

REVIEW

Recruitment-to-inflation ratio for bedside PEEP selection in acute respiratory distress syndrome

Tommaso ROSÀ^{1,2}, Filippo BONGIOVANNI^{1,2}, Teresa MICHI^{1,2},
Claudia MASTROPIETRO^{1,2}, Luca S. MENGA^{1,2}, Gennaro DE PASCALE^{1,2},
Massimo ANTONELLI^{1,2}, Domenico L. GRIECO^{1,2}*



Tỷ lệ huy động/bơm phòng để lựa chọn PEEP tại giường trong hội chứng nguy kịch hô hấp cấp tính

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

Tóm tắt

Trong hội chứng nguy kịch hô hấp cấp tính, vai trò của áp lực dương cuối thì thở ra (positive end-expiratory pressure - PEEP) trong việc ngăn ngừa tổn thương phổi do máy thở vẫn còn gây tranh cãi. Các thử nghiệm ngẫu nhiên so sánh các chiến lược PEEP cao hơn so với thấp hơn đã không chứng minh được lợi ích lâm sàng. Điều này có thể phụ thuộc vào đáp ứng giữa các cá nhân đối với việc huy động phổi (tức là khả năng huy động - recruitability), điều này sẽ đảm bảo việc cá nhân hóa PEEP để cân bằng giữa huy động phế nang và tình trạng phổi trẻ em bé (baby lung) căng phồng quá mức không thể tránh khỏi bị do áp suất cao gây ra. Nhiều kỹ thuật đã được sử dụng để đánh giá khả năng huy động, bao gồm chụp ảnh phổi, nhiều đường cong áp suất-thể tích và đo thể tích phổi. Tỷ lệ Huy động/Bơm phòng (R/I – Recruitment-to-Inflation ratio) gần đây đã được đề xuất để đánh giá khả năng huy động tại giường mà không cần thiết bị bổ sung. Đánh giá R/I là một kỹ thuật đơn giản hóa dựa trên khái niệm nhiều đường cong áp suất-thể tích: nó được đo bằng cách theo dõi cơ học hô hấp và

thể tích khí lưu thông thở ra trong một thủ thuật giải huy động một nhịp thở (one-breath derecruitment maneuver) 10 cmH₂O sau một thử nghiệm PEEP cao trong thời gian ngắn. R/I điều chỉnh thể tích được huy động theo độ giãn nở của hệ thống hô hấp và chuẩn hóa việc huy động theo kích thước phổi thực tế. Với R/I khiêm tốn (< 0,3-0,4), có thể cân nhắc đặt PEEP thấp (5-8 cmH₂O); với R/I > 0,6-0,7, có thể cân nhắc đặt PEEP cao (≥15 cmH₂O), miễn là áp lực đường thở và/hoặc áp lực cao nguyên xuyên phổi không vượt quá giới hạn an toàn. Trong trường hợp R/I trung gian (≈0,5), có thể cần đánh giá chi tiết hơn về khả năng huy động. Điều này có thể thực hiện được bằng các công cụ theo dõi tiên tiến, như đo thể tích phổi tuần tự (sequential lung volume measurement) với đánh giá R/I chi tiết hoặc theo dõi chụp cắt lớp trở kháng điện (electrical impedance tomography) trong quá trình thử nghiệm PEEP giảm dần. Trong bài đánh giá này, chúng tôi thảo luận về cơ sở lý luận, ứng dụng và giới hạn của R/I, đồng thời cung cấp thông tin chi tiết về ứng dụng lâm sàng của nó để lựa chọn PEEP trong hội chứng nguy kịch hô hấp cấp tính từ trung bình đến nặng.

PEEP để giảm thiểu tổn thương phổi do máy thở: con dao hai lưỡi

Việc xử trí hội chứng nguy kịch hô hấp cấp tính từ trung bình đến nặng (ARDS) dựa vào thông khí cơ học bảo vệ phổi (lung-protective mechanical ventilation),¹ nhằm hạn chế tổn thương phổi do thở máy (ventilator-induced lung injury - VILI) đồng thời đảm bảo oxygen hóa máu và loại bỏ carbon dioxide.² Các chiến lược bảo vệ phổi bao gồm sử dụng thể tích khí lưu thông (Vt) thấp, áp lực cao nguyên (Pplat) hạn chế, tư thế nằm sấp và áp lực dương cuối thì thở ra (PEEP) thích hợp.^{3,4}

Mục tiêu cuối cùng của PEEP là cải thiện tính đồng nhất của phổi và tỷ lệ thông khí-tưới máu^{5,6} và quan trọng hơn là giảm thiểu biến dạng động (dynamic strain) của phổi với mức tăng tối thiểu về ứng suất phổi (lung stress): ứng suất và biến dạng (stress and strain) là các yếu tố trung gian cơ học chính cuối cùng của VILI.

Ứng suất và biến dạng là những khái niệm bắt nguồn từ kỹ thuật được sử dụng để mô tả đáp ứng cơ học của vật thể đối với tải trọng bên ngoài: ứng suất là thước đo độ căng bên trong được áp dụng và biến dạng biểu thị sự biến dạng tương đối liên quan của nó.⁷ Những khái niệm này có thể được áp dụng cho cơ học phổi: ứng suất là áp suất căng phòng tác dụng lên phổi (tổng thay đổi áp suất xuyên phổi từ áp suất khí quyển sang áp suất cao nguyên), trong khi biến dạng là tỷ lệ giữa thể tích bên ngoài tác dụng lên hệ thống và kích thước phân phối của nó, được biểu thị bằng dung tích cận chức năng (FRC) cộng với bất kỳ thể tích phổi nào được huy động.⁸

Biến dạng phổi có thể được phân loại thành biến dạng động (biến dạng hệ thống hít vào theo chu kỳ do thông khí theo chu kỳ) và biến dạng tĩnh (tỷ lệ giữa thể tích liên quan đến PEEP và FRC, tức là biến dạng ổn định do thể tích bị bơm phòng trong phổi được thông khí do PEEP): biến dạng động của phổi

là thông số có liên quan chặt chẽ nhất với VILI.^{9,10} Ứng suất và biến dạng có mối quan hệ mật thiết với nhau, thể hiện mối quan hệ tuyến tính ở các thể tích dưới tổng dung tích phổi thông qua công thức: ứng suất = độ đàn hồi riêng của phổi × biến dạng, trong đó độ đàn hồi riêng của phổi, độ đàn hồi nội tại của phổi mở, gần như không đổi trong điều kiện gần như tĩnh.

Việc lựa chọn PEEP tối ưu cũng quan trọng như thách thức ở những bệnh nhân mắc ARDS. Thật vậy, PEEP có thể có hai tác dụng ngược nhau: nó có thể huy động các đơn vị phế nang không được thông khí, làm tăng thể tích phổi được thông khí và giảm biến dạng phổi động cho một Vt nhất định, cải thiện oxygen hóa và hạn chế việc đóng mở phế nang theo chu kỳ gây tổn thương (atelectrauma), cuối cùng là giảm VILI. Tuy nhiên, bất kỳ mức PEEP nào cũng luôn làm tăng tổng ứng suất phổi và làm phòng quá mức các đơn vị phổi đã được thông khí, do đó tạo ra tình trạng phổi em bé bị phòng quá mức và làm tăng biến dạng tĩnh. Ngoài ra, PEEP có thể mang theo nguy cơ gây suy giảm huyết động học bằng cách thay đổi các điều kiện và chức năng tải của tâm thất phải.¹¹

Do đó, PEEP nên được điều chỉnh cẩn thận, với mục tiêu sinh lý là giảm biến dạng động trong khi vẫn duy trì mức tăng vừa phải của biến dạng tĩnh và ứng suất phổi, tính đến tính không đồng nhất về mức độ nghiêm trọng và kiểu tổn thương phổi, có thể dẫn đến các hồ sơ huy động phổi khác nhau giữa các cá nhân.^{12,13}

