



# Análise da força muscular expiratória e respiração espontânea de indivíduos em ventilação mecânica: estudo transversal

*Analysis of expiratory muscle strength and spontaneous breathing of individuals on mechanical ventilation: a cross-sectional study*

*El análisis de la fuerza muscular espiratoria y la respiración espontánea de los individuos en ventilación mecánica: el estudio transversal*

Jonathan Galvão Tenório Cavalcante<sup>1</sup>, Rafael Dornelas e Silva<sup>1</sup>, Helga Cecília Muniz de Souza<sup>2</sup>, Nelson Henrique Lopes de Moraes<sup>3</sup>

**RESUMO** | Os músculos da expiração têm funções em todo o ciclo respiratório, mas não são frequentemente avaliados no desmame da ventilação mecânica. Assim, revisões e consensos não mencionam a pressão expiratória máxima ( $PE_{máx}$ ) e o treino expiratório. Objetivou-se investigar a relação da força muscular expiratória com a respiração espontânea de indivíduos ventilados mecanicamente. Trata-se de um estudo transversal com participantes de 18 a 79 anos de idade. Foram formados os grupos  $PE_{máx}$  satisfatória (GPES) e  $PE_{máx}$  baixa (GPEB) conforme o ponto de corte de 55cmH<sub>2</sub>O e comparados a parâmetros de desmame. O GPES (n=9) teve desempenho superior ao do GPEB (n=21) no índice de respiração rápida e superficial (IRRS) (40,6±17,6rpm/L e 75,3±44,1rpm/L, respectivamente; p=0,022) e na frequência respiratória (f) (19,1±6,2rpm e 26,1±9,4rpm; p=0,044). A prevalência de  $PE_{máx}$  satisfatória foi pequena, observada no tamanho dos grupos. Além disso, embora a  $PE_{máx}$  percentual do valor predito tenha sido menor no GPEB, como esperado (67,2±15,4% vs. 45,8±14,7%; p=0,001), a pressão inspiratória máxima percentual não diferiu significativamente (82,4±21,8% vs. 67,8±18,4%; p=0,077). A  $PE_{máx}$  se correlacionou moderadamente com o IRRS (r=-0,406; p=0,026) e com a f (r=-0,426; p=0,017). Conclui-se que a  $PE_{máx} \geq 55\text{cmH}_2\text{O}$

esteve associada à melhores valores no IRRS e na f, e que a redução da força muscular expiratória foi mais prevalente e severa que a da força muscular inspiratória.

**Descritores** | Músculos Abdominais; Debilidade Muscular; Desmame do Respirador; Modalidades de Fisioterapia; Cuidados Críticos.

**ABSTRACT** | The expiratory muscles have functions throughout the respiratory cycle, but they are not often evaluated in the weaning from mechanical ventilation. Thus, reviews and consensus do not mention the maximal expiratory pressure (MEP) and the expiratory training. The aim of this study was to investigate the relationship of expiratory muscle strength with the spontaneous breathing of individuals on mechanical ventilation. This is a cross-sectional study with participants aged between 18 and 79 years. The groups satisfactory MEP (SMEPG) and low MEP (LMEPG) were formed according to the cut-off point of 55 cmH<sub>2</sub>O and compared to weaning parameters. The SMEPG (n=9) had better performance than LMEPG (n=21) in the rapid shallow breathing index (RSBI) (40.6±17.6 bpm/L and 75.3±44.1 bpm/L, respectively; p=0.022) and in the respiratory rate (RR) (19.1±6.2 bpm and 26.1±9.4 bpm; p=0.044). Prevalence of satisfactory MEP was low, as observed in the size of

Hospital Getúlio Vargas (HGV-UPE) – Recife (PE), Brasil.

<sup>1</sup>Residente multiprofissional em Urgência, Emergência e Trauma do Hospital Getúlio Vargas da Universidade de Pernambuco (HGV-UPE) – Recife (PE), Brasil.

<sup>2</sup>Fisioterapeuta intensivista, doutoranda em Biologia Aplicada à Saúde do Hospital Getúlio Vargas da Universidade de Pernambuco (HGV-UPE) – Recife (PE), Brasil.

<sup>3</sup>Fisioterapeuta intensivista, mestre em Terapia Intensiva do Hospital Getúlio Vargas da Universidade de Pernambuco (HGV-UPE) – Recife (PE), Brasil.

Endereço para correspondência: Jonathan Galvão Tenório Cavalcante – Avenida Padre Silvestre, 1063, c04, Barra Nova, Marechal Deodoro (AL) – CEP 57160-000 – Telefone: 55 (77) 98824-9155 – E-mail: jonathangalvao1989@gmail.com – Fonte de financiamento: Nada a declarar – Conflito de interesse: Nada a declarar – Apresentação: 14 jul. 2017 – Aceito para publicação: 3 abr. 2018 – Aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CAAE) do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Pernambuco (UPE) sob o parecer nº 60149516.5.0000.5192.

groups. In addition, although the MEP percentage of the predicted value was lower in LMEPG, as expected ( $67.2 \pm 15.4\%$  vs.  $45.8 \pm 14.7\%$ ;  $p=0.001$ ), the percentage for maximal inspiratory pressure was not significantly different ( $82.4 \pm 21.8\%$  vs.  $67.8 \pm 18.4\%$ ;  $p=0.077$ ). The MEP was moderately correlated with the RSBI ( $r=-0.406$ ;  $p=0.026$ ) and with the RR ( $r=-0.426$ ;  $p=0.017$ ). It was concluded that  $MEP \geq 55$  cmH<sub>2</sub>O was associated with better values in RSBI and RR and that the reduction of expiratory muscle strength was more prevalent and severe than that of inspiratory muscle strength.

