

HOW I TEACH

How I Teach Auto-PEEP

Applying the Physiology of Expiration

AUTHORS: Michael Keller¹, Willard Applefeld^{1,2}, Megan Acho³, and Burton W. Lee¹

¹Department of Critical Care Medicine, National Institutes of Health Clinical Center, Bethesda, Maryland; ²Department of Cardiology, Duke University School of Medicine, Durham, North Carolina; and ³Division of Pulmonary and Critical Care Medicine, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan

Cách tôi dạy Auto-PEEP: Áp dụng sinh lý của thì thở ra

ATS scholar. <https://doi.org/10.34197/ats-scholar.2022-0024HT>

Received: March 02, 2022 Accepted: September 01, 2022

Dịch bài: BS. Đặng Thanh Tuấn – BV Nhi Đồng 1

TÓM TẮT

Việc giảng dạy các chủ đề phức tạp về thở máy có thể là một thách thức đối với các nhà giáo dục lâm sàng, cả ở bên giường bệnh và trong môi trường lớp học. Một số chủ đề này, chẳng hạn như chủ đề về áp lực dương cuối kỳ thở ra tự động (auto-PEEP), bao gồm các nguyên tắc sinh lý phức tạp có thể khó truyền đạt một cách có tổ chức và trực quan. Trong mục “Tôi đã dạy như thế nào” này, chúng tôi cung cấp một cách tiếp cận để giảng dạy khái niệm PEEP tự động cho các bác sĩ nội trú cao cấp và các nghiên cứu sinh làm việc trong phòng chăm sóc đặc biệt. Chúng tôi cung cấp một khuôn khổ để các nhà giáo dục trình bày hiệu quả các khái niệm về auto-PEEP cho người học, ở đầu giường hoặc trong lớp học, bằng cách tóm tắt các khái niệm chính và bao gồm các ví dụ cụ thể về các kỹ thuật giáo dục mà chúng tôi sử dụng. Khung này bao gồm nội dung cụ thể mà chúng tôi nhấn mạnh, cách trình bày nội dung này bằng nhiều nguồn tài nguyên giáo

dục khác nhau, đánh giá mức độ hiểu của người học và cách sửa đổi chủ đề trên cơ sở các hạn chế về địa điểm, thời gian hoặc tài nguyên.

Cách tiếp cận truyền thống để dạy thông tin cơ học thường bắt đầu bằng mô tả cơ bản về các chế độ máy thở khác nhau, cài đặt liên quan của chúng và điều chỉnh cài đặt phù hợp để đạt được oxygen hóa và thông khí đầy đủ. Mặc dù những khía cạnh này được giảng dạy phổ biến cho các học viên trong phòng chăm sóc đặc biệt (ICU), nhưng các khái niệm nâng cao hơn thường bị né tránh. Một số khái niệm cơ bản về thở máy kết hợp các nguyên tắc sinh lý phức tạp. Mặc dù các nhà giáo dục có thể có hiểu biết trực quan về các nguyên tắc như vậy, nhưng việc truyền đạt hiệu quả các chủ đề phức tạp này cho người học có thể khó khăn. Đây thường là trường hợp khi đối mặt với nhiệm vụ giải thích áp lực dương cuối kỳ thở ra tự động (auto-PEEP). Auto-PEEP là một vấn đề phổ biến và thường không được nhận ra trong ICU, có thể gây hậu quả lâm sàng

nghiêm trọng (1). Tất cả các bác sĩ lâm sàng quản lý bệnh nhân thở máy nên làm quen với việc ngăn ngừa, xác định và điều trị auto-PEEP.

Điều gì khiến auto-PEEP khó dạy? Đầu tiên, học viên có thể không quen thuộc với các yếu tố sinh lý quyết định lưu lượng khí thở ra. Người học cũng có thể chưa quen với việc giải thích các dạng sóng của máy thở, bao gồm cả các dạng sóng bình thường. Ngoài ra, việc trình bày hiệu quả các chủ đề phức tạp có thể là một thách thức, đặc biệt là trong điều kiện hạn chế về thời gian thường gặp trong môi trường ICU bận rộn. Cuối cùng, thường gặp khó khăn trong việc truyền đạt sự liên quan về mặt lâm sàng của các khái niệm sinh lý được cho là thuần túy về bản chất học thuật.

Mục “Cách tôi dạy” này cung cấp tổng quan về cách tiếp cận của chúng tôi trong việc giảng dạy khái niệm PEEP tự động cho các bác sĩ nội trú cấp cao và nghiên cứu sinh làm việc trong ICU. Chúng tôi cung cấp một khuôn khổ để các nhà giáo dục trình bày một cách hiệu quả các khái niệm về auto-PEEP cho những người học này, ở đầu giường hoặc trong môi trường lớp học. Chúng tôi tóm tắt các khái niệm chính và bao gồm các ví dụ cụ thể về các kỹ thuật giáo dục mà chúng tôi sử dụng để truyền đạt khái niệm auto-PEEP một cách thực tế.

