

## REVIEW

## Open Access

Transpulmonary pressure monitoring  
in critically ill patients: pros and consLorenzo Ball<sup>1,2\*</sup>, Daniel Talmor<sup>3</sup> and Paolo Pelosi<sup>1,2</sup>**Theo dõi áp lực xuyên phổi ở bệnh nhân nguy kịch: ưu và nhược điểm**

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

**Tóm tắt**

Việc sử dụng theo dõi áp lực xuyên phổi dựa trên đo áp lực thực quản đã góp phần quan trọng vào việc cá nhân hóa thở máy dựa trên sinh lý bệnh hô hấp ở những bệnh nhân nguy kịch. Tuy nhiên, theo dõi áp lực thực quản vẫn còn sử dụng dưới mức mong muốn trong thực hành lâm sàng. Kỹ thuật này cho phép phân chia cơ chế hô hấp giữa phổi và thành ngực, cung cấp thông tin về việc huy động phổi và nguy cơ chấn thương khí áp, đồng thời giúp điều chỉnh cài đặt thông khí cơ học ở bệnh nhân suy hô hấp. Trong các chế độ thông khí hỗ trợ và trong quá trình hỗ trợ hô hấp không xâm lấn, theo dõi áp lực thực quản cung cấp thông tin quan trọng về nỗ lực hít vào và công thở. Tuy nhiên, vẫn tồn tại một số tranh cãi về khía cạnh kỹ thuật, cách giải thích và việc ra quyết định lâm sàng dựa trên các giá trị thu được từ kỹ thuật theo dõi này. Mục đích của tổng quan này là tóm tắt các cơ sở sinh lý của việc theo dõi áp lực thực quản, thảo luận về ưu và nhược điểm của các ứng dụng lâm sàng và các cách giải thích khác nhau ở những bệnh nhân nguy kịch được hỗ trợ hô hấp xâm lấn và không xâm lấn.

**Giới thiệu**

Áp lực xuyên phổi ( $P_L$ ) tương ứng với lực căng (stress, ứng suất) tác dụng lên phổi dẫn đến biến

dạng cơ học (strain, biến dạng) của phổi [1]. Stress và strain được liên kết bởi mối quan hệ tuyến tính ở những người khỏe mạnh và ở những bệnh nhân mắc hội chứng nguy kịch hô hấp cấp tính (ARDS), cụ thể là  $\text{stress} = k \times \text{strain}$ , trong đó  $k$  là độ đàn hồi đặc hiệu (specific elastance) [2]. Định nghĩa sinh lý chính xác của áp lực xuyên phổi là  $P_L = P_{AVL} - P_{pl}$ , trong đó  $P_{ALV}$  là áp lực phế nang và  $P_{pl}$  là áp lực màng phổi. Trong khi  $P_{ALV}$  bằng áp lực đường thở ( $P_{AW}$ ) trong điều kiện tĩnh ở cuối thì hít vào hoặc cuối thì thở ra,  $P_{pl}$  phải yêu cầu ước tính gián tiếp. Do vị trí giải phẫu của thực quản trong khoang màng phổi, áp lực thực quản ( $P_{es}$ ) đại diện cho  $P_{pl}$  [1, 3]: do đó, trong thực hành lâm sàng, áp lực xuyên phổi có thể được ước tính là  $P_L = P_{AW} - P_{es}$ . Việc sử dụng phép tính gần đúng như vậy đã góp phần quan trọng vào kiến thức về sinh lý bệnh hô hấp ở những bệnh nhân bị bệnh nặng và cá nhân hóa thở máy [4]. Việc sử dụng bóng thực quản để đo  $P_{es}$  đòi hỏi phải có kiến thức chuyên môn và việc giải thích chính xác áp lực xuyên phổi bắt nguồn từ  $P_{es}$  đảm bảo sự hiểu biết sâu sắc về các giả định làm cơ sở cho việc sử dụng  $P_{es}$  làm ước tính của  $P_{pl}$ . Có thể do sự phức tạp này, việc theo dõi áp lực thực quản vẫn chưa được sử dụng trong thực hành lâm sàng [1] và chưa đến 1% bệnh nhân mắc ARDS nhận được công cụ theo dõi này trong một nghiên cứu quan sát quốc tế lớn gần đây [5].

Mục đích của tổng quan này là tóm tắt các cơ sở sinh lý của việc theo dõi áp lực thực quản, thảo luận về ưu và nhược điểm của các ứng dụng lâm sàng và các cách giải thích khác nhau ở những bệnh nhân nguy kịch được hỗ trợ hô hấp không xâm lấn và xâm lấn.

## Các yếu tố quyết định áp lực thực quản

Ở tư thế thẳng đứng, sự thay đổi áp lực thực quản phản ánh chính xác những thay đổi tổng thể xảy ra trong áp lực màng phổi tác động lên bề mặt phổi tại một vị trí cụ thể [6]. Tuy nhiên, ở tư thế nằm ngửa, một số yếu tố có thể ảnh hưởng đến giá trị áp lực đo được bên trong thực quản bằng bóng bơm đẩy không khí. Trong số đó, các yếu tố quan trọng nhất quyết định  $P_{es}$  là: độ đàn hồi của thành ngực, chiều cao của thành ngực, độ căng của bụng đẩy cơ hoành lên trên và trọng lượng của các cơ quan trung thất nằm phía trên bóng thực quản [7]. Hơn nữa, độ đàn hồi của thành thực quản, phản ứng của cơ trơn với sự hiện diện của bóng và độ đàn hồi của chính bóng thực quản ảnh hưởng đến phép đo, trong khi việc truyền các cơn co thắt tim gây ra các hiện tượng có thể làm phức tạp thêm việc giải thích  $P_{pl}$ .

Bất chấp những hạn chế đã biết này, việc đặt thiết bị chính xác cho phép ước tính chấp nhận được sự thay đổi  $P_{pl}$  ở tư thế nằm ngửa, với mối tương quan tốt với áp lực đo trực tiếp trong khoang màng phổi giữa được thể hiện trong các nghiên cứu thực nghiệm [8, 9]. Những thay đổi về tư thế cơ thể đã được áp dụng trong một nghiên cứu ở những đối tượng khỏe mạnh để ước tính ảnh hưởng của trọng lượng trung thất và phổi đối với  $P_{es}$ , dẫn đến giá trị trung bình là 3 cmH<sub>2</sub>O [10]. Nếu không được tính đến, áp lực bổ sung này dẫn đến việc đánh giá quá cao  $P_{pl}$ , do đó đánh giá thấp  $P_L$ , ở các vùng phổi phụ thuộc và đánh giá thấp  $P_{pl}$  một chút, do đó đánh giá quá cao  $P_L$ , ở các vùng phổi không phụ thuộc nhất. Hơn nữa, bóng thực quản thường được đặt ở những bệnh nhân cần nuôi ăn qua đường ruột, tuy nhiên, sự hiện diện của ống thông mũi dạ dày không làm thay đổi đáng kể phép đo  $P_{es}$  [11], và ngành công nghiệp đã tạo ra các ống thông kết hợp chức năng của ống thông mũi dạ dày và đầu dò áp lực thực quản [12].

### Sử dụng Pes làm đại diện cho Ppl

**Ưu điểm:** Giá trị tuyệt đối của  $P_{es}$  đại diện cho giá trị thay thế hợp lý của  $P_{pl}$  và cho phép ước tính thực tế áp lực xuyên phổi ở đầu giường.

**Nhược điểm:**  $P_{es}$  có thể khác với  $P_{pl}$  thực tế trong trường hợp trọng lượng liên quan của trung thất và phổi bị tổn thương, có thể khó đánh giá tại giường.

### Định vị bóng thực quản

Áp lực bên trong thực quản thay đổi dọc theo trục của nó. Áp lực không đều ở các phần khác nhau của thực quản khi được đánh giá bằng phép đo áp lực có độ phân giải cao đa đầu dò [13]. Tuy nhiên, tất cả các nghiên cứu về sinh lý hô hấp đều tập trung vào các phép đo được thực hiện ở phần xa của thực quản: do đó việc đặt đúng đầu dò là rất quan trọng. Tuy nhiên, một nghiên cứu so sánh vị trí đặt đầu dò thực quản giữa (20–35 cm từ miệng) so với xa (40–45 cm từ miệng) cho thấy ảnh hưởng tối thiểu đến ước tính  $P_L$  [14], cho thấy rằng có thể chấp nhận một mức độ linh hoạt nhất định. Sự hiện diện của các nhiễu động của xung tim càng khẳng định thêm vị trí ở phần dưới thực quản. Một số nhà sản xuất bóng thực quản đã chèn một điểm đánh dấu vô tuyến để cho phép xác nhận vị trí chính xác bằng X quang [12]. Ngoài việc đặt đúng vị trí, thể tích bơm phồng đầy đủ của đầu dò là chìa khóa để giải thích chính xác áp lực thực quản.

