

## Assessing breathing effort in mechanical ventilation: physiology and clinical implications

Heder de Vries<sup>1</sup>, Annemijn Jonkman<sup>1</sup>, Zhong-Hua Shi<sup>1,2</sup>, Angélique Spoelstra-de Man<sup>1</sup>, Leo Heunks<sup>1</sup>

### Đánh giá nỗ lực hô hấp trong thở máy: sinh lý và ý nghĩa lâm sàng

Bản dịch của BS. Đặng Thanh Tuấn – BV Nhi Đồng 1

#### Tóm tắt

Các nghiên cứu gần đây đã cho thấy cả tác động có lợi và bất lợi của nỗ lực hô hấp (breathing effort) của bệnh nhân khi thở máy. Định lượng nỗ lực hô hấp có thể cho phép bác sĩ lâm sàng điều chỉnh hỗ trợ máy thở theo mức độ sinh lý của hoạt động cơ hô hấp. Trong bài đánh giá này, chúng tôi sẽ mô tả nền tảng sinh lý và các vấn đề về phương pháp luận của các phương pháp được sử dụng thường xuyên nhất để định lượng nỗ lực hô hấp, bao gồm đo áp lực thực quản, công thở, tích số áp lực-thời gian, điện cơ và siêu âm. Chúng tôi cũng sẽ thảo luận về mức độ nỗ lực hô hấp có thể được coi là tối ưu trong quá trình thở máy ở các giai đoạn khác nhau của bệnh nặng.

#### Giới thiệu

Trong thập kỷ qua, nhiều nghiên cứu quan trọng đã nhấn mạnh rằng việc duy trì nỗ lực hô hấp của bệnh nhân khi thở máy là con dao hai lưỡi (1-5). Tác động tích cực của nỗ lực hô hấp của bệnh nhân có thể bao gồm việc cải thiện việc huy động các trường dây phổi và tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình oxygen hóa (5, 6). Hơn nữa, duy trì nỗ lực hô hấp của bệnh nhân có thể bảo vệ chống lại sự phát triển của teo cơ hoành và rối loạn chức năng cơ bóp do không sử dụng (2). Mặt khác, bệnh nhân có trung khu điều hòa hô hấp cao có thể tạo ra áp lực không tương thích với thông khí bảo vệ phổi, một hiện tượng được gọi là bệnh nhân tự gây tổn thương phổi (patient self-inflicted lung injury - P-SILI) (7). Ngoài ra, các nghiên cứu trong giai đoạn đầu của

hội chứng nguy kịch hô hấp cấp tính (ARDS) đã chứng minh rằng việc truyền liên tục thuốc chẹn thần kinh cơ cisatracurium giúp cải thiện khả năng sống sót, có thể bằng cách loại bỏ nỗ lực hô hấp (4). Tạo sự cân bằng giữa tác động có lợi và bất lợi của nỗ lực hô hấp là một trong những thách thức hiện nay trong quản lý thở máy (8). Người ta đã đề xuất rằng nên điều chỉnh hỗ trợ máy thở theo tình trạng bệnh của từng bệnh nhân, dựa trên trung khu điều hòa hô hấp, áp lực đầu ra của cơ và cơ học phổi (5, 8-10).

Tuy nhiên, rất khó để đánh giá hoạt động của bơm cơ hô hấp trong quá trình thở máy nếu không có kỹ thuật chẩn đoán cụ thể (11). Các thông số “tiêu chuẩn vàng” là công thở (work of breathing - WOB) và tích số áp lực-thời gian (pressure-time product - PTP), dựa trên các phép đo áp lực (12). Những phép đo này có thể khó thu được và giải thích. Do đó, PTP và WOB hiếm khi được sử dụng trong chăm sóc lâm sàng và hầu hết được coi là một công cụ nghiên cứu (13). Gần đây, điện cơ cơ hoành (9) và siêu âm (14) ngày càng trở nên phổ biến để đánh giá nỗ lực hô hấp trong nghiên cứu và chăm sóc lâm sàng. Mục đích của đánh giá này là mô tả cơ sở sinh lý của việc đánh giá nỗ lực hô hấp. Chúng ta sẽ thảo luận về cách có thể sử dụng áp lực thực quản (Pes), áp lực dạ dày (Pga), PTP, WOB, siêu âm và điện cơ để định lượng nỗ lực thở khi thở máy và nêu bật các vấn đề kỹ thuật liên quan đến các phép đo này. Hơn nữa, chúng tôi sẽ thảo luận về mức độ nỗ lực hô hấp nào có thể được coi là mong muốn trong quá trình thở máy ở các giai đoạn khác nhau của bệnh nặng.

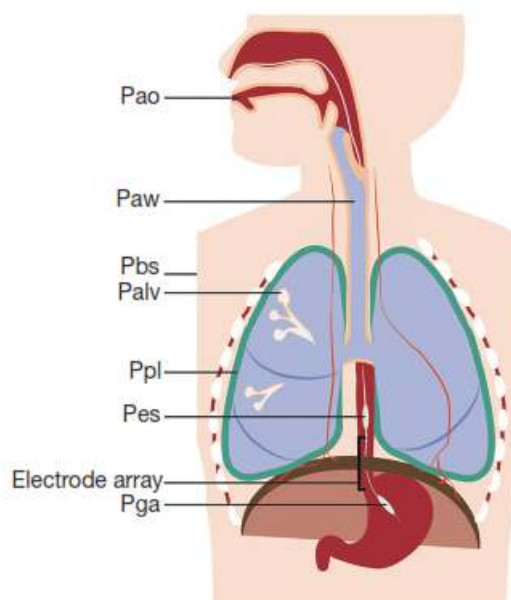
## Sinh lý học

### Định nghĩa nỗ lực hô hấp

Mặc dù thuật ngữ nỗ lực hô hấp có vẻ trực quan nhưng không có định nghĩa rõ ràng và nhiều tác giả cũng như sách giáo khoa định nghĩa nó theo cách khác. Trong bài đánh giá này, chúng tôi đã định nghĩa nỗ lực hô hấp là bất kỳ hoạt động tiêu tốn năng lượng nào của cơ hô hấp nhằm điều khiển hô hấp.

### Chức năng của bơm cơ hô hấp

Bơm cơ hô hấp ảnh hưởng đến nhiều cơ xương hoạt động theo kiểu phối hợp để duy trì thông khí phế nang theo các nhu cầu trao đổi chất khác nhau. Nỗ lực hô hấp được kiểm soát chặt chẽ để phù hợp với nhu cầu hô hấp của cơ thể. Sự mất cân bằng giữa nỗ lực hô hấp và nhu cầu hô hấp của cơ thể sẽ dẫn đến suy hô hấp. Thông khí cơ học là biện pháp cứu sống bệnh nhân suy hô hấp bằng cách tiếp quản WOB của bệnh nhân, khôi phục lại sự cân bằng giữa tải trọng và dung tích hô hấp. Trong quá trình thông khí được hỗ trợ một phần, WOB được chia sẻ giữa bệnh nhân và máy thở. Để đánh giá sự đóng góp tương đối của bệnh nhân vào thông khí, việc tách biệt bơm cơ hít vào và thở ra là rất hữu ích. Nhìn Hình 1 và Bảng 1 để biểu diễn sơ đồ của hệ hô hấp, áp lực cơ và độ chênh lệch áp lực.