TRÌNH BÀY CHỦ ĐỀ

Chúng tôi tiếp cận việc giảng dạy các chủ đề phức tạp trong thở máy bằng cách trước tiên chia chúng thành các phần nhỏ hơn và bằng cách hỏi người học một loạt câu hỏi có thể quản lý để khám phá các yếu tố quan trọng của chủ đề. Cách tiếp cận này khuyến khích sự tham gia của người học, cung cấp bối cảnh phù hợp cho chủ đề và cung cấp cho nhà giáo dục một khuôn khổ cơ bản

để trình bày chủ đề một cách hợp lý, có tổ chức (Bảng 1). Tùy thuộc vào bối cảnh giáo dục, chẳng hạn như trình độ đào tạo hoặc hạn chế về thời gian của người học, tất cả hoặc chỉ một số câu hỏi phù hợp nhất có thể được sử dụng. Chúng tôi thường bắt đầu bằng một câu hỏi đơn giản khi thảo luận về auto-PEEP: “Đối với bệnh nhân thư giãn, thở ra thụ động, điều gì quyết định bệnh nhân mất bao lâu để thở hết thể tích khí lưu thông được hít vào?”

Trả lời câu hỏi này liên quan đến việc giới thiệu các yếu tố cơ bản quyết định lưu lượng khí thở ra. Chúng ta bắt đầu với nguyên tắc định luật Ohm. Sự tương tự thủy lực của định luật Ohm nói rằng:

Chênh lệch áp lực (ΔP) = Lưu lượng (F) $\times$ Sức cản (R), và do đó,

$$F = \Delta P / R.$$

Chúng tôi thường làm cho khái niệm sinh lý này dễ tiếp cận hơn bằng cách vẽ hai quả bóng được nối với nhau qua một ống và hỏi học viên, “Điều gì sẽ làm cho không khí di chuyển từ quả bóng này sang quả bóng kia?” Sau đó, chúng tôi dán nhãn cho mỗi quả bóng bằng “P1” hoặc “P2” để biểu thị áp lực tạo nên độ dốc áp lực cho lưu lượng và vẽ một mũi tên trên ống từ quả bóng có áp lực cao hơn đến quả bóng có áp lực thấp hơn để biểu thị hướng của lưu lượng. Sau đó, chúng tôi dán nhãn cho ống bằng chữ “R” để biểu thị sức cản và hiển thị phương trình định luật Ohm đã hoàn thành bên cạnh hình. Chúng ta cũng có thể hỏi: “Nếu có ít lưu lượng giữa các quả bóng, thì có thể suy ra điều gì về áp lực trong hai quả bóng hoặc về sức cản của ống?” để giúp người học hiểu rằng có thể nhận thấy không có lưu lượng khi không còn chênh lệch áp lực hoặc trong điều kiện có sức cản cao.

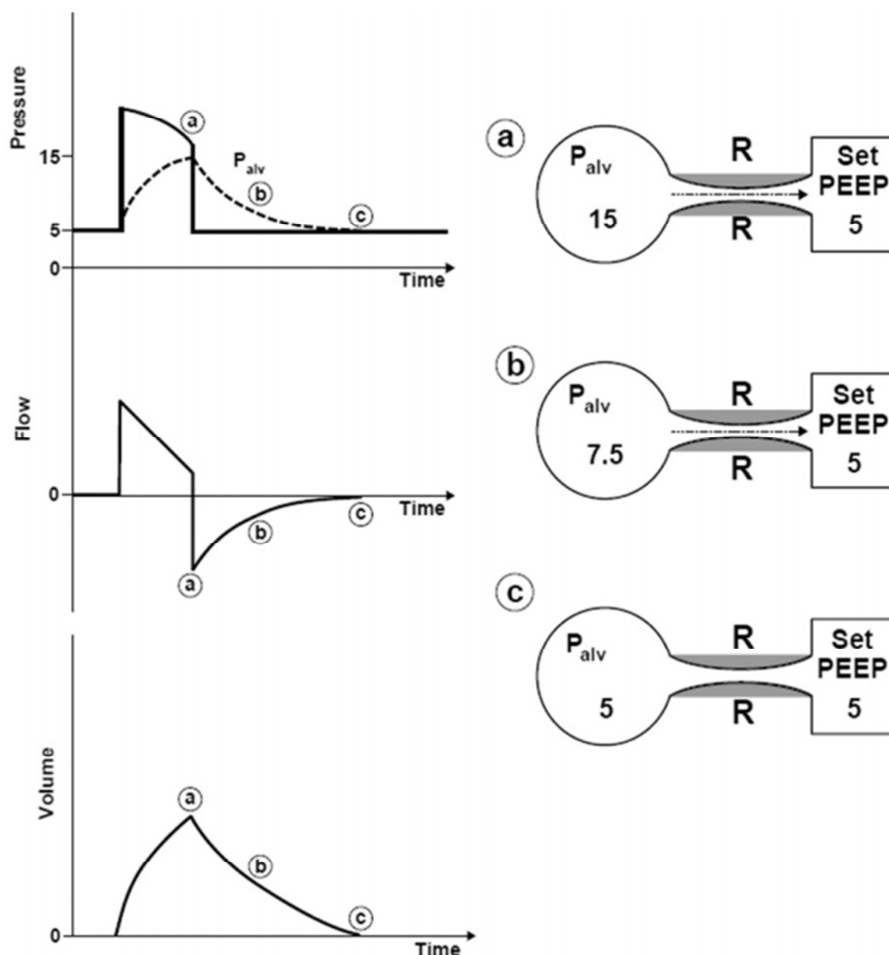
Bảng 1. Định dạng dựa trên câu hỏi để giảng dạy auto-PEEP