### Sử dụng định vị tiêu chuẩn dựa trên độ sâu đặt vào

**Ưu điểm:** Đầy đủ ở hầu hết bệnh nhân.

**Nhược điểm:** Trong trường hợp bệnh nhân cực kỳ thấp hoặc cao, việc điều chỉnh vị trí có thể cần thiết, như trường hợp đối tượng có các biến thể giải phẫu dẫn đến khó đưa vào. Hơn nữa, định vị mù có thể vô tình gây ra sai lệch vào đường thở ở những bệnh nhân được an thần sâu; trong trường hợp này, nên xem xét soi thanh quản trực tiếp hoặc video để xác nhận vị trí chính xác.

## Bơm phòng bóng thực quản

Hầu hết các nhà sản xuất đầu dò thực quản đều đề nghị bơm phòng quả bóng bằng một lượng không khí cố định, trong khoảng từ 0,5 đến 4 ml, tùy theo kích thước và đặc tính đàn hồi của thiết bị. Tuy nhiên, các đặc tính kỹ thuật của bóng như đường kính, kích thước, chất liệu và độ giãn nở của bóng chèn ảnh hưởng đến việc truyền sự thay đổi áp lực ở thành ngực tới bóng theo thể tích bơm phòng của nó [15]. Một số tác giả đề nghị chuẩn độ bơm phòng thể tích riêng lẻ. Trên thực tế, việc bơm phòng không đủ sẽ dẫn đến các nhiễu động tim ở mức tối thiểu [16] nhưng đánh giá thấp cả sự dao động của  $P_{es}$  và  $P_{es}$  cơ bản trong quá trình thở theo chu kỳ bình thường, trong khi việc bơm phòng quá mức sẽ ước tính quá mức  $P_{es}$  [17]. Việc bơm phòng tối ưu nên nhằm mục đích duy trì tỷ lệ thay đổi của  $P_{es}$  và  $P_{aw}$  gần nhất bằng 1 trong quá trình kiểm tra tắc nghẽn đường thở [18], trong khi các chuyên gia khác đề nghị bơm phòng nó để duy trì ở phần tuyến tính của áp lực-thể tích bóng thực quản đồng thời tối đa hóa sự khác biệt giữa  $P_{es}$  cuối thì hít vào và  $P_{es}$  cuối thì thở ra [15]. Vì hầu hết các bóng được kết nối với công phụ của máy thở hoặc hệ thống giám sát chuyên dụng thông qua khóa ba chiều và một ống, nên có thể xảy ra rò rỉ khí: phải kiểm tra định kỳ việc bơm phòng bóng để đảm bảo chất lượng của các phép đo. Để giảm sự truyền nhiễu động của tim và giảm thiểu nguy cơ rò rỉ, việc bơm bóng bằng chất lỏng đã được đề xuất [19], nhưng hiếm khi được sử dụng trong thực hành lâm sàng.

### Sử dụng thể tích bơm bóng tiêu chuẩn

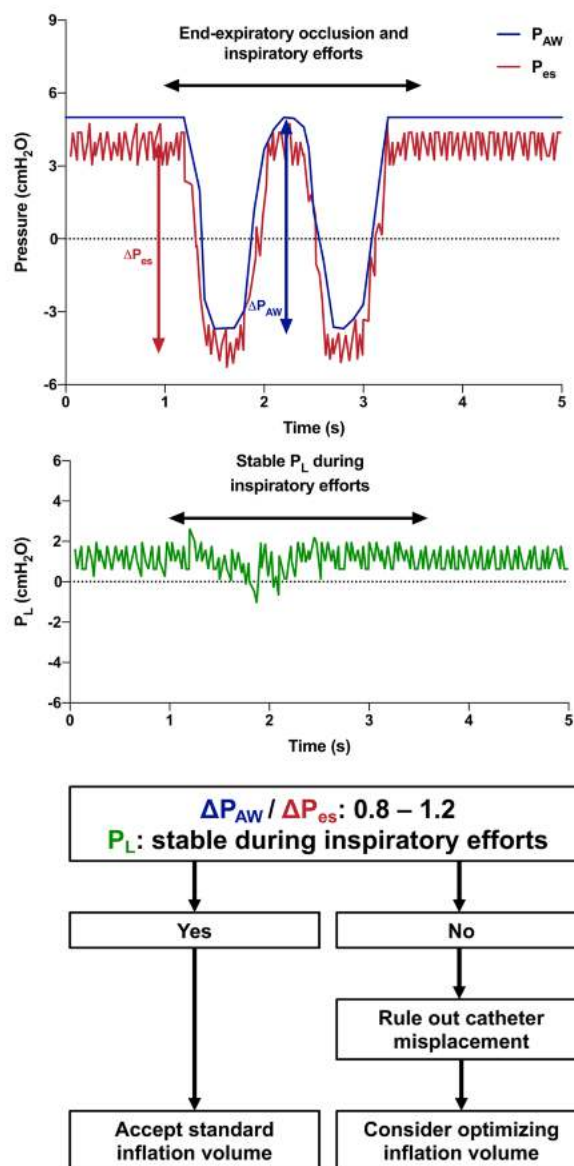
**Ưu điểm:** Bơm bóng dựa trên khuyến nghị của nhà sản xuất cung cấp số đo  $P_{es}$  có thể chấp nhận được trong nhiều tình trạng lâm sàng.

**Nhược điểm:** Thể tích bơm phòng tiêu chuẩn có thể dẫn đến ước tính  $P_{pl}$  quá cao hoặc dưới mức và việc chuẩn độ riêng lẻ có thể cần thiết để tránh giải thích sai về  $P_L$ .

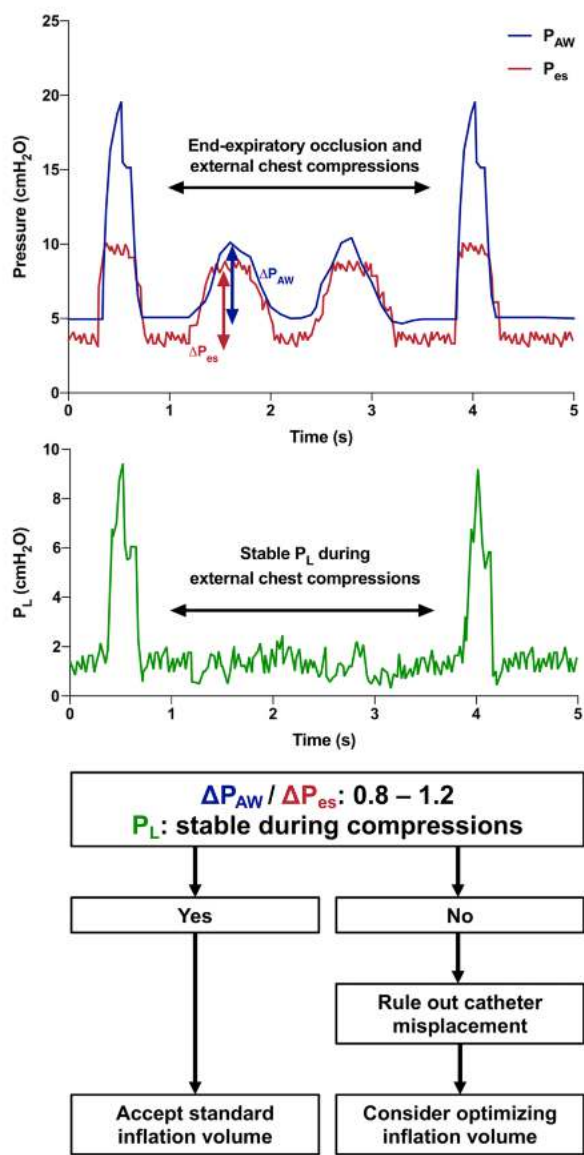
## Thử nghiệm tắc nghẽn để xác nhận vị trí và bơm phòng

Như đã thảo luận ở trên, vị trí và độ phòng của quả bóng đều ảnh hưởng đến  $P_{es}$ . Có thể kiểm tra vị trí

và bơm phòng chính xác bằng cách sử dụng thử nghiệm tắc nghẽn (occlusion test): khi đường thở bị tắc ở cuối thì thở ra, những thay đổi về  $P_{pl}$  sẽ được truyền đến đường thở qua phổi.



