

Artigo original

Análise eletromiográfica dos músculos inspiratórios em indivíduos saudáveis submetidos à carga máxima de resistor linear e alinear

Electromyographic analysis of the inspiratory muscles in healthy subjects submitted to maximum load of linear and alinear resistor

Éric da Silva, Ft. M.Sc.*, Saulo Araújo de Carvalho, Ft., M.Sc.**, Adeno Gonçalves de Oliveira, Ft.***, Luana Gabrielle de França Ferreira, Ft.****, Joelson da Silva Medeiros****, Cláudia Barbosa Ladeira de Campos****, Alderico Rodrigues de Paula Júnior*****

.....
 *Doutorando em Engenharia Biomédica pela Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), Docente do Centro Universitário UNINOVAFAPI, **Especialista em Pneumologia Funcional (Universidade de Brasília), Docente do Centro Universitário UNINOVAFAPI, ***Especialista em Fisiologia do Exercício e Grupos Especiais (UESPI), ****Bacharel em Fisioterapia pelo Centro Universitário UNINOVAFAPI, *****Docente do Programa de Pós-Graduação em Bioengenharia da UNIVAP

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar a ativação do músculo escaleno (ESC) e esternocleidooccipitomastóideo (ECOM) através do ganho de pico de *Root Mean Square* (RMS) obtido pela eletromiografia (EMG), em indivíduos saudáveis submetidos à aplicação de cargas máximas de resistor linear e alinear. Trata-se de um estudo prospectivo, transversal, experimental, comparativo realizado com 24 indivíduos saudáveis alocados nos grupos linear (Grupo L) e alinear (Grupo A). Para análise estatística empregou-se o teste de Shapiro-Wilk para avaliação da normalidade dos dados, teste de Spearman e Pearson para correlação entre as variáveis (nível de significância de 0,05). Os resultados revelaram boa correlação ($r = 0,62$; $p < 0,05$) entre o Ganho de Carga Máxima de ECOM e ESC usando o resistor linear (Threshold[®] IMT), assim como boa correlação ($r = 0,78$; $p < 0,01$) entre o Ganho de Carga Máxima de ECOM e ESC usando resistor alinear (P-Flex[®]). Correlacionando a Pressão Inspiratória Máxima (PImáx) e Picos de RMS de ESC e ECOM, isoladamente, houve apenas correlação do Pico de RMS ECOM do Grupo L. Conclui-se que não existe, necessariamente, relação entre o Pico de RMS e o nível de ativação motora dos músculos em jovens saudáveis. Para treinamento mais específico do ECOM sugere-se a aplicação de carga alinear.

Palavras-chave: eletromiografia, força muscular, músculos respiratórios.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the activation of the scalene muscle (SCL) and sternocleido-occipito-mastoid (SCOM) through the peak gain of Root Mean Square (RMS) obtained by electromyography (EMG) in healthy subjects submitted to the application of maximum loads for linear resistor and alinear. This is a prospective, cross-sectional, experimental and comparative study which was performed with 24 healthy subjects allocated to the linear group (Group L) and alinear group (Group A). For statistical analysis we used the Shapiro-Wilk test to assess for the normality of data, Pearson and Spearman test for correlation between variables (significance level of 0.05). The results showed good correlation ($r = 0.62$, $p < 0.05$) between gain maximum load of SCOM and SCL using the linear resistor (Threshold[®]IMT), as well as good correlation ($r = 0.78$, $p < 0.01$) between gain maximum load of SCOM and SCL using alinear resistor (P-Flex[®]). Correlating Inspiratory Pressure (MIP) and RMS peak SCL and SCOM, alone, there was only the correlation peak RMS SCOM in group L. It is concluded that there isn't necessarily a relationship between RMS peak and level of motor activation of muscles in healthy young adults. For more specific training of SCOM it is suggested the application of load alinear.

Key-words: electromyography, muscle strength, respiratory muscles.

Recebido em 3 de abril de 2013; aceito em 23 de agosto de 2013.

Endereço para correspondência: Éric da Silva, Av. Raul Lopes, 1905/906, Ed. Corinto, 64048-065 Teresina PI, E-mail: ericfsio@ibest.com.br, esilva@uninovafapi.edu.br

Introdução

A monitorização da força muscular respiratória é um instrumento importante de avaliação dentro da prática clínica fisioterapêutica [1], pois evidenciam as alterações funcionais e o progresso de diversas doenças pulmonares e neuromusculares [2], sendo a mensuração das Pressões Respiratórias Máximas (PR_{máx}), a forma mais praticada atualmente [3].

As medidas das duas PR_{máx} – Pressão Inspiratória Máxima (PI_{máx}) e Pressão Expiratória Máxima (PE_{máx}) – são realizadas através do Manovacuômetro. A PI_{máx} avalia, de forma conjunta, a força dos músculos inspiratórios – diafragma, escalenos, esternocleidooccipitomastóideo, intercostais externos – enquanto a PE_{máx} avalia a força dos músculos expiratórios, abdominais e intercostais internos [4].