**Hình 1** Sơ đồ biểu diễn hệ hô hấp và áp lực liên quan. Lưu ý ống thông duy nhất được trang bị bóng áp lực thực quản, bóng áp lực dạ dày và dây điện cực ở giữa hai quả bóng. Đường màu cam tượng trưng cho dây thần kinh cơ hoành. Để tính toán độ chênh lệch áp lực, hãy tham khảo văn bản. Pao, áp lực mở đường thở; Paw, áp lực đường thở; Pbs, áp lực trên bề mặt cơ thể; Palv, áp lực phế nang; Ppl, áp lực màng phổi; Pes, áp lực thực quản; Pga, áp lực dạ dày.

**Bảng 1** Độ chênh lệch áp lực của hệ hô hấp

Tên độ chênh lệch	Viết tắt	Công thức	Đánh giá lâm sàng
Áp lực xuyên phổi	$P_L$	$Pao - Ppl$	$Paw - Pes$
Áp lực xuyên phế nang/áp lực đàn hồi của phổi	$P_{el(L)}$	$Palv - Ppl$	$Paw$ (lưu lượng bằng 0) – Pes
Áp lực xuyên cơ hoành	$P_{di}$	$Pab - Ppl$	$Pga - Pes$
Độ chênh lệch áp lực trên thành ngực	$P_{cw}$	$Ppl - Pbs$	Pes (vì Pbs thường là 0)
Độ chênh lệch áp lực trên hệ hô hấp	$P_{rs}$	$Pao - Pbs$	$Paw$ (vì Pbs thường là 0)

$Pab$ , áp lực bụng;  $Pao$ , áp lực khi mở đường thở;  $Palv$ , áp lực phế nang;  $Pbs$ , áp lực trên bề mặt cơ thể;  $Ppl$ , áp lực màng phổi;  $Paw$ , áp lực đường thở;  $Pes$ , áp lực thực quản;  $Pga$ , áp lực dạ dày.

### Bơm cơ hô hấp

Hít vào chủ yếu được điều khiển bởi cơ hoành ở những người khỏe mạnh khi thở theo chu kỳ bình thường (15). Cơ hoành là một cơ hình vòm mỏng

( $\pm 2,0$  mm) tạo thành ranh giới giữa ngực và bụng (16). Các sợi cơ thường được chia thành hai thành phần chính: phần phía đầu bám vào ba đốt sống thắt lưng đầu tiên, và phần sườn chiếu vào lồng xương sườn và mỏm xương ức. Các sợi cơ của cơ hoành

tiếp giáp trực tiếp với lồng xương sườn dưới tạo thành “vùng tiếp giáp” (16 - 18). Ở dạng đơn giản, cơ hoành hoạt động giống như một pít-tông trong thùng. Sự ngăn lại của các sợi cơ ở vùng tiếp giáp đi xuống vòm cơ hoành, làm tăng kích thước của khoang ngực và chèn ép khoang bụng. Do đó, áp lực khoang màng phổi (Ppl) giảm và áp lực ổ bụng (Pab) tăng lên, tạo ra một độ chênh lệch áp lực gọi là áp lực xuyên cơ hoành (Pdi) (19, 20).

$$P_{di} (\text{cmH}_2\text{O}) = P_{ab} (\text{cmH}_2\text{O}) - P_{pl} (\text{cmH}_2\text{O}) [1]$$

Sự giảm áp lực màng phổi sẽ tạo ra một độ chênh lệch áp lực trên phổi, áp lực xuyên phổi (P<sub>L</sub>), có thể được tính bằng cách trừ Ppl khỏi áp lực mở đường thở (Pao):

$$P_L (\text{cmH}_2\text{O}) = P_{ao} (\text{cmH}_2\text{O}) - P_{pl} (\text{cmH}_2\text{O}) [2]$$

Sự tăng giảm theo chu kỳ của P<sub>L</sub> cuối cùng thúc đẩy thông khí phế nang.

Về mặt lâm sàng, Ppl và Pab thường được ước tính bằng Pes và Pga. Việc đánh giá Ppl và Pab đòi hỏi phải đặt bóng thực quản và/hoặc dạ dày (Hình 1), có thể được coi là quá xâm lấn đối với một số bệnh nhân. Ngày nay, ống thông bóng có sẵn có thể được sử dụng để nuôi dưỡng dạ dày và do đó việc đánh giá Pes và/hoặc Pga không xâm lấn hơn chăm sóc lâm sàng thông thường (13). Điều quan trọng cần lưu ý là ống thông bóng giúp ước tính áp lực màng phổi, nhưng áp lực thực tế trong khoang màng phổi khác nhau giữa các vùng do trọng lực và sự khác biệt về cơ học hô hấp không gian (21). Tuy nhiên, phép đo Pes cung cấp ước tính hữu ích về áp lực màng phổi trung bình ở các vùng phổi phụ thuộc (21, 22). Những ưu điểm, hạn chế và khía cạnh kỹ thuật của phép đo Pes và Pga ở những bệnh nhân nguy kịch đã được thảo luận trong hai bài báo đánh giá xuất sắc (23, 24).

Các nhóm cơ bổ sung được huy động khi cường độ hô hấp tăng cao. Các cơ hô hấp phụ quan trọng nhất là cơ ức đòn chũm, cơ cạnh xương ức, cơ bậc thang và cơ khung sườn (25). Giống như cơ hoành, sự co của các cơ hít vào phụ sẽ làm giãn ngực và hạ thấp Ppl, thúc đẩy tăng P<sub>L</sub> và sau đó là bơm phồng phổi. Sự co của các cơ hô hấp phụ không tạo ra chênh lệch áp lực giữa khoang bụng và khoang ngực nếu cơ hoành được thư giãn (12).

Tại bất kỳ thời điểm nào, Ppl phụ thuộc vào áp lực được tạo ra bởi tất cả các cơ hô hấp (P<sub>mus</sub>) và độ chênh lệch áp lực trên thành ngực (P<sub>cw</sub>):

$$P_{pl} (\text{cmH}_2\text{O}) = P_{mus} (\text{cmH}_2\text{O}) + P_{cw} (\text{cmH}_2\text{O}) [3]$$

Theo đó,

$$P_{mus} (\text{cmH}_2\text{O}) = P_{pl} (\text{cmH}_2\text{O}) - P_{cw} (\text{cmH}_2\text{O}) [4]$$

P<sub>mus</sub> cung cấp đánh giá tổng thể về tất cả các cơ hít vào, trong khi P<sub>di</sub> dành riêng cho cơ hoành (12, 26). P<sub>cw</sub> thường được tính bằng cách chia thể tích hít vào cho độ giãn nở lý thuyết của thành ngực (C<sub>cw</sub>), ước tính bằng 4% dung tích sống. Theo đó, dung tích sống (dự đoán) là 4.000 mL sẽ cho thấy C<sub>cw</sub> ước tính là 160 mL/cmH<sub>2</sub>O (12). Giá trị tham chiếu của C<sub>cw</sub> nằm trong khoảng từ 150 đến 200 mL/cmH<sub>2</sub>O (12). Tuy nhiên, những giá trị này thu được ở những người khỏe mạnh và có thể không chính xác ở những người mắc bệnh nặng. C<sub>cw</sub> thực tế của bệnh nhân có thể được xác định bằng cách xây dựng đường cong áp lực-thể tích cho Pes trong quá trình bơm phồng thụ động; P<sub>mus</sub> bằng 0 trong quá trình bơm phồng thụ động và liệt cơ, có nghĩa là Pes quan sát được hoàn toàn được xác định bởi P<sub>cw</sub> {Phương trình [3]} (26).