**Hình 1** Thử nghiệm tắc nghẽn để xác nhận vị trí chính xác và độ bơm phòng của bóng thực quản ở bệnh nhân đang tự thở được hỗ trợ thở máy. Việc tắc nghẽn cuối thì thở ra được thực hiện, trong đó quan sát thấy độ lệch âm của áp lực màng phổi ( $P_{es}$ ) và đường thở ( $P_{AW}$ ). Trong nỗ lực hít vào, áp lực xuyên phổi ( $P_L$ ) vẫn ổn định



**Hình 2** Thử nghiệm tắc nghẽn để xác nhận vị trí chính xác và bơm phòng bóng thực quản ở bệnh nhân được an thần mà không có hoạt động thở tự nhiên được thông khí có kiểm soát. Việc làm tắc cuối thì thở ra được thực hiện và thực hiện ép ngực bên ngoài nhẹ nhàng. Sự dao động dương của áp lực màng phổi ( $P_{es}$ ) và đường thở ( $P_{AW}$ ) phản ánh sự gia tăng áp lực trong lồng ngực do lực ép từ bên ngoài. Trong quá trình thực hiện thao tác tắc, áp lực xuyên phổi ( $P_L$ ) vẫn ổn định

Trong quá trình tắc, những thay đổi của  $P_{es}$  ( $\Delta P_{es}$ ) bằng với những thay đổi của  $P_{aw}$  ( $\Delta P_{aw}$ ), do đó tỷ lệ của chúng phải là 1 ( $\Delta P_{es}/\Delta P_{aw} = 1$ ) [18], giả sử rằng  $P_{pl} = P_{es}$ . Dung sai 10% hoặc 20% thường được coi là chấp nhận được, tương ứng với

$\Delta P_{es}/\Delta P_{aw}$  tương ứng từ 0,9 đến 1,1 hoặc từ 0,8 đến 1,2. Ở những bệnh nhân thở tự nhiên, những thay đổi về áp lực đường thở được đánh giá trong quá trình thử nghiệm tắc nghẽn tương ứng với sự dao động  $P_{es}$  âm do nỗ lực hít vào đẳng cự (Hình 1). Ở những bệnh nhân thụ động được an thần, sự thay đổi áp lực phải được tạo ra bằng cách ấn nhẹ vào ngực bên ngoài (Hình 2), đủ để tạo ra  $\Delta P_{aw}$  an toàn nhưng có thể đo lường được, thường hướng tới các giá trị trong khoảng từ 5 đến 15 cmH<sub>2</sub>O. Khi  $\Delta P_{aw}$  và  $\Delta P_{es}$  bằng nhau, hiệu của chúng, cụ thể là  $\Delta P_L$ , bằng 0. Trong các máy thở và máy theo dõi hiện đại có thể vẽ đồ thị  $P_L$  theo thời gian thực (các ô màu xanh lá cây trong Hình 1 và 2), việc xác minh rằng  $P_L$  vẫn không đổi trong các nỗ lực hít vào hoặc ép ngực ở thử nghiệm tắc nghẽn tiếp tục xác nhận vị trí chính xác và bơm phòng của bóng. Hình 1 và 2 minh họa các khái niệm này và đề xuất một thuật toán đánh giá vị trí và bơm phòng bóng. Cần phải nhấn mạnh rằng việc nhắm tới một phạm vi cụ thể có thể chấp nhận được của tỷ lệ giữa khi  $\Delta P_{es}$  và  $\Delta P_{aw}$  tương ứng về mặt toán học với việc đưa ra sai số phần trăm hệ thống từ 10 đến 20%. Điều này có ý nghĩa quan trọng, đặc biệt ở những bệnh nhân thực hiện hiệu chuẩn với những thay đổi nhỏ về  $\Delta P_{es}$ , cụ thể là những bệnh nhân thở tự nhiên với nỗ lực hít vào hạn chế hoặc những bệnh nhân thở máy có kiểm soát trong đó việc ép ngực dẫn đến những thay đổi nhỏ của  $\Delta P_{es}$ . Ở những đối tượng này, mặc dù trong quá trình hiệu chỉnh, sự khác biệt tuyệt đối giữa  $\Delta P_{es}$  và  $\Delta P_{aw}$  bị hạn chế, nhưng sai số 10–20% phần trăm có thể dẫn đến sai số tuyệt đối lớn khi tạo ra áp lực hít vào cao hoặc nỗ lực hít vào cao trong quá trình thở theo chu kỳ thở bình thường.

**Kiểm tra tắc và kiểm tra nén ngực bên ngoài để xác minh bơm phòng và định vị**

Ưu điểm: Phương pháp đơn giản và được thiết lập để xác minh vị trí và độ phồng của khí cầu.

Nhược điểm: Việc đặt bóng sai vị trí có thể khó đánh giá, đặc biệt là trong điều kiện bệnh nhân không tự thở, trong đó cường độ dao động áp lực bóng cũng có thể gợi ý vị trí chính xác khi bóng không nằm ở một phần ba xa của thực quản. Ở những bệnh nhân đang tự thở, nỗ lực hít vào có thể không đều, khiến việc chuẩn độ bơm bóng trở nên khó khăn.

## Giải thích áp lực thực quản trong thông khí có kiểm soát

Sau khi đảm bảo vị trí chính xác và bơm phồng của bóng thực quản, cần phải suy luận và tính toán thêm để sử dụng nó như một công cụ để chuẩn độ cài đặt thông khí cơ học.

### Giá trị tuyệt đối và sự phân chia của cơ học hô hấp

Ứng dụng đơn giản nhất của theo dõi áp lực thực quản ở bệnh nhân thở máy không tự thở là phân chia độ đàn hồi của hệ hô hấp ( $E_{rs}$ ) thành hai thành phần: độ đàn hồi của phổi ( $E_L$ ) và của thành ngực ( $E_{cw}$ ) [1, 3, 20]. Độ đàn hồi là tỷ số giữa thay đổi áp lực và thay đổi thể tích, được đo bằng  $\text{cmH}_2\text{O}/\text{L}$  và là nghịch đảo của độ giãn nở ( $C$ ), do đó  $E = 1/C$ . Độ đàn hồi có đặc tính cộng, do đó  $E_{rs} = E_L + E_{cw}$  và vì sự thay đổi thể tích của phổi bằng với sự thay đổi thể tích của thành ngực do sự liên kết về mặt giải phẫu, đặc tính đó chuyển thành áp lực đẩy ( $\Delta P$ ), tức khác biệt giữa áp lực hít vào và cuối thì thở ra khi thở theo chu kỳ thở. Do đó  $\Delta P_{rs} = \Delta P_L + \Delta P_{cw}$ , trong đó  $\Delta P_{cw}$  bằng áp lực đẩy thực quản ( $\Delta P_{es}$ ). Như minh họa trong Hình 3, ở áp lực cao nguyên bằng nhau đo tại máy thở, bệnh nhân có  $E_{cw}$  tăng sẽ có áp lực xuyên phổi cuối thì hít vào thấp hơn và tương ứng là strain phổi thấp hơn. Đây là cơ sở sinh lý bệnh của khái niệm rằng áp lực cao nguyên đường thở cao hơn có thể được dung nạp trong trường hợp  $E_{cw}$  tăng, chẳng hạn như ở bệnh nhân béo phì [21] hoặc những người bị tăng áp lực trong ổ bụng [22].

#### Phân chia độ đàn hồi của phổi và thành ngực theo áp lực thực quản

**Ưu điểm:** Theo dõi áp lực thực quản cho phép phân chia toàn bộ cơ học của hệ hô hấp trong các thành phần phổi và thành ngực.

**Nhược điểm:** Có sự đồng thuận hạn chế về giới hạn trên an toàn của áp lực xuyên phổi cuối thì hít vào và áp lực đẩy theo chu kỳ thở. Áp lực xuyên phổi cuối thì hít vào dưới 15–20  $\text{cmH}_2\text{O}$  và áp lực đẩy theo chu kỳ thở dưới 10–12  $\text{cmH}_2\text{O}$  có thể được chấp nhận trong ARDS. Phân vùng thông thường không giải thích được sự khác biệt giữa các vùng về áp lực màng phổi.

## Giải thích dẫn xuất từ độ đàn hồi

Phương pháp dẫn xuất từ độ đàn hồi đề xuất sử dụng tỷ lệ độ đàn hồi của phổi với độ đàn hồi tổng (tỷ lệ độ đàn hồi,  $E_L/E_{rs}$ ) làm hệ số hiệu chỉnh nhân (multiplicative correction factor) để áp dụng cho áp lực đo được tại máy thở (Hình 3) [23]. Tỷ lệ  $E_L/E_{rs}$  có thể được đo bằng  $(\Delta P_{rs} - \Delta P_{es})/\Delta P_{rs}$  trong điều kiện thụ động và thường nằm trong khoảng từ 0,5 hoặc thấp hơn đến 0,9 ở những bệnh nhân mắc ARDS nguy kịch. Nó có thể được coi là một phần áp lực đường thở được truyền đến phổi. Theo phương pháp này, áp lực xuyên phổi thì hít vào được điều chỉnh thành  $P_{\text{plat,elastance-derived}} = P_{\text{plat}} \times E_L/E_{rs}$  và đã được chứng minh là phản ánh chính xác áp lực xuyên phổi khu vực ở các vùng không phụ thuộc [9]. Phương pháp này đã được một số nhóm nghiên cứu sử dụng rộng rãi [24]; tuy nhiên, khi được sử dụng làm hướng dẫn để đặt áp lực dương cuối thì thở ra (PEEP), nó không phù hợp với các phương pháp dựa trên giá trị tuyệt đối của  $P_{es}$  [25].