PEEP bao nhiêu? Nhu cầu cá nhân hóa điều trị

Đáp ứng với PEEP về mặt huy động phế nang và giảm biến dạng rất khác nhau giữa các bệnh nhân: theo đó, các thử nghiệm lâm sàng ngẫu nhiên so sánh các chiến lược phổ biến về PEEP cao hơn so với PEEP thấp hơn trong ARDS đã không chứng minh được lợi ích sống sót nhất quán.¹⁴ Trong thử nghiệm

EXPRESS, những bệnh nhân được điều trị bằng PEEP để nhắm mục tiêu áp lực cao nguyên là 28-30 cmH₂O có nhiều ngày không thở máy và suy cơ quan hơn so với điều trị tiêu chuẩn,¹⁴ và các phân tích tổng hợp cho thấy rằng PEEP cao hơn có thể có lợi khi so sánh với PEEP thấp, đặc biệt là ở những bệnh nhân nặng nhất.^{15,16} Tuy nhiên, cách lựa chọn PEEP tối ưu vẫn chưa được xác định và các hướng dẫn hiện tại không thể đưa ra khuyến nghị ủng hộ hoặc phản đối một chiến lược hiệu chỉnh PEEP nhất định để giảm tỷ lệ tử vong trong ARDS: đối với những bệnh nhân mắc ARDS nhẹ ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 > 200$), PEEP có vẻ có hại nhiều hơn là có lợi và nên áp dụng phương pháp PEEP thấp (5-8 cmH₂O); ở những bệnh nhân mắc ARDS từ trung bình đến nặng ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$), có thể cân nhắc sử dụng PEEP cao, nhưng lợi ích lâm sàng của nó dường như chỉ liên quan đến những bệnh nhân có hồ sơ huy động cao.¹

Cài đặt PEEP dựa trên đáp ứng của từng cá nhân trong các trường hợp từ trung bình đến nặng có vẻ hợp lý, nhưng các giao thức hiệu chỉnh PEEP dựa trên giá trị oxygen hóa và shunt tốt nhất,¹⁷⁻¹⁹ đã không chứng minh được lợi ích lâm sàng, cũng như chiến lược hiệu chỉnh PEEP để đạt được áp lực xuyên phổi cuối thì thở ra dương tính được đánh giá bằng phép đo áp lực thực quản.^{20,21} Tương tự như vậy, hiệu chỉnh PEEP để tối đa hóa độ giãn nở của hệ hô hấp (respiratory system compliance - Crs) (tức là giảm thiểu áp lực đẩy $[\Delta P]$) không vượt trội hơn việc sử dụng bảng PEEP/ FiO_2 tiêu chuẩn,^{19,21-23} và thậm chí còn liên quan đến tỷ lệ tử vong cao hơn khi kết hợp với các thao tác huy động áp lực cao kéo dài.²⁴ Một số chiến lược hiệu chỉnh PEEP được đề xuất có thể gặp phải những cạm bẫy sinh lý đáng kể: Sự cải thiện oxygen hóa do PEEP gây ra không phản ánh sự huy động phổi, nhưng có thể chỉ do giảm lưu lượng tim dẫn đến giảm tỷ lệ shunt do tăng tỷ lệ thông khí/tưới máu;²⁵⁻²⁷ Sự cải thiện Crs do PEEP gây ra có thể là do việc xóa bỏ sự huy động theo chu kỳ và các hiện tượng sinh lý khác, khiến nó không nhất thiết cung

cấp thông tin về việc huy động hiệu quả.²⁸⁻³⁰ Giả định rằng Crs luôn biểu thị ước tính chính xác của FRC (và do đó ΔP luôn phản ánh biến dạng động) là gây tranh cãi, đặc biệt là khi PEEP tăng lên.³¹⁻³³ Các đại diện cho việc huy động phổi (oxygen hóa, độ giãn nở, v.v.), mặc dù đại diện cho các chiến lược hợp lý về mặt khái niệm để đánh giá tác động của PEEP, có thể không phải là đại diện đủ tin cậy cho việc huy động phế nang in vivo để mang lại lợi ích lâm sàng trong các thử nghiệm ngẫu nhiên.^{27,34}

Bằng chứng mới nổi^{35,36} cho thấy các phương pháp tiếp cận dựa trên sinh lý học đo lường tiềm năng thực tế để huy động phổi có thể hữu ích hơn để lựa chọn PEEP thích hợp, với mục đích cuối cùng là giảm thiểu căng thẳng phổi toàn cục và VILI. Một nghiên cứu gần đây đã xác nhận cách các chiến lược hiệu chỉnh PEEP dựa trên áp lực cao nguyên, áp lực xuyên phổi cuối thì thở ra, trung tâm thông khí và chụp cắt lớp trở kháng điện (electrical impedance tomography - EIT), ngoài việc cung cấp các giá trị khác nhau, không liên quan đến khả năng huy động tự nó, đảm bảo định lượng trực tiếp thường quy của nó.³⁷ Hơn nữa, trong mô hình ARDS ở lợn có khả năng huy động cao, PEEP được thiết lập để giảm thiểu tình trạng căng quá mức và do đó cũng huy động, dẫn đến tăng tỷ lệ tử vong, lưu ý rằng sự khác biệt này thực sự có thể rất quan trọng.³⁸ Nghiên cứu đáng kể đã được dành cho việc nghiên cứu các phương pháp đánh giá tiềm năng huy động phổi của từng cá nhân tại giường.

Đánh giá khả năng huy động phổi trong thực hành hàng ngày: một nhiệm vụ đầy thách thức

Việc tìm kiếm các biện pháp thay thế trực tiếp cho khả năng huy động phổi từ lâu đã là một yếu tố cốt lõi của ARDS và thở máy.

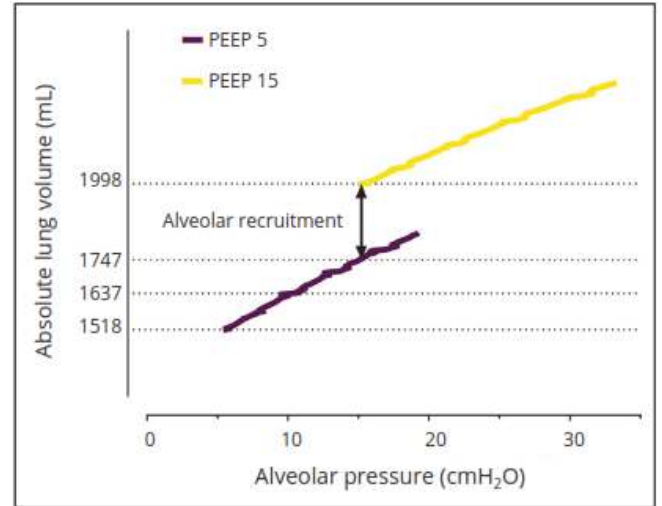
Chụp cắt lớp vi tính (computed tomography - CT) đã đóng vai trò là tiêu chuẩn vàng để đánh giá

hình thái và sự huy động phổi và đã được sử dụng trong nhiều bối cảnh nghiên cứu, trực tiếp hoặc là phương pháp tham chiếu chính cho các kỹ thuật khác.^{39,40} Chụp CT xác định khả năng huy động bằng cách đo lượng mô không bị phồng lên mở lại ở áp suất cao hơn. Phương pháp này sử dụng phân tích voxel-by-voxel, phân loại từng voxel thành "được huy động" hoặc "không được huy động" dựa trên ngưỡng mật độ, thường là khoảng -100 hoặc -200 đơn vị Hounsfield (HU).^{41,42} Trên ngưỡng này, các đơn vị được cho là vẫn mở trong khi thở ra, góp phần vào quá trình thông khí và trao đổi khí. Mặc dù có độ chính xác cao, các phương pháp dựa trên CT rất khó khăn và gây ra các nguy cơ như tiếp xúc với bức xạ và vận chuyển bệnh nhân, khiến việc sử dụng lâm sàng thường quy trở nên không khả thi.

