

Isabel Cristina Muñoz Ortega<sup>1</sup>, Alher Mauricio Hernández Valdivieso<sup>1</sup>, Joan Francesc Alonso Lopez<sup>2</sup>, Miguel Ángel Mañanas Villanueva<sup>2</sup>, Luis Horacio Atehortúa Lopez<sup>3,4</sup>

# Avaliação dos índices de desmame com base na atividade do diafragma em pacientes submetidos à ventilação mecânica após cirurgia cardiovascular. Um estudo piloto

*Assessment of weaning indexes based on diaphragm activity in mechanically ventilated subjects after cardiovascular surgery. A pilot study*

## RESUMO

**Objetivo:** Avaliar a viabilidade do uso de índices derivados do sinal de eletromiografia de superfície para prever desfechos do processo de desmame em pacientes mecanicamente ventilados após cirurgia cardíaca.

**Métodos:** Foram incluídos dez pacientes em pós-operatório de cirurgia cardiovascular que não cumpriram os critérios para extubação precoce. Os sinais da eletromiografia de superfície foram registrados, assim como as variáveis ventilatórias durante o processo de desmame, sendo o momento do procedimento determinado pela equipe médica, segundo sua experiência. Avaliaram-se diversos índices da atividade dos músculos respiratórios obtidos a partir da eletromiografia de superfície com uso de técnicas

de processamento lineares e não lineares. Compararam-se dois grupos: pacientes com e sem sucesso no desmame.

**Resultados:** Os índices obtidos permitiram estimar a atividade diafragmática de cada paciente, demonstrando uma correlação entre atividade elevada e falha do teste de desmame.

**Conclusão:** A eletromiografia de superfície está se tornando um procedimento promissor para avaliar as condições de pacientes ventilados mecanicamente, mesmo em condições complexas, como as que envolvem aqueles após cirurgia cardiovascular.

**Descritores:** Respiração artificial; Diafragma/fisiologia; Eletromiografia/métodos; Desmame do respirador; Procedimentos cirúrgicos cardiovasculares

1. Grupo de Pesquisa em Bioinstrumentação e Engenharia Clínica, Departamento de Bioengenharia, Faculdade de Engenharia, Universidad de Antioquia - Medellín, Colômbia.
2. Departamento de Controle Automático e Centro de Pesquisa em Engenharia Biomédica, Universitat Politècnica de Catalunya - Barcelona, Espanha.
3. Programa de Medicina Intensiva e Crítica, Faculdade de Medicina, Universidad de Antioquia - Medellín, Colômbia.
4. Unidade de Terapia Intensiva Cardiovascular, Hospital San Vicente Fundación - Medellín, Colômbia.

**Conflitos de interesse:** Nenhum.

Submetido em 11 de novembro de 2016

Aceito em 20 de fevereiro de 2017

### Autor correspondente:

Alher Mauricio Hernández Valdivieso  
Grupo de Pesquisa em Bioinstrumentação e Engenharia Clínica, Programa de Bioengenharia  
Universidad de Antioquia  
Rua 70 No. 52-51,  
Medellín, Colômbia  
E-mail: alher.hernandez@udea.edu.co

**Editor responsável:** Gilberto Friedman

DOI: 10.5935/0103-507X.20170030

## INTRODUÇÃO

São inegáveis os benefícios da assistência mecânica ventilatória, mas seu uso também se associa potencialmente a múltiplas complicações, como lesão das vias aéreas pela intubação prolongada e dano pulmonar associado à ventilação.<sup>(1)</sup>

A interrupção da ventilação mecânica é aconselhável tão logo seja possível, para proteger as vias aéreas, desde que o paciente seja capaz de manter uma ventilação adequada. O desmame é considerado difícil quando o paciente cumpre os critérios para sair do suporte ventilatório e tem uma ou mais falhas nas tentativas de extubação, ou quando, após se iniciar o desmame, é impossível concluir o processo de retirada.<sup>(2)</sup>

O sucesso na extubação precoce se associa com recuperação mais rápida do paciente e com significativa redução dos custos associados ao tratamento em terapia intensiva.<sup>(3)</sup> Antes que se dê início ao processo de desmame, é necessário que a razão que levou à necessidade de ventilação mecânica tenha sido satisfatoriamente resolvida. Além disto, o paciente deve estar clínica e

hemodinamicamente estável, pois, apesar da resolução da causa primária para a insuficiência respiratória, o insucesso no desmame pode ser influenciado por diversas condições, como instabilidade hemodinâmica, desequilíbrios do sistema acidobásico, distúrbios eletrolíticos, sobrecarga de volume, alteração da condição mental e função muscular diminuída por miopatia secundária.<sup>(4)</sup>

Episódios repetidos de falha no desmame têm sido associados a diversos fatores, inclusive um desequilíbrio entre o aumento da carga de trabalho respiratório (WOB - *work of breathing*) e a capacidade reduzida do diafragma. Mais ainda, tem sido identificado que uma disfunção diafragmática após cirurgia de grande porte é fator comum na insuficiência respiratória em pacientes após cirurgia cardíaca.<sup>(5)</sup>

Atualmente, utilizam-se diversos índices para prever os desfechos da extubação no processo de desmame, como a proporção entre a frequência respiratória e o volume corrente (conhecido como índice de respiração rápida e superficial - IRRS), a pressão inspiratória durante os primeiros 100ms, e a pressão inspiratória máxima, entre outros.<sup>(6)</sup> Porém, em sua maioria, estes índices são calculados a partir de variáveis relacionadas à ventilação mecânica e não se comprovaram suficientemente precisos para prever um processo de desmame bem-sucedido.<sup>(7-9)</sup>

O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade do uso de índices derivados do sinal de eletromiografia de superfície (sEMG) na predição dos desfechos do desmame de pacientes mecanicamente ventilados após cirurgia cardíaca. Foram obtidos diversos índices que caracterizam a atividade do diafragma detectada pela sEMG nos domínios tempo e frequência. A finalidade foi analisar quais casos tiveram maior envolvimento muscular, indicando aumento do trabalho ventilatório e, assim, uma maior probabilidade de insucesso no desmame.