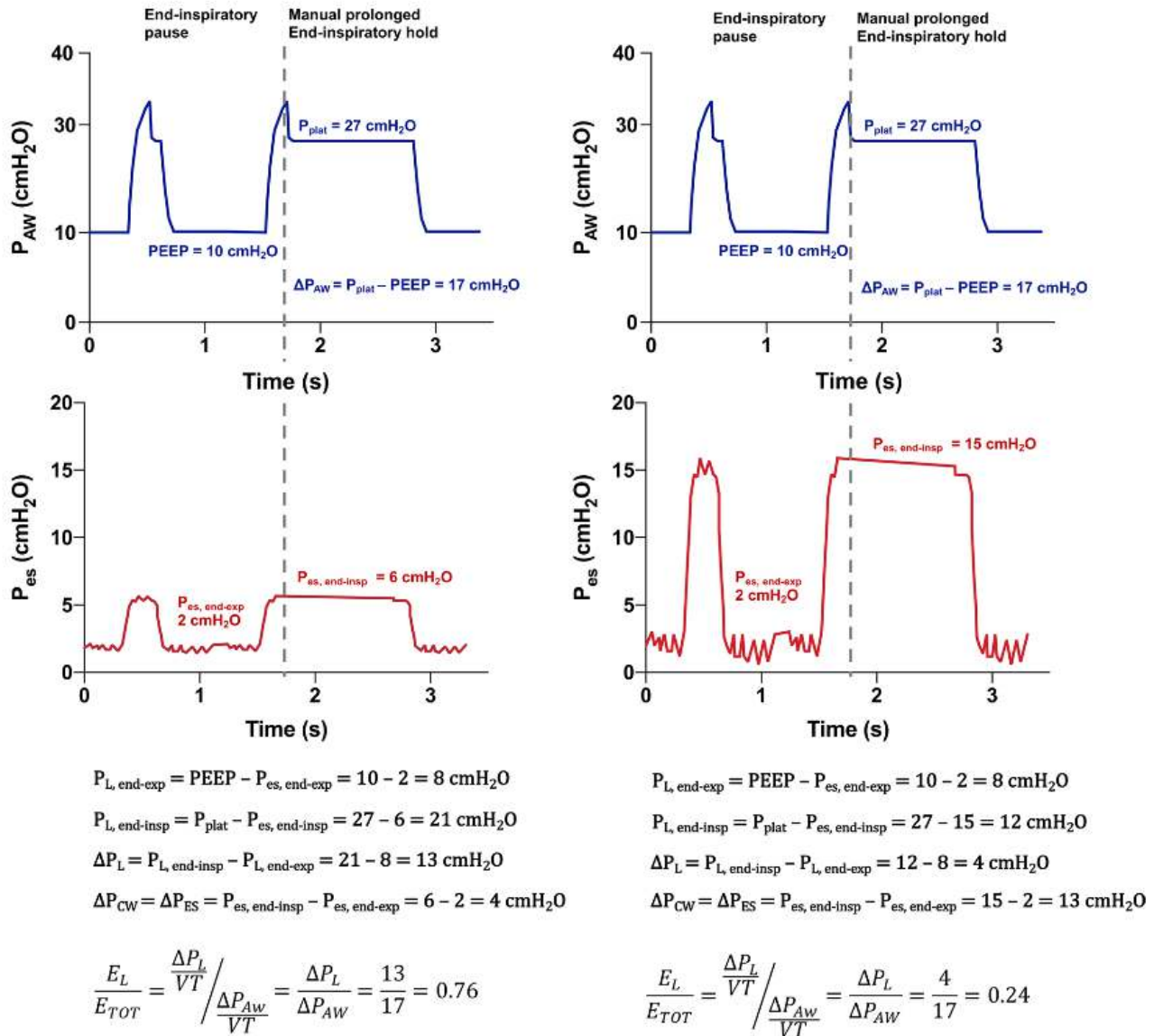
#### Giải thích áp lực xuyên phổi dẫn xuất từ độ đàn hồi

**Ưu điểm:** Việc giải thích áp lực xuyên phổi dựa trên độ đàn hồi cung cấp ước tính về cách phân chia áp lực hít vào giữa phổi và thành ngực ở bệnh nhân thụ động.

**Nhược điểm:** Phương pháp này có xu hướng phản ánh đặc tính đàn hồi của phổi bụng, với thông tin hạn chế về các vùng lưng phụ thuộc.

## Phương pháp giải phóng PEEP

Để tránh yếu tố gây nhiễu có thể có của PEEP đối với đặc tính đàn hồi của thành ngực, phương pháp giải phóng PEEP đã được đề xuất, dựa trên việc so sánh các giá trị áp lực xuyên phổi trong quá trình thở theo chu kỳ bình thường ở PEEP với các giá trị đạt được ở áp lực cuối thì thở ra bằng 0 [2, 26]. Chi tiết về tính toán này được cung cấp trong Hình 4; đối với phương pháp dẫn xuất độ đàn hồi, có sự thống nhất kém giữa các giá trị thu được bằng phương pháp này và các giá trị dựa vào giá trị tuyệt đối của  $P_{es}$ .



**Hình 3** Áp lực đường thở (hình trên) và áp lực thực quản (hình dưới) của bệnh nhân có độ đàn hồi thành ngực bình thường (trái) hoặc tăng (phải). Ở cùng mức tăng cao nguyên đường thở và áp lực đẩy (lần lượt là 27 và 17 cmH<sub>2</sub>O), áp lực xuyên phổi ở cuối thì hít vào và áp lực đẩy xuyên phổi sẽ thấp hơn ở bệnh nhân có độ đàn hồi của thành ngực tăng. Tỷ lệ độ đàn hồi được báo cáo, cho thấy ở bệnh nhân bên trái, 76% tổng độ đàn hồi được cấu thành bởi độ đàn hồi của phổi, trong khi chỉ có 24% ở bệnh nhân ở bên phải. P<sub>AW</sub>: áp lực đường thở; P<sub>es</sub>: áp lực thực quản; P<sub>CW</sub>: áp lực thành ngực; P<sub>L</sub>: áp lực xuyên phổi; P<sub>plat</sub>: áp lực cao nguyên; PEEP: áp lực dương cuối thì thở ra

**Giải thích áp lực xuyên phổi theo phương pháp giải phóng PEEP**

Ưu điểm: Phương pháp này có thể cho phép đo áp lực xuyên phổi tránh ảnh hưởng của PEEP lên thành ngực.

Nhược điểm: Phương pháp này phức tạp, được chấp nhận hạn chế và yêu cầu thu thập dữ liệu cơ học hô hấp ở mức PEEP là 0 cmH<sub>2</sub>O, một quy trình làm tăng mối lo ngại về an toàn ở những bệnh nhân thiếu oxy nghiêm trọng.