Tám câu hỏi chúng tôi hỏi học viên	Ví dụ về cách chúng tôi giảng dạy
1. Đối với một bệnh nhân thở giãn nở ra một cách thụ động, điều gì quyết định bệnh nhân sẽ mất bao lâu để thở ra hoàn toàn thể tích khí lưu thông được hít vào?	Dạng sóng thể tích-thời gian (Video E1 và Hình 3A và 3B)
2. Điều gì xảy ra khi một nhịp thở được bắt đầu trước khi bệnh nhân thở ra hoàn toàn nhịp thở trước đó?	Bài tập suy nghĩ trong đó người học hít thở, lưu ý vị trí của cơ hoành khi thở ra hoàn toàn và thở ra không hoàn toàn
3. Hậu quả của auto-PEEP là gì?	Video E1
4. Những yếu tố nào quyết định lượng thể tích được hít vào (và do đó là áp lực) còn lại trong phổi khi hết thì thở ra?	Giải thích phương trình phân rã tự nhiên
5. Làm cách nào để chúng tôi ước tính thời gian cần thiết để bệnh nhân thở ra mà không phát triển PEEP tự động?	Minh họa (Hình 3A), Video E1 và E2
6. Làm cách nào để ước tính hằng số thời gian thở ra (τ)?	Trình diễn bên giường bệnh (Video E1 và E2)
7. Dấu hiệu auto-PEEP trên máy thở là gì?	Trình diễn và minh họa đầu giường (Hình 4)
8. Chúng tôi có thể xử lý auto-PEEP như thế nào?	Video E1 và Hình 2

Thường hữu ích khi chỉ định một trong hai bóng là đại diện cho phế nang. Trong trường hợp này, một quả bóng sẽ được dán nhãn P_{alv} và quả bóng còn lại là ngăn thể hiện áp lực đường thở gần máy thở trong khi thở ra được dán nhãn là PEEP (Hình 1). Do đó, lưu lượng thở ra được xác định không chỉ bởi độ lớn của chênh lệch áp lực giữa áp lực phế nang của bệnh nhân (P_{alv}) và áp lực của máy thở khi thở ra (PEEP) mà còn bởi sức cản của hệ hô hấp, bao gồm cả sức cản của ống máy thở.

Sau đó, chúng tôi giới thiệu khái niệm độ giãn nở bằng cách hỏi, "Điều gì quyết định áp lực trong một quả bóng nhất định?" Bởi vì độ giãn nở (C) là tỷ lệ của sự thay đổi thể tích (ΔV) trên sự thay đổi áp lực (ΔP), hoặc $C = \Delta V / \Delta P$, người học

thường có thể suy luận, đặc biệt là với một số hướng dẫn, rằng áp lực sẽ cao hơn khi thể tích khí lưu thông lớn hơn. hoặc với độ giãn nở thấp hơn. Thông thường, những câu hỏi như "Điều gì sẽ xảy ra với áp lực trong quả bóng khi nó đầy thể tích hơn?" hoặc "Áp lực trong quả bóng sẽ thay đổi như thế nào nếu quả bóng 'cứng hơn' hoặc 'mềm hơn'?" hữu ích để hướng dẫn cuộc thảo luận. Khuyến khích sự tham gia của nhóm và đánh giá các câu trả lời cho các câu hỏi nói trên có thể giúp thông báo cho giáo viên khi nào họ có thể chuyển sang các chủ đề tiếp theo. Điều này đặc biệt quan trọng vì người học có thể gặp khó khăn với các chủ đề tiếp theo nếu họ không thể diễn đạt một cách thỏa đáng các khái niệm sinh lý học chính đã được trình bày cho đến nay.