Theo thời gian, các phương pháp thay thế bắt nguồn từ sinh lý và cơ học phổi đã xuất hiện.

Phương pháp đầu tiên được đề xuất là kỹ thuật đường cong áp suất-thể tích (pressure-volume - PV) nhiều lần. Phương pháp này để đánh giá sự khác biệt về thể tích phổi bằng cách chồng hai đường cong PV lên cùng một đồ thị, bắt đầu từ các điểm PEEP/EELV khác nhau (EELV: end-expiratory lung volume). Nếu có sự huy động, sẽ quan sát thấy sự dịch chuyển theo chiều dọc giữa các đường cong, cho thấy sự hiện diện của nhiều khí hơn trong đường cong bắt đầu từ PEEP cao hơn 43-46 (Hình 1). Hiện tượng này tương tự như hiện tượng trễ được quan sát thấy giữa các đường cong PV hít vào và thở ra, thường liên quan đến việc huy động phổi.⁴⁷ Tuy nhiên, kỹ thuật này có thể yêu cầu phân tích ngoại tuyến và không phải lúc nào cũng khả thi tại giường bệnh.

Để phân tích những thay đổi được đo bằng EELV và xác định sự huy động thực sự, các phương pháp dựa trên cơ học dựa vào giả định rằng PEEP tạo ra sự gia tăng thể tích phổi bao gồm hai thành phần:



Hình 1. Đánh giá sự huy động phổi thông qua kỹ thuật đường cong áp suất-thể tích nhiều lần. Trục x biểu diễn áp suất phế nang tính bằng cmH₂O, và trục y biểu diễn giá trị tuyệt đối của thể tích phổi tính bằng mL. Hai đường cong áp suất thể tích được mô tả, một đường bắt đầu từ PEEP 5 cmH₂O, đường còn lại từ PEEP 15 cmH₂O. Trong trường hợp này, sự huy động phổi được biểu diễn bằng sự dịch chuyển theo chiều dọc giữa hai đường cong ở áp suất phế nang là 15 cmH₂O.

- thể tích được bơm phồng, được định nghĩa là mức tăng dự đoán về thể tích phổi do PEEP, biểu thị thể tích phồng lên khoảng đã mở (tức là, căng phồng quá mức). Giả sử rằng đường cong PV của hệ hô hấp có hành vi gần như tuyến tính, điều này có thể được tính là tích của độ giãn nở ở mức PEEP thấp và sự khác biệt về PEEP giữa hai mức PEEP: mức tăng dự đoán về thể tích phổi do PEEP = thể tích được bơm phồng = mức cơ bản Crs ở mức PEEP thấp × mức tăng PEEP trên mức cơ bản;
- thể tích được huy động, biểu thị các đơn vị phế nang mở lại được huy động với PEEP và được tính là sự chênh lệch giữa thể tích phổi cuối kỳ thở ra (EELV) ở PEEP cao và EELV ở PEEP thấp, trừ đi thể tích được bơm căng: thể tích được

huy động = EELVcao – EELVthấp – thể tích được bơm phòng.

Do đó, khi không có bất kỳ sự huy động nào của mô đã sụp đổ trước đó, thể tích liên quan đến PEEP sẽ được bơm phòng vào các đơn vị phế nang đã mở (do đó tạo ra tình trạng bơm phòng quá mức), làm tăng tổng thể tích phổi theo một mức độ có thể dự đoán được. Song song đó, mỗi ml thể tích đo được trên mức tăng thể tích dự đoán (bơm phòng) biểu thị một sự gia tăng “thêm” được quy cho việc mở lại các đơn vị phế nang đã sụp đổ trước đó nhưng 'có thể huy động được', định nghĩa là sự huy động phế nang.

Điều quan trọng là, việc đo thể tích phổi cuối thì thở ra không phải lúc nào cũng khả thi và đòi hỏi phải có thiết bị chuyên dụng. Để giải quyết vấn đề này, thay vì đo EELV ở mỗi mức PEEP, các nghiên cứu trước đây đã đề xuất định lượng sự khác biệt về thể tích cuối thì thở ra là thể tích thở ra trong quá trình thở ra kéo dài so với áp suất khí quyển. Điều này dựa trên khái niệm rằng lượng mất huy động sau khi giải phóng PEEP gần với lượng huy động phế nang do PEEP gây ra: tuy nhiên, tình trạng mất huy động xảy ra nhanh hơn và có thể được đo từ thể tích thở ra của hơi thở đầu tiên sau khi thay đổi PEEP. Điều này cho phép, mặc dù không phụ thuộc vào thể tích phổi tuyệt đối, ước tính tác động của PEEP, đối với cả quá trình bơm phòng và huy động.^{28,48}

Phương pháp này đánh giá thấp một chút quá trình huy động do PEEP gây ra và cung cấp đủ thông tin khi những thay đổi PEEP 10 cmH₂O được đánh giá, nhưng không đáng tin cậy đối với các khoảng thời gian PEEP nhỏ, vì thở ra kéo dài có thể không cho phép làm trống hoàn toàn tất cả các đơn vị mới được huy động.⁵² Các biến thể của phương pháp này, bao gồm nhiều lần thở và thể tích tích lũy, cũng đã được đề xuất.⁴⁴

Để cải thiện độ chính xác của các phép đo như vậy, EELV được đo trực tiếp hoặc ước tính bằng các kỹ thuật như pha loãng heli (helium dilution),^{49,50}

rửa trôi nitơ (nitrogen washin-washout)⁵¹ hoặc EIT.⁴⁵ Trong những trường hợp này, thay vì sử dụng hơi thở ra kéo dài, có thể đo được sự khác biệt giữa hai EELV được đo và tính toán chính xác thể tích khí được bơm phòng và khí huy động, với điều kiện có sẵn thiết bị chuyên dụng.

Tất cả các phương pháp dựa trên cơ học hô hấp được đề cập ở trên để ước tính huy động phổi đều đo lượng khí huy động, được định lượng là thể tích khí tuyệt đối đi vào phổi do PEEP không liên quan đến tình trạng bơm phòng. Về mặt khái niệm, điều này khác với huy động mô được hình dung trong chụp CT, đo trực tiếp tác động của PEEP lên quá trình giãn nở lại của các đơn vị phổi đã xẹp trước đó.^{50,52} Hai phương pháp này không có mối tương quan chặt chẽ, cho thấy rằng chúng thường đo các hiện tượng khác nhau. Một số bệnh nhân biểu hiện sự dịch chuyển theo chiều dọc rõ ràng giữa các đường cong PV cho thấy sự huy động khí rõ ràng, trong khi không cho thấy sự huy động mô trên chụp CT. Điều này cho thấy nghịch lý là ngay cả những bệnh nhân có phổi khỏe mạnh hơn (có ít mô được mở lại bằng PEEP) cũng được coi là "người huy động cao" về mặt thể tích khí, đặc biệt là ở các vùng phổi không phụ thuộc, nơi mô không có khả năng xẹp.^{50,53} Ngược lại, rất khó để hình dung sự huy động mô mà không có sự dịch chuyển theo chiều dọc đường cong PV. Về mặt lâm sàng, điều này có nghĩa là không có sự huy động khí ngụ ý không có sự huy động mô, trong khi sự hiện diện của sự huy động khí đáng kể có thể đi kèm với sự huy động mô, nhưng không nhất thiết. Việc giải mã các cơ chế đằng sau hiện tượng này cực kỳ khó khăn: việc huy động một số đơn vị có mật độ "ranh giới" (giữa -100 HU và -300 HU) có thể dẫn đến việc huy động khí đáng kể không được xác định bằng cách tiếp cận chụp CT truyền thống,⁵³ hoặc độ giãn nở của các đơn vị đã mở có thể được cải thiện bằng một số quy trình chưa được hiểu đầy đủ.⁵² Một giả thuyết khác là trong quá trình tăng PEEP, việc huy động sớm (sau khi áp suất tăng nhẹ)

một số đơn vị phổi có độ giãn nở cao có thể làm thay đổi đáng kể cơ học phổi toàn cục đối với phần còn lại của phạm vi áp suất được kiểm tra, với lượng khí tăng cao làm giãn các vùng mới được huy động đó, không được tính toán trong ước tính thể tích giãn nở dựa trên độ giãn nở.³¹ Điều chắc chắn là hành vi của phổi ARDS sau khi áp dụng PEEP rất phức tạp và trên nhiều khía cạnh vẫn chưa được biết. Những thay đổi trạng thái có thể xảy ra ở các mức áp suất khác nhau ở các vùng phổi khác nhau, cho thấy sự tồn tại của "điểm tới hạn" hoặc hoạt động khác nhau trong khi hít vào và thở ra.^{54,55} Tính không đồng nhất theo vùng và xu hướng không tuyến tính trong khả năng huy động và bơm phồng ủng hộ sự thận trọng và chính xác khi giải quyết vấn đề cụ thể này.⁵⁵

