



# Monitorização não invasiva do drive e esforço muscular respiratórios em pacientes em ventilação mecânica: uma revisão integrativa

*Non-invasive monitoring of drive and respiratory muscle effort in patients under mechanical ventilation: an integrative review*

Lucas Lima Ferreira<sup>1</sup> , Adriana Claudia Lunardi<sup>1,2\*</sup> 

## Resumo

**Introdução:** O *drive* e o esforço muscular respiratórios de pacientes em ventilação mecânica (VM) já podem ser avaliados por meio de *softwares* inseridos em ventiladores microprocessados. Diferentes marcadores são usados na prática clínica para monitorar essas variáveis importantes para o desmame ventilatório. **Objetivo:** Descrever as técnicas de monitorização não invasiva do esforço muscular respiratório em pacientes sob VM. **Métodos:** A revisão foi realizada cinco fases: elaboração da pergunta norteadora, busca na literatura, coleta de dados, análise crítica dos estudos incluídos e discussão dos resultados. A busca de dados foi realizada na MEDLINE/Pubmed, com estudos publicados até novembro de 2023. Os termos combinados foram *artificial respiration, drive, respiratory muscles, work of breathing, intensive care units*. **Resultados:** Doze artigos foram incluídos. Sete deles apresentaram as medidas de pressão de oclusão das vias aéreas nos primeiros 100 milissegundos (P0.1), pressão de platô, pressão de distensão (PD), índice de pressão muscular (PMI), delta de pressão de oclusão (POCC), pressão muscular (Pmus), pressão transpulmonar dinâmica (PLdyn) e *flow index* como marcadores avaliados. Os outros 5 artigos testaram a acurácia dessas medidas, eficácia na predição de falha do desmame da VM, diferenças no *drive* respiratório e esforço diafragmático em diferentes modos ventilatórios espontâneos e o desempenho desses índices para avaliar estresse pulmonar. **Conclusão:** Esta revisão resultou em oito medidas de monitorização não invasiva do esforço muscular respiratório em pacientes sob VM. Porém, as evidências atuais de boa acurácia e validade preditiva ainda precisam de estudos com metodologias adequadas para determinar a validade destes marcadores.

**Palavras-chave:** Respiração artificial; Músculos respiratórios; Trabalho respiratório; Unidades de terapia intensiva.

## Abstract

**Background:** Nowadays, the respiratory drive and muscular effort of patients on mechanical ventilation (MV) can be assessed using software inserted into micro processed ventilators. Different parameters are used in clinical practice to monitor these important variables for ventilatory weaning. **Aim:** To describe techniques for non-invasive monitoring of respiratory muscle effort in patients under MV. **Methods:** This review was carried out in five phases: elaboration of the guiding question, literature search, data collection, critical analysis of the included studies and discussion of the results. The data search was carried out in MEDLINE/Pubmed, with studies published until November 2023. The combined terms were artificial respiration, drive, respiratory muscles, work of breathing, intensive care units. **Results:** Twelve articles were included. Seven of them presented airway occlusion pressure measurements in the first 100 milliseconds (P0.1), plateau pressure, distension pressure (PD), muscle pressure index (PMI), occlusion pressure delta (POCC), muscle pressure (Pmus), dynamic transpulmonary pressure (PLdyn) and flow index as measured parameters. The other 5 articles tested the accuracy of these measurements, effectiveness in predicting failure to wean from MV, differences in respiratory drive and diaphragmatic effort in different spontaneous ventilation modes and the performance of these indices to assess pulmonary stress. **Conclusion:** This review resulted in eight non-invasive monitoring measures of respiratory muscle effort in patients on MV. However, current evidence of accuracy and reproducibility for these measures is low, and randomized clinical trials and meta-analyses are needed to determine the validity of these markers.

**Keywords:** Respiration, Artificial; Respiratory muscles; Work of breathing; Intensive care units.

<sup>1</sup> Programa de Mestrado e Doutorado em Fisioterapia, Universidade Cidade de São Paulo (UNICID), São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Fisioterapia, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo (FMUSP), São Paulo, SP, Brasil

**Como citar:** Ferreira LL, Lunardi AC. Monitorização não invasiva do drive e esforço muscular respiratórios em pacientes em ventilação mecânica: uma revisão integrativa. ASSOBRAFIR Ciênc. 2023;14:e723. <https://doi.org/10.47066/2177-9333.AC.2022.0063>

Submissão em: Novembro 28, 2023  
Aceito em: Dezembro 13, 2023

**Estudo realizado em:** Universidade Cidade de São Paulo (UNICID), São Paulo, SP, Brasil.  
**Aprovação ética:** Não se aplica.

**\*Autor correspondente:** Adriana Claudia Lunardi. E-mail: [adrianalunardi@hotmail.com](mailto:adrianalunardi@hotmail.com)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) e distribuído sob a licença Creative Commons Attribution NonComercial ShareAlike License, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado e de forma que não indique endosso ao trabalho feito. Adicionalmente, qualquer trabalho derivado deverá ser publicado sob a mesma licença.