## MÉTODOS

O estudo foi conduzido em conformidade com a Declaração de Helsinque e suas revisões subsequentes. O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética do *Hospital San Vicente Fundación* (Ata 01-2012, 20-01-2012), Medellín, Colômbia. Antes da inscrição no estudo, obteve-se a assinatura de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido por um parente de cada paciente.

Considerando que a mecânica ventilatória se baseia em um conjunto de características de fluídos que permitem a mobilização de gases em direção e a partir dos alvéolos, o objetivo clínico foi caracterizar os pacientes apesar das enormes diferenças hemodinâmicas e complicações cirúrgicas. A abordagem proposta neste artigo permitiu avaliar o sistema respiratório de um ponto de vista físico, com uso

da atividade muscular do diafragma para caracterizar o padrão de respiração de pacientes, a fim de prever o desfecho do desmame.

Dez pacientes do sexo masculino em pós-operatório de cirurgia cardíaca foram inscritos neste estudo piloto. Todos os pacientes cumpriam os critérios de inclusão: adultos (18 anos de idade ou mais), índice de massa corporal (IMC) inferior a 30, com necessidade de ventilação mecânica após cirurgia e sem diagnóstico de doença neuromuscular ou encefalopatia. A coleta de dados foi realizada no momento em que se realizou o teste de desmame, conduzido pelo especialista em terapia intensiva com base nas informações clínicas e nos critérios médicos. Considerou-se falha do desmame quando o paciente necessitou de suporte ventilatório durante 24 horas adicionais ou reintubação 72 horas após o teste de desmame. Sete participantes (idade de  $63,14 \pm 16,9$  anos, IMC  $22,3 \pm 2,5$ ) tiveram desmame bem-sucedido, dos quais quatro foram submetidos à cirurgia de revascularização do miocárdio, dois tiveram substituição valvar e um foi submetido à correção cirúrgica de ectasia do ânulo aórtico. Três dos pacientes (idade de  $68,7 \pm 7,0$  anos, IMC  $25,5 \pm 3,2$ ), identificados na base de dados como pacientes 5, 7 e 10, tiveram falha do desmame. Destes, um foi submetido à cirurgia de revascularização do miocárdio, um teve substituição valvar e outro foi submetido a ambas as cirurgias.

## Delineamento experimental

Durante o estudo, registraram-se sinais de sEMG do músculo diafragma com utilização de um amplificador de eletromiografia (Bagnoli™ Desktop EMG System, Delsys) com configuração bipolar, conectado a um cartão de aquisição digital (NI USB 6212, National Instruments) com frequência de amostragem de 1.024Hz. Segundo estudos prévios,<sup>(10)</sup> os eletrodos de superfície foram localizados entre o sétimo e o oitavo espaços intercostais em uma linha imaginária que se localiza a meia distância entre a linha axilar média e a linha clavicular externa. As variáveis ventilatórias, volume, pressão e fluxo, assim como o nível de pressão positiva expiratória final (PEEP), complacência pulmonar, resistência pulmonar e frequência respiratória, foram registrados a partir de um ventilador mecânico Hamilton G5 com o programa de computador Hamilton Datalogger Software (Hamilton Medical, Bonaduz, Suíça) com frequência de amostragem de 1.024Hz. A sincronização com os sinais ventilatórios e de sEMG foi realizada com um dispositivo especialmente projetado, que é completamente documentado na literatura.<sup>(11)</sup> A tabela 1 descreve as variáveis registradas e os parâmetros avaliados, juntamente de suas abreviaturas.

**Tabela 1** - Abreviaturas e definições das variáveis registradas e parâmetros avaliados

Abreviatura	Definição
Fr	Frequência respiratória
PEEP	Nível de pressão positiva expiratória final
C	Complacência
$R_{insp}$	Resistência inspiratória
$R_{exp}$	Resistência expiratória
Q	Fluxo
V	Volume
P	Pressão
DIA	sEMG do diafragma
ML	Retardo médio. Índice relacionado com a sincronização entre o esforço dos músculos respiratórios e a resposta do ventilador
$F_c$	Frequência central. Índice relacionado com a ativação de diferentes tipos de fibras musculares e fadiga muscular
Proporção HL	Índice relacionado com a ativação de diferentes tipos de fibras musculares e fadiga muscular
$IM_{max}$	Informação mútua máxima. Este índice oferece uma ideia da combinação não linear que existe entre dois sinais