O treinamento da musculatura inspiratória (TMI), utilizando percentuais de PI_{máx}, tem como função habilitar músculos específicos a realizarem com maior facilidade a função para a qual são destinados, objetivando tanto força muscular quanto *endurance* [5-7].

A realização do fortalecimento muscular inspiratório em indivíduos saudáveis ou em portadores de limitação funcional ventilatória pode ser executada por meio de inspiração contrarresistida com dispositivos de carga alinear ou linear. No primeiro, a carga resistiva aplicada é fluxo-dependente e, no segundo, a resistência independe do fluxo inspiratório. O método mais empregado e pesquisado é a aplicação de carga linear através do Threshold® IMT, embora o P-Flex® seja o resistor de carga alinear mais utilizado [8].

A eletromiografia (EMG) tem como base a captação de sinal a partir da contração muscular. É um recurso diagnóstico e terapêutico desprovido de efeitos colaterais, não invasivo, indolor, extremamente seguro e o paciente tem a possibilidade de acompanhar a evolução da terapia [9].

Sendo os músculos inspiratórios os alvos das técnicas de treinamento muscular, é imperativo observar as possíveis variações de recrutamento muscular inspiratório durante a aplicação de carga máxima linear e alinear no momento da execução do exercício respiratório, através das leituras eletromiográficas dos músculos escalenos e esternocleidooccipitomastóideos de indivíduos saudáveis, com a justificativa de que o conhecimento do padrão de ativação muscular, durante a aplicação de cargas distintas, possibilita estabelecer protocolos de treinamento respiratório específico para aplicações clínicas.

Com base no exposto, o objetivo deste estudo é avaliar e comparar o comportamento elétrico, através da eletromiografia de superfície, dos músculos escalenos (ESC) e esternocleidooccipitomastóideos (ECOM) em indivíduos jovens saudáveis durante aplicação de cargas máximas de Threshold® IMT (-41 cmH₂O) e P-Flex® (peça vermelha com 2mm de diâmetro).

Material e métodos

Trata-se de um estudo prospectivo com delineamento transversal, experimental, comparativo realizado no período de abril a maio de 2011 na Clínica Escola de Fisioterapia da Faculdade de Saúde, Ciências Humanas e Tecnológicas do Piauí, Faculdade NOVAFAPI, localizada na cidade de Teresina/PI.

A população foi composta por indivíduos saudáveis estudantes de graduação em Fisioterapia da Faculdade NOVAFAPI que estavam cursando entre o quarto e décimo semestre. Para a realização do estudo foi selecionada de forma aleatória simples (Sistema de Sorteio Microsoft Office Excel 2010) uma amostra de 24 voluntários, distribuídos em dois grupos: 12 indivíduos no grupo linear (Threshold® IMT) e 12 no grupo alinear (P-Flex®).

Os critérios de inclusão foram: adultos jovens, entre 20 e 30 anos, sem distinção de gênero e raça, sem doença sistêmica, cardiopatia ou pneumopatia, IMC entre 18,5 e 29,9 kg/m², sem doenças metabólicas, neurológicas, ortopédicas, praticantes ou não de exercícios físicos e que não tivessem realizado atividade extenuante num período de 12 horas antes dos procedimentos do estudo.

Foram excluídos da pesquisa indivíduos que apresentassem estado febril (temperatura axilar > 37,5°C), tabagistas ou indivíduos em uso de substâncias estimulantes, esteróides ou hormônios de crescimento ou anabolizantes, tosse ou expectoração e incapacidade de compreender ou executar os exercícios com o limiar de carga inspiratória, obstrução de vias aéreas superiores e processos inflamatórios (rinossinite ou desvio de septo), contraindicações para as manobras de mensuração das PR_{máx}.

Os sujeitos da amostra participaram voluntariamente da pesquisa e receberam orientações a respeito do experimento, incluindo seus objetivos, além de assinarem o termo de consentimento livre e esclarecido, de acordo com os critérios estabelecidos pela resolução nº.196/96 do Conselho Nacional de Saúde. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade NOVAFAPI em Teresina/PI, com número do processo CAAE nº 0510.0.043.000-10.

Protocolo de pesquisa

Inicialmente foram coletados dados demográficos e antropométricos como idade, gênero, massa corpórea, altura e cálculo do índice de massa corpórea (IMC).

A colocação dos eletrodos foi feita após preparação da pele com tricotomia, quando necessário, e com fricção usando papel lixa abrasivo com a posterior limpeza com álcool 70%. As atividades foram registradas colocando-se um par de eletrodos posicionados sobre os ventres dos músculos ESC e ECOM à direita, visando evitar interferência do ciclo cardíaco, seguindo a orientação das fibras musculares [10]. O eletrodo neutro era posicionado sobre a superfície óssea do epicôndilo lateral direito.