### Bơm cơ thở ra

Thở ra là một quá trình thụ động trong quá trình thở nhẹ nhàng (19, 26, 27). Khi các cơ hít vào thư giãn, năng lượng đàn hồi tích tụ trong các cấu trúc của hệ hô hấp sẽ làm phổi xẹp xuống. Các cơ thở ra được huy động để hỗ trợ thở ra khi tải trọng đặt lên cơ hít vào tăng lên (28). Ngoài ra, các cơ thở ra được huy động khi thở ra thụ động bị cản trở do độ đàn hồi của phổi giảm (ví dụ, khí thũng) hoặc tăng sức cản đường thở [ví dụ, đợt cấp của bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính (COPD)] (29). Các cơ thành bụng là cơ chính của thì thở ra. Cơ liên sườn trong và cơ tam giác ức là các cơ thở ra phụ (25). Sự co cơ của thành bụng sẽ nén khoang bụng, làm tăng Pab. Nếu cơ hoành được thư giãn, Pab tăng sẽ được truyền đến lồng ngực và tăng Ppl, tạo điều kiện cho phổi xẹp xuống. Sự co của cơ thở ra phụ trực tiếp làm tăng Ppl bằng cách nén lồng ngực. Đáng chú ý, các cơ thở ra cũng có thể tạo điều kiện thuận lợi cho hít vào. Bằng cách co lại trong giai đoạn thở ra, thể tích phổi giảm xuống dưới dung

tích cận chức năng và cơ hoành được dịch chuyển phần đầu đến vị trí tối ưu hơn (30, 31). Khi các cơ thở ra thư giãn trong quá trình hít vào tiếp theo, cơ hoành sẽ hạ xuống và Ppl sẽ hạ xuống, tạo điều kiện cho phổi bơm phồng (30). Khi cường độ hô hấp cao, cơ thở ra có thể tạo ra nhiều áp lực hơn cơ hoành (32). Do đó, việc đánh giá nỗ lực hô hấp ở mức tải cao cũng cần tính đến các cơ thở ra.

## Định lượng nỗ lực hô hấp

### Khám lâm sàng và kiểm tra đồ họa của dạng sóng máy thở

Bác sĩ có thể dựa vào khám thực thể để đánh giá nỗ lực hô hấp trong thực hành lâm sàng. Ví dụ, việc huy động các cơ hô hấp phụ là dấu hiệu của khối lượng công hô hấp tăng lên (32). Chuyển động vào trong của bụng khi hít vào (thở bụng ngược chiều - abdominal paradox) có nghĩa là các cơ hô hấp phụ tác dụng lực nhiều hơn cơ hoành, điều này thường

được hiểu là dấu hiệu của tình trạng mỗi cơ hoành sắp xảy ra (33). Hầu hết bệnh nhân phát triển kiểu thở đặc trưng bởi thể tích khí lưu thông thấp và tần số hô hấp cao trong thời gian mệt mỏi kéo dài (34). Tuy nhiên, những kiểu thở này cho thấy khối lượng công tăng lên và sự mệt mỏi sắp xảy ra, nhưng không cho phép đánh giá định lượng nỗ lực hô hấp (35). Các dạng sóng áp lực và lưu lượng hiển thị trên máy thở cũng không đầy đủ trong việc đánh giá nỗ lực hô hấp trong quá trình thông khí được hỗ trợ một phần, vì chúng không thể phân biệt giữa nỗ lực hô hấp của bệnh nhân và công của máy thở (11).

### Định lượng nỗ lực hô hấp dựa trên áp lực

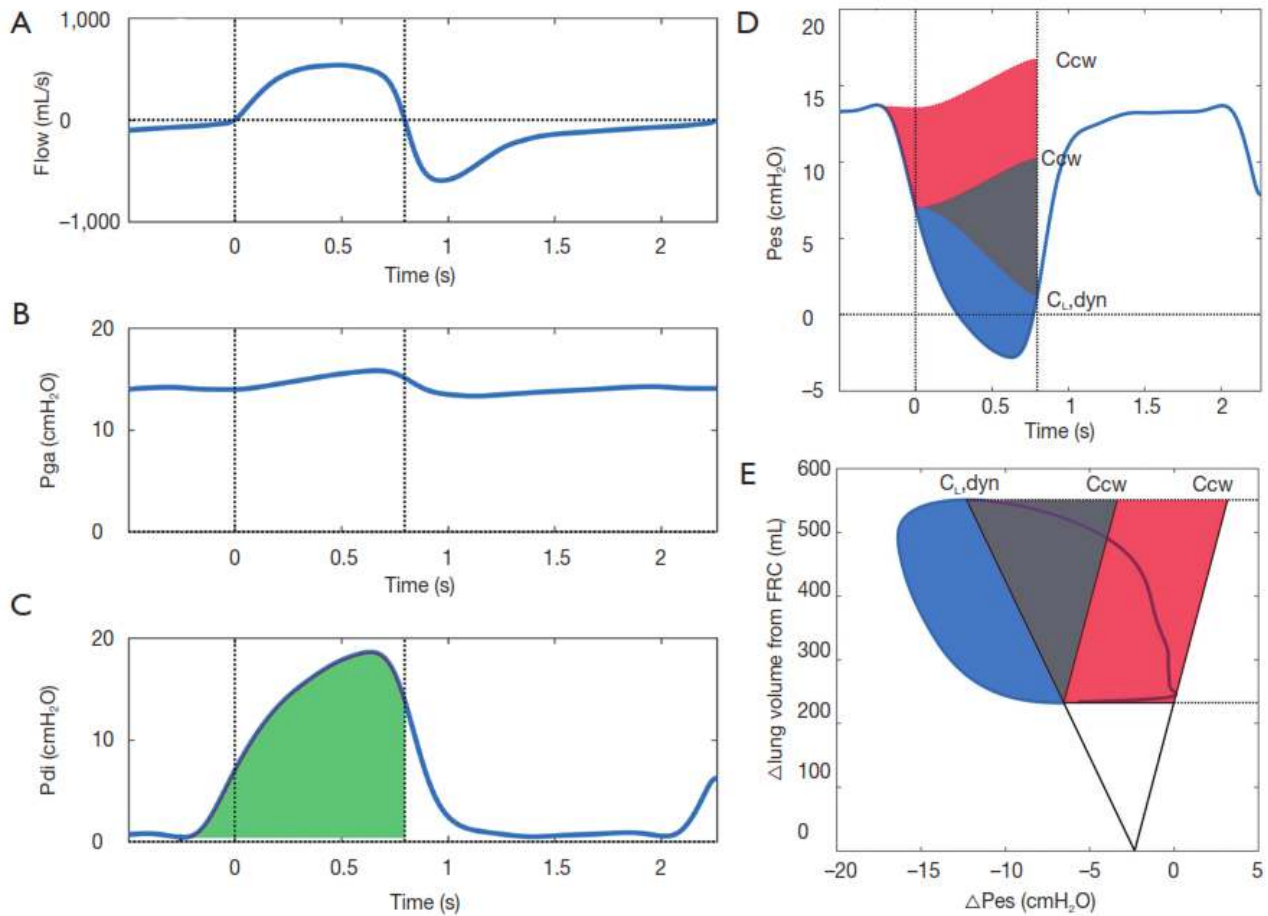
Bởi vì các cơ hô hấp thực hiện chức năng của chúng bằng cách tạo ra áp lực nên nỗ lực hô hấp có thể được đánh giá bằng cách phân tích các áp lực này. Các yêu cầu và giá trị tham chiếu của việc đánh giá nỗ lực hô hấp dựa trên áp lực được tóm tắt trong Bảng 2.