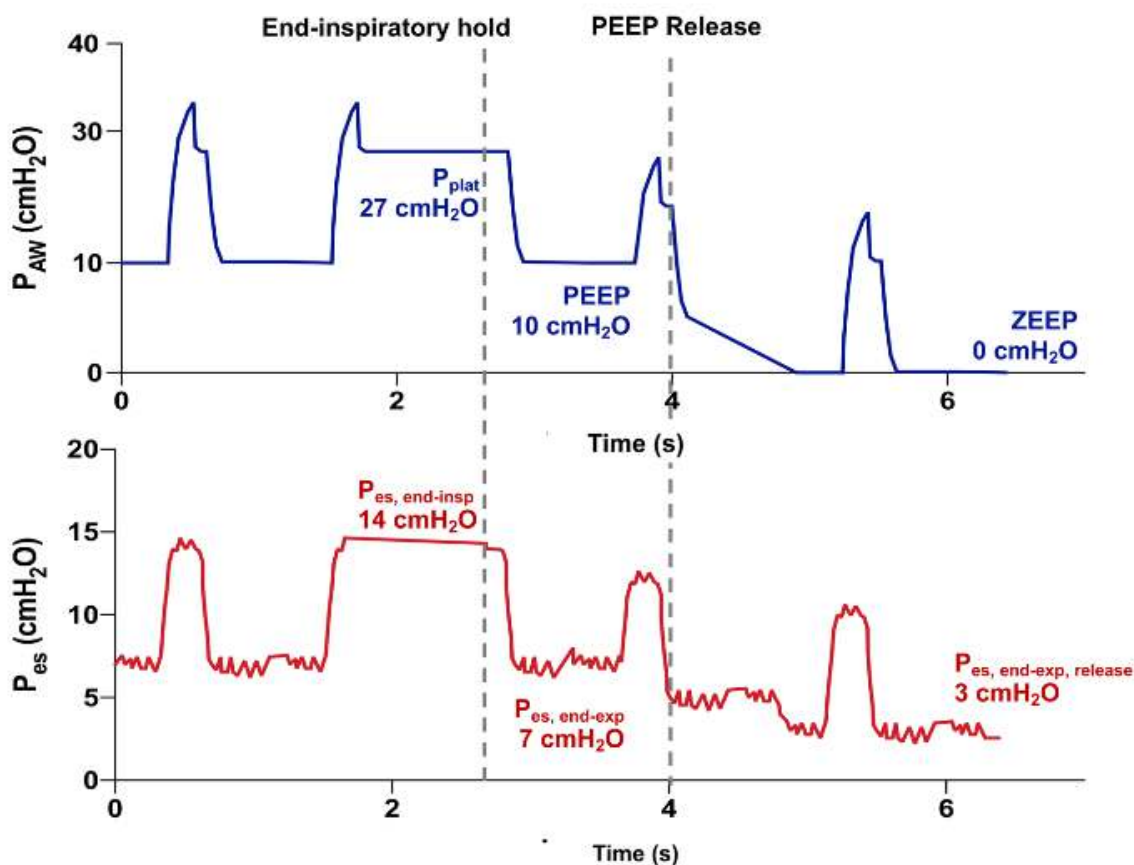
### Phương pháp từng bước PEEP

Một nhóm nghiên cứu đã đề xuất một phương pháp ước tính áp lực xuyên phổi mà không cần bóng thực quản, dựa trên phép đo sự thay đổi thể tích phổi cuối thì thở ra sau khi thay đổi đột ngột PEEP [27]. Phương pháp này đã được xác nhận trong mô hình thí nghiệm [28], nhưng giả định ngầm rằng áp lực xuyên phổi cuối kỳ thở ra được ước tính bằng phép đo áp lực thực quản là bằng 0 bất kể mức PEEP được áp dụng, điều này mâu thuẫn với các nghiên cứu lâm sàng khác [29, 30].

### Phương pháp từng bước PEEP ước tính áp lực xuyên phổi

Ưu điểm: Phương pháp này có thể cho phép ước tính áp lực xuyên phổi mà không cần bóng thực quản.

Nhược điểm: Xác nhận và chấp nhận lâm sàng hạn chế.



**Absolute Values**

$$P_{L, \text{end-exp}} = \text{PEEP} - P_{es, \text{end-exp}} = 10 - 7 = 3 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$P_{L, \text{end-insp}} = P_{\text{plat}} - P_{es, \text{end-insp}} = 27 - 14 = 13 \text{ cmH}_2\text{O}$$

**PEEP-release Method**

$$P_{L, \text{end-exp}} = (\text{PEEP} - \text{ZEEP}) - (P_{es, \text{end-exp}} - P_{es, \text{end-exp, release}}) = (10 - 0) - (7 - 3) = 6 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$P_{L, \text{end-insp}} = (P_{\text{plat}} - \text{ZEEP}) - (P_{es, \text{end-insp}} - P_{es, \text{end-exp, release}}) = (27 - 0) - (14 - 3) = 16 \text{ cmH}_2\text{O}$$

**Hình 4** So sánh giữa áp lực xuyên phổi được tính toán dựa trên các giá trị tuyệt đối và sử dụng phương pháp giải phóng PEEP. Từ PEEP ban đầu là 10 cmH<sub>2</sub>O, thao tác giải phóng PEEP được thực hiện để đo giá trị áp lực thực quản cuối kỳ thở ra ở ZEEP. P<sub>AW</sub>: áp lực đường thở; P<sub>es</sub>: áp lực thực quản; P<sub>L</sub>: áp lực xuyên phổi; P<sub>plat</sub>: áp lực cao nguyên; PEEP: áp lực dương cuối thì thở ra; ZEEP: áp lực cuối thì thở ra bằng 0

## Sự biến đổi áp lực màng phổi theo vùng và áp dụng các hệ số hiệu chỉnh

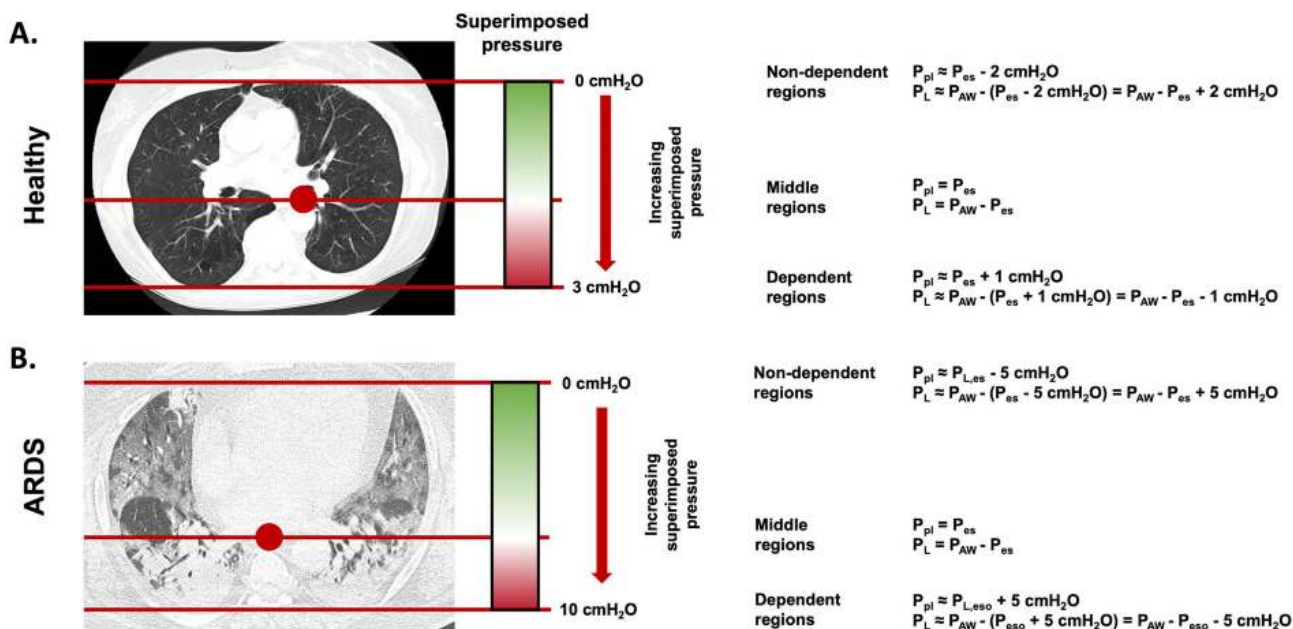
Một yếu tố quyết định quan trọng của  $P_{pl}$  ở cấp độ khu vực là sự hiện diện của áp lực thủy tĩnh do trọng lượng của mô phổi và trung thất nằm trên mức  $P_{pl}$  được đo [31, 32]. Điều này dẫn đến độ chênh lệch từ bụng đến lưng của  $P_{pl}$  ở tư thế nằm ngửa; kết quả là  $P_{es}$  gần đúng với  $P_{pl}$  chỉ được đo ở mức tương ứng với vị trí của thực quản trong thành ngực [9]. Như minh họa trong hình 5A, ở phổi khỏe mạnh, áp lực chông lên ở hầu hết các vùng lưng là khoảng 3 cmH<sub>2</sub>O [33], do đó giả sử rằng thực quản nằm ở vị trí trung gian trong trục bụng-lưng,  $P_{pl}$  ở phần bụng hoặc vùng lưng gần nhất có thể sai lệch so với  $P_{es}$  đo được  $\pm 1,5$  cmH<sub>2</sub>O, một giá trị không đáng kể ở hầu hết các cơ sở lâm sàng. Trong ARDS, trọng lượng của phổi bị tổn thương làm tăng độ chênh lệch này khi nằm ngửa hoàn toàn đến giá trị trung bình là 10 cmH<sub>2</sub>O [31] (Hình 5B), do đó  $P_{pl}$  mặt lưng  $\approx P_{es} + 5$  cmH<sub>2</sub>O và  $P_{pl}$  mặt bụng  $\approx P_{es} - 5$  cmH<sub>2</sub>O [9]. Do đó, áp lực chông lên trong ARDS có cùng mức độ thay đổi áp lực được áp dụng để điều chỉnh thông khí cơ học ở đầu giường, đặc biệt là PEEP. Điều này có những hậu quả thực tế khi sử

dụng  $P_{es}$  để hướng dẫn các quyết định lâm sàng. Trên thực tế, việc chuẩn độ các thông số thở máy bao gồm PEEP bằng cách sử dụng  $P_{es}$  làm ước tính  $P_L$  trung bình tương đương với việc nhắm mục tiêu vào các vùng giữa của phổi. Điều này có thể dẫn đến áp lực đường thở không đủ để huy động hoàn toàn vùng lưng, nhưng vẫn dẫn đến tăng căng chướng ở vùng bụng.