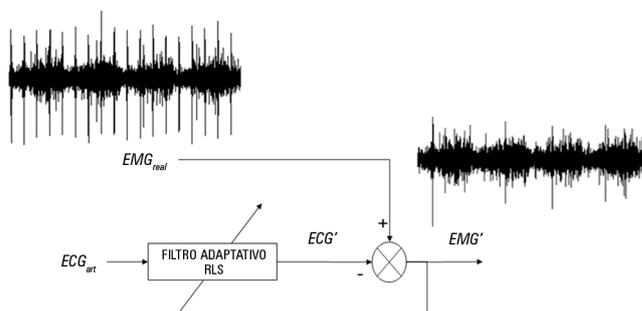
O tradicional índice para desmame, o IRRS, foi obtido, assim como se avaliou a mecânica ventilatória do paciente, levando em consideração a complacência pulmonar e a resistência das vias respiratórias ao fluxo de ar na inspiração e na expiração. Estas últimas variáveis foram obtidas diretamente do ventilador mecânico, que utiliza um método de estimativa com base em ajuste pelos quadrados mínimos a cada respiração.<sup>(12)</sup>

### Processamento do sinal

Foram selecionados períodos de 180 segundos na sEMG com uso de um critério visual para rejeitar movimentos e artefatos não previsíveis. Utilizou-se um filtro de seleção de banda FIR entre 10Hz e 500Hz<sup>(13,14)</sup> com utilização de uma janela de função Kaiser e um filtro de faixa Butterworth de 60Hz. A interferência cardíaca foi reduzida por meio de um filtro adaptativo RLS de quinta ordem.<sup>(15)</sup> A figura 1 apresenta o processo principal, no qual a  $EMG_{real}$  é o sinal de EMG registrado,  $ECG_{art}$  é um eletrocardiograma (ECG) artificial obtido a partir da  $EMG_{real}$  (pela filtragem de seleção de banda entre 5Hz e 60Hz e, então, pela detecção do complexo QRS),  $ECG$  é o sinal de ECG obtido a partir do filtro adaptativo, e  $EMG$  é o sinal desejado filtrado da EMG.

### Técnicas de processamento do sinal

Foram utilizadas técnicas de processamento linear e não linear para os domínios tempo e frequência, para obter diferentes índices do nível de atividade muscular do diafragma durante a ventilação mecânica.



**Figura 1** - Esquema do processo de filtro adaptativo utilizando o algoritmo RLS, no qual a eletromiografia real é o sinal de eletromiografia registrado filtrado segundo as bandas, a eletromiografia artificial é o sinal artificial de eletrocardiograma obtido da eletromiografia real,  $ECG'$  é o eletrocardiograma obtido a partir do filtro adaptativo, e  $EMG'$  é a eletromiografia com redução da interferência cardíaca.  $EMG_{real}$  - eletromiografia real;  $ECG_{art}$  - eletrocardiograma artificial;  $ECG$  - eletrocardiograma.

### Densidade espectral de potência

A densidade espectral de potência (DEP) foi estimada a partir dos sinais de sEMG com uso do método de Burg com ordem 8.<sup>(14)</sup> Esta técnica é altamente recomendada para estes sinais, pois diferentemente das técnicas não paramétricas, proporciona um sinal de maior resolução de frequência em sessões curtas, como um ciclo respiratório. No método de Burg, as séries temporais são modeladas por um processo autorregressivo (AR), e a DEP<sup>(16)</sup> é calculada a partir do modelo de coeficientes AR.

Calcularam-se dois índices a partir da DEP, segundo estudos prévios em pessoas com apnéia obstrutiva:

- Frequência central ou mediana ( $F_c$ ).
- Proporção entre frequências elevadas e baixas (RHL): baixa 20 - 40Hz, e alta: 138 - 240Hz.<sup>(17)</sup>

Estes índices permitem a mensuração das variações espectrais durante as contrações musculares, que são relacionadas à ativação de diferentes tipos de fibras musculares e fadiga muscular.

### Correlação cruzada

A correlação cruzada permite conhecer o nível de combinação linear entre duas séries temporais. Neste estudo, o relacionamento entre as atividades musculares e ventilatórias é importante. Assim, a correlação é calculada entre o envelope do sEMG e o sinal de fluxo em um ciclo respiratório por meio da equação 1:<sup>(16)</sup>

$$r_{xy}(m) = \left( \frac{1}{N} \right) \sum (x^2(n) * y^2(n+m)) \quad \text{Equação 1}$$

onde  $n$  é o retardamento de tempo,  $N$  é o número de amostras e  $x$  e  $y$  representam os sinais. O retardamento de tempo médio (ML - *mean lag*) foi definido como o valor médio dos retardamentos  $n$  com valores máximos de  $r_{xy}$  por ciclo. Este índice é relacionado à sincronização entre o esforço muscular e o ventilador e as respostas respiratórias.

### Informação mútua automática

A informação mútua (IM), segundo a teoria da informação, calcula tanto os relacionamentos lineares quanto os não lineares entre dois sinais. Os sinais podem ser de versões diferentes, informação mútua cruzada (IMC) ou com retardamento do tempo de um mesmo sinal, que é a informação mútua automática (IMA) baseada na entropia de Shannon. Esta técnica estima a quantidade de informação compartilhada por dois sinais. No caso da IMA, estima o grau em que  $\xi(\tau+\tau)$  pode ser predito por  $\xi(\tau)$ .<sup>(18)</sup> A informação mútua foi calculada pela equação 2:<sup>(10)</sup>

$$I(\xi, \eta) = H(\eta) - [H(\xi, \eta) - H(\xi)] \quad \text{Equação 2}$$

onde  $H(\eta)$  representa a incerteza *a priori* com relação ao sinal  $\eta$ , e  $H(\xi, \eta) - H(\xi)$  é a incerteza remanescente *a posteriori* com relação ao sinal  $\eta$  se o sinal  $\xi$  é conhecido. Neste estudo piloto, a IMA foi calculada como uma função do retardamento  $\tau$  (FIMA) de zero a 7 segundos.