**Bảng 2** Kỹ thuật đánh giá nỗ lực hô hấp

Kỹ thuật	Thông số	Các giá trị tham khảo	Bình luận
Biên độ áp lực	Pes, Pga, Pdi	Pdi và Pes: chênh lệch tuyệt đối 5–10 cmH <sub>2</sub> O mỗi hơi thở ở những người khỏe mạnh khi nghỉ ngơi ( <a href="#">10</a> , <a href="#">20</a> , <a href="#">36</a> , <a href="#">37</a> )	Thích hợp để đánh giá tại giường bệnh mà không cần phần mềm chuyên dụng
Công thở (WOB)	Pes, thể tích	2,4–4 J/phút ( <a href="#">38</a> , <a href="#">39</a> ) và 0,35–0,7 J/L ( <a href="#">12</a> , <a href="#">38</a> ) ở những người khỏe mạnh khi nghỉ ngơi	Đánh giá nỗ lực hô hấp nâng cao. Có thể chia thành các thành phần đàn hồi, sức cản và PEEP. Khả thi trong quá trình thông khí và lưu lượng phút cao. Không nhạy cảm với các cơn co đẳng cự
	Phân tích sâu hơn: Ccw, C <sub>L,dyn</sub>		
Tích số áp lực-thời gian (PTP)	Pes, Pga, Pdi	50–150 cmH <sub>2</sub> O*s/phút ở người khỏe mạnh khi nghỉ ngơi ( <a href="#">23</a> , <a href="#">40</a> , <a href="#">41</a> )	Đánh giá nỗ lực hô hấp nâng cao
	Phân tích sâu hơn: Ccw, C <sub>L,dyn</sub>		Có thể chia thành các thành phần đàn hồi, sức cản và PEEP. Nhạy cảm với các cơn co thất đẳng thể tích
Chỉ số áp lực-thời gian (TTI)	Pes, Pga, Pdi, Pi,max, Ti/Ttot	0,03 ở những người khỏe mạnh khi nghỉ ngơi ( <a href="#">42</a> )	Hữu ích để dự đoán liệu nỗ lực quan sát được có bền vững hay không. Khắc phục tình trạng giảm hiệu quả cơ bắp
		TTIdi lên tới 0,15–0,18 có thể được tiếp tục vô thời hạn ( <a href="#">43</a> )	Có thể khó lấy Pimax ở bệnh nhân ICU

*Pdi, áp lực xuyên cơ hoành; Pes, áp lực thực quản; Pga, áp lực dạ dày; Pi,max, áp lực hít vào tối đa; Ccw, độ giãn nở của thành ngực; C<sub>L,dyn</sub>, độ giãn nở phổi động; PEEP, áp lực dương cuối thì thở ra; ICU, phòng chăm sóc đặc biệt; Ti, thời gian hít vào; Ttot, thời gian chu kỳ hô hấp; TTIdi, chỉ số áp lực-thời gian cơ hoành.*





**Hình 2** Đánh giá nỗ lực hô hấp dựa trên áp lực trong giai đoạn hít vào. Các đường đứt nét thể hiện những khoảng khắc lưu lượng bằng không. (A) Dạng sóng lưu lượng; (B) Dạng sóng áp lực dạ dày ( $P_{ga}$ ); (C) áp lực xuyên cơ hoành ( $P_{di}$ ), được tính bằng  $P_{ga} - P_{es}$ . Vùng gạch chéo màu xanh lá cây là tích số áp lực-thời gian (PTP) của cơ hoành trong quá trình hít vào. Lưu ý sự hiện diện của  $P_{di}$  trước khi bắt đầu lưu lượng hít vào, một dấu hiệu của PEEP nội tại ( $PEEP_i$ ); (D) Dạng sóng áp lực thực quản ( $P_{es}$ ). Độ giãn nở của thành ngực ( $C_{cw}$ ), ước tính khoảng 4% VC, đã được áp dụng cho  $P_{es}$  khi bắt đầu giảm  $P_{es}$  và khi bắt đầu tạo ra dòng khí hít vào (đường thẳng đứng đầu tiên), cùng với độ giãn nở động của phổi ( $C_{L,dyn}$ ). Vùng màu lam ảnh hưởng đến tổng PTP của áp lực cơ hô hấp ( $P_{mus}$ ). Vùng màu đỏ là PTP được quy cho  $PEEP_i$ , vùng màu xám biểu thị PTP đàn hồi và vùng màu xanh biểu thị PTP sức cản; (E) Đường cong thể tích áp lực của  $P_{es}$  và thể tích phổi.  $C_{cw}$  và  $C_{L,dyn}$  cắt nhau tại FRC. Vùng màu đỏ biểu thị  $WOB$  được quy cho  $PEEP_i$ , vùng màu xám biểu thị  $WOB$  đàn hồi và vùng màu xanh biểu thị  $WOB$  sức cản. PEEP, áp lực dương cuối thì thở ra; FRC, dung tích cận chức năng; VC, dung tích sống.

### Biên độ áp lực

Nếu có bóng thực quản và bóng dạ dày, biên độ dao động theo chu kỳ thở của  $P_{es}$ ,  $P_{di}$  và  $P_{ga}$  có thể được nghiên cứu trong quá trình thông khí được hỗ trợ một phần bằng cách sử dụng phép tính sau:

$$\Delta P \text{ (cmH}_2\text{O)} = P_{\text{thở ra}} \text{ (cmH}_2\text{O)} - P_{\text{hít vào}} \text{ (cmH}_2\text{O)}$$

[5]

Công thức này có thể được sử dụng với  $P_{es}$ ,  $P_{ga}$  và  $P_{di}$  để đạt được sự dao động biên độ tương ứng của chúng trong thì hít vào và thở ra. Nếu cơ hô hấp của bệnh nhân hoạt động,  $P_{es}$  sẽ giảm và  $P_{ga}$  và  $P_{di}$  sẽ tăng khi hít vào (Hình 2A,B,C,D). Sự gia tăng  $P_{ga}$  trong thì thở ra là dấu hiệu của việc huy động cơ thở ra.

Đánh giá biên độ áp lực tương đối đơn giản và có thể được thực hiện theo thời gian thực ngay tại giường bệnh, khiến việc quan sát xu hướng bên trong bệnh nhân trở nên đặc biệt hữu ích. Tuy nhiên, có một số hạn chế trong việc đánh giá nỗ lực hô hấp chỉ dựa trên các chuyển động Pes và Pga. Biên độ dao động áp lực bỏ qua thời gian và tần suất các cơn co thắt. Ngoài ra, sự dao động của Pes thường không được điều chỉnh theo áp lực giạt lại của thành ngực và áp lực dương cuối thì thở ra (PEEPi), điều này có thể dẫn đến việc đánh giá quá thấp hoặc quá cao Pmus. Do đó, các phép đo áp lực cho thấy mối tương quan khá kém với mức tiêu hao năng lượng (35). Phân tích sâu hơn về nỗ lực hô hấp có thể được đảm bảo ở những bệnh nhân bị bệnh nặng được chọn.