## INTRODUÇÃO

O *drive* respiratório é a intensidade da eferência neural dos centros respiratórios que controlam a amplitude do esforço inspiratório<sup>1</sup>. Em situações fisiológicas normais, os centros respiratórios adaptam o esforço respiratório às necessidades do paciente<sup>2</sup>. Entretanto, durante doenças críticas, distúrbios do *drive* respiratório são frequentes e podem resultar em lesão pulmonar e/ou diafragmática, ou seja, lesão pulmonar autoinflingida pelo paciente (P-SILI) e miotrauma<sup>3</sup>. Além disso, contrações anormais dos músculos respiratórios podem gerar dispneia, distúrbios do sono e prolongar o desmame ventilatório. O *drive* respiratório reduzido, devido à sedação e/ou suporte ventilatório excessivos, pode levar a atrofia por desuso dos músculos diafragma e intercostais externos, apneias constantes e fragmentação do sono. Já, o *drive* respiratório exacerbado, devido a infecções, ansiedade ou infamação sistêmica, gera excesso de carga ao diafragma, estresse e tensão pulmonares e dispneia<sup>4</sup>. Dessa forma, é fundamental monitorar o *drive* e esforço respiratórios, para quantificar o risco de lesão e para diagnosticar redução ou exacerbação dos mesmos devido a excesso ou escassez de assistência ventilatória<sup>3</sup>. Nesse contexto, técnicas de monitoramento do *drive* e esforço respiratórios são fundamentais para adequar o suporte ofertado ao paciente durante a ventilação mecânica (VM)<sup>3</sup>.

As técnicas de monitorização do *drive* e esforço respiratórios podem ser divididas em invasivas e não invasivas. Entre as técnicas invasivas descritas na literatura podem ser citadas as medidas de: pressão esofágica (Pes), por meio da inserção de uma sonda nasogástrica (SNG) com balão de ar próximo à ponta no terço distal do esôfago<sup>5-7</sup>; pressão gástrica, por meio de uma SNG com balão adicional no estômago<sup>8</sup> e atividade elétrica do diafragma, por um cateter nasogástrico com múltiplos eletrodos posicionados na região inferior do esôfago, atrás do diafragma, conectado a um tipo especial de ventilador<sup>9,10</sup>. Contudo, as técnicas invasivas são onerosas e requerem conhecimento técnico de médico especialista, e disponibilidade de equipamento para realização e interpretação dos resultados dos exames. Dessa forma, nos últimos anos, emergiram técnicas não invasivas, como as medidas de pressão de oclusão expiratória, o índice de pressão muscular, através de uma pausa inspiratória, entre outras, obtidas por meio de *softwares* inseridos em ventiladores microprocessados que permitem estimar o *drive* e esforço muscular respiratórios com boa precisão<sup>3</sup>.

A integração das informações oriundas dos marcadores de monitoramento com a condição clínica do paciente e as configurações do ventilador pode auxiliar nas estratégias que visam a proteção do pulmão e do diafragma. Assim, o objetivo desse estudo é descrever os marcadores de monitorização não invasiva do *drive* e esforço muscular respiratórios em pacientes sob VM disponíveis na literatura e investigar as implicações clínicas destas medidas.

## MÉTODOS

Trata-se de uma revisão integrativa realizada em cinco fases: elaboração da pergunta norteadora, busca na literatura, coleta de dados, análise crítica dos estudos incluídos e discussão dos resultados<sup>11</sup>.

A pergunta norteadora definida foi: quais são os marcadores de monitorização não invasiva do esforço muscular respiratório em pacientes sob VM e as evidências científicas atuais dos mesmos?

A busca na literatura foi conduzida em novembro de 2023 nas bases de dados MEDLINE/PubMed, não houve restrição para data de publicação e a pesquisa se deu da data de criação da base até o ano de 2023, por meio das combinações dos descritores: *artificial respiration, drive, respiratory muscles, work of breathing, intensive care units*, definidos a partir do Medical Subject Readings (MeSH), através do operador booleano AND. Os termos foram todos combinados em uma única busca com operador booleano AND. Além dos descritores selecionados, também foram utilizados para busca os termos: *airway occlusion pressure, patient-ventilator interaction e inspiratory effort* em consultas individuais na base de dados. Esses termos foram escolhidos por aparecerem com frequência nos artigos sobre essa temática.

Artigos publicados nas línguas inglesa, portuguesa e espanhola, com pacientes críticos adultos, de ambos os sexos, internados em unidades de terapia intensiva (UTI), sob VM invasiva foram incluídos. Estudos experimentais, estudos-piloto, estudos observacionais, estudos transversais, comunicações breves, relatos ou séries de casos e artigos de revisão foram incluídos. O primeiro autor foi responsável pela inclusão, pela leitura dos resumos e dos artigos na íntegra, e, em casos de discrepância, a segunda autora e orientadora sênior definiu pela inclusão ou exclusão. Artigos não incluídos na revisão incluíram estudos com ventilação não invasiva, métodos invasivos de avaliação do esforço muscular respiratório e estudos que avaliaram outras variáveis em VM invasiva. Resumos de dissertações ou teses acadêmicas, estudos com crianças ou adolescentes e trabalhos sem disponibilidade de texto completo livre em algum endereço eletrônico da internet foram excluídos.