Embora não exista consenso para monitorização da musculatura respiratória por EMG [11], para localização dos eletrodos e captura do sinal eletromiográfico do músculo ESC, o indivíduo foi colocado em decúbito dorsal, facilitando a localização, uma vez que era eliminada a ação isométrica do músculo ECOM, sendo realizada a palpação da superfície óssea da clavícula direita e traçada uma linha imaginária no ponto médio desse osso, auxiliado por uma fita métrica [12]. Em seguida, foi colocado o centro do eletrodo a uma distância de 3 cm do ponto médio clavicular e o centro do segundo eletrodo a 3 cm do centro do primeiro. Já no ECOM, o posicionamento do eletrodo foi feito no 1/3 inferior do ventre da cabeça esternal do músculo. Para localização do eletrodo de EMG, o indivíduo era colocado sentado ereto em cadeira com apoio. Após o posicionamento era feita uma linha da fúrcula esternal até o processo mastoideo e marcado 1/3 de distância da fúrcula esternal. Uma segunda linha era traçada perpendicularmente, partindo deste ponto, e os eletrodos posicionados no local onde essa linha cruzasse a cabeça esternal do ECOM, distando 3 cm entre seus centros e seguindo a orientação de suas fibras [13].

Para avaliação da PImáx foi utilizado manovacuômetro analógico (WICA®, 0 a -300 cmH₂O) adaptado a uma válvula, bocal com 2 cm de diâmetro interno e 8 cm de comprimento. A PImáx foi avaliada com um mínimo de 3 testes (medidas) e intervalo de 1 minuto entre eles, sendo avaliadas a partir do volume residual (VR). A posição alcançada ao fim do esforço inspiratório máximo deveria ser mantida durante um breve momento (no mínimo 2 segundos) [1].

Após verificação da PImáx, os sujeitos foram submetidos à carga máxima dos resistores.

A coleta do sinal eletromiográfico, em cada grupo, foi realizada em dois momentos:

Grupo L (Threshold® IMT): Momento Controle (ML-C) compreende uma inspiração até a capacidade pulmonar total (CPT), sem carga, apenas com bocal e o Momento Carga Máxima (ML-II) que compreende inspiração até a CPT, com carga máxima de Threshold®, ou seja, -41 cmH₂O.

Grupo A (P-Flex®): Momento Controle (MA-C) compreende uma inspiração até CPT, sem carga, apenas com bocal e o Momento Carga Máxima (MA-II): inspiração até CPT, com carga máxima de P-Flex (peça vermelha com orifício de 2 mm).

A atividade elétrica durante os momentos (ML-C, ML-II, MA-C e MA-II) foi captada pelo Eletromiógrafo *EMG System do Brasil LTDA, São Paulo, Brasil* obedecendo às recomendações da *Surface Electromyography for the Non-invasive Assessment of Muscle* (SENIAM) e da *International Society of Electrophysiology and Kinesiology* (ISEK) [12,13].

A normalização do sinal EMG foi realizada através da relação entre os valores de Pico *Root Mean Square*- RMS, valor máximo de RMS, pois RMS deve ser interpretado como valor relativo. Dessa forma, foram obtidos para os dois músculos:

- Ganho de Pico RMS na Carga Máxima Linear: Divisão entre valor Pico RMS no ML-II e ML-C;
- Ganho de Pico RMS na Carga Máxima Alinear: Divisão entre valor Pico de RMS no MA-II e MA-C;
- Ganho de Pico RMS na PImáx: Divisão entre valor Pico de RMS na PImáx e nos momentos ML-C ou MA-C.

A análise de normalidade foi executada usando o teste de Shapiro-Wilk, de modo que as variáveis de distribuição normal foram analisadas com testes paramétricos (teste *t de student*) e as que não apresentaram distribuição normal foram analisadas com testes não paramétricos (Teste de Mann-Whitney-Wilcoxon). Para avaliação de correlação entre as variáveis foram utilizadas as análises de Pearson (distribuição normal) e a de Spearman (sem distribuição normal).

Para os valores de *r*, a interpretação foi feita da seguinte forma [14]: valores abaixo de 0,40 foram considerados como correlação baixa; entre 0,41 e 0,59, correlação moderada; entre 0,60 e 0,79, correlação boa; acima de 0,80, correlação alta; valor de 1, perfeita correlação.

Foi utilizado o intervalo de confiança de 95%, com nível de significância de 0,05. Os programas estatísticos utilizados para análise foram BioEstat 5.0 e *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* versão 16.0.

Resultados

Participaram do estudo vinte e quatro (24) sujeitos, sendo 11 (45,8%) do sexo masculino e 13 (54,16%) do sexo feminino. Os mesmos foram divididos em dois grupos denominados de Grupo A (Carga Alinear) e Grupo L (Carga Linear). No Grupo A havia uma distribuição uniforme entre homens e mulheres (50%) enquanto no Grupo L, predominavam as mulheres (58,3%).