**Keywords** | Abdominal Muscles; Muscle Weakness; Ventilator Weaning; Physical Therapy Modalities; Critical Care.

**RESUMEN** | Los músculos de la espiración tienen funciones en todo el ciclo respiratorio, sin embargo, no son frecuentemente evaluados en el desmame de la ventilación mecánica. Así, revisiones y consensos no mencionan la tensión espiratoria máxima ( $PE_{m\acute{a}x}$ ) y el entreno espiratorio. Se ha objetivado investigar la relación de la fuerza muscular espiratoria con la respiración espontánea de los individuos ventilados mecánicamente. Se trata de un estudio transversal con participantes de 18 a 79 años de edad. Han sido hechos los grupos

$PE_{m\acute{a}x}$  satisfactoria (GPES) y  $PE_{m\acute{a}x}$  baja (GPEB) de acuerdo con el punto de corte de 55cmH<sub>2</sub>O y han sido comparados a parámetros de destete. El GPES ( $n=9$ ) ha tenido el desempeño superior al del GPEB ( $n=21$ ) en el índice de respiración rápida y superficial (IRRS) ( $40.6 \pm 17.6$ rpm/L y  $75.3 \pm 44.1$ rpm/L, respectivamente;  $p=0.022$ ) y en la frecuencia respiratoria ( $f$ ) ( $19.1 \pm 6.2$ rpm y  $26.1 \pm 9.4$ rpm;  $p=0.044$ ). La prevalencia de  $PE_{m\acute{a}x}$  satisfactoria ha sido pequeña, ha sido observada en el tamaño de los grupos. Además de eso, aunque la  $PE_{m\acute{a}x}$  porcentual del valor predicho haya sido menor en el GPEB, como ha sido esperado ( $67.2 \pm 15.4\%$  vs.  $45.8 \pm 14.7\%$ ;  $p=0.001$ ), la presión inspiratoria máxima porcentual no ha diferido significativamente ( $82.4 \pm 21.8\%$  vs.  $67.8 \pm 18.4\%$ ;  $p=0.077$ ). La  $PE_{m\acute{a}x}$  se ha correlacionado moderadamente con el IRRS ( $r=-0.406$ ;  $p=0.026$ ) y con la  $f$  ( $r=-0.426$ ;  $p=0.017$ ). Se concluye que la  $PE_{m\acute{a}x} \geq 55$ cmH<sub>2</sub>O ha estado asociada a los mejores valores en el IRRS y en la  $f$ , y que la reducción de la fuerza muscular espiratoria ha sido más prevalente y severa que la de la fuerza muscular inspiratoria.

**Palabras clave** | Músculos Abdominales; Debilidad Muscular; Desconexión del Ventilador; Modalidades de Fisioterapia; Cuidados Críticos.

## INTRODUÇÃO

Os músculos abdominais (MA) são os principais responsáveis pela expiração forçada<sup>1</sup>, possuindo ainda outras funções respiratórias. Na inspiração, a tensão de repouso dos MA limita a expansão visceral, permitindo ao diafragma elevar a pressão intra-abdominal, a qual é transmitida para a zona de aposição, e ampliando assim o diâmetro torácico. Além disso, o tônus abdominal contribui na manutenção da capacidade residual funcional (CRF) e da forma de cúpula do diafragma, que é essencial no desempenho deste<sup>2</sup>.

O músculo transverso do abdômen (MTA) se interdigita com o diafragma nas seis últimas costelas e, com outras estruturas passivas e contráteis, estabiliza o gradil costal<sup>3,4</sup>. O MTA contrai ao fim da expiração tranquila e reduz o volume pulmonar abaixo da CRF, causando súbito alongamento diafragmático que facilita a inspiração subsequente. Os MA podem sustentar a ventilação ao manter a expiração ativa compensando sobrecarga nos músculos inspiratórios<sup>5,6</sup>.

A fadiga dos MA reduz a tolerância ao exercício e o fortalecimento aumenta o volume pulmonar e a estabilidade do tronco<sup>7,4</sup>. A inibição muscular causada por cirurgia abdominal torna a tosse pouco eficaz e favorece o acúmulo de secreção nas vias aéreas<sup>8</sup>. No estudo de

McCaughy et al.<sup>9</sup>, a eletroestimulação dos MA em tetraplégicos melhorou a função pulmonar e reduziu o tempo de desmame da ventilação mecânica (DVM).

A falha no DVM tem como uma das principais causas a fraqueza muscular respiratória<sup>10-12</sup>, comumente avaliada pelas pressões inspiratória máxima ( $PI_{m\acute{a}x}$ ) e expiratória máxima ( $PE_{m\acute{a}x}$ )<sup>13</sup>, mas há poucos estudos abordando a função dos músculos da expiração no desmame, cujo foco em geral está nos inspiratórios, particularmente o diafragma<sup>14-16</sup>. Assim, revisões e diretrizes não mencionam a  $PE_{m\acute{a}x}$  e o treino muscular expiratório<sup>10,12,17</sup>. Em contrapartida, recentemente a  $PE_{m\acute{a}x}$ , o índice de respiração rápida e superficial (IRRS) e o teste de patência das vias aéreas foram os únicos preditores independentes de sucesso em 6583 extubações endotraqueais<sup>18</sup>.

Diante do exposto, este estudo objetivou investigar a relação da força muscular expiratória com a respiração espontânea de indivíduos em ventilação mecânica invasiva (VMI).

## METODOLOGIA

Trata-se de um estudo transversal com amostra por conveniência realizado em uma unidade de terapia intensiva

(UTI) geral do Hospital Getúlio Vargas, PE/Brasil. Foi usado o cálculo amostral a partir de uma população finita e de tamanho conhecido. Com uma média de 64 admissões em 60 dias (duração da coleta de dados), a metade do valor (32 indivíduos) foi considerada a população, deduzindo-se perdas e exclusões conforme dados setoriais. Admitindo-se proporção de 50%, confiabilidade de 95% e erro de 5%, o cálculo resultou em  $n=30$ . Todos os indivíduos já internados ou admitidos no período foram avaliados para inclusão. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade de Pernambuco (CAAE 60149516.5.0000.5192). O consentimento informado foi obtido dos pacientes ou parentes.

Os critérios de inclusão foram, por se tratar de uma UTI geral, qualquer descompensação clínica de origem não traumática em curso com insuficiência respiratória aguda, idade  $\geq 18$  e  $\leq 79$  anos e período  $>48$  horas em VMI. Os critérios de exclusão foram: insuficiência cardíaca descompensada, lesão aguda craniana ou torácica, intolerância ao modo *ventilatório Pressão de Suporte* (PSV), frequência respiratória ( $f$ )  $\geq 35$  irpm,  $SpO_2 < 90\%$  com pressão positiva ao final da expiração (PEEP)  $>5$  cmH<sub>2</sub>O ou  $FiO_2 \geq 0,5$ , frequência cardíaca  $\geq 140$  bpm ou pressão arterial sistólica  $\geq 180$  ou  $\leq 90$ <sup>19</sup>.

