma força menor que as fibras de indivíduos saudáveis. Ottenheim *et al.*²⁶ estudaram as fibras do músculo diafragma de oito pacientes com DPOC e concluíram que a força estava reduzida na DPOC quando comparada aos indivíduos saudáveis. Stubbings *et al.*⁵ observaram que na DPOC as fibras do tipo I são aumentadas no músculo diafragma.

Em concordância com os resultados desses autores, os resultados do presente estudo mostraram evidência de fraqueza muscular inspiratória, representada pelos valores de PImáx menores. Em comparação com as

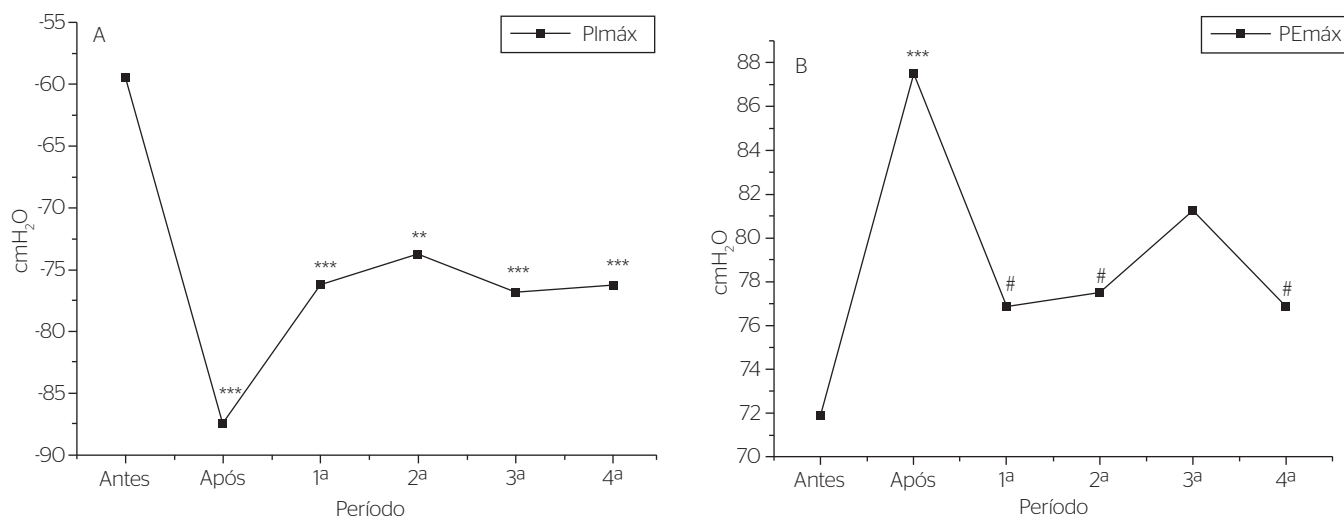


Figura 2. Pressão inspiratória máxima (PImáx; $-\text{cmH}_2\text{O}$) (A) e pressão expiratória máxima (PEmáx; cmH_2O) (B) do grupo Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica tratado com Estimulação Diafragmática Elétrica Transcutânea ($n=08$) nas fases antes e após a intervenção e após a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª semana

duas equações, isto é, aquelas de Neder *et al.*¹⁹ e Costa *et al.*²⁷, para os valores previstos de força muscular respiratória, os pacientes com DPOC deste estudo apresentaram valores reduzidos de PImáx e PEmáx.

Em comparação com as equações de Neder *et al.*¹⁹, a população estudada apresentou o valor de PImáx (cm H₂O) (obtido: -59,4±17,0) abaixo do valor previsto (PImáx prevista: -95,9±6,1) e, comparando as equações de Costa *et al.*²⁷, os valores obtidos foram um pouco menores que os valores previstos (PImáx prevista: -62,9±11,6). A força muscular expiratória, representada pela PEmáx (cmH₂O) (obtida: 71,9±18,1), também mostrou valores menores comparada aos valores previstos por Neder *et al.*¹⁹ (100,5±14,3) e por Costa *et al.*²⁷ (89,9±9,4).