Điều quan trọng là, mặc dù huy động mô thường được coi là tiêu chuẩn vàng, nhưng không nên coi đó là thông số tốt nhất một cách giáo điều theo quan điểm lâm sàng. Thật vậy, trong khi huy động mô chỉ xác định huy động là mở các phế nang mới, huy động khí bao gồm cả khí đi vào các đơn vị mới mở và khí làm phồng các đơn vị đã mở có các đặc điểm cơ học (tức là độ đàn hồi của phế nang) được cải thiện đôi chút với PEEP cao hơn. Cho đến nay, chúng ta không biết liệu điều kiện "tốt nhất" cho phế nang (theo nghĩa phòng ngừa VILI) là chỉ cần mở lại (huy động mô) hay mở lại ở mức độ phồng lên mang lại độ đàn hồi cao nhất cho từng cá nhân (huy động khí). Điều có thể nêu ra cho đến nay là các phương pháp dựa trên khí đánh giá quá cao việc huy động khi so sánh với các phương pháp dựa trên mô, do đó, chúng chắc chắn hữu ích để xác định những bệnh nhân không huy động: thực sự, việc không có huy động khí loại trừ khả năng huy động mô, bản thân nó là một thông tin rất có liên quan. Ngược lại, sự hiện diện của khí huy động không đảm bảo rằng phổi thực sự được huy động về mặt mở các đơn vị đã bị xẹp trước đó, và các bác sĩ nên ghi nhớ những điểm khác biệt chính của các kỹ thuật khác nhau, điều này

có khả năng dẫn đến các phương pháp điều trị khác nhau.

Bất kể phương pháp nào được sử dụng để ước tính huy động phổi, điều quan trọng về mặt khái niệm là phải liên hệ điều này với sinh lý của từng bệnh nhân: cùng một lượng huy động tuyệt đối có thể có ý nghĩa lâm sàng khác nhau ở bệnh nhân mắc ARDS nặng hoặc ở bệnh nhân ít nghiêm trọng hơn có dung tích cặn chức năng cao hơn. Vì mục đích này, Dellamonica và các đồng nghiệp là những người đầu tiên chuẩn hóa $\Delta EELV$ trên FRC của từng cá nhân, để có khả năng phân đôi những người huy động và những người không huy động.⁵¹ Một thập kỷ sau, Chen và các đồng nghiệp đã đề xuất tỷ lệ huy động trên bơm phồng (R/I), cung cấp sự tiến hóa tuyến tính của các phương pháp dựa trên cơ học hô hấp đã đề cập ở trên.⁵⁶ Về mặt khái niệm, R/I chuẩn hóa việc huy động phổi theo độ giãn nở của hệ thống hô hấp ở mức PEEP thấp,⁵¹ do đó cho phép đánh giá mức độ liên quan của một lượng thể tích huy động tuyệt đối nhất định đối với từng phổi có kích thước khác nhau. Những cân nhắc về sinh lý dẫn đến sự phát triển của R/I, ứng dụng thực tế tại giường bệnh và các đặc điểm và hạn chế của nó sẽ được thảo luận trong phần tiếp theo.

Tỷ lệ huy động so với bơm phồng: kỹ thuật giảm huy động đơn giản hóa

Như đã trình bày chi tiết trước đây, hiện có các phương pháp chính xác để đo trực tiếp sự khác biệt tuyệt đối về thể tích phổi cuối thì thở ra ($\Delta EELV$) giữa hai mức PEEP, phương pháp được sử dụng rộng rãi nhất là kỹ thuật rửa trôi nitơ, có sẵn dưới dạng chức năng nhúng trong một số máy thở ICU hiện đại.^{57,58} Sử dụng kỹ thuật này, Dellamonica và các đồng nghiệp đã mô tả vào năm 2011 một phương pháp để tính toán các giá trị tuyệt đối của tình trạng căng phồng quá mức và huy động do PEEP gây ra, áp dụng các nguyên tắc sinh lý được mô tả trong phần

trước và xác nhận các phát hiện của họ so với phương pháp đường cong PV tuần tự với mỗi tương quan tuyệt vời.⁵¹ Trong nghiên cứu này, việc chuẩn hóa $\Delta EELV$ tuyệt đối cho FRC ban đầu cho phép phân biệt "những người huy động cao" với "những người huy động thấp" (được định nghĩa là những bệnh nhân có thể tích huy động tuyệt đối được đo cao hơn hoặc thấp hơn giá trị trung bình của toàn bộ quần thể nghiên cứu [lần lượt là 272 mL]), với giá trị ngưỡng là 0,73. Kỹ thuật này có khả năng tái tạo hạn chế vì ngưỡng để xác định huy động "cao" so với "thấp" là tùy ý, giá trị được chuẩn hóa theo FRC ban đầu là $\Delta EELV$ tuyệt đối (và không phải là huy động được tính toán) và cần có máy thở chuyên dụng để thực hiện các phép đo.

Vài năm sau, Chen và cộng sự đã đánh giá tính khả thi của một phương pháp đơn giản hóa để ước tính thể tích liên quan đến PEEP (tức là tổng của quá trình bơm phồng và huy động) bằng cách sử dụng thao tác PEEP giảm dần theo từng nhịp thở: trong quá trình liệt cơ sau 30 phút thông khí theo chu kỳ ở mức PEEP cao (cần thiết để đảm bảo cơ học phổi ổn định và huy động hoàn toàn phổi), nhịp thở được hạ xuống còn 6-8 nhịp thở mỗi phút để đảm bảo kéo dài thời gian thở ra và loại trừ sự hiện diện của PEEP nội tại; cuối cùng, PEEP đột ngột giảm xuống 10 cmH₂O và Vt thở ra được hiển thị trên máy thở được ghi lại.

Bằng cách trừ Vt thở ra trước thao tác giảm PEEP khỏi Vt thở ra sau thao tác đó (Vt liên quan đến thao tác giảm huy động), thể tích phổi thở ra bổ sung là sự khác biệt về EELV giữa hai mức PEEP 10 cmH₂O: $\Delta EELV = Vt$ thở ra sau khi giảm PEEP - Vt thở ra trước khi giảm PEEP.

Sau đó, tính toán mức tăng dự kiến về thể tích phổi do PEEP (thể tích bơm phồng) như đã mô tả ở các phần trước, có thể tính được sự huy động (hay đúng hơn là sự mất huy động) như sau: thể tích được huy động = $\Delta EELV$ - thể tích bơm phồng.

Sau đó, nhóm này đã giới thiệu khái niệm R/I,⁵⁶ là tỷ lệ độ giãn nở của phổi được huy động so với Crs được đo ở mức PEEP thấp.