Foram formados os grupos PE<sub>máx</sub> satisfatória (GPES) e PE<sub>máx</sub> baixa (GPEB), comparados quanto aos parâmetros PE<sub>máx</sub> e PI<sub>máx</sub> (percentuais dos valores preditos<sup>20</sup>), IRRS, volume minuto (VM),  $f$ , volume corrente absoluto (VC<sub>A</sub>) e relativo (VC<sub>R</sub>), e capacidade vital absoluta (CV<sub>A</sub>) e relativa (CV<sub>R</sub>). A PE<sub>máx</sub>, a PI<sub>máx</sub> e o IRRS foram considerados satisfatórios se  $\geq 55$  cmH<sub>2</sub>O,  $< -40$  cmH<sub>2</sub>O e  $< 68$  rpm/L, respectivamente<sup>20</sup>.

A caracterização dos grupos foi determinada pelas variáveis: idade, sexo, tipo de via aérea artificial (VAA), tempo de hospitalização (T-Hosp), tempo na UTI (T-UTI), tempo em VMI (T-VMI), sepse, comorbidades e pós-operatório de cirurgia abdominal e de outras cirurgias.

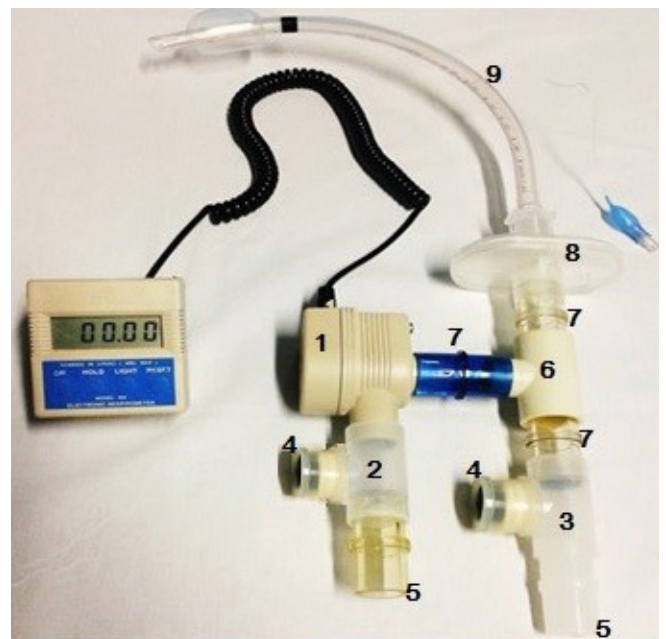
Dois fisioterapeutas cegos quanto à alocação foram treinados em funções preestabelecidas. Os procedimentos foram precedidos de posicionamento dos indivíduos em semidecúbito de 30 a 45°, ajuste da pressão de *cuff* em 30 cmH<sub>2</sub>O<sup>21</sup> e aspiração das vias aéreas. O protocolo começou com um teste de respiração espontânea (PEEP=5 cmH<sub>2</sub>O e pressão de suporte=7 cmH<sub>2</sub>O) intercalado com desconexão do ventilador para avaliação respiratória.

As mensurações das pressões respiratórias duraram 40 a 60 segundos, baseando-se subjetivamente no conforto dos participantes (adaptado de Guimarães et al.<sup>22</sup>) e só foram repetidas se julgadas necessárias. Na PE<sub>máx</sub>,

foi acoplado à VAA um manovacuômetro (Comercial médica-SP/Brasil,  $\pm 120$  cmH<sub>2</sub>O) com válvula unidirecional que permitia apenas a inspiração para realização da manobra de Valsalva: esforço expiratório máximo em capacidade pulmonar total (CPT) com VAA oclusa. O inverso foi feito na PI<sub>máx</sub> (manobra de Muller): esforço inspiratório máximo em volume residual (VR)<sup>13,23</sup>.

Um ventilômetro (AINCA-EUA, modelo 00-295) registrou o VM, que foi dividido pela  $f$  obtendo-se o VC<sub>A</sub> médio em mL, cuja divisão pelo peso predito gerou o VC<sub>R</sub>. O IRRS foi obtido pela divisão da  $f$  pelo VC<sub>A</sub> em litros<sup>24</sup>. Já a capacidade vital (CV) foi estimada pela adaptação do método de Marini et al.<sup>25</sup> com o arranjo de duas válvulas unidirecionais, um tubo 'T' e um ventilômetro (Figura 1). Ocluía-se manualmente a válvula inspiratória e o paciente exalava até chegar ao VR. Em seguida ocluía-se apenas a válvula expiratória e os volumes de consecutivos esforços inspiratórios se somavam até cessar alteração no ventilômetro, indicando que a CPT havia sido alcançada. O valor gerado foi a CV<sub>A</sub> (CV<sub>R</sub>=CV<sub>A</sub>/peso predito).

A altura estimada foi o dobro da distância do centro da fúrcula esternal à extremidade do dedo médio, estando o membro superior em extensão de cotovelo e 90° de abdução de ombro<sup>26</sup>. As equações do peso predito foram: homens:  $50+0,91$  (altura-152,4); mulheres:  $45,5+0,91$  (altura-152,4)<sup>27</sup>.



1. Ventilômetro; 2. Válvula unidirecional inspiratória; 3. Válvula unidirecional expiratória; 4. Oclusão permanente; 5. Oclusão manual; 6. Tubo 'T' 7. Adaptador; 8. Filtro de barreira; 9. Tubo orotraqueal.

Figura 1. Instrumento de exame da capacidade vital

Os dados foram armazenados no *software Epi-info 7.2*. O *software SPSS 20.0* foi usado na análise descritiva (média, desvio padrão, mediana, percentil 25% e 75% e intervalo de confiança de 95%). Na avaliação da normalidade dos dados foi utilizado o Teste de Shapiro-Wilk. A análise da heterogeneidade entre os grupos foi obtida pelo Teste *t* de Student para duas amostras independentes (paramétrico) ou pelo teste de Mann-Whitney (não-paramétrico). As tabelas de contingência foram avaliadas pelo teste exato de Fisher. Correlações foram estabelecidas pelo coeficiente de Pearson (paramétrico) ou de Spearman (não paramétrico). As associações foram significantes quando  $p < 0,05$ .