Em vista das alterações musculares, a aplicação da EDET em pacientes com DPOC se torna um importante tratamento alternativo, especialmente porque não somente aumenta a força muscular inspiratória, mas a mantém em um período médio (quatro semanas). Possivelmente este resultado está relacionado com as alterações no tipo de fibra muscular promovido pela estimulação elétrica. Tal fato foi encontrado em um estudo prévio, aplicado em ratos, no qual houve um aumento nas fibras tipo IID do músculo diafragma, com redução nas fibras tipo I, sem alteração das fibras IIA e IIB¹².

Apesar de o efeito da EDET ser especificamente no músculo inspiratório, esta técnica também proporcionou aumento nos valores de PEmáx, embora em período curto (logo após a intervenção), e a estimulação dos músculos expiratórios pelo campo elétrico gerado no local pode ter ocorrido, como também foi encontrado anteriormente por Cancelliero *et al.*¹³ em animais, e que similarmente ocorreu em outros grupos musculares estudados em ratos²⁹.

Associado com o aumento na força muscular respiratória, um aumento na expansibilidade toracoabdominal foi encontrado, avaliado pela cirtometria, uma medida considerada válida para a exploração das dimensões e amplitudes dos movimentos torácicos e abdominais²⁰ e que, apesar de dificilmente ser mencionada na literatura, tem sido amplamente utilizada na prática clínica da fisioterapia com o objetivo de avaliar a mobilidade da caixa torácica e do abdômen durante os movimentos respiratórios²⁹. Nossos resultados estão de acordo com aqueles de Costa *et al.*³⁰, os quais observaram melhora na mobilidade toracoabdominal, avaliada pela cirtometria, em mulheres submetidas à cirurgia de gastroplastia que receberam a aplicação da EDET, a qual exerceu um importante papel na recuperação mecânica dos movimentos torácicos e abdominais no período pós-operatório de cirurgia bariátrica.

De acordo com os resultados de aumento da mobilidade toracoabdominal, pôde-se observar que a EDET também causa efeitos similares a resultados obtidos após um programa de exercícios físicos direcionados ao aumento da mobilidade torácica em DPOC, também avaliada pela cirtometria, de acordo com os resultados do estudo de Paulin *et al.*³¹. Similarmente, esses autores não encontraram alterações nos resultados espirométricos de pacientes com DPOC após um programa de exercícios físicos.

A mobilidade abdominal foi o fator que mais se alterou dentro dos três níveis (axilar, xifoideano e abdominal) estudados por Costa *et al.*³⁰, quando aplicaram um programa de exercícios físicos em obesos, bem como no estudo de Yamaguti *et al.*³² que demonstrou um aumento na mobilidade diafragmática, avaliada pela pletismografia, após a realização de um programa de treinamento de exercícios respiratórios (três séries de 10 exercícios respiratórios em diferentes posicionamentos) em curto prazo em pacientes com DPOC, resultados que estão de acordo com os apresentados neste estudo, uma vez que foi neste nível o maior aumento dentre os três níveis estudados.

Fisiologicamente, as costelas inferiores são mais oblíquas que as costelas superiores, e quanto maior o grau de obliquidade, maior será o movimento que potencialmente elas poderiam fazer. Este aspecto se torna mais importante quando se considera que em pacientes com DPOC essas costelas adotam uma posição oblíqua, portanto mais horizontal devido à hiperinsuflação, naturalmente causada pela perda de elasticidade pulmonar. Portanto, o aumento na mobilidade abdominal observado pode também ser caracterizado como um indicativo de melhora mecânica nos movimentos toracoabdominais, e consequente melhora na ventilação pulmonar.

Embora os autores utilizassem diferentes técnicas nesses estudos, os resultados do presente estudo estão em concordância com eles, enfatizando o ganho na expansibilidade toracoabdominal e na força muscular respiratória, elementos importantes na melhora da mecânica respiratória e na dinâmica dos movimentos respiratórios.