Hình 1. Minh họa về các đại lượng dạng sóng áp lực-thời gian, lưu lượng-thời gian và thể tích-thời gian tập trung vào thời gian thở ra. Chúng tôi nhấn mạnh với người học rằng, khi bắt đầu thở ra, chênh lệch áp lực sẽ lớn nhất và lưu lượng thở ra sẽ đạt giá trị cực đại. Khi không khí di chuyển ra khỏi phế nang, thể tích và áp lực phế nang (và do đó là lưu lượng) sẽ giảm dần theo cấp số nhân cho đến khi áp lực phế nang bằng với áp lực cuối dòng (đặt PEEP), tại thời điểm đó, lưu lượng khí sẽ ngừng. Đường chấm chấm biểu thị áp lực phế nang trong suốt chu kỳ hô hấp, chỉ có thể đo được khi lưu lượng tạm dừng. PEEP = áp lực dương cuối thì thở ra.

Nếu người học dường như đang gặp khó khăn với những khái niệm này, tốt nhất có thể trì hoãn việc giới thiệu phương trình phân rã tự nhiên trong các phần tiếp theo và chỉ cần tập trung vào các hậu quả lâm sàng và xác định PEEP tự động ở đầu giường được trình bày ở phần sau của bài viết này. Người ta có thể quay lại các khái niệm này vào một ngày sau đó, vì một số người

học cảm thấy thoải mái hơn với nội dung này khi họ đã dành thời gian trong môi trường ICU và có thêm bối cảnh lâm sàng cho các ví dụ trừu tượng này.

Tại thời điểm này, người học sẽ có thể xác định ba yếu tố chính quyết định thời gian cần thiết để bệnh nhân thở hết một thể tích khí lưu thông: 1) kích cỡ của thể tích khí lưu thông; 2) độ

giãn nở của hệ thống hô hấp; và 3) sức cản của hệ hô hấp, với hai yếu tố đầu tiên lần lượt góp phần tạo nên áp lực phế nang. Chúng tôi củng cố các khái niệm này bằng cách so sánh các đại lượng thể tích-thời gian trên máy thở cho những bệnh nhân có sức cản và độ độ giãn nở của hệ hô hấp khác nhau. Ví dụ: khi có thể, chúng tôi so sánh đại lượng thể tích-thời gian từ bệnh nhân mắc bệnh phổi tắc nghẽn mãn tính (COPD) (R cao và C cao) với đại lượng từ bệnh nhân mắc hội chứng suy hô hấp cấp tính (ARDS) (C thấp) ở đầu giường. Bởi vì bệnh nhân thực sự không có sẵn trong môi trường lớp học, chúng tôi so sánh các đại lượng thể tích-thời gian bằng cách sử dụng phổi thử nghiệm có sức cản và độ giãn nở thay đổi để mô phỏng các trạng thái bệnh khác nhau.

Với các yếu tố quyết định lưu lượng thở ra chắc chắn trong tay, giờ đây chúng ta có thể chuyển trực tiếp hơn sang chủ đề PEEP tự động. Để định nghĩa auto-PEEP một cách thực tế, tiếp theo chúng ta hỏi, “Điều gì xảy ra khi một nhịp thở được bắt đầu trước khi bệnh nhân thở ra hoàn toàn nhịp thở trước đó?”

Mặc dù khái niệm này có thể trực quan đối với một số người học, nhưng nó cho phép chúng tôi giới thiệu và hoàn thiện hơn nữa các định nghĩa của chúng tôi về các loại PEEP khác nhau. Chúng tôi bắt đầu với khái niệm rằng bất kỳ thể tích hít vào nào không được thở ra hết sẽ vẫn còn trong phổi khi bắt đầu nhịp thở tiếp theo. Bất kỳ thể tích dư thừa nào trong số này đều dẫn đến áp lực bổ sung cao hơn PEEP đã đặt được lập trình trong máy thở ($PEEP_{set}$). Áp lực bổ sung trên $PEEP_{set}$ này là PEEP tự động (còn được gọi là PEEP nội tại). Tổng của $PEEP_{set}$ và auto-PEEP đại diện cho tổng PEEP ($PEEP_{total}$). Như một bài tập suy nghĩ bên giường bệnh, chúng tôi yêu cầu học viên hít vào, thở ra một phần thể tích

trong phổi, rồi hít một hơi tiếp theo. Chúng tôi yêu cầu người học xem xét vị trí của cơ hoành với mỗi nhịp thở là kết quả của việc giữ khí.

Với định nghĩa thực tế về auto-PEEP trong tay, chúng tôi giới thiệu các hậu quả lâm sàng của auto-PEEP bằng cách đặt câu hỏi, “Hậu quả lâm sàng của auto-PEEP là gì?”