**RESULTADOS**

Das 68 admissões do período da coleta (incluindo aqueles já internados no início), ocorreram 8 exclusões por intolerância ao modo PSV e outros 30 não foram incluídos por: ausência de VAA (12), extubação em <48 horas (10) e idade >79 anos (8). Assim, foram incluídos 30 indivíduos: 9 (30%) alocados no GPES e 21 (70%) no GPEB, conforme o ponto de corte de 55cmH<sub>2</sub>O na PE<sub>máx</sub>.

Como esperado, a PE<sub>máx</sub> percentual (%PE<sub>máx</sub>) do GPES foi maior que a do GPEB ( $p=0,001$ ), mas não houve diferença na PI<sub>máx</sub> percentual (%PI<sub>máx</sub>) (0,077).

Na subanálise intragrupo, a %PE<sub>máx</sub> foi menor que a %PI<sub>máx</sub> no GPEB ( $p < 0,0001$ ), o que não ocorreu no GPES ( $p=0,145$ ). Apenas um indivíduo, em toda a amostra, apresentou PI<sub>máx</sub> insatisfatória (<40cmH<sub>2</sub>O).

O GPES teve desempenho superior ao do GPEB no IRRS ( $p=0,022$ ) e na *f* ( $p=0,044$ ). A diferença favorecendo o GPES no VC<sub>A</sub> ( $p=0,044$ ) não se manteve no VC<sub>R</sub> (0,312), o que similarmente ocorreu com a CV<sub>A</sub> ( $p=0,035$ ) e a CV<sub>R</sub> ( $p=0,227$ ). O VM não diferiu entre os grupos ( $p=0,586$ ). A Tabela 1 contém a estatística descritiva e analítica dos dados quantitativos.

A %PE<sub>máx</sub> apresentou moderada correlação com o IRRS ( $r=-0,406$ ;  $p=0,026$ ), a *f* ( $r=-0,426$ ;  $p=0,017$ ), o T-VMI ( $r=-0,408$ ;  $p=0,025$ ) e o T-UTI ( $r=-0,426$ ;  $p=0,019$ ). A %PI<sub>máx</sub> só se correlacionou com a %PE<sub>máx</sub> ( $r=0,676$ ;  $p < 0,001$ ). Quanto aos valores mensurados, sem se considerar o percentual, houve relação da PE<sub>máx</sub> ( $r=0,369$ ;  $p=0,045$ ) e da PI<sub>máx</sub> ( $r=-0,406$ ;  $p=0,026$ ) com a CV<sub>A</sub>, porém tal fenômeno não ocorreu com a CV<sub>R</sub>; esta se associou ao IRRS ( $r=-0,640$ ;  $p < 0,001$ ), ao VC<sub>R</sub> ( $r=0,673$ ;  $p < 0,001$ ) e à *f* ( $r=-0,542$ ;  $p=0,002$ ).

Houve mais mulheres no GPEB (71,4%) do que no GPES (22,2%,  $p=0,020$ ). O IRRS satisfatório (<68rpm/L) prevaleceu no GPES (88,89%) em relação ao GPEB (47,62%,  $p=0,049$ ). Não houve diferença nas demais variáveis categóricas (Tabela 2).

Tabela 1. Dados descritivos das variáveis quantitativas e resultado das comparações conforme Teste *t* de Student ou de Mann-Whitney

Variável	Grupo	Média ± DP	Mediana	Percentil		IC 95%		P
				25%	75%	Inferior	Superior	
<b>Demografia e antropometria</b>								
Idade (anos)	GPES	55,11±10,85	56,0	44,0	65,50	46,7	63,45	0,213
	GPEB	59,19±17,80	65,0	55,0	76,80	51,08	67,29	
Altura estimada (cm)	GPES	170,66±10,75	172,0	162,0	178,5	162,39	178,93	0,399 (T)
	GPEB	165,23±8,73	166,0	156,5	180,0	161,26	169,21	
Peso predito (Kg)	GPES	65,61±11,02	67,83	56,47	73,74	57,13	74,09	0,275 (T)
	GPEB	58,47±9,59	57,87	49,22	75,11	54,10	62,83	
<b>Condução hospitalar (dias)</b>								
T-Hosp	GPES	10,88±4,75	10,0	7,50	12,50	7,23	14,54	0,389
	GPEB	19,14±15,22	14	6,50	46,20	12,21	26,07	
T-UTI	GPES	6,44±2,96	6,0	4,0	9,0	4,16	8,72	0,219
	GPEB	10,47±8,07	8,0	4,50	26,0	6,79	14,15	
T-VMI	GPES	7,0±4,15	8,0	2,50	10,0	3,80	10,19	0,229
	GPEB	12,90±11,51	8,0	4,50	32,8	7,66	18,14	
<b>Pressões respiratórias (cmH<sub>2</sub>O)</b>								
PE <sub>máx</sub> mensurada	GPES	74,66±20,27	64,0	58,0	94,50	59,07	90,25	<0,001*
	GPEB	39,42±8,89	40,0	35,0	49,60	35,37	43,47	

(continua)

Tabela 1. Continuação

Variável	Grupo	Média ± DP	Mediana	Percentil		IC 95%		P
				25%	75%	Inferior	Superior	
PI <sub>máx</sub> mensurada	GPES	-86,28±22,70	-80,0	-69,0	-108,0	-68,77	-103,67	<0,001* (t)
	GPEB	-59,76±15,60	-58,0	-46,0	-81,60	-52,65	-66,86	
PE <sub>máx</sub> predita	GPES	112,74±22,34	119,94	111,84	128,42	98,14	127,35	0,021*
	GPEB	90,68±23,96	79,0	72,90	102,18	80,06	101,30	
PI <sub>máx</sub> predita	GPES	105,74±17,18	110,50	102,50	116,90	94,51	116,97	0,021*
	GPEB	89,56±18,82	81,0	76,10	99,62	81,22	97,89	
(% da PE <sub>máx</sub> predita)	GPES	67,21±15,47	69,03	50,07	81,26	57,10	77,33	0,001* (t)
	GPEB	45,88±14,77	44,30	34,23	58,50	39,33	52,42	
(% da PI <sub>máx</sub> predita)	GPES	82,43±21,81	81,44	69,48	94,07	67,17	96,69	0,077 (t)
	GPEB	67,87±18,46	63,89	58,95	74,07	59,69	76,05	
<b>Ventilometria</b>								
IRRS (rpm/L)	GPES	40,68±17,65	41,22	26,46	54,34	27,11	54,25	0,022*
	GPEB	75,37±44,09	69,23	40,27	152,29	55,29	95,44	
VC <sub>A</sub> (ml)	GPES	503,77±114,35	440,64	420,40	622,21	415,87	591,67	0,044*
	GPEB	398,02±123,80	400,0	306,36	572,08	341,66	454,37	
VC <sub>R</sub> (ml/Kg)	GPES	7,83±2,09	7,74	6,42	8,66	6,45	9,20	0,312 (t)
	GPEB	6,91±2,28	6,64	5,54	8,28	5,90	7,92	
f (rpm)	GPES	19,11±6,27	18	15,0	23,50	14,28	23,93	0,044*
	GPEB	26,14±9,46	24	19,5	42,20	21,83	30,44	
VM (ml)	GPES	9273,3±2499,9	8900	7020	11430	7351,7	11194,9	0,586 (t)
	GPEB	10097,1±4151,1	9440	7470	17002	8207,5	11986,7	
CV <sub>A</sub> (mL)	GPES	1917,22±610,21	1865	1425	2370	1448,1	2386,2	0,035* (t)
	GPEB	1446,42±503,18	1435	1015	2292	1217,3	1675,4	
CV <sub>R</sub> (mL/Kg)	GPES	29,61±7,94	29,99	22,63	36,42	23,51	35,72	0,227 (t)
	GPEB	24,85±10,31	25,24	17,61	37,78	20,15	29,54	