### PTP

Một thông số phức tạp hơn để định lượng nỗ lực hô hấp là PTP. PTP được tính là tích phân thời gian của Pmus (12):

$$PTP = P(\text{cmH}_2\text{O}) \times t(\text{s}) = \int P dt(\text{cmH}_2\text{O} \cdot \text{s}) [6]$$

PTP thường được báo cáo trong khoảng thời gian 1 phút. PTP của áp lực cơ hô hấp (PTPmus) có thể được xây dựng nếu có sẵn các phép đo Pes như một đánh giá về hoạt động cơ hô hấp toàn cục (Hình 2D). Nếu Pga cũng có sẵn, PTP của áp lực cơ hoành (PTPdi) có thể được xây dựng như một phép đo cụ thể về nỗ lực của cơ hoành (Hình 2C). Bởi vì PTP rất nhạy cảm với tần số và thời gian của các cơn co thắt nên nó tương quan tốt với mức tiêu hao năng lượng trong một phạm vi rộng tải hít vào (44). PTP không nhạy cảm với những thay đổi về thể tích, nghĩa là nó cũng có giá trị khi nỗ lực không tạo ra thể tích, chẳng hạn như trong các cơn co đẳng cự. Điều này đặc biệt có liên quan ở những bệnh nhân ICU có PEEPi và tương tác kém với máy thở, dẫn đến những nỗ lực không hiệu quả (45). PTP của áp lực thực quản (PTPes) có thể được chia thành các phần để khắc phục lực đàn hồi, lực cản và ngưỡng (tức là PEEPi) (Hình 2D). Phân khu này có thể được quan tâm về mặt lâm sàng ở những bệnh nhân khó cai máy thở hoặc để theo dõi tác động của việc quản lý máy thở và các can thiệp bằng thuốc. Các khía cạnh kỹ thuật của việc đo PTP đã được đề cập gần đây (23, 24).

Cũng có thể xây dựng PTP của cơ thở ra (PTPex) (46), nhưng kỹ thuật này hiếm khi được sử dụng và không có giá trị tham chiếu. Cần nhiều nghiên cứu hơn trước khi đưa ra khuyến nghị tổng thể về PTPex.

Có những hạn chế đối với PTP. Thể tích và lưu lượng không được xem xét, mặc dù sự co lại ở lưu lượng và thể tích cao hơn sẽ kém hiệu quả hơn và do đó đòi hỏi nhiều nỗ lực hơn. Điều này đã được chứng minh trong các nghiên cứu trong đó PTP bằng nhau được tạo ra ở các lưu lượng và thể tích khác nhau. Điều này dẫn đến mức tiêu hao oxy trong quá trình thở ở mức PTP bằng nhau (44, 47). Hơn nữa, việc tính toán PTPmus yêu cầu đo Ccw, điều này rất phức tạp ở bệnh nhân thở máy được hỗ trợ một phần vì nó đòi hỏi phải bơm phòng thụ động và liệt cơ (12). Bất chấp những hạn chế này, PTP rất hữu ích vì nó liên quan tuyến tính đến hoạt động và tiêu hao năng lượng của bơm cơ hô hấp trong quá trình thông khí tương đối ổn định. Điều này đã được chứng minh trong điều kiện lưu lượng dưới 1 L/s (48) và chu kỳ hoạt động từ 0,3 đến 0,6 (44), áp dụng cho hầu hết bệnh nhân ICU (36).

### Chỉ số áp lực-thời gian (TTI)

Một phương pháp khác để đánh giá nỗ lực hô hấp là TTI (tension-time index), liên quan đến áp lực hít vào trung bình ( $P_{i,\text{mean}}$ ) với áp lực hít vào tối đa ( $P_{i,\text{max}}$ ) mà bệnh nhân có thể tạo ra:

$$TTI = (P_{i,\text{trung bình}}/P_{i,\text{max}}) \cdot (T_i/T_{\text{tot}}) [7]$$

Trong đó  $P_{i,\text{mean}}$  có thể là  $P_{di,\text{mean}}$  hoặc  $P_{mus,\text{mean}}$ , và  $T_i/T_{\text{tot}}$  là khoảng thời gian hít vào tương đối cho một chu kỳ thở đầy đủ. Ví dụ: tạo ra  $P_{di,\text{mean}}$  bằng 30%  $P_{i,\text{max}}$  ở chu kỳ nhiệm vụ là 0,5 sẽ mang lại TTI cơ hoành (TTIdi) là 0,15. Một số máy thở có thể tính trung bình  $P_i$  trong khoảng thời gian vài nhịp thở. Ngoài ra, có thể lấy  $P_i$ , nghĩa là bằng cách chia PTP hít vào cho khoảng thời gian lấy mẫu (12). Ưu điểm của TTI so với các chỉ số khác là TTI điều chỉnh một phần sự giảm hiệu quả và điểm yếu của cơ bằng cách liên hệ các áp lực quan sát được với áp lực tối đa. TTI tương quan tốt với mức tiêu thụ oxy của cơ hô hấp (43, 44). TTI cũng tương quan với thời gian mà cơ hoành có thể chịu được một tải trọng nhất định. Ở những người

khỏe mạnh, TTI<sub>di</sub> dưới 0,15–0,18 có thể được duy trì vô thời hạn, trong khi giá trị cao hơn cuối cùng sẽ dẫn đến mệt mỏi và suy cơ (43, 49).

Có một số hạn chế về mặt kỹ thuật và lý thuyết của TTI. Về mặt kỹ thuật, rất khó để có được số đo P<sub>i,max</sub> đáng tin cậy ở những bệnh nhân nguy kịch vì nó đòi hỏi nỗ lực tự nguyện tối đa nhưng bị cản trở bởi thuốc an thần và động lực (12). Hơn nữa, TTI không tính đến thể tích và lưu lượng. Điều này đã được minh họa trong hai nghiên cứu trong đó TTI<sub>di</sub> tối đa có thể xác nhận dao động từ 0,11 đến 0,22 và TTI tối đa có thể xác nhận của cơ hô hấp (TTI<sub>musc</sub>) dao động từ 0,16 đến 0,32 trong cùng một đối tượng, tùy thuộc vào lưu lượng, thể tích và chu kỳ hoạt động (50, 51). Bất chấp những hạn chế này, TTI là một thông số hữu ích về mặt lâm sàng, đặc biệt là để đánh giá xem tải trọng trên bơm cơ hô hấp của bệnh nhân có duy trì hay không.

## WOB

Phương pháp cổ điển để đánh giá nỗ lực hô hấp là WOB. Công được thực hiện khi một lực di chuyển điểm tác dụng của nó trên một khoảng cách. Trong trường hợp hệ hô hấp hoạt động được thực hiện khi áp lực làm thay đổi thể tích của hệ thống (26).

$$WOB = P \text{ (cmH}_2\text{O)} \times V \text{ (L)} = \int P \text{ dv (J)} [8]$$

WOB thường được báo cáo là công trên mỗi lít (J/L), thu được bằng cách chia công trên mỗi chu kỳ thở cho thể tích khí lưu thông. Công tăng trên mỗi lít có nghĩa là cần nhiều áp lực hơn để tạo ra thể tích bằng nhau. Điều này có thể do một số yếu tố gây ra, chẳng hạn như độ giãn nở của phổi giảm hoặc sự hiện diện của PEEP<sub>i</sub> (52). Có thể phân tích chi tiết về WOB bằng sơ đồ Campbell để phân chia công thành các thành phần sức cản, đàn hồi và PEEP<sub>i</sub> (Hình 2E) (23, 26, 52). Hơn nữa, WOB của cơ thở ra có thể được đánh giá bằng cách quy bất kỳ Pes nào được quan sát trên đường cong C<sub>cw</sub> cho hoạt động của cơ thở ra. Ngoài ra, công trên mỗi chu kỳ thở có thể được nhân với nhịp thở (tính bằng hơi thở trên phút) để có được năng lượng của nhịp thở (power of breathing) hoặc tốc độ công (work rate) (12). Đây là một tham số thú vị từ quan điểm sinh lý học, vì nó kết hợp các chiều thời gian và thể tích. Tốc độ công tương quan chặt chẽ với mức tiêu

thụ oxy của cơ hô hấp trong một loạt các lưu lượng, thể tích và chu kỳ hoạt động (44, 47). Người ta đã đề xuất rằng tốc độ công, hoặc công suất cơ học, là yếu tố thống nhất có thể dự đoán sự phát triển của tổn thương phổi do máy thở (VILI) (53, 54).