Di chuyển các bước từ các phương trình được mô tả ở trên, độ giãn nở của phổi được huy động (Crec) có thể được tính như sau:

$$C_{rec} = \frac{\text{recruited volume}}{PEEP_{high} - PEEP_{low}}$$

trong đó thuật ngữ (PEEP cao - PEEP thấp) biểu thị sự chênh lệch áp suất giữa hai mức PEEP đã chọn, thường là chênh lệch 10 cmH₂O để cho phép độ nhạy của thao tác khử huy động một lần thở để phát hiện những thay đổi thực tế về thể tích phổi.

Vì Crs ở PEEP thấp ước tính kích thước "phổi trẻ em bé",⁶⁰ cho phép chuẩn hóa thể tích được huy động thành FRC cơ bản. Song song đó, Crec biểu thị số mL thể tích được sạc khí có thể được huy động cho mỗi lần tăng 1 cmH₂O trong PEEP.

Cuối cùng, để chuẩn hóa giá trị này theo kích thước phổi được thông khí ban đầu, R/I được tính như sau:

$$\frac{R}{I} = \frac{C_{rec}}{C_{rs \text{ at low PEEP}}}$$

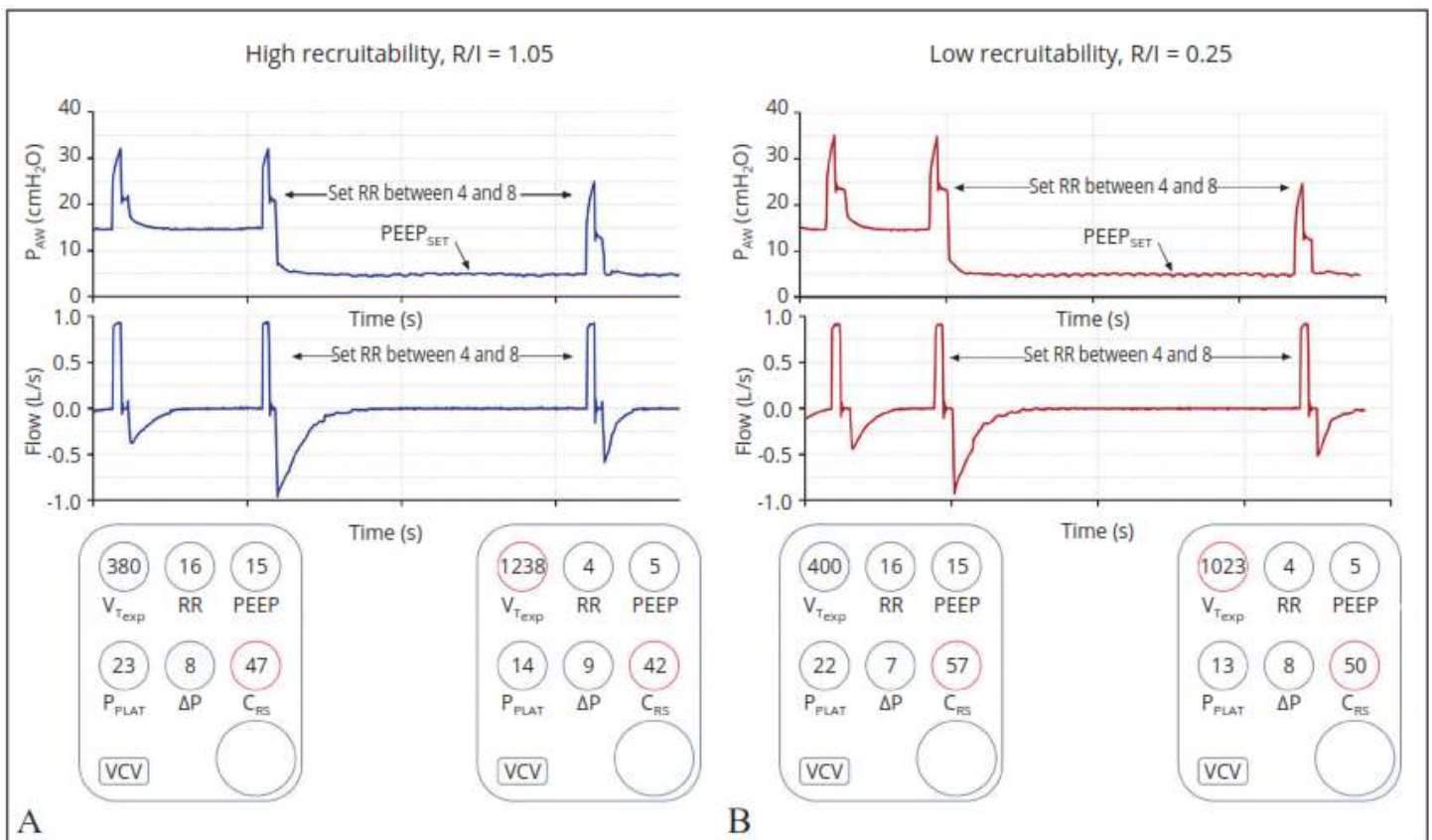
Về cơ bản, bằng cách so sánh Crec với Crs ban đầu, chỉ số này ước tính liệu có nhiều khả năng thể tích bổ sung do áp dụng PEEP cao hơn được phân phối ưu tiên cho phổi được huy động (tăng tử số) hay cho phổi em bé ban đầu đã được bơm căng. Crs ở PEEP thấp nên được tính toán ($Vt/\Delta P$, trong đó ΔP = áp suất cao nguyên - PEEP) thông qua việc giữ nhịp hít vào chuẩn hóa trong 0,3-0,5 giây, để tránh các lần tạm dừng hít vào thủ công quá dài có thể dẫn đến các giá trị áp suất cao nguyên thấp không cần thiết.

Các tác giả đã xác nhận phương pháp khử huy động một lần thở so với các đường cong PV chồng lên nhau, xác nhận mối liên hệ chặt chẽ trong tính toán thể tích huy động. Hơn nữa, họ phát hiện ra rằng

R/I mới phát triển có thể phân đôi bệnh nhân có đáp ứng oxygen hóa và huyết động học đối lập với PEEP, tùy thuộc vào việc giá trị R/I của họ trên phạm vi PEEP đã nghiên cứu (15–5 cmH₂O) cao hơn hay thấp hơn trị số trung bình của quần thể (0,5) (Hình 2).

Điều thú vị là R/I có tương quan tuyến tính với lợi ích oxygen hóa và giảm khoảng chết phế nang do PEEP, cho thấy rằng "các tác nhân huyết động" cũng được hưởng lợi từ PEEP cao về mặt các thông

số lâm sàng. Trên thực tế, có thể khuyến cáo thiết lập PEEP cao hơn với các giá trị R/I trên 0,5, trong khi có thể chọn PEEP thấp hơn nếu R/I dưới 0,5. Các chỉ định liên quan đến thiết lập PEEP ở những bệnh nhân có giá trị R/I trung gian sẽ được thảo luận sau trong bản thảo. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng các ngưỡng như vậy, mặc dù hữu ích, chỉ đơn giản là tùy ý và dựa trên sự phân đôi của quần thể ban đầu được Chen và các đồng nghiệp nghiên cứu, và vì lý do này nên được giải thích một cách thận trọng.⁵²



Hình 2. R/I được đánh giá bằng thao tác mất huyết động đơn giản từ PEEP 15 xuống 5 cmH₂O ở những bệnh nhân có khả năng huyết động khác nhau. Các thông số cơ học hô hấp được hiển thị trên máy thở trước và sau khi thay đổi PEEP, với V_{Texp} ở PEEPlow biểu thị thể tích thở ra của thao tác khử huyết động và P_{plat}, ΔP và C_{RS} lần lượt biểu thị áp lực cao nguyên, áp lực đẩy và độ giãn nở của hệ hô hấp ở PEEPlow. Bảng A hiển thị đường đi của áp lực đường thở và thời gian lưu lượng của thao tác mất huyết động đơn giản từ PEEP 15 xuống 5 cmH₂O ở một bệnh nhân có R/I = 1,05, có thể được định nghĩa là người huyết động. Bảng B mô tả cùng thao tác đó ở một bệnh nhân được xác định là không huyết động, với R/I = 0,25.