Chúng tôi nhấn mạnh rằng bốn hậu quả lâm sàng chính của auto-PEEP là hạ huyết áp, tổn thương phổi do máy thở, không đồng bộ bệnh nhân-máy thở và tăng khoảng chết. Chúng tôi viết ra các câu trả lời cho câu hỏi này và nếu thời gian cho phép, hãy đi vào chi tiết hơn về cơ chế của từng câu hỏi. Bài giảng của chúng tôi nhấn mạnh rằng auto-PEEP phải được xem xét ở bất kỳ bệnh nhân thở máy, huyết động không ổn định nào. Chúng tôi thấy rằng auto-PEEP là một nguyên nhân gây hạ huyết áp thường bị bỏ qua; tuy nhiên, cơ chế hạ huyết áp ở bệnh nhân bị auto-PEEP được người học hiểu tương đối rõ với một số hướng dẫn. Chúng tôi giải thích rằng hạ huyết áp do PEEP tự động là kết quả của một số cơ chế tiềm năng, bao gồm giảm hồi lưu tĩnh mạch do tăng áp lực trong màng phổi. Tăng áp lực trong màng phổi làm giảm chênh lệch áp lực khi tĩnh mạch trở về lồng ngực. Chúng ta có thể minh họa khái niệm này bằng cách vẽ hai ngăn cạnh nhau và dán nhãn một ngăn là “ngực” và ngăn kia là “bụng”, với một mũi tên chạy từ bụng đến ngực để biểu thị dòng máu chảy vào tĩnh mạch. Điều này cũng tạo cơ hội để củng cố định luật Ohm bằng cách sử dụng ngữ cảnh hơi khác. Chúng tôi có thể giải thích thêm rằng, khi phổi căng phồng, sự gia tăng thể tích phổi gây chèn ép các mạch máu quanh phế nang dẫn đến tăng sức cản mạch máu phổi và hậu quả của tâm thất phải (2). Những rối loạn sinh lý này có thể làm giảm cung lượng tim và dẫn đến hạ huyết áp. Chúng

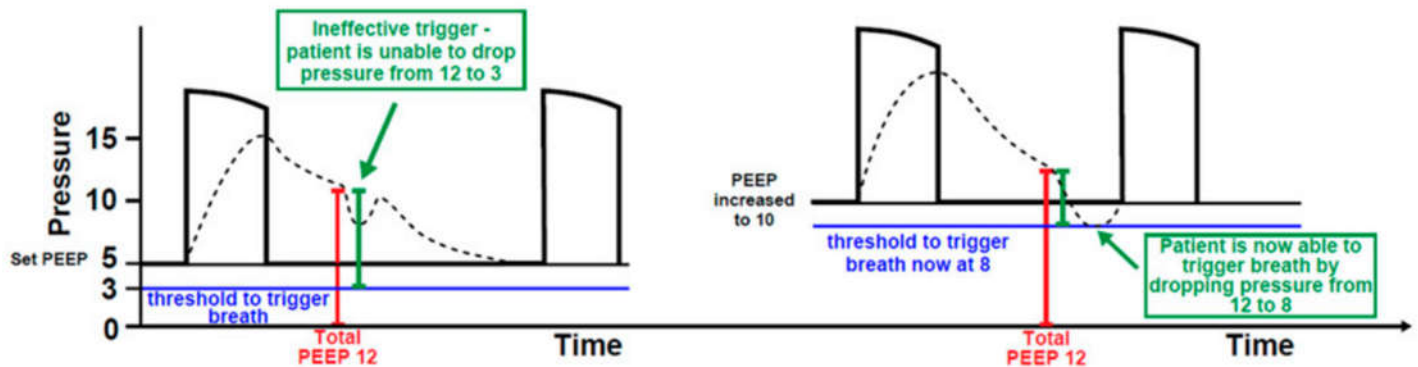
tôi cũng lưu ý rằng sự căng quá mức của phế nang có thể gây chèn ép trực tiếp các mao mạch phế nang và kết hợp với việc giảm cung lượng tim, dẫn đến tăng khoảng chết (3). Sự gia tăng khoảng chết này có thể gây ra nhiễm toan hô hấp, có thể làm suy giảm chức năng tim. Trong môi trường lớp học, chúng tôi thường thiết lập một lá phổi thử nghiệm có sức cản và độ giãn nở thay đổi để minh họa các tác động đe dọa tính mạng của auto-PEEP. Sử dụng hệ thống kiểm tra phổi có sức cản cao và độ giãn nở cao để bắt chước một bệnh nhân mắc bệnh COPD, chúng tôi có thể dễ dàng minh họa bẫy khí, từ đó chứng minh khả năng phổi bị căng quá mức. Hơn nữa, bằng cách yêu cầu người học tưởng tượng tình trạng của tim nằm giữa hai lá phổi căng quá mức như vậy, ý nghĩa lâm sàng của việc giảm hồi lưu tĩnh mạch do tăng áp lực trong màng phổi trở nên rõ ràng hơn.