Có những hạn chế đối với WOB. Thứ nhất, vì công chỉ được thực hiện khi một thể tích bị dịch chuyển nên WOB không nhạy cảm với sự co đẳng cự. Thứ hai, thời gian và tần suất các cơn co thất cũng không được xem xét. Ví dụ: cùng một hơi thở có thể tạo ra cùng một thể tích khí lưu thông ở cùng một Pes nhưng có thể mất gấp đôi thời gian. Công sẽ không khác nhau giữa hai hơi thở này, mặc dù hơi thở dài hơn sẽ tiêu tốn nhiều năng lượng hơn đáng kể.

## Các phương pháp khác để định lượng nỗ lực hô hấp

Các kỹ thuật khác để định lượng nỗ lực hô hấp không phụ thuộc vào đánh giá trực tiếp áp lực đã được phát triển, bao gồm hoạt động điện của cơ hoành (EAdi) và siêu âm. Xem Bảng 3, 4 để biết chi tiết, bao gồm các giá trị tham khảo về các kỹ thuật này.

## Điện cơ hô hấp

Sự kiểm soát thần kinh của nỗ lực hô hấp được kết hợp chặt chẽ với nhu cầu hô hấp của cơ thể. Như vậy, cả điện cực bề mặt và điện cực đặt trên ống thông mũi dạ dày đều được sử dụng để thu tín hiệu điện cơ của cơ hô hấp nhằm đánh giá nỗ lực hô hấp trong nghiên cứu và chăm sóc lâm sàng.

Các điện cực bề mặt đã được sử dụng để đo hoạt động của cơ hoành, cơ hô hấp phụ và cơ thở ra. Mặc dù không xâm lấn nhưng chất lượng của bản ghi có thể bị suy giảm nghiêm trọng do nhiễu của các cơ lân cận và các yếu tố khác như mỡ, phù nề và các nhiễu do chuyển động (60, 61). Hơn nữa, không có quy trình chuẩn hóa nào cho việc đặt và phân tích tín hiệu điện cực bề mặt cũng như không có sẵn các giá trị tham chiếu đáng tin cậy. Do đó, cần phải nghiên cứu thêm trước khi kỹ thuật này có thể được sử dụng để định lượng nỗ lực hô hấp trong chăm sóc lâm sàng.

**Bảng 3** Các thông số, giá trị tham khảo và nhận xét về đánh giá điện cơ của nỗ lực hô hấp

Kỹ thuật	Thông số	Các giá trị tham khảo	Bình luận
Hoạt động điện của cơ hoành (EAdi)	EAdi trong khi hít vào và thở ra	Biên độ 5–20 $\mu$ V mỗi nhịp thở ở bệnh nhân ICU (ý kiến chuyên gia)	Thông số của trung tâm điều hòa hô hấp. Cho phép đánh giá sự tương tác giữa bệnh nhân và máy thở
Chỉ số hiệu quả thần kinh cơ (NME)	EAdi, Pes, Pga	0,5–2 cmH <sub>2</sub> O/ $\mu$ V ở bệnh nhân ICU (ý kiến chuyên gia)	Thông số hiệu quả cơ bắp
Đóng góp hơi thở của bệnh nhân-máy thở (PVBC)	EAdi và Vt trong quá trình thở được hỗ trợ và không được hỗ trợ	Không có sẵn	Chưa được xác nhận trong nhóm ICU lớn hơn
Điện cơ bề mặt	Hoạt động điện của các điện cực bề mặt trong quá trình hít vào và thở ra	Không có sẵn	Không xâm lấn nhưng bị cản trở bởi sự tác động nhiễu của các cơ lân cận và các chuyển động giả

*EAdi, hoạt động điện của cơ hoành; EMG, điện cơ; Pes, áp lực thực quản; Pga, áp lực dạ dày; NME, chỉ số hiệu quả thần kinh cơ; PVBC, sự đóng góp của hơi thở bệnh nhân-máy thở; Vt, thể tích thủy triều.*

**Bảng 4** Các thông số, giá trị tham khảo và nhận xét của siêu âm đánh giá nỗ lực hô hấp

Kỹ thuật	Tham số	Các giá trị tham khảo	Bình luận
Độ dày cơ hoành (Tdi)	Độ dày cơ hoành ở cuối thì thở ra	1,5–2,4 mm (55, 56) ở cuối thì thở ra	Không xâm lấn và hữu ích để đánh giá sự phát triển của teo. <i>Bản thân nó không phải là thước đo nỗ lực.</i> Nửa cơ hoành trái có thể khó hình dung
Tỷ lệ phân dày (TFdi)	$TFdi = (Tdi_{ei} - Tdi_{ee}) / Tdi_{ee}$	24–53% khi thở nhẹ nhàng (57), lên tới 157% khi gắng sức mạnh mẽ (58)	Không cho phép định lượng trực tiếp áp lực cơ
Sự dịch chuyển về phía dưới	Chế độ M dịch chuyển cơ hoành trong quá trình thở theo chu kỳ	1,6–1,8 cm khi thở nhẹ, lên tới 7,5 cm khi thở sâu (59)	Không thể phân biệt công của bệnh nhân với công của máy thở trong quá trình thông khí được hỗ trợ một phần

*US, siêu âm; Tdi (ee/ei), độ dày cơ hoành (ở cuối thì thở ra/cuối thì hít vào); TFdi, phần dày lên của cơ hoành.*

Tín hiệu EAdi khắc phục được một số khó khăn kỹ thuật của phép đo điện cơ bề mặt. Tín hiệu EAdi có thể được theo dõi theo thời gian thực bằng cách sử dụng ống thông mũi dạ dày chuyên dụng với các điện cực có dây được đặt ở ngang mức cơ hoành (Hình 1) (62). Ống thông này ban đầu được thiết kế để điều khiển máy thở ở chế độ thông khí cụ thể [hỗ trợ thông khí được điều chỉnh bằng thần kinh (neurally adjusted ventilatory assist -

NAVA)], nhưng các báo cáo gần đây chỉ ra rằng bản ghi EAdi rất hữu ích để theo dõi nỗ lực hô hấp và tương tác giữa bệnh nhân và máy thở (63 - 65). Việc đo EAdi thường không yêu cầu các thủ tục xâm lấn bổ sung vì hầu hết bệnh nhân ICU thở máy đều được trang bị ống thông nuôi ăn để được chăm sóc thường xuyên. Các điện cực thu được tổng điện thế hoạt động theo không gian và thời gian từ các đơn vị vận động trong cơ hoành. Có mối tương



quan chặt chẽ giữa hoạt động điện từ phần vỏ và phần sườn của cơ hoành (66). Hơn nữa, tín hiệu EAdi không phụ thuộc vào sự thay đổi thể tích phổi (67). EAdi tương quan tốt với Pdi ở người khỏe mạnh và bệnh nhân ICU (67). Do đó, EAdi dường như là một ước tính đáng tin cậy về hoạt động toàn bộ của cơ hoành ở bệnh nhân ICU (68 - 70).