### Sử dụng các hệ số hiệu chỉnh trên $P_{es}$ để ước tính $P_{pl}$ khu vực

**Ưu điểm:** Việc áp dụng các hệ số hiệu chỉnh  $\pm 5$  cmH<sub>2</sub>O có thể cung cấp ước tính  $P_{pl}$  khu vực trong ARDS, cho phép đánh giá  $P_L$  riêng biệt ở các vùng phổi có nguy cơ mất huy động so với những vùng có nguy cơ chấn thương khí áp.

**Nhược điểm:** Các yếu tố điều chỉnh làm phức tạp đáng kể việc giải thích  $P_{es}$ . Việc điều chỉnh cài đặt thông khí dựa trên giá trị  $P_{es}$  chưa được điều chỉnh đã thể hiện sự thỏa hiệp giữa nguy cơ mất huy động phổi ở vùng lưng và tình trạng quá căng ở vùng bụng.



**Hình 5.** Sự đóng góp của áp lực chông lên áp lực thực quản ở một bệnh nhân khỏe mạnh (A) và ở một bệnh nhân mắc ARDS (B). Áp lực thực quản đánh giá thấp áp lực xuyên phổi ở các vùng không phụ thuộc trong khi đánh giá quá cao áp lực ở các vùng lưng, đặc biệt là ở phổi bị tổn thương.  $P_{AW}$ : áp lực đường thở;  $P_{es}$ : áp lực thực quản;  $P_L$ : áp lực xuyên phổi;  $P_{plat}$ : áp lực cao nguyên

## Chuẩn độ PEEP dựa trên áp lực xuyên phổi cuối thì thở ra

Áp lực xuyên phổi cuối thì thở ra tuyệt đối, khi  $P_{es}$  được giả định  $P_{pl}$ , là  $P_{L,end-exp} = PEEP_{tot} - P_{es,end-exp}$ . Giá trị của nó ở bệnh nhân ARDS thường nằm trong khoảng  $-10$  đến  $+10$  cmH<sub>2</sub>O và bị ảnh hưởng bởi PEEP [34] và tư thế [35]. Các giá trị âm của  $P_{L,end-exp}$  có liên quan đến việc mất huy động ở các vùng phổi phụ thuộc, như đã được xác nhận trong các nghiên cứu dựa trên chụp cắt lớp trở kháng điện (electrical impedance tomography - EIT) [36]. Một thử nghiệm ngẫu nhiên đầu tiên so sánh chiến lược chuẩn độ PEEP nhằm mục đích duy trì  $P_{L,end-exp}$  không âm, cho thấy sự cải thiện về oxygen hóa so với chiến lược bằng PEEP/ $FiO_2$  thấp thông thường [30]. Tuy nhiên, chiến lược này không vượt trội so với bằng PEEP/ $FiO_2$  cao thông thường trong một thử nghiệm ngẫu nhiên lớn hơn [37]. Tuy nhiên, một nghiên cứu phụ của thử nghiệm sau đã xác định rằng việc chuẩn độ PEEP theo  $P_{L,end-exp}$  gần bằng  $0$  ( $\pm 2$  cmH<sub>2</sub>O) có liên quan đến tỷ lệ tử vong được cải thiện, trong khi giá trị cao hơn có thể dẫn đến strain tĩnh cao và tỷ lệ tử vong cao hơn [38].

### Chuẩn độ PEEP dựa trên áp lực xuyên phổi cuối thì thở ra

**Ưu điểm:** Cách tiếp cận này có thể giúp xác định bệnh nhân có số lượng mô phổi được huy động lại phù hợp và cài đặt PEEP cho từng cá nhân.

**Nhược điểm:** Các thử nghiệm ngẫu nhiên không cho thấy lợi ích rõ ràng về tỷ lệ tử vong. Tăng PEEP đến  $P_{L,end-exp}$  dương quá mức, có thể dẫn đến kết quả tồi tệ hơn.

## Sử dụng áp lực xuyên phổi để đánh giá nguy cơ VILI

Việc các vùng phổi tiếp xúc với áp lực hít vào quá cao là yếu tố chính quyết định tổn thương phổi do máy thở (ventilator-induced lung injury - VILI) [39]. Nguy cơ này cao hơn ở các vùng bụng không phụ thuộc được thông khí nhiều nhất trong ARDS ở tư thế nằm ngửa trong quá trình thông khí có kiểm soát ở bệnh nhân không tự thở. Ở cuối thì hít vào,

$P_L$  ở phổi bụng được ước tính chính xác bằng phương pháp dẫn xuất từ độ đàn hồi hoặc áp dụng hiệu chỉnh  $+5$  cmH<sub>2</sub>O trên phép đo tuyệt đối của  $P_L$  [9]; tuy nhiên, việc áp dụng hệ số hiệu chỉnh cố định cũng rất đơn giản, vì giá trị chính xác của nó phụ thuộc vào mức độ nghiêm trọng của ARDS. Để đánh giá strain động, có thể sử dụng áp lực đẩy xuyên phổi ( $\Delta P_L$ ), được tính bằng  $P_{L,end-insp}$  trừ  $P_{L,end-exp}$ .

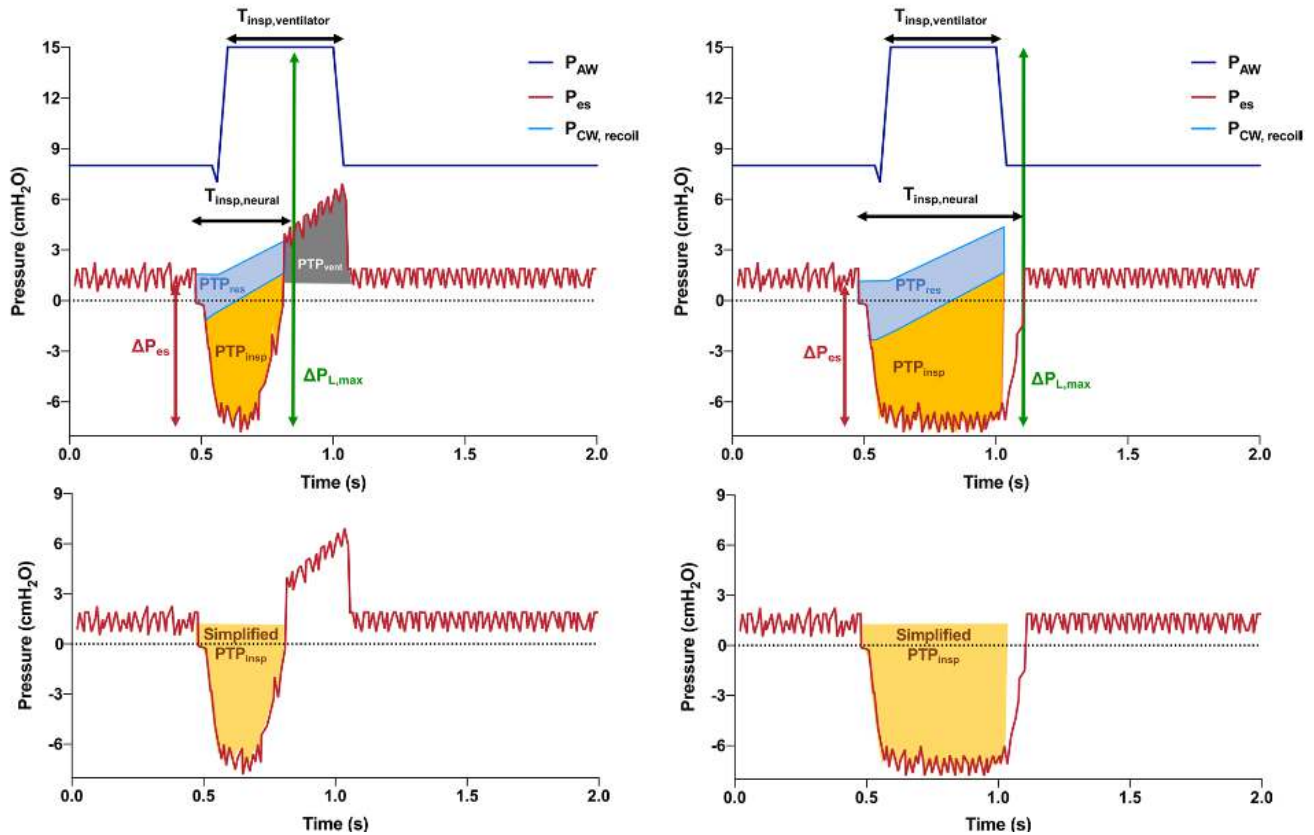
### Đánh giá nguy cơ VILI bằng áp lực xuyên phổi

**Ưu điểm:** Hạn chế áp lực xuyên phổi thì hít vào và áp lực đẩy xuyên phổi có thể bảo vệ phổi khỏi stress và strain quá mức. Phương pháp dựa trên độ đàn hồi hoặc áp dụng hệ số hiệu chỉnh  $+5$  cmH<sub>2</sub>O trên các phép đo tuyệt đối phản ánh stress tác dụng lên các vùng bụng.