Chúng tôi cũng nhấn mạnh rằng auto-PEEP có thể có những hậu quả khác nhau đối với thông khí cơ học tùy thuộc vào chế độ thông khí. Trong thông khí kiểm soát thể tích, sự tích lũy PEEP tự động ngày càng tăng có thể gây ra tình trạng căng quá mức phế nang và tổn thương phổi do máy thở. Trong thông khí kiểm soát áp lực, PEEP tự động làm giảm chênh lệch áp lực đối với lưu lượng hít vào (áp lực đường thở – PEEP tổng), dẫn đến thể tích khí lưu thông thấp hơn và giảm thông khí. Điều này có thể dễ dàng minh họa ở đầu giường hoặc trong khung cảnh lớp học bằng cách vẽ mô hình hai ngăn với một bên là máy thở và một quả bóng (phổi) ở bên kia được gắn với một ống (đường dẫn khí) (tương tự như Hình 1). Trong kiểm soát thể tích, chúng tôi minh họa việc tăng dần lượng thể tích làm đầy quả bóng với mỗi nhịp thở liên tiếp. Để kiểm soát áp lực, chúng tôi minh họa việc tích lũy áp lực trên

PEEP_{set} làm giảm độ chênh áp lực cho lưu lượng khí khi bắt đầu mỗi nhịp thở, do đó dẫn đến thể tích khí lưu thông thấp dần với mỗi nhịp thở liên tiếp.

Chúng tôi thấy rằng việc kích hoạt không hiệu quả, một dạng không đồng bộ giữa máy thở và bệnh nhân thường được kết thúc bằng PEEP tự động, thường là một khái niệm khó nắm bắt đối với người học. Cách tiếp cận của chúng tôi là vẽ một sơ đồ xác định mức độ PEEP tự động của bệnh nhân, PEEP_{set} và áp lực bên dưới PEEP_{set} mà áp lực đường thở phải đạt được để kích hoạt máy thở (Hình 2). Trình diễn này cho phép thể hiện trực quan áp lực bổ sung phải vượt qua do PEEP tự động kích hoạt nhịp thở. Mô tả này cũng cho phép người học hình dung cách tăng PEEP_{set} có thể giảm tải ngưỡng cần thiết để kích hoạt nhịp thở. Sau đó, chúng tôi mô tả cách áp lực bổ sung này dẫn đến sự gia tăng công hô hấp của bệnh nhân, cũng như khả năng gây khó chịu và kích động cho bệnh nhân. Để biết thêm một ví dụ về cách chúng tôi dạy kích hoạt không hiệu quả cho người học của mình, người đọc được tham khảo video đã sản xuất trước đó (4). Một câu hỏi thường gặp là liệu khái niệm này có áp dụng cho cơ chế kích hoạt lưu lượng hay không. Do bệnh nhân phải giảm áp lực đường thở xuống dưới mức PEEP đặt để tạo ra lưu lượng nên cơ chế kích hoạt không hiệu quả này vẫn được áp dụng.

Giờ đây, các hậu quả nguy hiểm tiềm ẩn của auto-PEEP đã được nhấn mạnh, để xác định và điều trị auto-PEEP, chúng ta phải làm quen với người học về các yếu tố xác định xem bệnh nhân có nguy cơ hay không. Câu hỏi tiếp theo của chúng ta là, “Yếu tố nào quyết định lượng thể tích được hít vào (và do đó là áp lực) còn lại trong phổi cuối thì thở ra?”



Hình 2. Hình minh họa mô tả cách PEEP tự động có thể gây kích hoạt không hiệu quả. Trong hình bên trái, ngưỡng kích hoạt được đặt ở 2 cm H₂O bên dưới PEEP_{set}. Vì PEEP_{set} là 5 cm H₂O, bệnh nhân này sẽ phải giảm áp lực phế nang xuống 3 cm H₂O để kích hoạt nhịp thở. Vì bệnh nhân này đã tạo ra 7 cm H₂O PEEP tự động trên PEEP_{set} là 5 cm H₂O (nghĩa là PEEP tổng cộng là 12 cm H₂O), nên bệnh nhân sẽ phải tạo ra ít nhất -9 cm H₂O để giảm áp lực phế nang xuống 3 cm H₂O. Trong hình bên phải, PEEP_{set} đã được nâng lên 10 cm H₂O cho cùng một bệnh nhân. Ngưỡng kích hoạt vẫn được đặt thành 2 cm H₂O dưới mức PEEP đặt là 10 cm H₂O (tức là 8 cm H₂O). Giờ đây, bệnh nhân sẽ chỉ phải tạo ra âm 4 cm H₂O (tức là từ 12 đến 8 cm H₂O) để giảm áp lực phế nang xuống dưới ngưỡng kích hoạt. Auto-PEEP = áp lực dương cuối thì thở ra tự động; PEEP_{set} = PEEP được đặt trên máy thở; PEEP_{total} = Tổng PEEP.