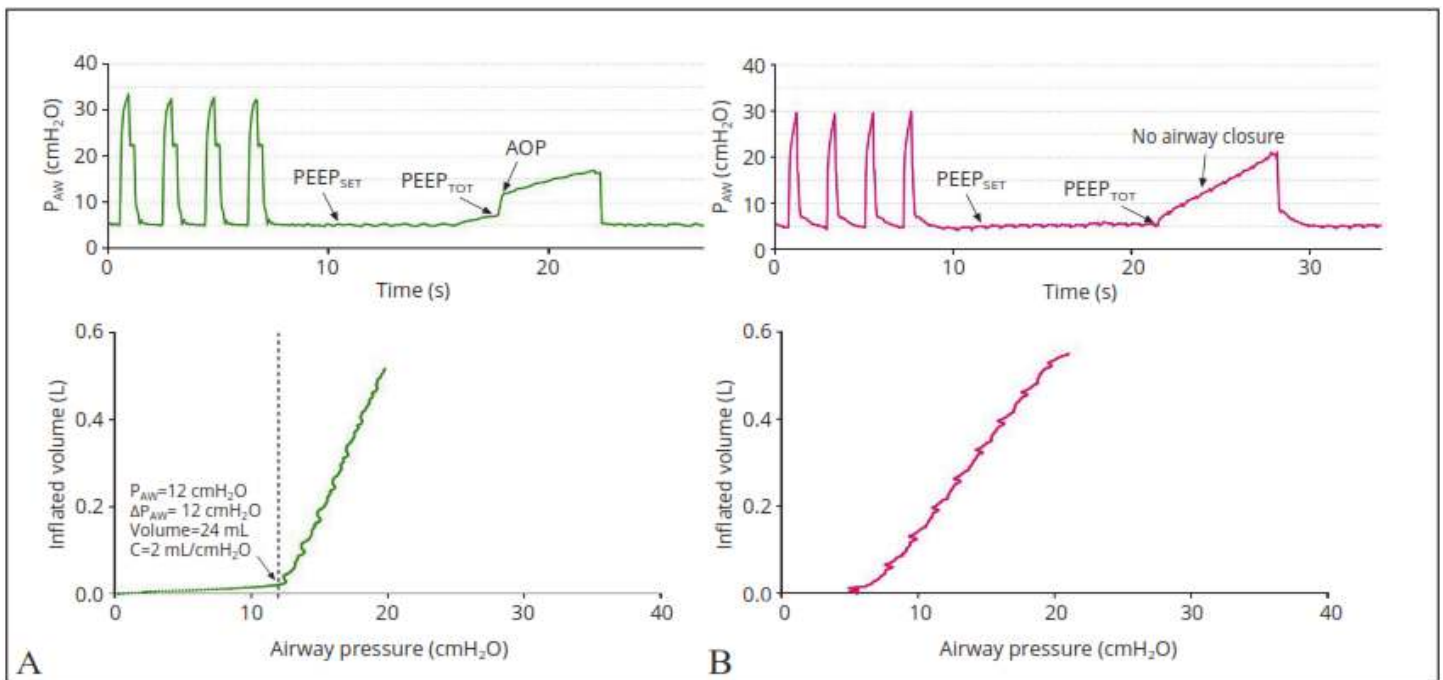
Ưu điểm chính của phương pháp này là dễ sử dụng vì các quy trình này có thể được thực hiện với bất kỳ máy thở nào mà không cần thiết bị bổ sung, miễn là đảm bảo thời gian chính xác, căn chỉnh và độ chính xác của dạng sóng áp suất và lưu lượng trên máy thở.

Tầm quan trọng của việc đóng đường thở

Để xử lý các giá trị chính xác của R/I, bắt buộc phải tính đến tình trạng đóng đường thở (airway closure), nếu có. Đóng đường thở là một hiện tượng bệnh lý sinh lý trong đó các đường thở xa, dễ đàn hồi – có ít hoặc không có sự hỗ trợ so với trọng lượng của thành ngực – có thể sụp đổ hoàn toàn trước khi kết thúc thở ra, chỉ mở lại khi áp lực truyền đến

đường thở vượt quá áp lực mở đường thở tới hạn (critical airway opening pressure - AOP).

Hiện tượng này đã được mô tả ở bệnh nhân ARDS,^{61,62} trong quá trình ngừng tim,⁶³ ở bệnh nhân được đặt nội khí quản bị phù phổi cấp⁶⁴ và ở bệnh nhân béo phì đang gây mê toàn thân và phẫu thuật nội soi.^{65,66} Việc đóng đường thở, được ưa chuộng do mức độ phân hủy chất hoạt động bề mặt cao hơn,⁶⁷ có thể hoạt động như một cơ chế an toàn để cản trở việc thở ra thể tích phổi còn lại khi tải trọng bên ngoài gây chèn ép phổi tạo ra áp lực xuyên phổi quá âm, do đó cản trở việc mất chức năng phổi hoàn toàn và bằng cách nào đó bảo tồn EELV.⁶⁵ Rõ ràng, hiện tượng trước đây bị hiểu sai này có thể ảnh hưởng đến bất kỳ đánh giá nào về việc huy động phổi, nếu PEEP dưới áp lực đóng (tương tự như AOP) được xem xét.



Hình 3. Đánh giá sự hiện diện của tình trạng đóng đường thở trong quá trình bơm khí lưu lượng thấp. Biểu đồ áp suất thời gian và đường cong áp suất-thể tích được ghi lại trong quá trình bơm khí lưu lượng thấp được trình bày. Bảng A hiển thị dữ liệu từ bệnh nhân biểu hiện tình trạng đóng đường thở với AOP=12 cmH₂O: trong phần đầu tiên của quá trình bơm khí, trước khi đạt AOP, C_{RS} bằng với bộ dây máy thở, xác nhận không có tình trạng bơm khí vào phổi. Để so sánh, bảng B hiển thị cùng một thao tác ở bệnh nhân không biểu hiện tình trạng đóng đường thở, không có bằng chứng về các điểm lệch trên đường cong áp suất-thời gian.

Để chẩn đoán tình trạng đóng đường thở và định lượng AOP, phải thực hiện bơm phòng lưu lượng thấp (khoảng 5 L/phút) sau khi tạm dừng cuối thì thở ra, việc sau cần thiết để phân biệt AOP với PEEP nội tại, một hiện tượng quen thuộc hơn nhưng khác biệt có thể cùng tồn tại. Khi bắt đầu bơm phòng theo nhịp thở và cho đến khi áp lực hít vào vượt qua AOP, khí sẽ bị nén trong mạch máu thở (có độ giãn nở nội tại rất thấp, khoảng 2-3 mL/cmH₂O) và đường cong PV bơm phòng lưu lượng thấp sẽ có cùng độ dốc với đường cong của máy thở. Khi áp lực hít vào vượt qua AOP, độ giãn nở tăng đột ngột, làm thay đổi độ dốc của đường cong PV để phản ánh Crs của chính bệnh nhân và cho phép thông khí theo nhịp thở được đưa đến nhu mô phổi. Tương tự như vậy, đường cong áp suất-thời gian - đường cong được hiển thị trên máy thở - sẽ cho thấy sự gia tăng nhanh chóng trên đường chạy áp lực đường thở cho đến khi đạt AOP, cho phép chẩn đoán mà không cần đường cong PV. Các thao tác này được thể hiện trong Hình 3. Điều đáng ngạc nhiên là hiện tượng này đã được báo cáo ở 40% bệnh nhân mắc ARDS.^{56,68}

Do đó, nếu bệnh nhân có AOP cao hơn PEEP đã cài đặt, áp suất phế nang thực tế khi thở ra cuối cùng, mặc dù ảm, nhưng vẫn cao hơn PEEP đã cài đặt và chỉ có thể đo được bằng máy thở thực hiện bơm khí lưu lượng thấp.