Hoạt động điện không đồng nghĩa với sự co cơ và tạo lực. Sự kết hợp giữa hoạt động điện và áp lực được biểu thị bằng chỉ số hiệu quả thần kinh cơ (neuromuscular efficiency index - NME):

$$NME (\text{cmH}_2\text{O}/\mu\text{V}) = Pdi (\text{cmH}_2\text{O})/EAdi (\mu\text{V}) [9]$$

NME có thể được sử dụng để tính toán áp lực từ EAdi khi giả sử khớp nối không đổi theo thời gian. NME thu được trong quá trình giữ thì thở ra và nhân với EAdi được quan sát dường như là ước tính đáng tin cậy về Pmus trong các điều kiện hỗ trợ máy thở khác nhau (9). Một chỉ số khác bắt nguồn từ EAdi là sự đóng góp của hơi thở bệnh nhân-máy thở (patient-ventilator breath contribution - PVBC). PVBC ước tính sự đóng góp tương đối của bệnh nhân vào việc tạo ra thể tích khí lưu thông trong NAVA bằng cách so sánh các đỉnh EAdi với thể tích khí lưu thông trong nhịp thở được hỗ trợ và không được hỗ trợ (71). PVBC đã dự đoán một cách đáng tin cậy tỷ lệ nỗ lực hô hấp do bệnh nhân tạo ra trong một nhóm nhỏ bệnh nhân ARDS (72).

Mặc dù đầy hứa hẹn nhưng vẫn còn những hạn chế của các thông số có nguồn gốc từ EAdi để đánh giá nỗ lực hô hấp. Các thông số có nguồn gốc từ EAdi không nhất thiết là thước đo trực tiếp về nỗ lực hô hấp mà có liên quan chặt chẽ hơn đến khả năng điều khiển thần kinh. EAdi không nhạy cảm với việc huy động các cơ hô hấp phụ, khiến nó ít phù hợp hơn để đánh giá nỗ lực hô hấp ở khối lượng công thở cao. Hơn nữa, các giá trị tham chiếu cho các tham số có nguồn gốc từ EAdi vẫn chưa được biết. Các chỉ số NME và PVBC cần được đánh giá thêm ở các quần thể ICU lớn hơn trước khi cả hai chỉ số này có thể được triển khai rộng rãi trong thực hành lâm sàng hàng ngày.

### Siêu âm

Siêu âm đã trở nên phổ biến như một công cụ chẩn đoán trong quản lý lâm sàng và nghiên cứu ở ICU (14). Vai trò của siêu âm để đánh giá chức năng và nỗ lực của cơ hô hấp đã được thảo luận trong các bài báo gần đây (65, 73). Các thành phần của bơm cơ hô hấp, bao gồm cơ hoành, cơ thành bụng và cơ phụ, được đặt ở vị trí tương đối nông và có thể dễ dàng tiếp cận bằng siêu âm. Những thay đổi về độ dày tuyệt đối của cơ hô hấp theo thời gian ở bệnh nhân có thể được sử dụng để nhận biết sự phát triển của bệnh teo cơ (2, 74, 75). Phần dày lên của cơ hoành (TFdi) trong vùng áp dụng trong thì hít vào có thể được sử dụng làm thước đo hoạt động co bóp (76, 77). Điều này yêu cầu đo độ dày cơ hoành (Tdi) ở cuối thì thở ra (Tdi,ee) và cuối thì hít vào (Tdi,ei) (73):

$$TFdi = (Tdi,ei - Tdi,ee)/Tdi,ee * 100\% [10]$$

TFdi đã cho thấy mối tương quan khá tốt với Pdi (78), PTPdi và PTPes (76, 77) trong một số nghiên cứu, nhưng không có mối tương quan đáng kể với Pdi trong một nghiên cứu khác (55). Chuyển động của vòm cơ hoành trong thì hít vào cũng đã được sử dụng để đánh giá chức năng cơ hoành và các giá trị tham chiếu có sẵn (Bảng 4). Để nghiên cứu chuyển động của cơ hoành, đầu dò siêu âm được đặt ở vị trí dưới sườn, sử dụng gan làm cửa sổ ở bên phải và lá lách ở bên trái. Ngược lại với TFdi, việc đánh giá chuyển động của cơ hoành chỉ nên được tiến hành ở những bệnh nhân bị ngắt kết nối với máy thở, vì sự hỗ trợ của máy thở sẽ dẫn đến chuyển động về phía dưới của cơ hoành, ngay cả ở bệnh nhân dùng thuốc chẹn thần kinh cơ. Như vậy, có mối tương quan yếu giữa sự lệch của cơ hoành và TFdi, PTPes và PTPdi trong quá trình thông khí được hỗ trợ một phần (77).

Ưu điểm của siêu âm bao gồm tính chất không xâm lấn, chi phí thấp, đường cong học tập dốc và tính toán đơn giản cho phép đánh giá nỗ lực hô hấp tại giường (73). Tuy nhiên, một số hạn chế về mặt kỹ thuật và phương pháp áp dụng cho việc đánh giá siêu âm nỗ lực hô hấp. Bởi vì cơ hoành rất mỏng nên những sai số nhỏ trong phép đo có thể dẫn đến đánh giá quá cao và đánh giá thấp độ dày và phần dày lên (73). Ngoài ra, nửa cơ hoành bên trái khó nhìn hơn bên phải (78). Hơn nữa, TFdi không nhạy cảm với thời gian và tần suất các cơn

co thất và không tính đến việc huy động các cơ hô hấp phụ và cơ thở ra (59). Bất chấp những hạn chế này, siêu âm là một kỹ thuật rất hứa hẹn trong chăm sóc lâm sàng, đặc biệt là một công cụ đánh giá tại giường bệnh.

## Ý nghĩa lâm sàng

Mặc dù việc đánh giá nỗ lực hô hấp đã được áp dụng trong nghiên cứu sinh lý và nghiên cứu lâm sàng trong nhiều thập kỷ, nhưng phạm vi nỗ lực hô hấp tối ưu ở những bệnh nhân nguy kịch vẫn chưa được thiết lập. Các thử nghiệm so sánh các mức độ nỗ lực khác nhau vẫn chưa được công bố cho đến nay. Do đó, chúng ta phụ thuộc vào các nguyên tắc và lý luận sinh lý để hướng dẫn thông khí bảo vệ phổi và bảo vệ cơ hoành (79).

## Nỗ lực hô hấp không đủ

Các nghiên cứu trong thập kỷ qua đã thúc đẩy ý tưởng rằng nỗ lực hô hấp không đủ sẽ dẫn đến teo và yếu cơ hoành, một quá trình được gọi là rối loạn chức năng cơ hoành do máy thở (ventilator-induced diaphragm dysfunction - VIDD) (80, 81). Ví dụ, chứng teo cơ hoành đáng kể đã được quan sát thấy sau khi cơ hoành không hoạt động hoàn toàn trong 18 đến 69 giờ ở những người hiến tạng chết não (1). Các nghiên cứu sau đó đã chứng minh rằng teo cơ hoành cũng xảy ra khi thông khí được hỗ trợ một phần (82 - 85) và mức độ teo cơ hoành có liên quan đến mức độ hỗ trợ do máy thở cung cấp (2). Gần đây, sự phát triển của teo cơ hoành có liên quan đến việc nhập viện ICU kéo dài và tăng nguy cơ biến chứng (86), hỗ trợ thêm cho ý tưởng về hỗ trợ quá mức của máy thở và VIDD.