A partir da FIMA do sEMG do diafragma, foi estimado o valor máximo do lobo principal (informação automática -  $IM_{max}$ ).

### Análise estatística

Para caracterizar o padrão de trabalho muscular respiratório dos pacientes, realizou-se uma análise hierárquica

de *cluster*, levando em conta todas as variáveis mencionadas. O coeficiente de inconsistência (equação 3) foi considerado para estudar os dendogramas, já que proporciona a medida da distância entre os grupos relacionada à distância média do vizinho mais próximo, sendo que valores mais elevados indicam grupos mais diferenciados:

$$I = (d - d_m) / \sigma \quad \text{Equação 3}$$

onde  $d$  é a distância da conexão atual,  $d_m$  é a distância média entre conexões e  $\sigma$  é o desvio padrão associado. Uma vez que os números de grupos e pacientes que pertencem a cada grupo foram identificados, as diferenças estatísticas entre os *clusters* foram verificadas por meio do teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney. Estabeleceu-se o nível de significância em 5%.<sup>(19)</sup>

## RESULTADOS

A tabela 2 resume as características dos pacientes incluídos no estudo. Nela, estão especificadas as informações antropométricas, sobre o tipo de cirurgia e o desfecho do desmame.

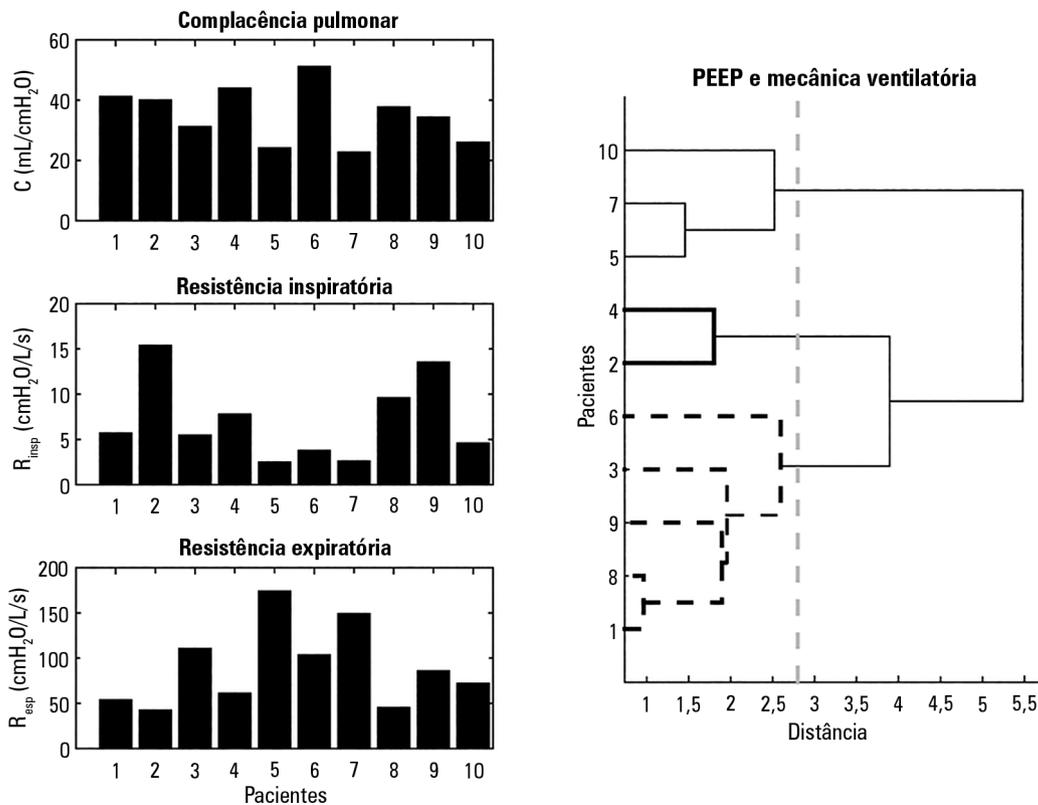
A figura 2 é um diagrama de barras que mostra os valores de resistência e complacência medidos pelo ventilador mecânico. Podem ser observados grupos de participantes com tendências a valores de mecânica ventilatória altos, baixos ou médios. Esta figura mostra também a classificação obtida da análise hierárquica de *clusters*, inclusive de resistência inspiratória ( $R_{insp}$ ), resistência expiratória ( $R_{exp}$ ), complacência (C) e PEEP aplicada, com o limite de distância estabelecido em 2,8, o que resultou em um coeficiente de inconsistência elevado, de 1,06. O grupo de participantes que tiveram falha do desmame (pacientes 5, 7 e 10) mostrou diferenças estatisticamente significantes em termos de complacência (valor de  $p$  de 0,05), resistência inspiratória (valor de  $p$  de 0,05) e PEEP (valor de  $p$  de 0,05), enquanto a resistência expiratória não foi significativa ( $p = 0,23$ ). Entretanto, as regulagens de PEEP e a mecânica ventilatória (C,  $R_{insp}$  e  $R_{exp}$ ), dentre outros parâmetros do ventilador mecânico, não são comumente utilizado para prever os desfechos do desmame. Em vez disto, utilizam-se comumente o índice obtido da pressão, fluxo e volume, como IRRS, que foram calculados para fins de referência na comparação com os índices testados neste trabalho. A média e o desvio padrão do IRRS foram de  $33,9 \pm 14,02$  rpm/L, com variação entre 12,44 - 67,56 rpm/L.