A coleta de dados e análise crítica dos estudos incluídos envolveu o método qualitativo e a criação de tabelas com descrição das características: autor, ano de publicação, objetivo do estudo, descrição do marcador de monitorização do esforço muscular respiratório em pacientes sob VM.

## RESULTADOS

As buscas na base de dados resultaram em 589 artigos encontrados por meio do cruzamento dos descritores selecionados mais 188 artigos encontrados por meio da busca pelos termos individuais, totalizando 777 artigos potencialmente relevantes, dos quais foram incluídos 11 artigos (Figura 1).



Dos 11 artigos incluídos na revisão, seis artigos descreveram oito variáveis de monitorização do esforço muscular respiratório de pacientes em VM, sendo elas, a pressão de oclusão das vias aéreas nos primeiros 100 milissegundos (P0.1)<sup>12</sup>, delta de pressão de oclusão ( $\Delta P_{OCC}$ )<sup>13</sup>, pressão muscular (Pmus)<sup>14</sup>, pressão de distensão (PD)<sup>15</sup>, pressão transpulmonar dinâmica (PLdyn)<sup>13</sup>, pressão de platô (Ppl)<sup>15</sup>, índice de pressão muscular (IPM)<sup>16</sup>, e o *flow index*<sup>17</sup> (Tabela 1).

Os outros cinco artigos incluídos<sup>18-22</sup> analisaram a acurácia diagnóstica dos índices que detectam esforços inspiratórios na modalidade ventilação por pressão de suporte (PSV), a eficácia preditiva da ultrassonografia do músculo intercostal paraesternal em conjunto com a P0.1 na determinação da falha no desmame, o limiar de P0.1 respiração a respiração em um modelo de aparelho específico de VM, o efeito de três modos de VM espontânea sobre o *drive* e esforço muscular respiratório em pacientes com pneumonia por COVID-19 e o desempenho de manobras não invasivas de oclusão das vias aéreas para avaliar o estresse pulmonar e o esforço do diafragma em pacientes sob VM (Tabela 2).

Os resultados encontrados nos cinco artigos apresentados na Tabela 2 apontaram que as manobras de oclusão das vias aéreas apresentaram boa acurácia para diagnosticar baixos esforços inspiratórios, a associação da ultrassonografia muscular com a P0.1 demonstrou eficácia preditiva para detectar falha no desmame, a P0.1 medida na quase-oclusão de 1 cmH<sub>2</sub>O pode sugerir *drive* respiratório e esforço inspiratório elevados, os modos ventilatórios espontâneos testados não conseguiram reduzir o *drive* respiratório elevado ou o esforço muscular e os índices  $\Delta P_{OCC}$  e P0.1 apresentaram bom desempenho para diagnóstico de estresse pulmonar e esforço diafragmático excessivos em pacientes críticos sob VM.

## DISCUSSÃO

A presente revisão integrativa identificou estudos que descreveram oito medidas de monitorização do *drive* e esforço muscular respiratório para pacientes em

VM assistida/suportada. Entre as medidas descritas na literatura atual estão a P0.1, pressão de platô, PD, IPM, delta POCC, Pmus, PLdyn e o *flow index*. Algumas dessas medidas foram utilizadas em estudos observacionais, ensaios clínicos, séries de caso e estudos diagnósticos demonstrando boa acurácia para detectar o *drive* respiratório e o esforço diafragmático.

### Pressão de oclusão das vias aéreas nos primeiros 100 milissegundos (P0.1)

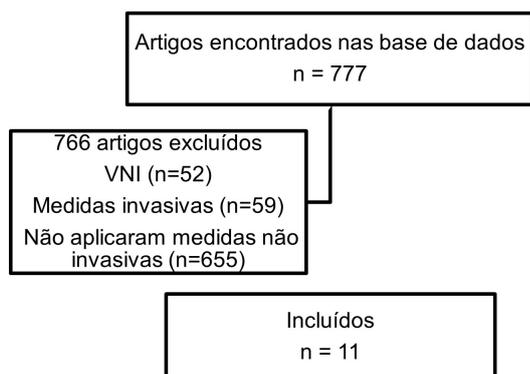
A P0.1 refere-se a uma medida da pressão de oclusão das vias aéreas 0,1 segundo após o início de um esforço inspiratório contra uma via aérea ocluída. A medida avalia o *drive* respiratório gerado pela atividade do centro respiratório<sup>12</sup>. Essa variável tem sido utilizada para monitorizar o *drive* neural respiratório e evitar sub ou superassistência em pacientes sob VM em modos assistidos à pressão<sup>23</sup>. A medida é uma ferramenta útil para prever o sucesso do desmame e extubação da VM<sup>24</sup>.

Alguns autores<sup>19</sup> avaliaram a eficácia preditiva da ultrassonografia do músculo intercostal paraesternal em conjunto com a P0.1 na determinação da falha no desmame e concluíram que a fração de espessamento do músculo intercostal paraesternal e a P0.1 estão independentemente ligados à falha do desmame. A associação da ultrassonografia dos músculos inspiratórios com a P0.1 pode servir como uma importante ferramenta para maior precisão na previsão clínica dos resultados do desmame.