Apesar das dificuldades encontradas em manter a aderência dos pacientes ao tratamento até a conclusão do estudo, caracterizando como uma possível limitação deste estudo, os resultados encontrados fornecem subsídios importantes para sustentar alternativas terapêuticas no processo da reabilitação pulmonar em pacientes com DPOC. A hipótese foi confirmada porque a EDET melhorou a força muscular respiratória, principalmente a inspiratória.

CONCLUSÃO

Em conclusão, e de acordo com os resultados deste estudo, pode-se inferir que a EDET foi mostrada como uma possível alternativa terapêutica para recuperar a condição clínica de fraqueza muscular inspiratória e limitações na mobilidade toracoabdominal, observada em pacientes com DPOC, caracterizando-a como um recurso adicional na reabilitação pulmonar. A manutenção destes resultados por um período de quatro semanas também pode ser entendida como uma indicação forte de manutenção dos resultados ganhos, sugerindo que mais estudos sejam desenvolvidos em períodos maiores de acompanhamento (*follow-up*).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Quark®, aos pacientes voluntários e ao CNPq Processo nº 559018/2008-8 pela bolsa do PNPd.

REFERÊNCIAS

- Doucet M, Dubé A, Joanisse DR, Debigaré R, Michaud A, Paré MÈ, *et al.* Atrophy and hypertrophy signalling of the quadriceps and diaphragm in COPD. *Thorax*. 2010;65(11):963-70.
- Bégin P, Grassino A. Inspiratory muscle dysfunction and chronic hypercapnia in chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis*. 1991; 143(5 Pt 1):905-12.
- Gray-Donald K, Gibbons L, Shapiro SH, Macklem PT, Martin JG. Nutritional status and mortality in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 1996;153(3):961-66.
- Testelmans D, Crul T, Maes K, Agten A, Crombach M, Decramer M, *et al.* Atrophy and hypertrophy signalling in the diaphragm of patients with COPD. *Eur Respir J*. 2010; 35(3):549-56.
- Stubbings AK, Moore AJ, Dusmet M, Goldstraw P, West TG, Polkey MI, *et al.* Physiological properties of human diaphragm muscle fibres and the effect of chronic obstructive pulmonary disease. *J Physiol*. 2008;586(10):2637-50.
- Gosker HR, Wouters EF, van der Vusse GJ, Schols AM. Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease and chronic heart failure: underlying mechanisms and therapy perspectives. *Am J Clin Nutr*. 2000;71(5):1033-47.
- Levine S, Gregory C, Nguyen T, Shrager J, Kaiser L, Rubinstein N, *et al.* Bioenergetic adaptation of individual human diaphragmatic myofibers to severe COPD. *J Appl Physiol*. 2002;92(3):1205-13.
- Levine S, Kaiser L, Leferovich J, Tikunov B. Cellular adaptations in the diaphragm in chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med*. 1997;337(25):1799-806.
- Nguyen T, Rubinstein NA, Vijayasathay C, Rome LC, Kaiser LR, Shrager JB, *et al.* Effect of chronic obstructive pulmonary disease on calcium pump ATPase expression in human diaphragm. *J Appl Physiol*. 2005;98(6):2004-10.
- Bellemare F, Grassino A. Force reserve of the diaphragm in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1983;55(1 Pt 1):8-15.
- Ottenheijm CA, Heunks LM, Dekhuijzen RP. Diaphragm adaptations in patients with COPD. *Respir Res*. 2008;9:12.
- Costa D, Cancelliero KM, Campos GE, Salvini TF, Silva CA. Changes in types of muscle fibers induced by transcutaneous electrical stimulation of the diaphragm of rats. *Braz J Med Biol Res*. 2008;41(9):809-11.
- Cancelliero KM; Costa D, Silva CA. Transcutaneous electrical stimulation of the diaphragm improves the metabolic conditions of respiratory muscles in rats. *J Phys Ther*. 2006;10(1):59-65.
- Forti E, Ike D, Barbalho-Moulim M, Rasera I Jr, Costa D. Effects of chest physiotherapy on the respiratory function of postoperative gastroplasty patients. *Clinics*. 2009; 64(7):683-9.
- Rabe KF, Hurd S, Anzueto A, Barnes PJ, Buist SA, Calverley P, *et al.* Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary. *Am J Resp Crit Care Med*. 2007;176(6):532-55.
- Geddes LA, Voorhees WD, Lagler R, Riscili C, Foster K, Bourland JD. Electrically produced artificial ventilation. *Med Instrum*. 1988;22(5):263-71.
- Black LF, Hyatt, RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis*. 1969;99(5):696-702.
- Sobush DC, Dunning M. Assessing maximal static ventilatory muscle pressures using the "bugle" dynamometer. suggestion from the field. *Phys Ther*. 1984;64(11):1689-90.
- 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;32(6):719-27.
- Caldeira VS, Starling CCD, Britto RR, Martins JA, Sampaio RF, Parreira VF. Reliability and accuracy of cirtometry in healthy adults. *J Bras Pneumol*. 2007;33(5):519-26.
- Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, *et al.* ATS/ERS task force: standardisation of lung function testing. *Eur Respir J*. 2005;26:319-38.
- Sarlabous L, Torres A, Fiz JA, Gea J, Martinez-Llorens JM, Jane R. Evaluation of the respiratory muscular function by means of diaphragmatic mechanomyographic signals in COPD patients. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2009;2009:3925-28.
- Etilik O, Sakarya ME, Uzun K, Harman M, Temizoz O, Durmus A. Demonstrating the effect of theophylline treatment on diaphragmatic movement in chronic obstructive pulmonary disease patients by MR-fluoroscopy. *Eur J Radiol*. 2004;51(2):150-4.
- Iwasawa T, Kagei S, Gotoh T, Yoshiike Y, Matsushita K, Kurihara H, *et al.* Magnetic resonance analysis of abnormal diaphragmatic motion in patients with emphysema. *Eur Respir J*. 2002;19(2):225-31.
- Levine S, Nguyen T, Kaiser LR, Rubinstein NA, Maislin G, Gregory C, *et al.* Human diaphragm remodeling associated with chronic obstructive pulmonary disease: clinical implications. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;168(6):706-13.
- Ottenheijm CA, Heunks LM, Sieck GC, Zhan WZ, Jansen SM, Degens H, *et al.* Diaphragm dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005;172(2):200-5.