Nếu không tính đến hiện tượng này, hiện tượng này sẽ dẫn đến những sai sót đáng kể trong cả các phép tính cơ học hô hấp tiêu chuẩn (ví dụ ước tính quá cao ΔP và ước tính quá thấp Crs) và trong phép tính chỉ số huy động khí, vì đường thở đóng lại sớm không cho phép thở ra hoàn toàn.

Vì lý do này, cần đánh giá một cách có hệ thống về sự hiện diện của tình trạng đóng đường thở khi tính toán R/I và nên sử dụng AOP thay cho PEEP thấp trong tất cả các phương trình nêu trên như sau:

$$\text{Overdistension volume} = \frac{V_t}{P_{\text{plat at low PEEP}} - \text{AOP}} \cdot (\text{PEEP}_{\text{high}} - \text{AOP})$$

$$C_{\text{rec}} = \frac{\text{recruited volume}}{\text{PEEP}_{\text{high}} - \text{AOP}}$$

$$\frac{R}{I} = \frac{C_{\text{rec}}}{V_t / (P_{\text{plat at low PEEP}} - \text{AOP})}$$

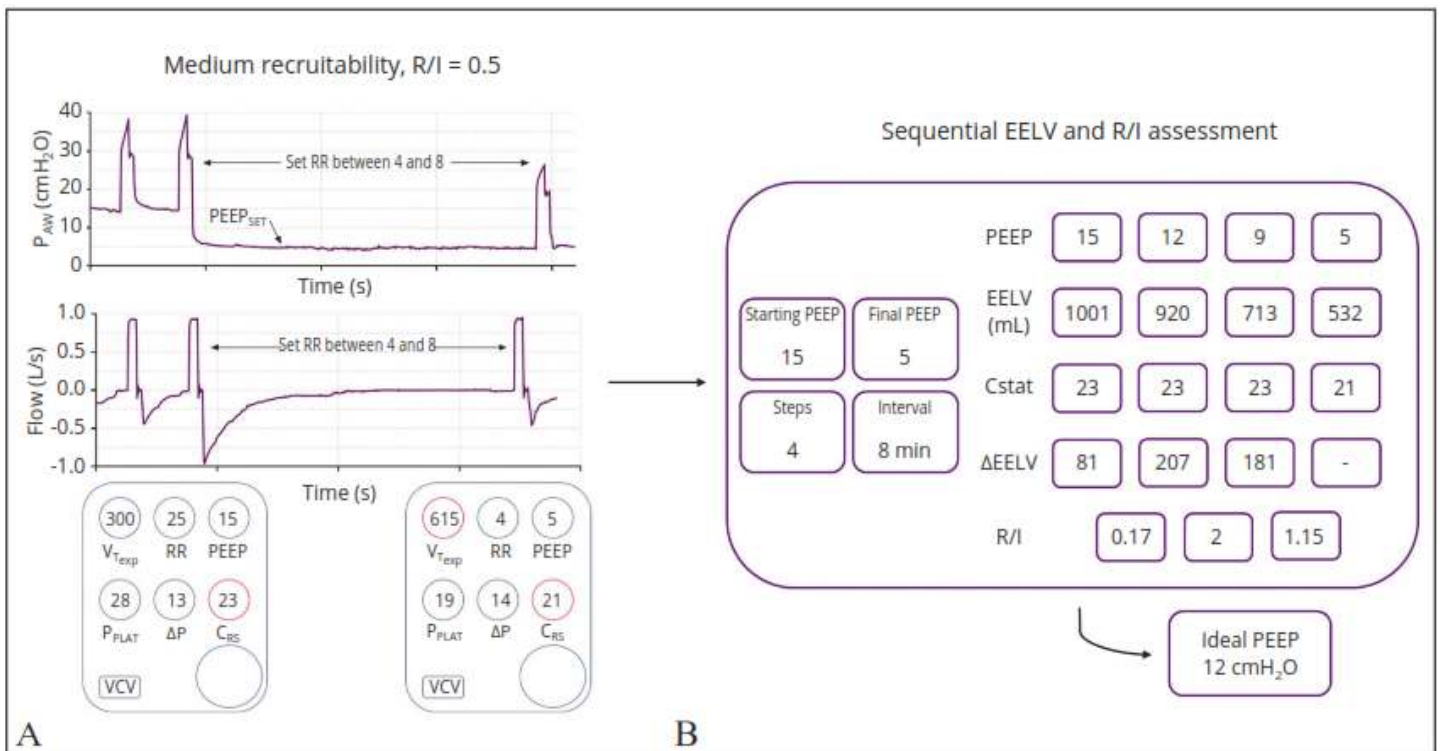
Nhìn chung, R/I là một kỹ thuật đơn giản tại giường, cho phép tính toán khả năng huy động phổi tương đối với kích thước và cơ chế phổi của bệnh nhân, cung cấp thông tin chi tiết về đáp ứng của bệnh nhân với PEEP. Một máy tính trực tuyến cũng có sẵn cho các bác sĩ lâm sàng (<https://crec.coemv.ca/>).

Giới hạn của thao tác R/I và các kỹ thuật mới để đánh giá khả năng huy động

Bất chấp tất cả các lợi ích tiềm tàng của nó, R/I có một số hạn chế. Thứ nhất, thao tác thở một lần có thể không cho phép thở ra hoàn toàn thể tích phổi, đánh giá thấp thể tích được huy động thực tế, tương tự như những gì được mô tả bởi Patroniti và cộng sự.⁴⁹ Điều này đặc biệt có thể là một vấn đề khi cần đánh giá chi tiết hơn về PEEP (và do đó cần thực hiện các bước giải huy động nhỏ hơn so với bước thông thường là 10 cmH₂O), vì điều này thường xảy ra trong các tình huống thực tế. Thứ hai, phương pháp R/I dựa trên giả định rằng Crs của phổi em bé là hằng số trong suốt hai mức PEEP khi không có sự huy động phổi, điều này có thể không đúng nếu có tình trạng quá căng phòng liên tục, có thể tạo ra R/I rõ ràng là âm. Thứ ba, kỹ thuật ban đầu này coi độ giãn nở là đồng đều trong toàn bộ phổi, mặc dù sự không đồng nhất khu vực quan trọng là phổ biến trong ARDS. Thứ tư, R/I, như được đề xuất ban đầu, cung cấp thông tin về việc huy động trên một phạm vi áp suất tương đối lớn (10 cmH₂O), nhưng hành vi của nó trong đó có thể không tuyến tính, khiến việc giải thích đôi khi trở nên khó khăn.⁵⁵

Để tránh vấn đề cuối cùng này, khả năng kết hợp R/I và phép đo thể tích phổi với kỹ thuật rửa trôi nitơ rất thú vị: thông qua các phép đo tuần tự thể tích phổi trong quá trình thử nghiệm PEEP giảm dần, có thể tính toán thể tích được huy động và thể tích được bơm căng giữa các bước PEEP nhỏ hơn, cuối cùng tính toán R/I của từng bước. Điều này cho phép giải thích chi tiết hơn về khả năng huy động, không có giới hạn của việc thở ra một hơi và khiến cho giả định về sự tuân thủ liên tục giữa hai bước PEEP trở nên thực tế hơn (Hình 4). Hơn nữa, phép đo thể tích phổi cho phép giải thích việc huy động và bơm căng quá mức, và do đó là R/I, theo sự thay đổi về biến dạng tĩnh và động, và theo quan điểm của thể tích phổi tuyệt đối.

Trong một nghiên cứu gần đây, tính khả thi của kỹ thuật như vậy đã được đánh giá, cho thấy mối tương quan tốt giữa biến dạng động và tĩnh và giá trị R/I, cả về mặt chi tiết và từ 15 đến 5 cmH₂O. Ngoài ra, nghiên cứu đã xác nhận rằng khả năng huy động có biểu hiện khác nhau trong toàn bộ phạm vi PEEP được khám phá, cho thấy cần phải đánh giá riêng lẻ.⁵⁵ Mặc dù kỹ thuật này có nhiều hạn chế, chẳng hạn như cần có thiết bị chuyên dụng và độ nhạy rò rỉ rất cao, nhưng nó có thể là một nguồn tài nguyên hữu ích cho những bệnh nhân có giá trị R/I trung gian, trong đó có thể được khuyến khích đánh giá chính xác hơn về khả năng huy động.