Com relação à idade, a média no Grupo A foi de 22,92 ± 2,1 anos e no Grupo L 22,08 ± 1,5 anos. As medidas dos dados antropométricos e PImáx estão disponibilizadas na Tabela I. Embora sem significância estatística, a média da PImáx do Grupo Carga Linear foi maior que o do Grupo Carga Alinear (-170 ± 71 e -160,8 ± 43,7, respectivamente).

Tabela I - Características antropométricas e valores da força muscular inspiratória dos indivíduos dos Grupos A e L.

Variáveis	Grupo A	Grupo L
	(Carga Alinear)	(Carga Linear)
	$\bar{X}(\pm)$	$\bar{X}(\pm)$
Massa Corpórea (kg)	66,75 (9,0)	66,63(12,8)
Estatutura(m)	1,68 (0,7)	1,68 (0,7)
IMC (kg/m ²)	23,5 (2,2)	23,18 (2,7)
PImáx (cmH ₂ O)	-160,8 (43,7)	-170 (71,0)

IMC: índice de massa corpórea; PImáx: pressão inspiratória máxima.

Para comparar as médias dos valores de *Root Mean Square* (RMS) da atividade elétrica entre os dois grupos e entre os dois músculos inspiratórios, os valores de RMS foram normalizados dividindo o valor de Pico de RMS de carga máxima pelo valor de Pico de RMS do controle.

Os valores dos ganhos de pico de RMS obtidos para os músculos ESC e ECOM na Carga Máxima estão representados na Tabela II.

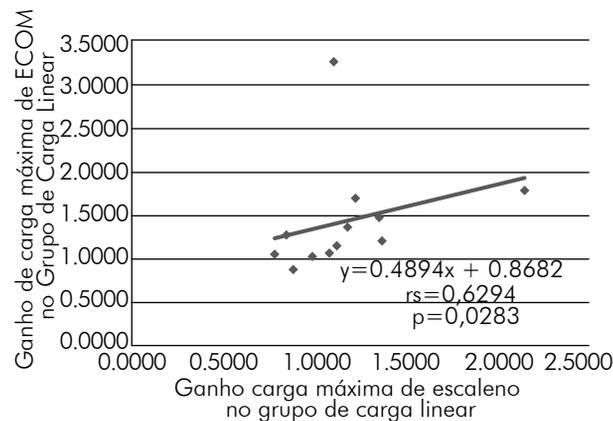
Tabela II - Valores das médias em percentual (%) dos ganhos de pico de RMS na carga máxima dos músculos inspiratórios usando resistor Linear (L) e Alinear (A).

Músculo	Grupo L	Grupo A	p (entre grupos)
	\bar{X} (%)	\bar{X} (%)	
Escaleno	117%	99%	0,0735
ECOM	144%	103%	0,0735
p (entre músculos)	0,0712	0,5303	

Significância estatística p valor <0,05.

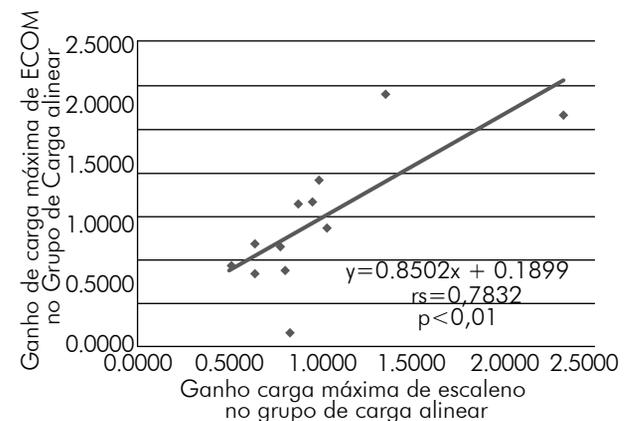
A Figura 1 mostra a análise de correlação de Spearman entre o ganho de pico RMS na carga máxima linear (Grupo L) para ESC e ECOM. Ela mostra uma boa correlação, estatisticamente significativa (rs = 0,62; p < 0,05), entre o ganho de carga máxima de ECOM e Ganho de Carga Máxima de ESC usando o resistor linear (Threshold® IMT).

Figura 1 - Análise de correlação de Spearman entre ganho de pico de RMS na carga máxima linear de ESC e ECOM.