Chúng tôi bắt đầu bằng cách thừa nhận rằng, ở một bệnh nhân thở ra thụ động, thể tích (và áp lực) phế nang sẽ giảm dần theo kiểu cấp số nhân đặc trưng. Tại thời điểm này, chúng tôi giới thiệu phương trình chi phối sự suy giảm theo cấp số nhân này, phương trình phân rã tự nhiên,

$$V_i = V_o / e^{t/RC}$$

theo đó V_i là thể tích còn lại trong phổi tại thời điểm i trong khi thở ra, V_o là thể tích ban đầu được cung cấp cho phế nang (nghĩa là thể tích khí lưu thông), t là lượng thời gian có sẵn để thở ra, C là độ giãn nở của hệ hô hấp, R là tổng sức cản của hệ hô hấp và e là hằng số toán học ở cơ sở của logarit tự nhiên và bằng 2,718.

Thoạt nhìn, hầu hết người học thấy phương trình này hơi khó. Do đó, chúng tôi

thường không thu hút tất cả người học vào phương trình này. Tuy nhiên, đối với các nghiên cứu sinh và những người học khác muốn nắm vững khái niệm auto-PEEP, việc giải thích từng biến trong phương trình mang lại sự rõ ràng đáng kể và cho phép người học nhận ra các ứng dụng lâm sàng của phương trình này. Mỗi biến ở bên phải đại diện cho một yếu tố góp phần vào sự phát triển của auto-PEEP. Chúng tôi thường khoanh tròn hoặc đánh dấu từng mục khi chúng được giải thích. Bắt đầu với V_o , chúng tôi lưu ý rằng thể tích ban đầu lớn hơn được chuyển đến phế nang (tức là thể tích khí lưu thông) sẽ dẫn đến lượng không khí còn lại trong phế nang lớn hơn tại bất kỳ thời điểm nào trong khi thở ra (V_i). Do đó, một yếu tố nguy cơ cho sự phát triển của auto-PEEP là thể tích khí lưu thông lớn. Tiếp theo, chúng tôi nhấn mạnh rằng thời gian thở ra (t) tỷ lệ nghịch với V_i . Do đó, một yếu tố nguy cơ

khác đối với sự phát triển của auto-PEEP là thời gian thở ra ngắn. Cuối cùng, chúng tôi chỉ ra rằng sức cản và độ giãn nở của hệ hô hấp thay đổi song song với V_i , và do đó, R và C cao cũng là những yếu tố nguy cơ cho sự phát triển của auto-PEEP.

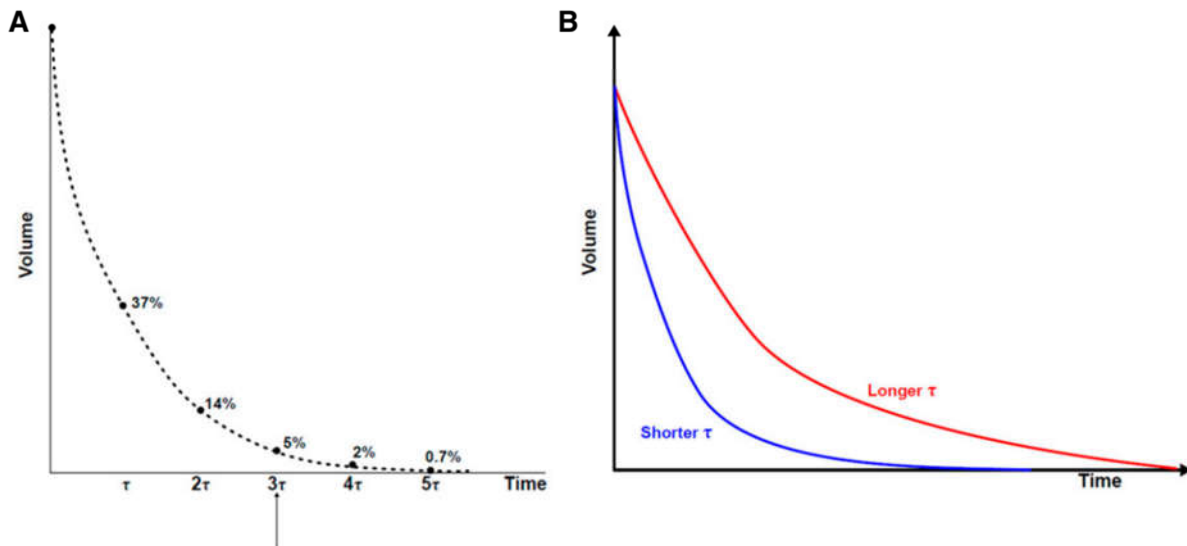
Làm cách nào chúng ta có thể sử dụng thêm các khái niệm từ phương trình này để xác định thời gian mà một bệnh nhân nhất định cần thở ra và do đó, tần số hô hấp thích hợp là bao nhiêu để tránh auto-PEEP? Bây giờ chúng tôi giới thiệu khái niệm rất quan trọng về hằng số thời gian và tau (τ) bằng cách đặt câu hỏi: “Làm cách nào để chúng tôi ước tính thời gian cần thiết để một bệnh nhân thở ra mà không phát triển PEEP tự động?”