Para avaliar o valor dos novos índices para prever os desfechos do desmame, os pacientes foram também caracterizados quanto ao nível de atividade do diafragma, que

**Tabela 2** - Características dos pacientes incluídos no estudo

Paciente	Idade (anos)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Tipo de cirurgia	Desfecho do desmame
1	65	24,5	Cirurgia de revascularização miocárdica	Sucesso
2	78	20,3	Substituição de válvula	Sucesso
3	52	16,8	Correção de ectasia do ânulo aórtico	Sucesso
4	30	23	Substituição de válvula	Sucesso
5	68	25	Cirurgia de revascularização miocárdica	Insucesso
6	69	23,4	Cirurgia de revascularização miocárdica	Sucesso
7	76	28,9	Cirurgia de revascularização miocárdica e substituição de válvula	Insucesso
8	72	25,5	Cirurgia de revascularização miocárdica	Sucesso
9	76	23,4	Cirurgia de revascularização miocárdica	Sucesso
10	62	22,5	Substituição de válvula	Insucesso

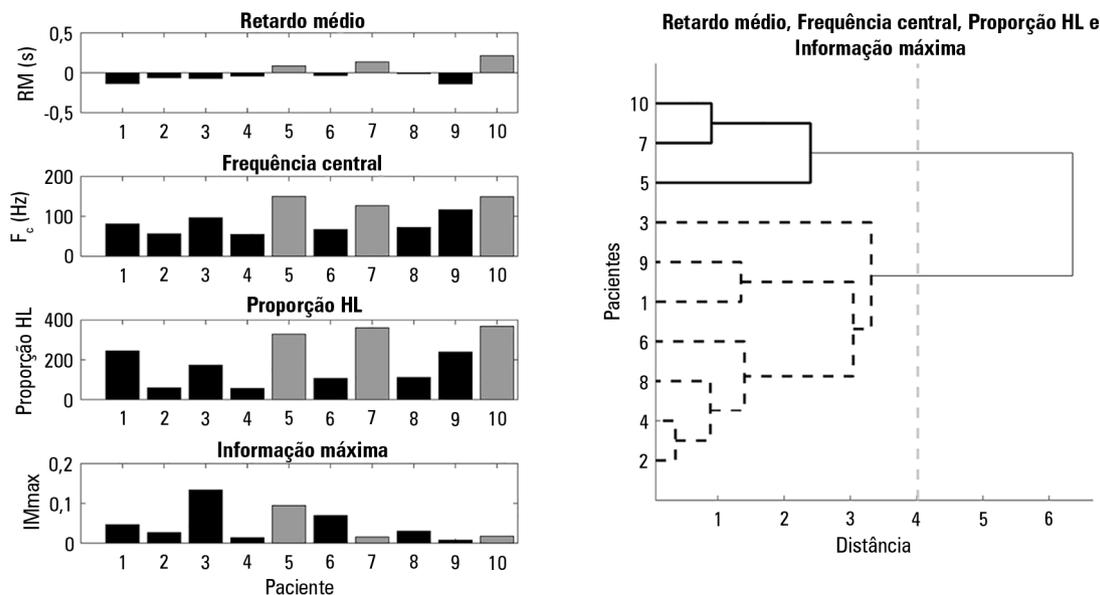
IMC - índice de massa corporal.



**Figura 2** - Diagrama de barras da ventilação mecânica descreve cada estudo de caso; à esquerda, de cima para baixo, apresentamos a complacência pulmonar, a resistência inspiratória e expiratória medidas com o ventilador Hamilton G5 com uso do método de quadrados mínimos dos sinais fluxo e pressão. Além disto, à direita apresentamos a classificação dos participantes a partir dos níveis de pressão positiva expiratória final e mecânica ventilatória. PEEP - pressão positiva expiratória final.

é o principal músculo envolvido na ventilação. A figura 3 apresenta os índices propostos e não lineares relativos ao músculo diafragma. O dendograma mostra dois grupos claramente formados de pacientes, com limite de distância de 4,02, que corresponde a um coeficiente de inconsistência de 1,13.

É interessante que estes grupos correspondem ao grupo com falha do desmame (pacientes 5, 7 e 10] e ao grupo com sucesso no desmame (pacientes 1, 2, 3, 4, 6, 8 e 9). A análise estatística revelou diferenças significantes para o retardo médio (valor de p de 0,005),  $F_c$  (valor de p de 0,005) e proporção HL (valor de p de 0,005).



**Figura 3** - À esquerda, de cima para baixo, média dos índices lineares e não lineares que caracterizam o sinal do ciclo respiratório do músculo diafragma em dez pacientes a saber: retardo médio, frequência central, proporção HL e informação mútua máxima. À direita, grupos de pacientes formados a partir destes parâmetros mostrados por análise de *cluster* com a distância euclidiana quadrada e o método de *clustering* de Ward.