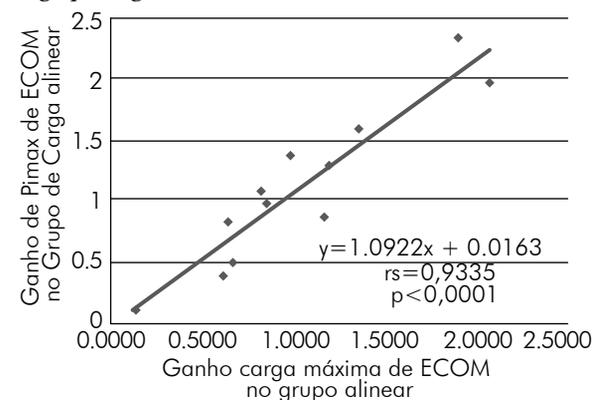
A Figura 2 mostra a análise de correlação de Spearman entre o ganho de pico RMS na carga máxima alinear (Grupo A) para ESC e ECOM. Evidencia também uma boa correlação, estatisticamente significativa (rs = 0,72; p < 0,01), entre o ganho de carga máxima de ECOM e ganho de carga máxima de ESC usando o resistor alinear (P-Flex).

Figura 2 - Análise de correlação de Spearman entre ganho de pico de RMS na carga máxima alinear de ESC e ECOM.



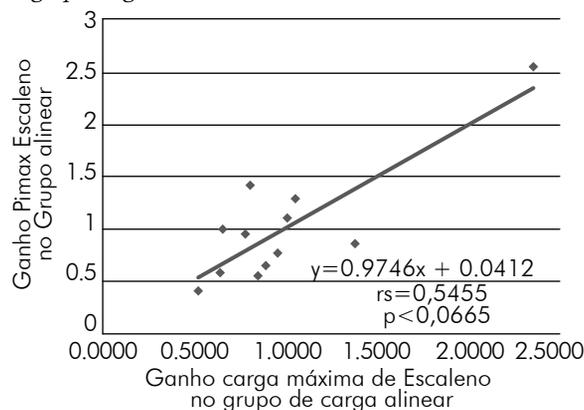
As análises de correlações entre ganho de pico RMS na carga máxima alinear e o ganho de pico RMS na PImáx do ESC e do ECOM estão representadas nas Figuras 3 e 4. Esta análise tem o intuito de identificar se o ganho de ativação muscular, durante carga máxima de P-Flex, se relaciona àquele obtido na manobra de obtenção de força máxima gerada pelos sujeitos, ou seja, na PImáx.

Figura 3 - Análise de correlação entre ganho de pico de RMS carga máxima do ECOM e ganho de pico RMS PImáx ECOM nos sujeitos do grupo carga alinear.



De acordo com a Figura 3, observa-se uma alta correlação (r = 0,93), por meio da análise de Pearson, e de forma significativa (p < 0,0001), entre ganho de pico carga máxima alinear e ganho de pico PImáx do músculo ECOM no Grupo A. O coeficiente de determinação (R²) foi de 0,8715, ou seja, 87,15% do ganho de PImáx do ECOM é “explicada” pelo ganho de carga máxima de ECOM usando carga máxima de P-Flex.

Figura 4 - Análise de correlação entre ganho de pico de RMS carga máxima do ESC e ganho de pico RMS PImáx do ESC nos sujeitos do grupo carga alinear.



A Figura 4 mostra que não houve associação significativa entre o ganho de pico carga máxima com o ganho de pico PImáx do músculo ESC no Grupo Alinear, ou seja, o treinamento muscular inspiratório com carga máxima de P-Flex não propicia uma ativação muscular próxima àquela obtida na PImáx (manobra de força máxima) do músculo ESC.

A Tabela III analisa a correlação entre PImáx e picos de RMS de Escaleno e ECOM isoladamente nos sujeitos do grupo linear e alinear. Observa-se que, quando correlacionados, os picos de RMS no momento da PImáx de forma isolada (ou seja, sem análise de ganhos) dos músculos ESC e ECOM com a PImáx (força máxima gerada), não houve associação significativa ($p > 0,05$) na maioria dos sujeitos estudados. Apenas o grupo carga linear apresentou relação significativa ($p < 0,01$) da PImáx com Pico de RMS do músculo ECOM durante a manobra.

Tabela III - Análise de correlação de Spearman entre força muscular respiratória (PImáx) e picos de RMS obtidos durante manobra de PImáx nos indivíduos dos grupos linear e alinear.

Correlações	Grupo	Coefficiente	p - valor
PImáx e Pico RMS Escaleno na PImáx	Carga alinear	-0.3304	0.2941
PImáx e Pico RMS ECOM na PImáx	Carga alinear	-0.1265	0.6951
PImáx e Pico RMS Escaleno na PImáx	Carga linear	-0.2636	0.4077
PImáx e Pico RMS ECOM na PImáx	Carga linear	-0.7698	0.0034*

Significância estatística p valor < 0,05.

Discussão

As pressões respiratórias máximas sofrem interferências do sexo e da idade e, por este motivo, as equações de regres-

são para estimar os valores preditos da PImáx e PEmáx em adultos são necessárias. Indivíduos com maior idade terão valores preditos de PImáx e PEmáx menores. Este fato torna importante a seleção de uma amostra mais homogênea nas pesquisas com EMG de músculos respiratórios de indivíduos saudáveis, pois pode ser fator importante de viés nesse tipo de pesquisa [15,16]. Segundo a Tabela I, percebe-se que a amostra da pesquisa era bem uniforme em suas características demográficas, antropométricas e valores de PImáx.