Takane et al.<sup>20</sup> objetivaram identificar o limiar de P0.1 respiração a respiração em um modelo de aparelho específico de VM, o Hamilton C6, em quase-oclusão para avaliar *drive* respiratório e esforço inspiratório elevados em pacientes com COVID-19, internados em UTI, sob VM. Os autores verificaram que um valor de P0.1 medida na quase-oclusão de aproximadamente 1 cmH<sub>2</sub>O ou superior pode sugerir um *drive* respiratório e esforço inspiratório elevados. A P0.1 pode ser equivalente a um quarto de P0.1 esofágica no Hamilton C6.

### Delta de pressão de oclusão expiratória final das vias aéreas ( $\Delta P_{OCC}$ )

Bertoni et al.<sup>13</sup> descreveram a  $\Delta P_{OCC}$ , que pode ser aplicada apenas em um único esforço inspiratório espontâneo, ou até cinco segundos e que gera a defecção de pressão negativa na pressão das vias aéreas que deflagra o esforço muscular respiratório do paciente. A magnitude da pressão negativa gerada durante a oclusão está correlacionada com a Pmus durante respirações assistidas mecanicamente, porque uma única oclusão expiratória final aplicada de forma intermitente e aleatória para uma única respiração não altera a magnitude da ativação do diafragma<sup>13</sup>. Dessa forma, a  $\Delta P_{OCC}$  pode ser utilizada para estimar a Pmus e a PLdyn, a partir de fatores de correção validados que ajustam a elastância da parede



**Figura 1.** Fluxograma da seleção dos artigos. VNI: ventilação não invasiva.

**Tabela 1.** Características dos estudos que descreveram variáveis de monitorização do esforço muscular respiratório de pacientes em VM.

Autores	Objetivo	Tipo de estudo	Diagnósticos	Amostra (n)	Medida Fórmula do cálculo	Valores de normalidade
Rittayamai et al. <sup>12</sup>	Avaliar se a P0.1 pode ser usada para avaliar esforço do paciente	Prospectivo, randomizado e cruzado	IRpA	14	P0.1	-1,5 a -3,5 cm H <sub>2</sub> O
Bertoni et al. <sup>13</sup>	Avaliar se a Pmus e a PLdyn podem ser detectados de forma rápida e não invasiva medindo a ΔPOCC	Observacional	AVC, TCE, SDRA, choque séptico ou pneumonia	16	ΔPOCC	-
Plets-Assunção et al. <sup>14</sup>	Avaliar a acurácia dos critérios para diagnóstico de sobreassistência em PSV	Estudo clínico prospectivo	SDRA, choque séptico, pneumonia	27	Pmus = 0,75 x ΔPOCC	-5 a -10 cm H <sub>2</sub> O
Bellani et al. <sup>15</sup>	Apresentar um editorial sobre a Ppl na respiração espontânea em VM	Editorial	SDRA	1	PD = Ppl - PEEP	PD < 15 cm H <sub>2</sub> O
Bertoni et al. <sup>13</sup>	Avaliar se a Pmus e a PLdyn podem ser detectados de forma rápida e não invasiva medindo a ΔPOCC	Observacional	AVC, TCE, SDRA, choque séptico ou pneumonia	16	PLdyn = (Pp - PEEP) - 2/3 x ΔPOCC	< 15 cm H <sub>2</sub> O
Bellani et al. <sup>15</sup>	Apresentar um editorial sobre a Ppl na respiração espontânea em VM	Editorial	SDRA	1	Ppl	Ppl < 30 cm H <sub>2</sub> O
Foti et al. <sup>16</sup>	Avaliar a eficácia da manobra de oclusão inspiratória como forma de estimar o esforço inspiratório em PSV	Estudo clínico prospectivo	LPA	9	IPM = Ppl - Pp	2 a 6 cm H <sub>2</sub> O
Albani et al. <sup>17</sup>	Avaliar se o formato do fluxo inspiratório, quantificado por um indicador numérico, poderia estar associado ao esforço inspiratório em PSV	Observacional	SDRA, DPOC, sepse ou trauma	24	Flow index	1

VM: ventilação mecânica; P0.1: pressão de oclusão das vias aéreas nos primeiros 100 milissegundos; Ppl: pressão de platô; PD: pressão de distensão; PEEP: pressão expiratória positiva final; IPM: índice de pressão muscular; Pp: pressão de pico; ΔPOCC: delta de pressão de oclusão de vias aéreas; Pmus: pressão muscular; PLdyn: pressão transpulmonar dinâmica; SDRA: síndrome do desconforto respiratório agudo; RE: respiração espontânea; LPA: lesão pulmonar aguda.

torácica e a diferença na cinemática da parede torácica entre condições ocluídas e não ocluídas<sup>13</sup>.