## DISCUSSÃO

Quando é necessário suporte com ventilação mecânica, esta deve ser retirada no menor prazo possível, para que se evitem diferentes complicações associadas à ventilação mecânica. Além disto, deve ser assegurada uma extubação bem-sucedida, pois a reintubação aumenta as complicações da condição clínica dos pacientes.<sup>(1)</sup> Há muitos índices que permitem prever o desfecho do desmame. O IRRS é um índice bem conhecido, sendo o preditor mais utilizado,<sup>(20)</sup> em relação ao qual se demonstrou que valores inferiores a cem predizem um desmame bem-sucedido, com sensibilidade de 0,97 e especificidade de 0,64 em uma população específica,<sup>(21)</sup> embora estes parâmetros possam se modificar com pacientes e regulagens de ventilador diferentes.<sup>(7)</sup> Outro estudo utilizou limite de 65 para extubação bem-sucedida de 40 pacientes em pós-operatório, com sensibilidade de 0,9 e especificidade de 0,8.<sup>(21)</sup> A pressão inspiratória máxima tem sido utilizada para avaliar o esforço inspiratório e demonstrou baixo valor preditivo para o processo de desmame, em razão da baixa reprodutibilidade entre diferentes pacientes e ventiladores.<sup>(22)</sup> A pressão inspiratória durante os primeiros 100ms de inspiração é um indicador do *drive* respiratório central, porém seu desempenho como índice preditor para o desmame depende da força dos músculos respiratórios, o que significa que os resultados podem variar entre pacientes com

condições similares.<sup>(23)</sup> Para avaliar a força da musculatura respiratória, testaram-se alguns índices obtidos a partir do cateter da assistência ventilatória ajustada neuralmente (NAVA - *neurally adjusted ventilatory assist*), porém, apesar dos bons resultados, seu desempenho não tem sido superior ao do IRRS. Outros índices poderiam ser obtidos a partir do sinal do cateter de NAVA, caso os dados brutos estivessem disponíveis para os pesquisadores.<sup>(23)</sup>

Diferentes autores avaliaram índices a respeito da fadiga muscular, esforço muscular e combinação de músculos respiratórios a partir de dados de sEMG em pacientes não ventilados portadores de doença pulmonar obstrutiva crônica, apneia obstrutiva do sono e voluntários saudáveis.<sup>(2,10,17,24,25)</sup> Entretanto, estes índices não foram obtidos em pacientes com ventilação mecânica invasiva, de forma que não foram testados como preditores de um processo de desmame bem-sucedido. Schmidt et al.<sup>(26)</sup> encontraram resultados confiáveis para detectar dispneia em pacientes ventilados pela avaliação do relacionamento entre a intensidade da dispneia e sEMG dos músculos intercostais e escaleno. Tal resultado reforça a ideia de que índices derivados da sEMG podem ser úteis para prever o desfecho do processo de desmame.

Neste estudo piloto, foram testados vários índices para estimar o trabalho muscular respiratório em pacientes com necessidade de ventilação mecânica após cirurgia cardiovascular. Considerando a hipótese de que índices

relacionados ao músculo forneceriam informações importantes para decidir o momento ideal para desmame do ventilador mecânico, níveis elevados de esforço respiratório para manter a respiração espontânea indicariam maior probabilidade de falha. Por outro lado, a presença de menos esforço para manutenção da respiração espontânea seria relacionada a uma ventilação confortável e, portanto, estes pacientes seriam candidatos a um desmame bem-sucedido.

Todos os participantes deste estudo apresentaram valores de IRRS inferiores a cem, e, portanto, eram bons candidatos à extubação. Porém, neste estudo tivemos dois grupos: o primeiro com sete pacientes que tiveram sucesso no teste de desmame e o segundo grupo com três pacientes que tiveram falha no teste de desmame. Estes resultados concordam com os relatados por Juern,<sup>(21)</sup> que identificou que o IRRS depende da população em estudo, isto é, foi proposto um novo limite de IRRS de 65 como limite em 40 pacientes pós-operatórios, sendo que só identificamos 1 paciente (o participante número 10) acima deste limite. Em nossa população, não foi possível encontrar um limite para discriminar o grupo de pacientes com falha no teste de desmame.

As variáveis relacionadas à mecânica ventilatória permitiram a discriminação entre os pacientes com sucesso ou com falha no desmame. Mesmo no grupo que obteve sucesso (Figura 2), dois participantes (2, 4) foram separados do restante do grupo. Quando se analisa a evolução deles antes e após a extubação, não se encontram características especiais, de forma que estes parâmetros não apresentam uma sensibilidade elevada para prever um desmame bem-sucedido. Juntamente das mesmas linhas, os índices relacionados à atividade muscular do diafragma, como o retardo médio, a proporção HL, a  $F_c$  e a informação máxima foram capazes de separar os pacientes nos dois grupos corretos (Figura 3).