A força muscular inspiratória (PImáx) é resultante do sincronismo toracoabdominal respiratório, fruto da ação sinérgica entre os músculos motores primários e os acessórios inspiratórios. No padrão normal de respiração, os compartimentos torácico e abdominal devem se deslocar em conjunto (em fase), para cima e para fora durante a inspiração. Este deslocamento é relacionado ao volume de ar de entrada e saída dos pulmões. Para que tal ação aconteça de forma coordenada, os músculos motores primários (diafragma, escalenos e intercostais externos) atuam de forma fásica e os músculos acessórios da inspiração de forma tônica [17].

Dessa forma, o presente estudo procurou selecionar um músculo primário (fásico) e um músculo secundário (tônico) inspiratório. Para tal, foram escolhidos o escaleno (primário) e o esternocleidomastoideu (secundário). Embora o diafragma seja o principal músculo primário inspiratório, optou-se pelo músculo escaleno. Variações interindividuais na quantidade de gordura subcutânea podem dificultar as comparações de ativação muscular durante a EMG [18]. Por ser o abdômen um local comum de acúmulo gorduroso e, pelo fato da captação de sinal de atividade elétrica durante estudo piloto ter se tornado difícil, não foi utilizado o músculo diafragma. Somado a isto, na posição sentada, a prega subcutânea é aumentada e isso poderia aumentar a distância entre os eletrodos.

A eletromiografia de superfície (EMGS) tem sido utilizado em pesquisas e aplicações clínicas para a análise não-invasiva dos músculos do pescoço para fornecer informações importantes a respeito das condições musculoesqueléticas, da avaliação ergonômica e da função respiratória [13,19].

A localização dos pontos de EMG do nosso estudo, tanto na cabeça esternal do músculo ECOM como no ESC foi feita na porção inferior do ventre muscular, com base em estudos mais recentes que procuraram desenvolver, por meio da descrição da posição da zona de inervação, a forma mais adequada para aplicações clínicas e de pesquisa da EMG [11].

O ganho na ativação muscular durante a aplicação de carga máxima relacionada ao controle pode ser expresso em porcentagem, como foi feito, para facilitação da interpretação dos resultados. Da mesma forma, o grupo ou momento controle nos trabalhos pesquisados [5,20] que avaliaram diferenças entre as ativações musculares pré e pós-carga, tiveram suas coletas de RMS controle durante a respiração tranquila, o que vai de encontro às recomendações da *American Thoracic Society/ European Respiratory Society*, tornando-se uma limitação em

algumas pesquisas com EMGS. Estas sociedades preconizam, na necessidade de comparações de RMS entre músculos respiratórios, a realização da padronização/normalização do sinal para a posterior obtenção de valores controles. No presente estudo, as recomendações foram atendidas, realizando-se para normalização, a execução de manobra com inspiração máxima, até CPT, e não apenas, de respiração tranquila em volume corrente [18].

Cabe enfatizar, que não foi encontrado na literatura estudos que utilizassem para a comparação de ganhos de ativação muscular respiratória ou de outro grupo muscular esquelético, o pico de RMS. Julgou-se mais plausível seu uso neste estudo, pois foram utilizados para análise valores máximos alcançados de $PI_{máx}$ e carga máxima dos resistores (Threshold® IMT e P-Flex) e, conseqüentemente, necessitaria avaliar os valores máximos atingidos de RMS (Pico de RMS) nessas manobras. Essa estratégia foi importante para realizar, dentre outras, a análise de correlação entre pico de RMS e $PI_{máx}$, possibilitando inferir a existência ou não da relação entre força muscular respiratória gerada e o valor de pico de RMS da EMG.

Nos últimos anos, o valor terapêutico do treinamento muscular respiratório, tanto em pessoas normais como em indivíduos portadores de paresia respiratória, tem sido alvo de muito interesse entre os pesquisadores. Diversas são as técnicas empregadas para o TMI, porém as mais praticadas são o treinamento com carga linear e alinear. Ambas possuem limitações na resistência imposta durante a inspiração, sendo a carga máxima do linear de $-41\text{cmH}_2\text{O}$ e do alinear, com peça de 2mm, essa resistência poderá chegar até $80\text{cmH}_2\text{O}$, dependendo do fluxo inspiratório [1].

O presente estudo mostrou que os níveis de ativações do ECOM e ESC, expressas em ganho de pico RMS de carga máxima, aumentaram significativamente quando comparada a situação de inspiração profunda sem carga para a respiração com carga máxima inspiratória, sugerindo uma relação dose-resposta no que diz respeito à ativação muscular em saudáveis usando os resistores disponíveis atualmente. Destaque para o predomínio do ganho de pico de RMS do ECOM (125%), em relação ao ESC (110%) durante a aplicação de carga máxima linear.