27. Costa D, Gonçalves HA, Lima LP, Ike D, Cancelliero KM, Montebelo MI. New reference values for maximal respiratory pressures in the Brazilian population. *J Bras Pneumol*. 2010;36(3):306-12.
28. Durigan JLQ, Cancelliero KM, Bosi PL, Delfino GB, Montebelo MIL, Guirro RRJ, *et al*. Metabolic and morphometric alterations inherent to neuromuscular electric stimulation in the antagonist muscle submitted to ankle joint immobilization. *Braz Arch Biol Technol*. 2009;52(1):85-91.
29. Costa D, Sampaio LMM, Pires de Lorenzo VA, Jamami M, Damaso AR. Evaluation of respiratory muscle strength and thoracic and abdominal amplitudes after a functional reeducation of breathing program for obese individuals. *Rev Latino-Am Enfermagem*. 2003;11(2):156-60.
30. Costa D, Forti EMP, Barbalho-Moulim MC, Rasera Jr. I. Study on pulmonary volumes and thoracoabdominal mobility in morbidly obese women undergoing bariatric surgery, treated with two different physical therapy methods. *Braz J Phys Ther*. 2009;13(4):294-300.
31. Paulin E, Brunetto AF, Carvalho CRF. Effects of a physical exercises program designed to increase thoracic mobility in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Pneumol*. 2003;29(5):287-94.
32. Yamaguti WP, Claudino RC, Neto AP, Chammass MC, Gomes AC, Salge JM, *et al*. Diaphragmatic breathing training program improves abdominal motion during natural breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012; 93(4):571-7.