Schmidt et al.<sup>(26)</sup> e Canavan et al.<sup>(27)</sup> demonstraram que a dispneia é altamente relacionada com assincronia entre os pacientes e os ventiladores, e com a falha no processo de desmame. Embora tenham identificado que a intensidade da dispneia foi intimamente correlacionada com os índices de EMG da atividade dos músculos inspiratórios, como os intercostais e o escaleno, isto não foi avaliado com utilização da atividade do diafragma. Neste estudo piloto, testamos o índice ML, no qual valores positivos indicam assincronia com o ventilador, porque o esforço muscular durante o suporte com ventilação mecânica ocorre alguns milissegundos após o início da respiração. O grupo que teve falha no processo de desmame (pacientes

5, 7 e 10) teve valores positivos de ML, de forma que o relacionamento entre a assincronia e a falha no processo de desmame foi apoiada, sendo proposta como um novo índice obtido com uma técnica não invasiva para avaliar a atividade diafragmática em pacientes mecanicamente ventilados.

No domínio frequência, índices espectrais, como proporção HL e  $F_c$  da sEMG do diafragma, mostraram valores mais elevados para o grupo com falha do desmame, relacionados com maior esforço do músculo durante a ventilação espontânea. Parthasarathy et al.<sup>(28)</sup> demonstraram que pacientes com falha no processo de desmame apresentam elevada atividade do diafragma, esternocleidomastóideo e músculos da caixa torácica. No entanto, estes autores captaram a atividade muscular em exames de EMG com utilização de agulhas, procedimento difícil de aplicar em uma unidade de terapia intensiva onde são necessárias abordagens não invasivas. Identificamos que a sEMG processada no domínio frequência pode ser uma técnica apropriada para substituir a abordagem invasiva.

A  $IM_{max}$  indica a regularidade do sinal sem depender de sua amplitude, de forma que a continuidade de atividade muscular elevada pode estar relacionada com elevada  $IM_{max}$ . No entanto, neste estudo piloto, embora o índice  $IM_{max}$  juntamente de outros índices já mencionados tenham permitido a discriminação dos pacientes, individualmente o  $IM_{max}$  não obteve sucesso para diferenciar entre os grupos com falha ou sucesso do processo de desmame.

Como piloto, o presente estudo teve as limitações de uma amostra de tamanho pequeno, que incluiu apenas dez pacientes, já que este estudo se focalizou principalmente em testar os índices derivados do sEMG, e não em testar sua eficácia. Acrescente-se que seria desejável incluir uma amostra controle, com a finalidade de estabelecer limites para previsão dos desfechos do desmame em pacientes submetidos à cirurgia cardiovascular. Ambas as limitações serão contempladas em futuros estudos, que incluirão a avaliação de músculos acessórios da ventilação.

## CONCLUSÕES

Este estudo piloto sugeriu a utilidade da eletromiografia de superfície como um procedimento diagnóstico não invasivo para avaliação do estado de pacientes mecanicamente ventilados, mesmo em condições complexas como as de pacientes submetidos à cirurgia cardiovascular com complacência altamente comprometida. Em razão de serem os índices apresentados de natureza complementar, é necessário, em um futuro trabalho, encontrar índices multiparamétricos que relacionem todos os índices avaliados.

Além disto, deverão ser avaliadas a sensibilidade e a especificidade dos índices propostos, assim como incluir um maior número de pacientes.

### Contribuição dos autores

Isabel Cristina Muñoz: pesquisadora encarregada da pesquisa bibliográfica, coleta de dados, análise dos dados e preparo do manuscrito. Alher Mauricio Hernández: pesquisador encarregado do delineamento do estudo, análise dos dados e preparo do manuscrito. Joan Francesc Alonso:

pesquisador encarregado da análise dos dados e revisão do manuscrito. Miguel Ángel Mañanas: pesquisador encarregado da análise dos dados e revisão do manuscrito. Luis Horacio Atehortúa: especialista médico encarregado da análise clínica dos dados.

### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela *Universidad de Antioquia*, Medellín, Colômbia, sob o código CODI-SOS11-2-01 “*Estrategia de Sostenibilidad*” 2011-2012.

### ABSTRACT

**Objective:** The aim of this pilot study was to evaluate the feasibility of surface electromyographic signal derived indexes for the prediction of weaning outcomes among mechanically ventilated subjects after cardiac surgery.

**Methods:** A sample of 10 postsurgical adult subjects who received cardiovascular surgery that did not meet the criteria for early extubation were included. Surface electromyographic signals from diaphragm and ventilatory variables were recorded during the weaning process, with the moment determined by the medical staff according to their expertise. Several indexes of respiratory muscle expenditure from surface electromyography using linear and non-linear processing techniques were evaluated.

Two groups were compared: successfully and unsuccessfully weaned patients.

**Results:** The obtained indexes allow estimation of the diaphragm activity of each subject, showing a correlation between high expenditure and weaning test failure.

**Conclusion:** Surface electromyography is becoming a promising procedure for assessing the state of mechanically ventilated patients, even in complex situations such as those that involve a patient after cardiovascular surgery.