Yang et al.<sup>18</sup> analisaram a acurácia diagnóstica dos índices que detectam esforços inspiratórios na modalidade PSV e concluíram que manobras de oclusão das vias aéreas podem ser usados de forma confiável para detectar baixos esforços inspiratórios. Esses índices, por serem não invasivos e de fácil acesso apresentam potencial para uso à beira leito para evitar assistência excessiva. Entretanto, os autores ressaltam que novas investigações sobre o desempenho dessas medidas em pacientes com elevado esforço muscular inspiratório são necessárias.

Vries et al.<sup>22</sup> analisaram o desempenho de manobras não invasivas de oclusão das vias aéreas para avaliar o estresse pulmonar e o esforço do diafragma em pacientes sob VM e verificaram que ΔPOCC e P0.1 correlacionam-se com o estresse pulmonar e o esforço diafragmático, assim, pode-se concluir que esses índices apresentaram desempenho razoável a excelente para diagnóstico de estresse pulmonar e esforço diafragmático extremos em pacientes críticos sob VM.

### Pressão muscular (Pmus)

A Pmus representa a pressão exercida nos pulmões pela contração do diafragma e pode ser estimada a partir

**Tabela 2.** Características dos estudos que utilizaram as medidas de monitorização do esforço muscular respiratório de pacientes em VM.

Autores	Tipo de estudo	Objetivo	Características da amostra	Resultados principais
Yang et al. <sup>18</sup>	Prospectivo de acurácia diagnóstica	Avaliar a precisão dos índices baseados na Pva para detectar potencial esforço inspiratório prejudicial durante a PSV	4 UTIs de 2 hospitais acadêmicos; 28 pacientes com IRpA Titulação descendente da PS de 20 até 2 cmH <sub>2</sub> O Manobra de oclusão expiratória para obtenção da P0.1, ΔPOCC, Pmus e IPM	Foram testados 246 níveis de PS. O baixo esforço inspiratório foi diagnosticado em 145 (59%) e 136 (55%) níveis de PS. O esforço elevado foi diagnosticado em 34 (13,8%) e 17 (6,9%) níveis de suporte pelos critérios Pmus e PTP mus/min, respectivamente. As manobras de oclusão das vias aéreas apresentaram boa precisão para detectar baixos esforços inspiratórios
He et al. <sup>19</sup>	Ensaio clínico	Avaliar a eficácia preditiva da US do MIPE em conjunto com P0.1 na determinação da falha no desmame	56 pacientes internados em UTI, sob VM, idade média de 63,04 ± 15,80 anos TRE 30 min com PS baixa US: espessura e PIMTF	13 (23,2%) apresentaram falha no desmame. Houve diferenças na P0,1 (p=0,001) e PIMTF (p=0,017) entre os 2 grupos. Os valores preditivos do limiar foram PIMTF ≥ 13,15% e P0,1 ≥ 3,9 cmH <sub>2</sub> O. A associação da US do MIPE com a P0.1 demonstrou eficácia preditiva para detectar falha no desmame
Takane et al. <sup>20</sup>	Observacional prospectivo	Identificar o limiar de P0.1, medido pelo Hamilton C6 em quase-oclusão, para <i>drive</i> respiratório e esforço inspiratório	172 medidas de 15 pacientes com idade média de 58 anos, 11 do sexo masculino, mortalidade 40% Relação entre P0.1 e Pe	A P0.1 apresentou forte correlação positiva com a Pe. O limiar de P0.1 para <i>drive</i> respiratório elevado e esforço inspiratório foi calculado em aproximadamente 1,0 cmH <sub>2</sub> O a partir de equações de regressão. A P0.1 pode ser equivalente a ¼ da P0.1 esofágica no aparelho Hamilton C6
Simón et al. <sup>21</sup>	Série de casos observacional	Investigar o efeito de 3 modos de ventilação espontânea no <i>drive</i> respiratório e no esforço muscular na prática clínica e sua relação com diferentes fenótipos	11 pacientes com pneumonia por COVID-19 no início da respiração espontânea em VM Modos: PSV; APRV e BiPAP P0.1, Pmus, PTP/min	Elevados <i>drive</i> e esforço musculares semelhantes em cada um dos modos ventilatórios espontâneos testados, sem diferenças significativas entre eles: mediana (IQR): P0.1 6,28 (4,92-7,44) cmH <sub>2</sub> O, ΔPmus 13,48 (11,09-17,81) cmH <sub>2</sub> O, PTP 166,29 (124,02-253,33) cmH <sub>2</sub> O por seg/min. Nenhum dos modos testados conseguiu reduzir o <i>drive</i> respiratório elevado ou o esforço muscular
Vries et al. <sup>22</sup>	Diagnóstico	Validar e comparar ΔPOCC e P0.1 como medidas de estresse pulmonar e esforço diafragmático em pacientes sob VM	51 pacientes, divididos em coorte primária (n=38) com IRpA ventilados em PSV mais de 48h e coorte de validação externa (n=13) ventilados em modo NAVA	ΔPOCC e P0.1 se correlacionaram com alterações na pressão transpulmonar (r = 0,62 e 0,51) e alteração na pressão transdiafragmática (r = 0,53 e 0,22). A área sob a curva ROCC para detectar elevado estresse pulmonar foi de 0,90 (0,86-0,94) para ΔPOCC e 0,88 (0,84-0,92) para P0.1. A área sob a curva ROCC para detectar alto esforço do diafragma foi 0,86 (0,81-0,91) para ΔPOCC e 0,73 (0,66-0,79) para P0.1. Os índices testados demonstraram validade para diagnóstico de estresse pulmonar e esforço diafragmático