DP: Desvio padrão; IC 95%: Intervalo de confiança de 95%; T-VMI: Tempo em ventilação mecânica invasiva; T-Hosp: Tempo de hospitalização; T-UTI: Tempo na unidade de terapia intensiva; PE<sub>máx</sub>: Pressão expiratória máxima; PI<sub>máx</sub>: Pressão inspiratória máxima; IRRS: Índice de respiração rápida e superficial; VC<sub>A</sub>: Volume corrente absoluto; VC<sub>R</sub>: Volume corrente relativo; f: Frequência respiratória; VM: Volume minuto; CV<sub>A</sub>: Capacidade vital absoluta; CV<sub>R</sub>: Capacidade vital relativa; GPES: Grupo pressão expiratória máxima satisfatória; GPEB: Grupo pressão expiratória máxima baixa; (t): Dados normais avaliados pelo teste t de Student; \* p<0,05.

Tabela 2. Dados descritivos das variáveis categóricas e resultados das comparações conforme o Teste Exato de Fisher.

Variáveis	Opções	GPES	GPEB	P
		n (%)	n (%)	
Sexo	Masculino	7 (77,8%)	6 (28,6%)	0,020*
	Feminino	2 (22,2%)	15 (71,4%)	
Tipo de VAA	TOT	8 (88,9%)	15 (71,4%)	0,393
	TQT	1 (11,1%)	6 (28,6%)	
Sepse	Sim	3 (33,3%)	12 (57,1%)	0,427
	Não	6 (66,7%)	9 (42,9%)	
Cirurgia abdominal	Sim	4 (44,4%)	7 (33,3%)	0,687
	Não	5 (55,6%)	14 (66,7%)	
DM	Sim	0 (0,0%)	8 (38,1%)	0,067
	Não	9 (100%)	13 (61,9%)	
HAS	Sim	5 (55,6%)	5 (23,8%)	0,115
	Não	4 (44,4%)	16 (76,2%)	

(continua)



Tabela 2. Continuação

Variáveis	Opções	GPES n (%)	GPEB n (%)	P
Doença respiratória	Sim	1 (11,1%)	9 (42,9%)	0,204
	Não	8 (88,9%)	12 (57,1%)	
Doença cardiovascular	Sim	0 (0,0%)	2 (9,5%)	1,0
	Não	9 (100%)	19 (90,5%)	
Doenças do SNC	Sim	2 (22,2%)	7 (33,3%)	0,681
	Não	7 (77,8%)	14 (66,7%)	
Passado de PCR	Sim	1 (11,1%)	1 (4,8%)	0,517
	Não	8 (88,9%)	20 (95,3%)	
Insuficiência renal	Sim	3 (33,3%)	7 (33,3%)	1,0
	Não	6 (66,7%)	14 (66,7%)	
Doença do TGI	Sim	3 (33,3%)	6 (28,6%)	1,0
	Não	6 (66,7%)	15 (71,4%)	
Outras cirurgias	Sim	3 (33,3%)	6 (28,6%)	1,0
	Não	6 (66,7%)	15 (71,4%)	
IRRS satisfatório (<68irp/min/L)	Sim	8 (88,89%)	10 (47,62%)	0,049*
	Não	1 (11,1%)	11 (52,38%)	

GPES: Grupo pressão expiratória máxima satisfatória; GPEB: Grupo pressão expiratória máxima baixa; VAA: Via aérea artificial; DM: Diabetes mellitus; HAS: Hipertensão arterial sistêmica; SNC: Sistema nervoso central; PCR: Parada cardiorrespiratória; TGI: Trato gastrointestinal; IRRS: Índice de respiração rápida e superficial; \* p<0,05.

## DISCUSSÃO

O GPES teve melhor desempenho no IRRS e na  $f$ . Não houve diferença no  $VC_R$ , na  $CV_R$  e no VM. A prevalência de  $PE_{máx}$  satisfatória foi baixa, observada no tamanho dos grupos. A  $PI_{máx}$  não variou estatisticamente entre os grupos e só um indivíduo teve  $PI_{máx}$  insatisfatória. Dentre as correlações observadas, destacam-se as observadas apenas na  $\%PE_{máx}$  percentual com o IRRS, a  $f$ , o T-VMi e o T-UTI e as correlações da  $CV_R$  com o IRRS e seus componentes.

A subanálise intragrupo das pressões respiratórias mostra que a  $\%PE_{máx}$  foi menor que a  $\%PI_{máx}$  em ambos os grupos, sendo a diferença significativa no GPEB, sugerindo que a debilidade expiratória foi mais severa que a inspiratória. Este provavelmente é um achado inédito em pacientes críticos. Todavia, alterações da complacência do sistema respiratório são comuns nesta população<sup>28</sup> e podem culminar em menor CPT, reduzindo a  $PE_{máx}$ <sup>13</sup>. Porém, a fraqueza muscular adquirida na UTI (FMA-UTI) pode ter influência no fenômeno<sup>29</sup>.