**Nhược điểm:** Thiếu sự đồng thuận về ngưỡng an toàn.

## Giải thích áp lực thực quản trong thông khí hỗ trợ

Các ứng dụng theo dõi áp lực thực quản ở những bệnh nhân có tự thở được thông khí hỗ trợ xâm lấn đòi hỏi phải xem xét riêng. Việc kích hoạt các cơ hít vào tạo ra độ lệch âm của  $P_{pl}$ , độ lớn của độ lệch này được gọi là  $\Delta P_{es}$  (Hình 6). Áp lực âm này được duy trì trong một khoảng thời gian nhất định, đó là thời gian hít vào của thần kinh, và ban đầu được dùng để kích hoạt hít vào của máy thở và để vượt qua PEEP nội tại (tự động) và lực cản hít vào, sau đó nó được giải phóng để cho phép kết thúc thì hít vào và chuyển chu kỳ. Áp lực được tạo ra bởi cơ hít vào được định nghĩa là  $P_{mus} = P_{CW,recoil} - P_{es}$ , trong đó  $P_{CW,recoil}$  biểu thị áp lực lẽ ra được tạo ra trong thành ngực bởi cùng một thể tích khí nếu không có nỗ lực hít vào (Hình 6, đường màu xanh lam). Áp lực xuyên phổi hít vào tối đa là sự chênh lệch giữa áp lực đường thở hít vào và  $P_{es}$  tối thiểu trong nỗ lực hít vào (Hình 6, mũi tên màu xanh lá cây). Trong trường hợp tăng hoạt động trung khu điều khiển hít vào, có thể đạt được giá trị  $P_L$  rất cao khi thêm  $P_{es}$  âm cao vào áp lực hít vào của máy thở.



**Hình 6** Tính toán tích số áp lực–thời gian (pressure–time product - PTP) ở hai bệnh nhân có độ dao động áp lực thực quản ( $\Delta P_{es}$ ) bằng nhau nhưng thời gian hít vào thành kính ngắn (trái) so với kéo dài (phải). Khi nỗ lực thở vào được bắt đầu, trước tiên bệnh nhân phải vượt qua PEEP nội tại (PTP<sub>res</sub>, vùng màu xanh lam, hình trên cùng), sau đó áp lực âm được duy trì trong suốt thời gian thần kinh hít vào (PTP<sub>insp</sub>, vùng màu vàng, hình trên cùng). Bệnh nhân ở bên phải, so với bệnh nhân ở bên trái, có PTP cao hơn ở cùng  $\Delta P_{es}$ . Nếu nỗ lực hít vào bị chấm dứt trước khi kết thúc thời gian hít vào của máy thở, bệnh nhân sẽ đóng vai trò là bệnh nhân không tự thở trong giai đoạn hít vào muộn, khi áp lực thực quản tăng do áp lực hít vào của máy thở (PTP<sub>vent</sub>). Độ chênh lệch của áp lực giạt lại là độ đàn hồi của thành ngực; khi điều này không được biết, PTP có thể được tính gần đúng bằng cách tích hợp  $P_{es}$  thay vì  $P_{musc}$  (PTP<sub>insp</sub> đơn giản hóa, hình dưới).  $P_{AW}$ : áp lực đường thở;  $P_{es}$ : áp lực thực quản;  $P_L$ : áp lực xuyên phổi;  $P_{CW, recoil}$ : áp lực của thành ngực trong điều kiện bệnh nhân không tự thở; PEEP: áp lực dương cuối thì thở ra

**Đánh giá nỗ lực hít vào và công thở**

Khi chuẩn độ mức hỗ trợ hô hấp ở các chế độ thông khí hỗ trợ, lý tưởng nhất là các bác sĩ lâm sàng nên nhắm mục tiêu vào công thở (work of breathing - WOB): WOB thấp có thể phản ánh hỗ trợ quá mức hoặc quá an toàn, trong khi WOB cao hơn có thể cho thấy thiếu sự hỗ trợ hoặc nỗ lực hô hấp quá mức và nguy cơ tự bệnh nhân gây tổn thương phổi (patient self-inflicted lung injury – P-SILI) [40].

Tuy nhiên, việc tính toán WOB rất phức tạp, vì nó được định nghĩa là diện tích của phần hít vào của vòng lặp áp lực cơ hít vào ( $P_{mus}$ )— thể tích [3]. Từ quan điểm toán học, điều này tương ứng với từng hơi thở:

$$WOB_{breath} = \int_{T_{insp}} P_{mus} dV$$

WOB sau đó có thể được biểu thị bằng Joules trên mỗi lít thể tích được tạo ra ( $WOB_{\text{volume}} = WOB_{\text{breath}}/V_T$ ) hoặc thông khí mỗi phút ( $WOB_{\text{minute}} = WOB_{\text{breath}} \times RR$ ) [41]. Một hạn chế của định nghĩa này về WOB là bất kỳ nỗ lực hít vào nào không tạo ra thể tích khí lưu thông sẽ bằng 0, dẫn đến hiểu sai về vai trò của những nỗ lực hít vào không hiệu quả và sự không đồng bộ khác. Hơn nữa, tích phân trên một thể tích là một phép tính phức tạp, do đó, phép tính thay thế dựa trên tích phân theo thời gian thường được sử dụng: tích số áp lực thực quản–thời gian ( $PTP_{\text{es}} = \int_{T_{\text{insp}}}^{\text{end}} P_{\text{mus}} dt$ , xem hình 6).  $PTP_{\text{es}}$  đã được đề xuất là có phạm vi mục tiêu từ 50 đến 150  $\text{cmH}_2\text{O} \times \text{s}$  [3] và cũng có thể được tính toán cho những nỗ lực không hiệu quả. Tuy nhiên, việc tính toán  $P_{\text{cw, recoil}}$  để có được  $P_{\text{mus}}$  đòi hỏi phải biết  $E_{\text{CW}}$  (độ dốc của đường màu xanh lam trong Hình 6), không thể dễ dàng đo được ở những bệnh nhân đang có tự thở. Ngay cả khi  $E_{\text{CW}}$  được đo ở cùng một bệnh nhân trong điều kiện không tự thở trước khi bắt đầu thở máy hỗ trợ, vẫn chưa biết  $E_{\text{CW}}$  thay đổi như thế nào khi giảm thuốc an thần hoặc ngừng phong tỏa thần kinh cơ để cho phép thở tự nhiên. Hầu hết các nghiên cứu thực nghiệm đều tính toán  $P_{\text{cw, recoil}}$  dựa trên giá trị dự đoán của  $E_{\text{CW}}$  hoặc giả định giá trị cố định là 5  $\text{cmH}_2\text{O}/\text{L}$ .  $PTP_{\text{es}}$  và WOB có mối tương quan với nhau và cung cấp định lượng chính xác về cường độ hoạt động của cơ hô hấp, và PTP có mối tương quan tốt với chi phí trao đổi chất của hơi thở, cụ thể là mức tiêu thụ oxy [42]. Việc sử dụng  $E_{\text{CW}}$  để giải thích vai trò của thành ngực trong nỗ lực hít vào ngụ ý rằng tổng thể tích phổi cao hơn điểm ngưỡng của vòng áp lực–thể tích trong đó thành ngực ở điều kiện thư giãn [43]: điều này có thể không xảy ra ở những bệnh nhân bị suy hô hấp với tổng thể tích phổi giảm, do đó đặt câu hỏi về việc sử dụng  $P_{\text{cw, recoil}}$  thường quy để đo PTP ở bệnh nhân mắc ARDS. Do đó, một sự đơn giản hóa hơn nữa bao gồm việc bỏ qua  $P_{\text{cw, recoil}}$  khi tính toán  $PTP_{\text{es}}$  ( $PTP_{\text{es}}$  đơn giản hóa, bảng phía dưới trong Hình 6). Cả PTP thông thường và PTP đơn giản đều được tính toán sau khi xử lý hậu kỳ ngoại tuyến các đường cong hô hấp trong bối cảnh nghiên cứu lâm sàng, có rất ít hoặc không có ứng dụng nào trong thực hành lâm sàng hiện tại. Biện pháp duy nhất có thể thu được trong thời gian thực ở đầu giường là mức

độ dao động áp lực thực quản ( $\Delta P_{\text{es}}$ ), đây là ước tính sơ bộ về nỗ lực hít vào. Tuy nhiên, điều này có thể phản ánh không chính xác WOB: cùng một  $\Delta P_{\text{es}}$  sẽ tạo ra các  $PTP_{\text{es}}$  khác nhau nếu áp dụng trong thời gian hít vào thần kinh ngắn và dài (Hình 6, bảng bên trái và bên phải).