Pva: pressão das vias aéreas; PSV: ventilação com pressão de suporte; IRpA: insuficiência respiratória aguda; OS: pressão suporte; P0.1: pressão de oclusão das vias aéreas nos primeiros 100 milissegundos; ΔPOCC: delta de pressão de oclusão de vias aéreas; Pmus: pressão muscular; IPM: índice de pressão muscular; US: ultrassonografia; PIMTF: fração de espessamento do músculo intercostal paraesternal; MIPE: músculo intercostal paraesternal; TER: teste de respiração espontânea; Pe: pressão esofágica; APRV: ventilação com liberação de pressão nas vias aéreas; BiPAP: ventilação com pressão positiva em dois níveis nas vias aéreas; PTP/min: produto pressão-tempo; NAVA: ventilação assistida neuralmente ajustada.

da multiplicação de 0,75 ou três quartos vezes a ΔPOCC, apresentando valores de normalidade que variam entre 5 a 10 cmH<sub>2</sub>O, e serve como uma ferramenta simples e rápida para detecção beira leito de esforços respiratórios excessivos ou insuficientes, que podem gerar lesão

diafragmática por induzida pelo ventilador ou atrofia diafragmática<sup>13,14</sup>.

Estudo recente<sup>21</sup> investigou o efeito de três modos de VM espontânea sobre o *drive* e esforço muscular respiratório em pacientes com pneumonia por COVID-19.



Os autores concluíram que nenhum dos modos ventilatórios espontâneos testados conseguiu reduzir o drive respiratório elevado ou o esforço muscular, independentemente da elastância do sistema respiratório, com subsequente risco de P-SILI<sup>23</sup>.

### Pressão transpulmonar dinâmica (PLdyn)

Bellani et al.<sup>15</sup> propuseram a PD similar à PLdyn, descrita por Bertoni et al.<sup>13</sup>, ambas medidas também são denominadas *driving pressure* transpulmonar dinâmica, e refletem o somatório das pressões aplicadas sobre os pulmões, ou seja, da pressão positiva ofertada pela VM e a pressão pleural negativa gerada pela contração dos músculos inspiratórios, sobre o parênquima pulmonar, para detectar o risco de *stress* pulmonar dinâmico, identificado por pressões maiores que 15 cmH<sub>2</sub>O, que se mantidas, são a gênese da lesão pulmonar induzida pelo ventilador, do inglês *ventilator-induced lung injury* (VILI) e da lesão pulmonar autoinflingida pelo paciente, do inglês *patient self inflicted lung injury* (P-SILI), que podem gerar *strain* pulmonar, ou seja, deformação permanente com perda de unidade alveolares funcionais e prejuízos graves nas trocas gasosas<sup>15</sup>.

### Pressão de platô (Ppl)

Outra medida descrita<sup>15</sup> recentemente é a Ppl, que se refere a pausa inspiratória durante a ventilação com pressão de suporte. Uma pausa inspiratória durante ventilação com pressão positiva e esforço muscular respiratório espontâneo resulta em um aumento na pressão das vias aéreas, que é a verdadeira Ppl, pois reflete o volume corrente total e a contribuição do esforço espontâneo do paciente. Bellani et al.<sup>15</sup> concluíram que uma pausa inspiratória durante a ventilação assistida/suportada permite a mensuração da distensão total.

### Índice de pressão muscular (IPM)

A partir da medida da Ppl é possível obter o IPM, do inglês, *pressure muscle index* (PMI), que é a diferença entre a Ppl e a pressão de pico, sendo esta última à soma da pressão de suporte e PEEP, durante a ventilação no modo PSV e que se correlaciona com o esforço exercido pelos músculos dos pacientes durante a inspiração<sup>16</sup>. Valores acima de 6 cmH<sub>2</sub>O indicam esforço muscular respiratório excessivo enquanto valores abaixo de 2 cmH<sub>2</sub>O indicam esforço muscular respiratório insuficiente, que podem ser explicados, entre outras causas por subassistência ou sobreassistência ventilatória<sup>16</sup>.

Contudo, uma limitação para obtenção das medidas Ppl e PMI reside na necessidade de realizar uma pausa expiratória durante a VM no modo PSV, fato que as configurações de muitos ventiladores não permitem o que inviabiliza a obtenção dessas medidas.