Embora o IRRS satisfatório do GPES possa ser atribuído à ação de ambos os grupos musculares, os músculos da expiração podem ter sido determinantes, visto que: eles modulam o controle respiratório protegendo os músculos inspiratórios<sup>30</sup>; os MA facilitam a contração

diafragmática<sup>2</sup>; a  $PE_{máx}$  adequada pode indicar maior eficácia da tosse, portanto maior permeabilidade das vias aéreas e menor trabalho respiratório<sup>8,31</sup>; o GPEB teve  $PI_{máx}$  de  $-59,76 \pm 15,60$ , que é superior ao ponto de corte de  $-40 \text{ cmH}_2\text{O}$ , mas não refletindo em um bom IRRS; apenas a  $\%PE_{máx}$  se correlacionou com o IRRS; não há correlação da atividade elétrica do diafragma com a  $f$  ou com o IRRS<sup>32</sup>; e normalmente a negatização inspiratória de  $-5 \text{ cmH}_2\text{O}$  na pressão pleural é suficiente para a inalação de 500ml de ar<sup>33</sup>. O IRRS é o índice preditivo mais utilizado no DVM<sup>17</sup>, mas o desenho deste estudo limita as interpretações. É necessário um acompanhamento longitudinal para verificar os desfechos no DVM de acordo com a  $PE_{máx}$ .

A semelhança encontrada no VM foi observada em outros estudos<sup>18,30,32</sup> e pode advir da tolerância da amostra ao modo PSV. Como o VM é produto do  $VC_A$  pela  $f$ , foi encontrada diferença nessas variáveis, que tendem a se modificar inversamente. Assim, o GPES teve  $f$  menor por apresentar maior  $VC_A$ , enquanto o GPEB compensou o baixo  $VC_A$  aumentando a  $f$ . Como a diferença no  $VC_R$  não foi significativa, a maior contribuição veio da  $f$ , concordando com Sugiura et al.<sup>30</sup>, segundo os quais a fadiga expiratória desencadeia o padrão rápido e superficial e, até certo nível de esforço, a alteração no  $VC_A$  não é significativa.

A  $CV_R$  não variou estatisticamente entre os grupos, mesmo se correlacionando com o IRRS e seus componentes isoladamente, os quais, excetuando o  $VC_R$ , mostraram diferença na comparação do GPES com o GPEB, bem como correlação com a  $\%PE_{m\acute{a}x}$ . É possível que o uso de válvulas unidirecionais para estimular os indivíduos a exercerem maiores esforços promova maior homogeneidade mesmo entre aqueles com diferença de força, uma vez que o volume de ar é acumulado a cada ciclo respiratório. Os achados também podem resultar da ativação inadequada dos MA<sup>1</sup>, pois a CV pode aumentar com o treinamento<sup>3</sup>. Outrossim, além de depender da função neuromuscular respiratória, a CV é influenciada pelas propriedades mecânicas do sistema tóraco-pulmonar, ocorrendo semelhanças diante de pressões respiratórias distintas<sup>34</sup>. O método utilizado na CV foi validado<sup>25</sup>, mas ainda é necessário fazê-lo em indivíduos com VAA. Na validação, os autores encontraram em participantes hígidos e em pneumopatas ambulatoriais, respectivamente,  $CV_A$  de 4,63L e 3,02L. Os valores neste estudo foram 1,91L (GPES) e 1,44L (GPEB), números aceitáveis devido à necessidade de VMI. Além disso, as correlações observadas indicam que o método produziu dados fidedignos.

Os músculos expiratórios podem ser avaliados dinamicamente através da tosse<sup>8</sup>. Indivíduos com pico de fluxo expiratório na tosse <60L/min foram cinco vezes mais propensos a ter extubação mal sucedida e 19 vezes mais propensa a morrer no hospital<sup>35</sup>. Há interesse em índices que prevejam resultados combinados de DVM e extubação<sup>35,18</sup>. Embora a necessidade de suporte ventilatório e de VAA tenham etiologias diferentes<sup>18</sup>, a função expiratória parece útil na avaliação da descontinuidade de ambas e da debilidade física.

Comprometimentos no diafragma causados pela polineuromiopia da doença crítica (PNMDC) são considerados vitais no prolongamento da VMI<sup>36</sup>, mas pouco se sabe sobre o envolvimento dos MA e sua repercussão. A comparação da pressão transdiafragmática em indivíduos com sucesso e insucesso no DVM não evidenciou diferença no estabelecimento de fadiga no diafragma<sup>37</sup>. Este estudo não mostra redução significativa da  $\%PI_{m\acute{a}x}$  entre os grupos, sendo possível que a PNMDC afete primariamente os músculos expiratórios. O mecanismo carece porém de investigação, pois o baixo desempenho dos MA também é visto na lombalgia<sup>38</sup>, doença pulmonar obstrutiva crônica<sup>39</sup>, esclerose múltipla<sup>40</sup> e lesão medular<sup>41</sup>.

O diagnóstico da PNMDC requer métodos invasivos, de difícil interpretação e limitados por condições como baixo nível de consciência, edema e neuropatia prévia<sup>29</sup>. O *Medical Research Council Sum Score* (MRC-SS) é usado na hipótese diagnóstica por identificar a FMA-UTI, mas também requer cooperação do paciente<sup>29,42</sup>. Tzanis et al.<sup>43</sup> encontraram correlação entre a  $PI_{m\acute{a}x}$  e o MRC-SS, mostrando ser uma alternativa. Houve similarmente correlação entre o MRC-SS e as pressões respiratórias, com maior significância na  $PE_{m\acute{a}x}$  ( $p < 0,0001$ ) em relação à  $PI_{m\acute{a}x}$  ( $p = 0,001$ )<sup>28</sup>.

A associação entre fraqueza muscular periférica e duração do T-VMI é mediada pela fraqueza respiratória concorrente<sup>28</sup>. Na ausência de desvantagem mecânica, a redução da  $PE_{m\acute{a}x}$  pode refletir fraqueza muscular generalizada<sup>44</sup>. Durante um esforço expiratório máximo a atividade elétrica dos MA é pequena, em comparação à registrada ao se desencostar a cabeça e os ombros de uma superfície estando em decúbito dorsal<sup>45</sup>. Entender a função muscular expiratória no DVM é essencial na abordagem terapêutica.