Vale salientar, que o ECOM, anatomicamente, tem maior distância entre suas inserções quando comparado ao músculo escaleno. O primeiro se estende do processo mastoideo e occipito até a fúrcula esternal (cabeça esternal), enquanto o segundo tem sua inserção proximal nos processos transversos de C3-C7 e se estende até a primeira e segunda costela. Esse fato pode explicar a maior geração de força do ECOM (ganho de pico de RMS), em relação ao ESC, quando se parte de VR, pois o ECOM neste volume está com suas fibras mais alongadas e com maior capacidade de gerar força [21].

Quando analisadas as correlações entre ganho de pico RMS na carga máxima do resistor linear e alinear (Grupo L e Grupo A, respectivamente), para ESC e ECOM, podemos

observar que houve uma boa correlação, utilizando um nível de significância de 5%. Este fato evidencia que os ganhos de ativação muscular em relação ao repouso, nos dois músculos, estão correlacionados. Dessa forma, quando o ganho de pico de RMS do ECOM aumenta, o de ESC também aumenta, ou vice-versa, na carga máxima linear. Este fato é importante, pois corrobora o sinergismo dos grupos respiratórios primários e secundários durante a inspiração forçada, o que oferece grande vantagem mecânica ao sistema respiratório [17]. Tal fato pode justificar a maior ativação do músculo acessório ECOM durante as manobras com esforço máximo usadas em nosso trabalho, ou seja, o ganho de pico de RMS do ECOM, tanto na carga máxima como na $PI_{máx}$, não está relacionado, necessariamente, apenas com a geração de força, mas com tarefas relacionadas à facilitação da inspiração.

A carga máxima usada no Threshold®IMT se torna relativamente baixa em saudáveis, visto que a faixa de aplicação é limitada a $41\text{cmH}_2\text{O}$. Indivíduos saudáveis possuem valores de pressão inspiratória acima de $60\text{cmH}_2\text{O}$, portanto quando se pretende usar porcentagens maiores de $PI_{máx}$ esses valores ultrapassam a carga máxima do Threshold®IMT.

Observando a correlação entre ganho de pico RMS carga máxima e ganho de pico RMS $PI_{máx}$ do músculo ECOM no Grupo A, percebeu-se uma significativa associação entre elas ($p < 0,0001$). Em contrapartida, não houve associação significativa entre o ganho de pico carga máxima com o ganho de pico $PI_{máx}$ do músculo ESC no mesmo grupo. Sendo assim, a aplicação de carga máxima de PFlex exerce uma ativação do músculo ECOM próxima àquela obtida nas manobras de $PI_{máx}$ (manobra de força máxima). Este achado é importante, pois o P-Flex parece exercer uma sobrecarga maior (mais específica) aos músculos inspiratórios secundários ou acessórios, como é o caso do ECOM.

Por dotar de peças que podem oferecer uma sobrecarga variável entre 30 e 80% da $PI_{máx}$, o P-Flex, principal dispositivo para treinamento com carga alinear, pode propiciar ganhos mais importantes de ativação muscular de acessórios. Importante é que mesmo com fluxos mais baixos, pode-se manter uma sobrecarga elevada à musculatura inspiratória em caso de uso da peça com menor orifício (2mm).

Foi identificado no presente estudo a ausência de correlação significativa entre pico de RMS de ESC e ECOM, isoladamente (sem ganhos), na $PI_{máx}$ com a força máxima gerada pelos indivíduos, ou seja, com a $PI_{máx}$. Isto mostra que o Pico de RMS na $PI_{máx}$ não é um bom indicador de força máxima gerada, ou ainda é possível que a atividade muscular máxima do músculos captada pela EMG aconteça em um momento diferente (antes ou após) daquele onde é alcançado a $PI_{máx}$. Baseado nos resultados encontrados, conclui-se que a análise dos picos de RMS não é suficiente para inferir sobre geração de força e trabalho muscular em jovens saudáveis.

Neste estudo tivemos algumas limitações: no protocolo, todos os sinais eletromiográficos foram coletados durante a manobra e estas foram feitas em apenas um dos tipos de resis-

tor (determinado por sorteio), não sabendo o comportamento da ativação muscular após um programa, mais demorado, de TMI. Da mesma forma, a determinação do ponto para fixação dos eletrodos seguiu o de trabalhos anteriores e, ainda, não há consenso sobre a localização dos pontos de pesquisa eletromiográfica dos músculos respiratórios. Por fim, seria interessante, em estudos futuros, submeter um mesmo indivíduo a diferentes cargas inspiratórias (linear e alinear), possibilitando uma avaliação seriada do recrutamento muscular.