### Flow index

As medidas citadas no presente estudo referem-se a medidas quantitativas para estimar o *drive* neural e o esforço muscular respiratório dos pacientes durante a VM assistida. Em contrapartida, Albani et al.<sup>17</sup> propuseram um método qualitativo baseado na análise visual da concavidade da forma de onda do gráfico escalar fluxo/tempo na fase inspiratória para estimar o esforço inspiratório do paciente, denominado *flow index*. Uma concavidade para cima da fase de desaceleração do fluxo inspiratório, *flow index* maior que 1, foi identificada como esforço inspiratório excessivo e subassistência ventilatória, enquanto uma concavidade para baixo da fase de desaceleração do fluxo inspiratório, *flow index* menor que 1, foi identificada como esforço inspiratório insuficiente e sobreassistência ventilatória. Os autores verificaram associação do *flow index* com a pressão esofágica e identificaram que esta medida é eficaz na predição do esforço muscular inspiratório<sup>17</sup>.

### Limitações

Todos os métodos descritos apresentam limitações que precisam ser destacadas. A  $\Delta$ POCC, embora possa ser usada para detectar com precisão o excesso de Pmus e PLdyn, os valores estimados destes parâmetros são imprecisos e não podem substituir a medição direta se a precisão for necessária. A ausência de esforço respiratório durante a oclusão não exclui a presença de esforço respiratório na assincronia por disparo reverso. A hiperinflação dinâmica e a PEEP intrínseca podem levar à subestimação do esforço, especialmente se a PEEP intrínseca não tiver sido equilibrada com a via aérea ocluída. Outra limitação se refere a necessidade de *softwares* específicos presentes em alguns modelos de ventiladores, mas não em todos, para a obtenção dessas medidas. Além disso, verificou-se a necessidade de maiores ensaios clínicos controlados para identificar os níveis de evidência destas medidas.

### Implicações clínicas

Para os clínicos que atuam beira leito pode-se observar a não necessidade de análise de todas as medidas para avaliação do esforço muscular respiratório do paciente, além da necessidade de correlação direta dessas medidas com a avaliação clínica do paciente beira leito para identificar potenciais causas e efeitos.

## CONCLUSÃO

Esta revisão conclui que atualmente estão disponíveis oito medidas para mensuração de esforço respiratório em pacientes sob VM, sendo elas a pressão de oclusão das vias aéreas nos primeiros 100 milissegundos, a pressão de platô, a pressão de distensão, o índice de pressão muscular, a delta de pressão de oclusão, a pressão



muscular, a pressão transpulmonar dinâmica e o *flow index*.

Apesar de estudos preliminares mostrarem que essas medidas parecem ter boa acurácia e validade preditiva, a escolha da medida a ser utilizada depende do desfecho que se propõe avaliar, a P0.1 por exemplo, apresenta boas evidências para poder prever o desmame da VM, já a PLdyn, que se propõe a avaliar o risco de lesão pulmonar por estresse pressórico, ainda necessita de novos estudos para confirmar sua validade.

## FONTE DE FINANCIAMENTO

Nada a declarar.

## CONFLITO DE INTERESSES

Nada a declarar.