A correlação existente entre a  $\%PE_{m\acute{a}x}$  e a  $\%PI_{m\acute{a}x}$  gera um questionamento ao consenso atual em terapia intensiva de apenas treinar os músculos inspiratórios. Faz-se necessário comparar os treinos musculares expiratório e inspiratório, isoladamente e combinados, bem como testar outras estratégias. No caso da eletroestimulação neuromuscular, por ser o MTA o músculo mais profundo e o mais atuante na expiração forçada, seguido dos oblíquos e do reto abdominal<sup>1</sup>, tal base pode guiar a disposição de eletrodos para estimulação neuromuscular efetiva e a monitoração do recrutamento dos MA através de imagens ultrassonográficas<sup>46</sup>. Além disso, movimentos ativos dos membros inferiores podem ter benefícios por serem precedidos de ativação do MTA<sup>47</sup>, além de que o aumento da CV possa ser alcançado fortalecendo os músculos inspiratórios na CPT e os expiratórios no VR<sup>40</sup>.

Este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. Houve alta prevalência de mulheres no GPEB que, associada a uma série de mudanças não significativas na idade e em outras variáveis clínicas, pode interferir nos desfechos principais. É necessário que em amostras maiores indivíduos sejam estratificados por sexo e faixa etária para análise da influência da  $PE_{m\acute{a}x}$  nos diferentes grupos. Por fim, excetuando as pressões e os volumes, este estudo não traz novos dados sobre a associação dessas variáveis com outras, como a espessura muscular e a mobilidade diafragmática, o que poderia aprofundar significativamente o conhecimento sobre

o papel dos músculos expiratórios e inspiratórios no desmame da ventilação mecânica.

## CONCLUSÃO

A  $PE_{\text{máx}} \geq 55 \text{cmH}_2\text{O}$  esteve associada a melhores valores no IRRS e na *f*. A redução da força muscular expiratória foi mais prevalente e severa que da inspiratória. Não houve participantes com  $PE_{\text{máx}}$  normal e  $PI_{\text{máx}}$  baixa concomitantemente, o que limita as conclusões sobre a função isolada dos músculos expiratórios, mas indica que os inspiratórios são menos atingidos, além dos efeitos do treinamento muscular expiratório precisarem ser investigados no desmame difícil.

## REFERÊNCIAS

- Abe T, Kusahara N, Yoshimura N, Tomita T, Easton PA. Differential respiratory activity of four abdominal muscles in humans. *J Appl Physiol*. 1996;80(4):1379-89. doi: 10.1152/jappl.1996.80.4.1379
- Reid WD, Dechman G. Considerations when testing and training the respiratory muscles. *Phys Ther*. 1995;75(11):971-82. doi: 10.1093/ptj/75.11.971
- Kim E, Lee H. The effects of deep abdominal muscle strengthening exercises on respiratory function and lumbar stability. *J Phys Ther Sci*. 2013;25(6):663-5. doi: 10.1589/jpts.25.663
- Silva KM, Sayers BM, Sears TA, Stagg DT. The changes in configuration of the rib cage and abdomen during breathing in the anaesthetized cat. *J Physiol*. 1977;266(2):499-521. doi: 10.1113/jphysiol.1977.sp011779
- Gollee H, Hunt KJ, Fraser MH, McLean AN. Abdominal stimulation for respiratory support in tetraplegia: a tutorial review. *J Automatic Contr*. 2008;18(2):85-92. doi: 10.2298/JAC0802085G
- Cuello AF, Aquim EL, Cuello GA. Músculos ventilatórios: biomotores da ventilação: avaliação e tratamento. São Paulo: Andreoli; 2013.
- Taylor BJ, Romer LM. Effect of expiratory muscle fatigue on exercise tolerance and locomotor muscle fatigue in healthy humans. *J Appl Physiol*. 2008;104(5):1442-51. doi: 10.1152/japplphysiol.00428.2007
- Suárez AA, Pessolano FA, Monteiro SG, Ferreyra G, Capria ME, Mesa L, et al. Peak flow and peak cough flow in the evaluation of expiratory muscle weakness and bulbar impairment in patients with neuromuscular disease. *Am J Phys Med Rehabil*. 2002;81(7):506-11. doi: 10.1097/00002060-200207000-00007
- McCaughey EJ, Berry HR, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Abdominal functional electrical stimulation to assist ventilator weaning in acute tetraplegia: a cohort study. *PLoS One*. 2015;10(6):e0128589. doi: 10.1371/journal.pone.0128589
- Boles JM, Bion J, Cannors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J*. 2007;29:1033-56. doi: 10.1183/09031936.00010206
- Appleton R, Kinsella J. Intensive care unit: acquired weakness. *Contin Educ Anaesth Crit Care Pain*. 2012;12(2):62-6. doi: 10.1093/bjaceaccp/mkr057
- Associação de Medicina Intensiva Brasileira, Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia. Diretrizes brasileiras de ventilação mecânica. São Paulo: AMIB, SBPT; 2013.
- American Thoracic Society, European Respiratory Society. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(4):518-624. doi: 10.1164/rccm.166.4.518
- Caruso P, Carnieli DS, Kagohara KH, Anciães A, Segarra JS, Deheinzelin D. Trend of maximal inspiratory pressure in mechanically ventilated patients: predictors. *Clinics*. 2008;63(1):33-8. doi: 10.1590/S1807-59322008000100007
- Daniel Martin A, Smith BK, Davenport PD, Harman E, Gonzalez-Rothi RJ, Baz M, et al. Inspiratory muscle strength training improves weaning outcome in failure to wean patients: a randomized trial. *Crit Care*. 2011;15(2):R84. doi: 10.1186/cc10081
- Condessa RL, Brauner JS, Saul AL, Baptista M, Silva ACT, Vieira SRR. Inspiratory muscle training did not accelerate weaning from mechanical ventilation but did improve tidal volume and maximal respiratory pressures: a randomised trial. *J Physiother*. 2013;59(2):101-7. doi: 10.1016/S1836-9553(13)70162-0
- Nemer SN, Barbas CSV. Parâmetros preditivos para o desmame da ventilação mecânica. *J Bras Pneumol*. 2011;37(5):669-79. doi: 10.1590/S1806-37132011000500016
- Lai CC, Chen CM, Chiang SR, Liu WL, Weng SF, Sung MI, et al. Establishing predictors for successfully planned endotracheal extubation. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(41):e4852. doi: 10.1097/MD.0000000000004852
- Duan J, Liu J, Xiao M, Yang X, Wu J, Zhou L. Voluntary is better than involuntary cough peak flow for predicting re-intubation after scheduled extubation in cooperative subjects. *Respir Care*. 2014;59(11):1643-51. doi: 10.4187/respcare.03045
- 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. doi: 10.1590/S0100-879X1999000600007
- Hamilton VA, Grap MJ. The role of the endotracheal tube cuff in microaspiration. *Heart Lung*. 2012;41(2):167-72. doi: 10.1016/j.hrtlng.2011.09.001
- Guimarães FS, Alves FF, Constantino SS, Dias CM, Menezes SLS. Maximal inspiratory pressure evaluation among non-cooperative critical patients: comparison between two methods. *Rev Bras Fisioter (São Carlos)*. 2007;11(3):233-8. doi: 10.1590/S1413-35552007000300010
- Truwit JD, Marini JJ. Validation of a technique to assess maximal inspiratory pressure in poorly cooperative patients. *Chest*. 1992;102(4):1216-9. doi: 10.1378/chest.102.4.1216
- Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med*. 1991;324(21):1445-50. doi: 10.1056/NEJM199105233242101