Theo dõi áp lực thực quản là phương pháp tham khảo để đo hoạt động của cơ hô hấp và điều khiển áp lực xuyên phổi. Do tính phức tạp của nó, một số phương pháp thay thế dựa trên các phép đo máy thở không cần đặt bóng thực quản đã được đề xuất để hướng dẫn mức độ hỗ trợ hô hấp và cai máy thở. Chúng bao gồm áp lực tắc nghẽn đường thở ở 100 ms kể từ khi bắt đầu hít vào ( $P_{0.1}$ ) [44], thử nghiệm tắc nghẽn cuối thì hít vào [45] và thử nghiệm tắc nghẽn cuối thì thở ra [46].

#### **Định lượng hoạt động hô hấp dựa trên áp lực xuyên phổi ở bệnh nhân đang tự thở**

**Ưu điểm:** Theo dõi  $P_{\text{es}}$  trong quá trình hỗ trợ thở tự nhiên cho phép ước tính hoạt động của cơ hô hấp.

**Nhược điểm:** Ngoại trừ  $\Delta P_{\text{es}}$ , các phép đo rất phức tạp. Trong một số tình huống lâm sàng, những người thay thế không cần theo dõi áp lực thực quản có thể được sử dụng để xác định những bệnh nhân có hoạt động hít vào quá cao.

#### **Đánh giá áp lực xuyên phổi tối đa thì hít vào**

Hầu hết các nghiên cứu về theo dõi áp lực xuyên phổi trong thông khí hỗ trợ đều tập trung vào việc định lượng nỗ lực hô hấp. Tuy nhiên, áp lực xuyên phổi hít vào cao cũng có thể đạt được trong quá trình thở hỗ trợ [40, 47]. Hình 6 minh họa hai bệnh nhân được thông khí hỗ trợ nêu bật  $P_L$  tối đa đạt được trong chu kỳ hô hấp; vì  $P_L$  cuối thì thở ra có thể khác 0, điều này không nhất thiết phải tương ứng với tổng của  $\Delta P_{\text{es}}$  và  $\Delta P_{\text{aw}}$  (Hình 6, hình trên cùng). Ngoài ra, nếu không theo dõi áp lực thực quản, việc làm tắc nghẽn cuối thì hít vào được thực hiện ở bệnh nhân hợp tác trong điều kiện thư giãn có thể đưa ra ước tính gián tiếp về  $P_L$  hít vào tối đa trong quá trình thở theo chu kỳ bình thường [45].

### Theo dõi áp lực xuyên phổi hít vào ở bệnh nhân đang hoạt động

**Ưu điểm:** Hạn chế áp lực xuyên phổi hít vào có thể bảo vệ phổi trong quá trình hỗ trợ thở.

**Nhược điểm:** Thiếu ngưỡng  $P_L$  an toàn được thiết lập trong quá trình thở tự nhiên được hỗ trợ.

### Đánh giá sự không đồng bộ

Các tương tác ngoài ý muốn giữa hoạt động cơ hô hấp của bệnh nhân và máy thở được gọi là sự không đồng bộ của bệnh nhân-máy thở và có liên quan đến kết quả lâm sàng tồi tệ hơn ở những bệnh nhân bị bệnh nặng [48], mặc dù mối liên hệ nhân quả giữa sự không đồng bộ và tỷ lệ tử vong chưa được thiết lập. Theo dõi áp lực thực quản cho phép xác định chính xác sự phù hợp giữa nỗ lực của bệnh nhân và hoạt động hô hấp do máy thở cung cấp. Mặc dù  $P_{es}$  có thể được coi là phương pháp tham khảo để phát hiện sự không đồng bộ, nhưng việc kiểm tra trực quan đường cong máy thở của các bác sĩ lâm sàng có kinh nghiệm sẽ xác định chính xác hầu hết các điểm không đồng bộ [49].

### Theo dõi sự không đồng bộ bằng áp lực thực quản ở bệnh nhân đang tự thở

**Ưu điểm:** Cho phép theo dõi chính xác tất cả các loại không đồng bộ của bệnh nhân-máy thở.

**Nhược điểm:** Trong hầu hết các trường hợp, sự không đồng bộ có thể được phát hiện bằng cách kiểm tra trực quan đường cong lưu lượng và áp lực đường thở theo thời gian trên máy thở.

### Ứng dụng trong quá trình hỗ trợ hô hấp không xâm lấn

Những cân nhắc tương tự được thảo luận ở những bệnh nhân đang tự thở cũng áp dụng cho những người được hỗ trợ hô hấp không xâm lấn như liệu pháp oxy lưu lượng cao hoặc thông thường, áp lực đường thở dương liên tục (CPAP) và thông khí không xâm lấn hai cấp độ (NIV). Trong những trường hợp này, trung khu điều khiển hít vào hoạt động cao có thể liên quan đến việc tăng nguy cơ chấn thương khí áp [40] và cần đặt nội khí quản

[50, 51]. Tuy nhiên, việc đánh giá nỗ lực hô hấp ở những bệnh nhân này là đặc biệt khó khăn. Ở những bệnh nhân được điều trị bằng oxy, một số thông số ngoài khám lâm sàng có thể đưa ra ước tính sơ bộ về nỗ lực hít vào, bao gồm nhịp thở, mức độ khó thở, siêu âm cơ hoành và dao động áp lực mũi [52, 53]. Ở những bệnh nhân được hỗ trợ hô hấp áp lực dương thông qua máy thở và các giao diện không xâm lấn như mặt nạ hoặc mũ bảo hiểm, các thao tác bắt nguồn từ thử nghiệm tắc nghẽn trên máy thở thường cung cấp thông tin không đáng tin cậy về nỗ lực hô hấp do tác động gây nhiễu của thể tích giao diện và độ giãn nở [54]. Theo dõi  $P_{es}$  cung cấp thông tin độc đáo trong bối cảnh này, nhưng đây vẫn là một lĩnh vực chưa được khám phá nhiều vì các bác sĩ lâm sàng có xu hướng miễn cưỡng khi đặt bóng thực quản cho bệnh nhân thiếu oxy còn tỉnh [55].

### Theo dõi áp lực xuyên phổi trong quá trình hỗ trợ hô hấp không xâm lấn

**Ưu điểm:** Đo lường nỗ lực hít vào trong một tình huống lâm sàng đầy thử thách, nơi có ít lựa chọn thay thế.

**Nhược điểm:** Cần đặt bóng thực quản ở bệnh nhân tỉnh táo, thiếu oxy với cảm giác khó chịu và nguy cơ tiềm ẩn.

### Kết luận

Theo dõi áp lực xuyên phổi dựa trên đo áp lực thực quản đã cải thiện đáng kể kiến thức của chúng tôi về sinh lý bệnh và quản lý bệnh nhân nguy kịch bị suy hô hấp. Tuy nhiên, sinh lý học đằng sau việc giải thích nó rất phức tạp và các phương pháp tiếp cận đơn giản cho đến nay đã thất bại trong việc mở rộng số lượng bác sĩ lâm sàng thường xuyên sử dụng kỹ thuật này. Sự sẵn có của các đầu dò thực quản hiện đại, máy thở và máy theo dõi chuyên dụng giúp kỹ thuật này có thể áp dụng được ở bất kỳ đơn vị chăm sóc đặc biệt hiện đại nào. Mặc dù có sẵn các phương pháp thay thế, việc sử dụng theo dõi áp lực thực quản nên được khuyến khích trong thực hành lâm sàng vì nó cải thiện sự hiểu biết về suy hô hấp và cá nhân hóa thở máy ở bệnh nhân nguy kịch.