## REFERÊNCIAS

- Vaporidi K, Akoumianaki E, Telias I, Goligher EC, Brochard L, Georgopoulos D, et al. Respiratory *drive* in critically ill patients: pathophysiology and clinical implications. *Am J Respir Crit Care Med*. 2020;201(1):20-32. <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.201903-0596SO>. PMID:31437406.
- Telias I, Brochard L, Goligher EC. Is my patient's respiratory *drive* (too) high? *Intensive Care Med*. 2018;44(11):1936-9. <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-018-5091-2>. PMID:29497778.
- Telias I, Spadaro S. Techniques to monitor respiratory *drive* and inspiratory effort. *Curr Opin Crit Care*. 2020;26(1):3-10. <http://dx.doi.org/10.1097/MCC.0000000000000680>. PMID:31764192.
- Pletsch-Assuncao R, Caleffi Pereira M, Ferreira JG, Cardenas LZ, de Albuquerque ALP, de Carvalho CRR, et al. Accuracy of invasive and noninvasive parameters for diagnosing ventilatory overassistance during pressure support ventilation. *Crit Care Med*. 2018;46(3):411-7. PMID:29189344.
- Mauri T, Yoshida T, Bellani G, Goligher EC, Carteaux G, Rittayamai N, et al. Esophageal and transpulmonary pressure in the clinical setting: meaning, usefulness and perspectives. *Intensive Care Med*. 2016;42(9):1360-73. <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-016-4400-x>. PMID:27334266.
- Mojoli F, Chiumello D, Pozzi M, Algieri I, Bianzina S, Luoni S, et al. Esophageal pressure measurements under different conditions of intrathoracic pressure: an in vitro study of second generation balloon catheters. *Minerva Anesthesiol*. 2015;81(8):855-64. PMID:25634481.
- Akoumianaki E, Prinianakis G, Kondili E, Malliotakis P, Georgopoulos D. Physiologic comparison of neurally adjusted ventilator assist, proportional assist and pressure support ventilation in critically ill patients. *Respir Physiol Neurobiol*. 2014;203:82-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resp.2014.08.012>. PMID:25169117.
- Shi Z-H, Jonkman A, de Vries H, Jansen D, Ottenheijm C, Girbes A, et al. Expiratory muscle dysfunction in critically ill patients: towards improved understanding. *Intensive Care Med*. 2019;45(8):1061-71. <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-019-05664-4>. PMID:31236639.
- Schmidt M, Kindler F, Cecchini J, Poliou T, Morawiec E, Persichini R, et al. Neurally adjusted ventilatory assist and proportional assist ventilation both improve patient-ventilator interaction. *Crit Care*. 2015;19(1):56-9. <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-015-0763-6>. PMID:25879592.
- Sinderby C, Navalesi P, Beck J, Skrobik Y, Comtois N, Friberg S, et al. Neural control of mechanical ventilation in respiratory failure. *Nat Med*. 1999;5(12):1433-6. <http://dx.doi.org/10.1038/71012>. PMID:10581089.
- de Souza MT, Dias M, de Carvalho R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. *Einstein (Sao Paulo)*. 2010;8(1):102-6. PMID:26761761.
- Rittayamai N, Beloncle F, Goligher EC, Chen L, Mancebo J, Richard JM, et al. Effect of inspiratory synchronization during pressure-controlled ventilation on lung distension and inspiratory effort. *Ann Intensive Care*. 2017;7(1):100. <http://dx.doi.org/10.1186/s13613-017-0324-z>. PMID:28986852.
- Bertoni M, Telias I, Urner M, Long M, Sorbo LD, Fan E, et al. A novel non-invasive method to detect excessively high respiratory effort and dynamics transpulmonary driving pressure during mechanical ventilation. *Crit Care*. 2019;23(1):346. <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-019-2617-0>. PMID:31694692.
- Pletsch-Assunção R, Pereira MC, Ferreira JG, Cardenas LZ, Albuquerque ALP, Carvalho CRR, et al. Accuracy of invasive and noninvasive parameters for diagnosing ventilatory overassistance during pressure support ventilation. *Crit Care Med*. 2018;46(3):411-7. <http://dx.doi.org/10.1097/CCM.0000000000002871>. PMID:29189344.
- Bellani G, Grassi A, Sosio S, Foti G. Plateau and driving pressure in the presence of spontaneous breathing. *Intensive Care Med*. 2019;45(1):97-8. <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-018-5311-9>. PMID:30006893.
- Foti G, Cereda M, Banfi G, Pelosi P, Fumagalli R, Pesenti A. End-inspiratory airway occlusion: a method to assess the pressure developed by inspiratory muscles in patients with acute lung injury undergoing pressure support. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997;156(4 Pt 1):1210-6. <http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.156.4.96-02031>. PMID:9351624.
- Albani F, Pisani L, Ciabatti G, Fusina F, Buizza B, Granato A, et al. Flow index: a novel, non-invasive, continuous, quantitative method to evaluate patient inspiratory effort during pressure support ventilation. *Crit Care*. 2021;25(1):196. <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-021-03624-3>. PMID:34099028.
- Yang YL, Liu Y, Gao R, Song DJ, Zhou YM, Miao MY, et al. Use of airway pressure-based indices to detect high and low inspiratory effort during pressure support ventilation: a diagnostic accuracy study. *Ann Intensive Care*. 2023;13(1):111. <http://dx.doi.org/10.1186/s13613-023-01209-7>. PMID:37955842.
- He G, Han Y, Zhan Y, Yao Y, Zhou H, Zheng X. The combined use of parasternal intercostal muscle thickening fraction and P0.1 for prediction of weaning outcomes. *Heart Lung*. 2023;62:122-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hrtlng.2023.07.002>. PMID:37480723.
- Takane R, Nakajima M, Miwa M, Kaszynski R, Nakano T, Goto H, et al. Breath-by-breath P0.1 measured on quasi-occlusion via Hamilton C6 may result in underestimation of respiratory *drive* and inspiratory effort. *Crit Care*. 2022;26(1):403. <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-022-04286-5>. PMID:36567319.
- Simón JMS, Montosa MJ, Carmona JFM, Amaya MJD, Castro JL, Carmona AR, et al. Effects of three spontaneous ventilation modes on respiratory *drive* and muscle effort in COVID-19



- pneumonia patients. *BMC Pulm Med.* 2023;23(1):333. <http://dx.doi.org/10.1186/s12890-023-02631-0>. PMID:37684557.
22. Vries HJ, Tuinman PR, Jonkman AH, Liu L, Qiu H, Girbes ARJ, et al. Performance of Noninvasive airway occlusion maneuvers to assess lung stress and diaphragm effort in mechanically ventilated Critically Ill patients. *Anesthesiology.* 2023;138(3):274-88. <http://dx.doi.org/10.1097/ALN.0000000000004467>. PMID:36520507.
  23. Talias I, Damiani F, Brochard L. The airway occlusion pressure (P0.1) to monitor respiratory *drive* during mechanical ventilation: increasing awareness of a not-so-new problem. *Intensive Care Med.* 2018;44(9):1532-5. <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-018-5045-8>. PMID:29350241.
  24. Sato R, Hasegawa D, Hamahata NT, Narala S, Nishida K, Takahashi K, et al. The predictive value of airway occlusion pressure at 100 msec (P0.1) on successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *J Crit Care.* 2021;63:124-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrc.2020.09.030>. PMID:33012587.