25. Marini JJ, Rodriguez RM, Lamb VJ. Involuntary breath-stacking: an alternative method for vital capacity estimation in poorly cooperative subjects. *Am Rev Respir Dis.* 1986;134(4):694-8. doi: 10.1164/arrd.1986.134.4.694
26. Bjelica D, Popović S, Kezunović M, Petković J, Jurak G, Grasgruber P. Body height and its estimation utilising arm span measurements in Montenegrin adults. *Anthropol Notebooks.* 2012;18(2):69-83.
27. Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 2000;342(18):1301-8. doi: 10.1056/NEJM200005043421801
28. Jonghe B, Bastuji-Garin S, Durand MC, Malissin I, Rodrigues P, Cerf C, et al. Respiratory weakness is associated with limb weakness and delayed weaning in critical illness. *Crit Care Med.* 2007;35(9):2007-15. doi: 10.1097/01.ccm.0000281450.01881.d8
29. Confer J, Wolcott J, Hayes R. Critical illness polyneuromyopathy. *Am J Health Syst Pharm.* 2012;69(14):1199-205. doi: 10.2146/ajhp110343
30. Sugiura H, Sako S, Oshida Y. Effect of expiratory muscle fatigue on the respiratory response during exercise. *J. Phys Ther Sci.* 2013;25(11):1491-5. doi: 10.1589/jpts.25.1491
31. Kim J, Davenport P, Sapienza C. Effect of expiratory muscle strength training on elderly cough function. *Arch Gerontol Geriatr.* 2009;48(3):361-6. doi: 10.1016/j.archger.2008.03.006
32. Liu L, Liu H, Yang Y, Huang Y, Liu S, Beck J, et al. Neuroventilatory efficiency and extubation readiness in critically ill patients. *Crit Care.* 2012;16(4):R143. doi: 10.1186/cc11451
33. Schellekens WJ, Van Hees HW, Doorduyn J, Roesthuis LH, Scheffer GJ, Van der Hoeven JG, et al. Strategies to optimize respiratory muscle function in ICU patients. *Crit Care.* 2016;20(1):103. doi: 10.1186/s13054-016-1280-y
34. Vassilakopoulos T, Roussos C. Physiology and testing of respiratory muscles. In: Albert R, Spiro S, Jett J, editors. *Clinical respiratory medicine.* 3rd ed. Mosby Elsevier, Philadelphia: Mosby Elsevier; 2008. p. 135-146.
35. Smina M, Salam A, Khamiees M, Gada P, Amoateng-Adjepong Y, Manthous CA. Cough peak flows and extubation outcomes. *Chest.* 2003;124(1):262-8. doi: 10.1378/chest.124.1.262
36. Hermans G, Jonghe B, Bruyninckx F, Van den Berghe G. Clinical review: critical illness polyneuropathy and myopathy. *Crit Care.* 2008;12(6):238. doi: 10.1186/cc7100
37. Laghi F, Cattapan SE, Jubran A, Parthasarathy S, Warshawsky P, Choi YSA, et al. Is weaning failure caused by low-frequency fatigue of the diaphragm? *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;167(2):120-7. doi: 10.1164/rccm.200210-1246OC
38. Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. *Spine.* 1996;21(22):2640-50. doi: 10.1097/00007632-199611150-00014
39. Rochester DF, Braun NMT. Determinants of maximal inspiratory pressure in chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis.* 1985;132(1):42-7. doi: 10.1164/arrd.1985.132.1.42
40. Gosselink R, Kovacs L, Ketelaer P, Carton H, Decramer M. Respiratory muscle weakness and respiratory muscle training in severely disabled multiple sclerosis patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81(6):747-51. doi: 10.1016/S0003-9993(00)90105-9
41. Gounden P. Static respiratory pressures in patients with post-traumatic tetraplegia. *Spinal Cord.* 1997;35(1):43-7. doi: 10.1038/sj.sc.3100336
42. Zhou C, Wu L, Fengming N, Ji W, Wu J, Zhang H. Critical illness polyneuropathy and myopathy: a systematic review. *Neural Regen Res.* 2014;9(1):101-10. doi: 10.4103/1673-5374.125337
43. Tzani G, Vasileiadis I, Zervakis D, Karatzanos E, Dimopoulos S, Pitsolis T, et al. Maximum inspiratory pressure, a surrogate parameter for the assessment of ICU-acquired weakness. *BMC Anesthesiology.* 2011;11:14. doi: 10.1186/1471-2253-11-14
44. O'Neill S, McCarthy DS. Postural relief of dyspnoea in severe chronic airflow limitation: relationship to respiratory muscle strength. *Thorax.* 1983;38(8):595-600. doi: 10.1136/thx.38.8.595.
45. Campbell EJM, Green JH. The expiratory function of the abdominal muscles in man: an electromyographic study. *J Physiol.* 1953;120(3):409-18. doi: 10.1113/jphysiol.1953.sp004903
46. Larivière C, Gagnon D, Oliveira JE Jr., Henry SM, Mecheri H, Dumas JP. Reliability of ultrasound measures of the transversus abdominis: effect of task and transducer position. *PM R.* 2013;5(2):104-13. doi: 10.1016/j.pmrj.2012.11.002
47. Hodges PW. Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pelvic stability? *Man Ther.* 1999;4(2):74-86. doi: 10.1054/math.1999.0169