Hình 4. Thao tác mất huy động đơn giản từ PEEP 15 xuống 5 cmH₂O (A) và đánh giá R/I chi tiết sử dụng nhiều phép đo EELV với kỹ thuật rửa trôi nitơ (B) ở bệnh nhân có hồ sơ khả năng huy động trung gian (thao tác đơn giản R/I 15-5 = 0,5). Bảng B hiển thị dữ liệu được tính toán bằng phần mềm tự động của máy thở chuyên dụng (Carescape R860, General Electric healthcare, Chicago, IL, Hoa Kỳ): EELV và C_{RS} ở bốn mức PEEP khác nhau đã được đo. Sau đó, R/I chi tiết giữa hai mức PEEP liền kề đã được tính toán bằng phương pháp EELV và PEEP lý tưởng được xác định dựa trên các giá trị đó.

Điều quan trọng là các giá trị tuyệt đối của R/I được tính toán từ các phép đo EELV trực tiếp và định lượng thể tích giãn nở và huy động đòi hỏi các ngưỡng cắt khác nhau để phân biệt giữa người huy động và người không huy động, nhìn chung cao hơn khi so sánh với kỹ thuật mất huy động một hơi thở đơn giản hóa. Thật vậy, ở đây không có vấn đề xếp phổi không hoàn toàn trong thao tác giải huy động một hơi thở. Trong nghiên cứu trên về bệnh nhân ARDS, trung vị (IQR) R/I giữa PEEP 15 và 5 cmH₂O là 1,27 (0,40-1,69): gợi ý sử dụng PEEP thấp hơn khi R/I < 0,5 và PEEP cao hơn khi R/I > 1,5, và phán đoán lâm sàng trong trường hợp kết quả trung gian. Các ngưỡng cắt này có thể được áp dụng cho bất kỳ bước PEEP nhỏ hơn nào.

Gợi ý thực tế cho việc giải thích R/I bên giường và thiết lập PEEP

Trong thực hành lâm sàng, việc xác định R/I bằng kỹ thuật thở đơn giản hóa cho phép các bác sĩ lâm sàng nhanh chóng và dễ dàng thiết lập PEEP theo khả năng huy động của từng bệnh nhân. Ở đây chúng tôi cung cấp một số hướng dẫn về cách diễn giải kết quả thu được sau khi thực hiện thao tác trên phạm vi PEEP 15-5 cmH₂O cổ điển.

Trong trường hợp giá trị R/I nhỏ (< 0,3-0,4), nên đặt PEEP thấp hơn trong khoảng 5-8 cmH₂O. Ngược lại, khi giá trị R/I > 0,6-0,7, có thể chọn PEEP cao hơn, thường là ≥ 12 cmH₂O, với điều kiện Pplat và Pplat xuyên phổi không vượt quá giới hạn an toàn (lần lượt là 30 cmH₂O và 23 cmH₂O), điều này sẽ đảm bảo các điều chỉnh thông khí tiếp theo.⁶⁹ Đối với các giá trị R/I trung gian (khoảng 0,5), đánh giá R/I chi tiết thông qua các phép đo EELV tuần tự có thể là một chiến lược để lựa chọn cẩn thận mức PEEP phù hợp nhất, xem xét R/I giữa các bước PEEP nhỏ hơn và chọn PEEP cao hơn khi R/I > 1-1,5 và chọn PEEP thấp hơn trong trường hợp R/I < 0,5-0,8⁵⁵ (Hình 4). Khi không có thiết bị chuyên dụng để đo

EELV, việc lựa chọn cài đặt PEEP nên dựa trên lý luận lâm sàng của bác sĩ chuyên khoa tích hợp các thông số lâm sàng và sinh lý khác nhau.

Kết luận

Bất chấp những tiến bộ trong thông khí cơ học để bảo vệ phổi, việc thiết lập PEEP ở bệnh nhân ARDS vẫn là một thách thức. Sự thay đổi giữa các cá nhân trong khả năng huy động có thể giải thích cho sự thất bại của các chiến lược PEEP cao so với thấp phổ biến trong các thử nghiệm ngẫu nhiên. Một cách hợp lý về mặt sinh lý để cá nhân hóa phương pháp điều trị thở máy ở bệnh nhân ARDS là thiết lập PEEP với mục tiêu giảm ứng suất mà thể tích được bơm căng gây ra cho phổi em bé, do đó nhắm mục tiêu huy động tối đa với tình trạng bơm căng quá mức tối thiểu. Để làm như vậy, nhiều kỹ thuật đã được sử dụng trong suốt những năm qua: chụp CT, nhiều đường cong PV và đo thể tích phổi tuyệt đối.

Gần đây, đánh giá R/I đã nổi lên như một kỹ thuật mới có sẵn tại giường bệnh mà không yêu cầu bất kỳ thiết bị cụ thể nào. Kỹ thuật này cung cấp thông tin chi tiết về khả năng huy động và bơm phồng trong phạm vi PEEP 10 cmH₂O và chỉ cần 30 phút thông khí ở mức PEEP cao và đánh giá sự hiện diện của tình trạng đóng đường thở để thực hiện. Tuy nhiên, nó có một số hạn chế bao gồm độ chi tiết thấp, khiến việc giải thích trở nên khó khăn trong trường hợp kết quả trung gian.

Trong trường hợp sau, việc đánh giá chính xác hơn khả năng huy động bằng các kỹ thuật theo dõi tiên tiến hơn như đo thể tích phổi cuối thì thở ra hoặc theo dõi chụp cắt lớp trở kháng điện trong quá trình thử nghiệm PEEP giảm dần có thể hữu ích.

Các thử nghiệm ngẫu nhiên để kiểm tra xem các chiến lược thiết lập PEEP dựa trên R/I có thể mang lại lợi ích lâm sàng hay không đang được tiến hành.^{70,71}

Thông điệp chính

- Vai trò của PEEP trong việc ngăn ngừa tổn thương phổi do máy thở ở ARDS từ trung bình đến nặng vẫn còn gây tranh cãi, với các thử nghiệm ngẫu nhiên cho thấy không có lợi ích lâm sàng rõ ràng nào từ các chiến lược PEEP cao hơn so với PEEP thấp hơn.
- Khả năng thay đổi của việc huy động phổi (khả năng huy động) giữa các cá nhân có thể ảnh hưởng đến hiệu quả của các chiến lược PEEP. Việc thiết lập PEEP phải cân bằng giữa việc huy động phế nang thay đổi giữa các cá nhân và nguy cơ phổi em bé bị căng phồng quá mức liên quan đến áp suất cao.
- Tỷ lệ Huy động/Bơm phồng (R/I) được đề xuất như một công cụ bên giường để đánh giá khả năng huy động mà không cần thêm thiết bị. Nó dựa trên thao tác mất huy động 10 cmH₂O một hơi thở, cung cấp một kỹ thuật đơn giản hóa để điều chỉnh mức độ thể tích huy động theo kích thước phổi em bé.
- Tùy thuộc vào giá trị R/I, bác sĩ lâm sàng có thể điều chỉnh cài đặt PEEP: PEEP thấp (5-8 cmH₂O) cho R/I thấp (< 0,3-0,4), PEEP cao (≥ 12-15 cmH₂O) cho R/I cao (> 0,6-0,7) và thực hiện đánh giá chi tiết hơn cho R/I trung gian (≈0,5) bằng các công cụ theo dõi tiên tiến, chẳng hạn như đo thể tích phổi tuần tự hoặc chụp cắt lớp trở kháng điện.