Conclusão

Diante dos resultados do presente estudo e da metodologia nele empregada, podemos inferir que não existe, necessariamente, relação entre o pico de RMS e o nível de ativação motora detectável pela eletromiografia do músculo escaleno e esternocleidooccipitomastóideo em jovens saudáveis. Embora possibilite um ganho de pico de RMS significativo, o uso de Threshold® IMT com carga máxima se mostrou insuficiente para ativar efetivamente os músculos analisados em relação ao ganho de pico de RMS na PImáx. O estudo sugere o uso da carga alinear (P-Flex) quando se deseja um treinamento muscular mais específico do esternocleidooccipitomastóideo, pois a ativação muscular com a carga máxima desse resistor apresentou relação significativa com a encontrada na manobra de força máxima inspiratória (PImáx).

Referências

- Machado MGR. Bases da fisioterapia respiratória: terapia intensiva e reabilitação. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2008.
- Silva AMO, Cliquet A, Boin IFSF. Profile of respiratory evaluation through surface electromyography, manovacuometry, and spirometry in candidates on the liver transplant waiting list. *Transplan Proc* 2012;44(8):2403-5.
- Montemzzo D, Vieira D, Tierra-Criollo C, Britto R, Velloso M, Parreira V. Influence of 4 interfaces in the assessment of maximal respiratory pressures. *Respir Care* 2012;57(3):392-8.
- Santos M, Rosa B, Ferreira C, Medeiros A, Batiston A. Maximal respiratory pressures in healthy boys who practice swimming or indoor soccer and in healthy sedentary boys. *Physiother Theory Pract* 2012;28(1):26-31.
- Souza E, Terra ELSV, Pereira R, Chicayban L, Silva J, Jorge FS. Análise eletromiográfica do treinamento muscular inspiratório sob diferentes cargas do threshold® IMT. *Revista Perspectiva Online* 2008;2(7):103-12.
- Cader SA, Vale RGS, Castro JC, Bacelar SC. Inspiratory muscle training improves maximal inspiratory pressure and may assist weaning in older intubated patients: a randomized trial. *J Physiother* 2010;56 (3):171-7.
- Sasaki M, Kurosawa H, Kohzuki M. Effects of inspiratory and expiratory muscle training in normal subjects. *J Jpn Phys Ther Assoc* 2005;8(1):29-37.
- Enright S, Unnithan V. Effect of inspiratory muscle training intensities on pulmonary function and work capacity in people who are healthy: a randomized controlled trial. *Phys Ther* 2011;91(6):894-905.
- Potney LG, Roy SH. Eletromiografia e testes de velocidade de condução nervosa. In: O'Sullivan SB, Schmitz TJ, eds. *Fisioterapia: avaliação e tratamento*. 5nd ed. São Paulo: Manole; 2010.
- Golabbakhsh M, Masoumzadeh M, Sabahi MF. ECG and power line noise removal from respiratory EMG signal using adaptive filters. *Majlesi Journal of Electrical Engineering* 2011;5(4):28-33.
- Kallenberg LA, Preece S, Nester C, Hermens HJ. Reproducibility of MUAP properties in array surface EMG recordings of the upper trapezius and sternocleidomastoid muscle. *J Electromyogr Kinesiol* 2009;19(6):536-42.
- Falla D, Dall'alba P, Rainoldi A, Merletti R, Jull G. Location of innervations zones of sternocleidomastoid and scalene muscles: a basis for clinical and research eletromiography applications. *Clin Neuro Physiol* 2002;113(1):57-63.
- Hermens HJ, Frekis B, Merletti R, Stegman D, Rau G, Klug CD, Hägg G. European recommendations for surface electromyography – SENIAM. Enschede: Roessingh Research and Development 1999. p. 16-17.
- Solomonow, MA. Practical guide to electromyography international society of biomechanics. Proceedings of the 15th JyVaskyla, International Society of Biomechanics Congress. Finland, 5 July, 1995. p. 96.
- Sacco ICN, Alibert S, Queiroz BWC, Pripas D, Kieling I, Kimura AA et al. Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. *Rev Bras Fisioter* 2007;11(5):411-7.
- 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.
- Costa D, Gonçalves HA, de Lima LP, Ike D, Cancelliero KM, Montebelo MI. Novos valores de referência para pressões respiratórias máximas na população brasileira. *J Bras Pneumol* 2010;36(3):306-12.
- Sarmento GJV. O ABC da fisioterapia respiratória. Barueri: Manole; 2009.
- American Thoracic Society, European Respiratory Society. ATS/ERS. Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166(4):518-624.
- Stepp C, Smith A. Surface electromyography for speech and swallowing systems: measurement, analysis, and interpretation. *J Speech Lang Hear Res* 2012;55(4):1232-46.
- Martins DM. Ativação muscular inspiratória durante exercícios com limiar de carga inspiratória em pacientes com insuficiência cardíaca [Dissertação]. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional; 2009.
- Souza RB. Pressões respiratórias estáticas máximas. *J Pneumol* 2002;28(Supl3l):S155-S165.