Các yếu tố bổ sung có thể đóng vai trò trong sự phát triển tình trạng yếu cơ và teo cơ ở bệnh nhân ICU bao gồm tình trạng viêm (87), thuốc gây độc cho cơ (88), thiếu hụt dinh dưỡng và trạng thái dị hóa (89). Thuật ngữ yếu cơ hoành liên quan đến bệnh nặng (critical illness-associated diaphragm weakness - CIADW) hiện được ưa chuộng hơn VIDD để mô tả tình trạng yếu cơ hô hấp ở những bệnh nhân bị bệnh nặng (90). Đáng chú ý, các nghiên cứu lâm sàng đã chỉ ra rằng thuốc chẹn thần kinh cơ được sử dụng trong 48 giờ đầu tiên của ARDS từ trung bình đến nặng sẽ cải thiện kết quả

mà không gây ra tình trạng yếu cơ liên quan đến lâm sàng (4, 91-93). Gần đây, người ta quan sát thấy rằng các bệnh nhân thở máy hỗ trợ kiểm soát thường xuyên biểu hiện các cơn co thất cơ hoành, một loại không đồng bộ được gọi là kích hoạt đảo ngược (reversed triggering) (94). Cơ chế này ngăn ngừa sự bất hoạt hoàn toàn của cơ hoành và có thể cản trở sự phát triển của teo cơ không sử dụng trong quá trình thông khí có kiểm soát. Thật vậy, các phiên tạo nhịp tần số thấp ngắn hàng ngày sẽ ngăn ngừa sự phát triển của chứng teo cơ do không sử dụng ở các cơ xương ngoài biên của bệnh nhân ICU (95, 96). Trong một nghiên cứu trường hợp trên một bệnh nhân được thở máy có kiểm soát trong 8 tháng, tạo nhịp cho một nửa cơ hoành 30 phút mỗi ngày đã ngăn ngừa sự phát triển của chứng teo cơ do không sử dụng (97). Mặc dù cần nghiên cứu sâu hơn, nhưng có thể mức độ dưới nỗ lực hô hấp khi nghỉ ngơi có thể ngăn ngừa sự phát triển của bệnh teo cơ do không sử dụng (40).

## Nỗ lực hô hấp quá mức

Ngăn chặn nỗ lực hô hấp quá mức bằng cách dỡ bỏ các cơ hô hấp là nền tảng của thở máy. Nỗ lực quá mức có thể gây bất lợi cho cơ học phổi và chức năng của bơm cơ hô hấp.

## Tác dụng có hại cho phổi

Những nỗ lực mạnh mẽ có thể tạo ra áp lực màng phổi âm đáng kể (98), có khả năng dẫn đến P<sub>L</sub> tổn thương ở bệnh nhân thở máy (7, 99 - 101). Vì vậy, nên giữ đỉnh P<sub>L</sub> dưới 25 cmH<sub>2</sub>O và dao động biên độ theo chu kỳ thở dưới 12 cmH<sub>2</sub>O dựa trên các nguyên tắc sinh lý của stress và strain (23, 102). Hơn nữa, nỗ lực mạnh mẽ của bệnh nhân có thể dẫn đến kém đồng bộ với máy thở và làm suy giảm khả năng cung cấp oxy và sự thoải mái (103), dẫn đến tình trạng an thần và liệt cơ (91). Ppl giảm có thể gây ra sự dịch chuyển không khí trong phổi từ vùng không phụ thuộc sang vùng phụ thuộc (pendelluft), có khả năng dẫn đến giãn phế nang quá mức và gây tổn thương (3). Ngoài ra, Ppl giảm do nỗ lực mạnh mẽ của bệnh nhân làm tăng áp lực xuyên thành mạch và có thể dẫn đến tăng tưới máu phổi và phát triển phù phế nang (22, 23). Hoạt động tăng lên của cơ thở ra có thể dẫn đến Ppl tăng cao khi thở ra. Nếu Ppl cao hơn áp lực phế nang (Palv), phế nang

có xu hướng xẹp, thúc đẩy quá trình xẹp phổi và có thể huy động phế nang theo chu kỳ (xẹp phổi) (99, 104). Có thể tác dụng có lợi của thuốc giãn cơ trong giai đoạn đầu của ARDS là do ngăn ngừa hoạt động gắng sức quá mức của cơ (4, 92, 93), mặc dù nỗ lực không được đo lường trong các nghiên cứu này.

### Tác động có hại lên cơ hô hấp

Nỗ lực hô hấp quá mức có thể kích thích sự co thắt lệch tâm của các nhóm cơ đối kháng, ví dụ như kích hoạt đồng thời cơ hoành và cơ bụng. Các cơn co thắt lệch tâm đã được phát hiện là gây ra sự gián đoạn và viêm màng tế bào ở cấp độ vi mô trong mô hình động vật (105, 106). Hơn nữa, sự gián đoạn màng tế bào đã được quan sát thấy ở các mô hình thở máy ở động vật sau nỗ lực hô hấp cao (107 - 109) và ở bệnh nhân mắc COPD (110). Sự xâm nhập của các tế bào viêm đã được quan sát thấy ở các sợi cơ hoành thu được từ các bệnh nhân ICU được thở máy (83). Ngoài ra, những bệnh nhân thể hiện nỗ lực cao được đánh giá bằng siêu âm cơ hoành cho thấy Tdi tăng theo thời gian, đây có thể là dấu hiệu của viêm cơ và/hoặc chấn thương (2). Tuy nhiên, cả hai nghiên cứu đều mang tính quan sát, do đó, liệu nỗ lực hô hấp mạnh có dẫn đến tổn thương màng tế bào ở những bệnh nhân bị bệnh nặng hay không và điều này xảy ra ở mức độ nỗ lực nào, cần được nghiên cứu thêm.

### Nỗ lực phù hợp trong các giai đoạn khác nhau của bệnh

Dựa trên những cân nhắc đã nói ở trên, chúng tôi khuyên bạn nên theo dõi nỗ lực hô hấp ở những bệnh nhân thở máy được chọn (65, 111). Trong giai đoạn đầu của bệnh nặng, trung khu điều hòa hô hấp

có thể tăng quá mức, dẫn đến co thắt cơ hô hấp có hại và PL làm tổn thương, đặc biệt là trong ARDS (98). Trong giai đoạn đầu này, nỗ lực cao xảy ra trong một “môi trường thù địch với cơ bắp” được đặc trưng bởi tình trạng viêm toàn thân và cục bộ. Điều hợp lý là ưu tiên đỡ tải các cơ hô hấp để ngăn ngừa tổn thương phổi và rối loạn chức năng cơ hoành trong những tình trạng này (7, 79). Nên sử dụng chế độ được hỗ trợ một phần để lấy lại hoạt động hô hấp của bệnh nhân sau giai đoạn đầu của bệnh nặng, mặc dù vẫn nên ngăn chặn những nỗ lực vất vả (79, 101). Chiến lược này có khả năng cho phép thông khí bảo vệ phổi và bảo vệ cơ hoành đồng thời.

### Kết luận

Cả thở máy hỗ trợ quá mức và hỗ trợ dưới mức đều có thể có tác dụng phụ đối với chức năng cơ hô hấp. Như đã nêu trong tổng quan này, mức độ nỗ lực mong muốn của cơ hô hấp phụ thuộc vào đặc điểm của bệnh nhân, đặc biệt là giai đoạn bệnh nặng và công suất cơ học của cơ hô hấp. Việc định lượng nỗ lực hô hấp đòi hỏi các kỹ thuật theo dõi và tính toán cụ thể. Đây là một lĩnh vực đang phát triển và các nghiên cứu mới sẽ giúp chúng ta xác định rõ hơn mức độ hoạt động cơ hô hấp tối ưu ở bệnh nhân ICU. Thực tế là chúng tôi không có nghiên cứu lâm sàng để chứng minh rằng việc theo dõi chức năng cơ hô hấp giúp cải thiện kết quả không nên được coi là lý do để từ chối các kỹ thuật như vậy ở những bệnh nhân được chọn. Các thử nghiệm lâm sàng trong tương lai sẽ cung cấp dữ liệu nếu hướng dẫn quản lý máy thở dựa trên nỗ lực hô hấp giúp cải thiện kết quả của những bệnh nhân nguy kịch.