**Keywords:** Respiration, artificial; Diaphragm/physiology; Electromyography/methods; Ventilator weaning; Cardiovascular surgical procedures

### REFERÊNCIAS

- Cheng AC, Cheng KC, Chen CM, Hsing SC, Sung MY. The outcome and predictors of failed extubation in intensive care patients--The elderly is an important predictor. *Int J Gerontol*. 2011;5(4):206-11.
- Osorio Bonilla JA, Franco Granillo J, Martínez Sánchez J, Elizalde González JJ. Trabajo respiratorio según el grado de sensibilidad de disparo por flujo en pacientes con ventilación en soporte por presión. *Rev Asoc Mex Med Crit Ter Int*. 1998;12(3):95-101.
- Saugel B, Raketle P, Hapfelmeier A, Schultheiss C, Phillip V, Thies P, et al. Prediction of extubation failure in medical intensive care unit patients. *J Crit Care*. 2012;27(6):571-7.
- de Oca Sandoval MA, Rodríguez Reyes J, Villalobos Silva JA, Franco Granillo J. Modalidades de destete: Ventilación con presión soporte, presión positiva bifásica y liberación de presión de la vía aérea. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int*. 2008;22(4):260-70.
- Karakurt Z, Fanfulla F, Ceriana P, Carlucci A, Grassi M, Colombo R, et al. Physiologic determinants of prolonged mechanical ventilation in patients after major surgery. *J Crit Care*. 2012;27(2):221.e9-16.
- Meade M, Guyatt G, Cook D, Griffith L, Sinuff T, Kergl C, et al. Predicting success in weaning from mechanical ventilation. *Chest*. 2001;120(6 Suppl):400S-24S.
- BouAkl I, Bou-Khalil P, Kanazi G, Ayoub C, El-Khatib M. Weaning from mechanical ventilation. *Curr Opin Anesthesiol*. 2012;25(1):42-7.
- Jiang JR, Yen SY, Chien JY, Liu HC, Wu YL, Chen CH. Predicting weaning and extubation outcomes in long-term mechanically ventilated patients using the modified Burns Wean Assessment Program scores. *Respirology*. 2014;19(4):576-82.
- Nemer SN, Barbas CS, Caldeira JB, Cárias TC, Santos RG, Almeida LC, et al. A new integrative weaning index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Care*. 2009;13(5):R152.
- Alonso JF, Mañanas MA, Hoyer D, Topor ZL, Bruce EN. Evaluation of respiratory muscles activity by means of cross mutual information function at different levels of ventilatory effort. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2007;54(9):1573-82.
- Camacho A, Hernández AM, Londoño Z, Serna LY, Mañanas MA. A synchronization system for the analysis of biomedical signals recorded with different devices from mechanically ventilated patients. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2012;2012:1944-7.
- Hamilton Medical. Hamilton-G5. Operator's manual. Switzerland; 2009. p. 6.21.
- De Luca CJ, Gilmore LD, Kuznetsov M, Roy SH. Filtering the surface EMG signal: Movement artifact and baseline noise contamination. *J Biomech*. 2010;43(8):1573-9.
- Merletti R, Parker PJ, editors. *Electromyography: physiology, engineering, and non-invasive applications*. Electromyography. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2004.

15. Haykin SO. Adaptive filter theory. 5th ed. New Jersey: Pearson Education; 2013.
16. Proakis JG, Manolakis DK. Digital signal processing: principles, algorithms and applications. 4th ed. New York: Pearson Prentice Hall; 2006.
17. Mañanas MA, Fiz JA, Morera J, Caminal P. Analyzing dynamic EMG and VMG signals of respiratory muscles. *IEEE Eng Med Biol Mag.* 2001;20(6):125-32.
18. Abásolo D, Escudero J, Hornero R, Gómez C, Espino P. Approximate entropy and auto mutual information analysis of the electroencephalogram in Alzheimer's disease patients. *Med Biol Eng Comput.* 2008;46(10):1019-28.
19. Schlotzhauer SD. Elementary statistics using JMP. USA: SAS Institute; 2007.
20. Nava S, Fasano L. Ventilator liberation strategies. In: Stevens RD, Hart N, Herridge MS, editors. Textbook of post-ICU medicine: the legacy of critical care. New York: Oxford University Press; 2014. p. 428.
21. Juern JS. Removing the critically ill patient from mechanical ventilation. *Surg Clin North Am.* 2012;92(6):1475-83.
22. de Souza LC, da Silva CT Jr, Almeida JR, Lugon JR. Comparison of maximal inspiratory pressure, tracheal airway occlusion pressure, and its ratio in the prediction of weaning outcome: impact of the use of a digital vacuumeter and the unidirectional valve. *Respir Care.* 2012;57(8):1285-90.
23. Dres M, Schmidt M, Ferre A, Mayaux J, Similowski T, Demoule A. Diaphragm electromyographic activity as a predictor of weaning failure. *Intensive Care Med.* 2012;38(12):2017-25.
24. Mañanas MA, Alonso JF, Topor ZL, Bruce EN, Houtz P, Caminal P. Frequency parameters from myographic signals for the evaluation of respiratory muscle activity during an increased ventilatory effort. In: Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE. 2003. p. 3203-6.
25. Muñoz IC, Salazar MB, Hernández AM. Exploring the usefulness of surface electromyography to evaluate the effect of PEEP on respiratory muscle activity during spontaneous ventilation. In: Health Care Exchanges (PAHCE), 2015 Pan American. IEEE; 2015. p. 1-7.
26. Schmidt M, Kindler F, Gottfried SB, Raux M, Hug F, Similowski T, et al. Dyspnea and surface inspiratory electromyograms in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med.* 2013;39(8):1368-76.
27. Canavan B, Laghi F, Tobin MJ, Jubran A. Dyspnea during weaning failure: pathophysiologic mechanisms. *Am J Respir Crit Care Med.* 2012;185:A3620.
28. Parthasarathy S, Jubran A, Laghi F, Tobin MJ. Sternomastoid, rib cage, and expiratory muscle activity during weaning failure. *J Appl Physiol.* 2007;103(1):140-7.