Như chúng tôi vừa giải thích cho người học, phương trình phân rã tự nhiên chứa tích của sức cản và độ giãn nở của hệ hô hấp ($R \times C$). Tích của R và C được gọi là hằng số thời gian thở ra và được biểu thị bằng chữ Hy Lạp tau (τ). Phương trình phân rã tự nhiên ở trên bây giờ có thể được viết lại như sau:

$$V_i = V_o / e^{t/\tau}$$

Điều quan trọng là người học phải nắm được rằng hằng số thời gian thở ra (τ) biểu thị thời gian cần thiết để phổi thở ra cho đến khi chỉ còn lại khoảng 37% thể tích ban đầu trong phổi (5). Chúng tôi thường bắt đầu bằng cách minh họa khái niệm quan trọng này bằng cách vẽ một biểu đồ mô tả sự suy giảm thể tích theo thời gian (Hình 3A). Chúng tôi gắn nhãn trục y là thể tích (thể tích khí lưu thông trong trường hợp này), trục x là thời gian, sau đó vẽ một mô hình phân rã điển hình lưu ý rằng một τ biểu thị thời điểm mà 37% thể tích ban đầu còn lại trong phổi. Để

làm rõ thêm, chúng ta có thể chứng minh rằng bằng cách đặt τ bằng thời gian thở ra (t) trong phương trình phân rã tự nhiên, V_i luôn bằng V_o/e , tức là 37% của V_o , vì $1/e$ xấp xỉ bằng 0,37. Sau đó, chúng tôi chỉ ra rằng mỗi hằng số thời gian bổ sung thể hiện mức giảm thêm 63% so với giá trị trước đó sao cho sau hai hằng số thời gian, 14% thể tích khí lưu thông ban đầu sẽ vẫn còn trong phổi (37% của 37%) và sau ba hằng số thời gian, 5% thể tích khí lưu thông ban đầu sẽ vẫn còn trong phổi khi thở ra (37% của 14%), v.v. (Hình 3A). Do đó, bệnh nhân cần nhiều hơn ba hằng số thời gian để thở ra thể tích khí lưu thông một cách thích hợp trước khi bắt đầu nhịp thở tiếp theo. Đây là một khái niệm quan trọng và chúng tôi thường nhấn mạnh lại nó bằng cách hỏi người học, “Chúng ta nên đảm bảo bệnh nhân phải thở ra bằng máy thở trong bao lâu?” Nói cách khác, để giảm thiểu PEEP tự động, chúng tôi phải đảm bảo rằng thời gian thở ra của bệnh nhân (t) lớn hơn ít nhất 3τ . Bệnh nhân có τ dài (R và C cao [tức là COPD]) sẽ cần nhiều thời gian hơn để thở ra so với bệnh nhân có τ ngắn (C thấp [tức là ARDS]). Chúng ta thường sử dụng phép loại suy giữa τ dài được biểu thị bằng một túi hàng tạp hóa đang đổ một cách thụ động vào một ống có đường kính nhỏ so với một τ ngắn được biểu thị bằng một chiếc lốp cao su căng được đổ vào một ống có đường kính lớn (Hình 3B). Trong bối cảnh lớp học, để đánh giá sự hiểu biết của học viên tại thời điểm này trước khi chuyển sang chủ đề tiếp theo, chúng tôi chia học viên thành các nhóm và yêu cầu họ viết ra phương trình phân rã tự nhiên, sau đó tái tạo biểu đồ phân rã thể tích theo thời gian trong suốt thời gian học. thở ra. Mặc dù một số ICU có thể không có sẵn bảng trắng, nhưng bài tập này vẫn có thể được thực hiện trên một tờ giấy với những người học tập trung xung quanh người hướng dẫn.



Hình 3. (A) Minh họa về sự suy giảm thể tích khí lưu thông theo thời gian trong thời gian thở ra. Khoảng thời gian cần thiết để thể tích giảm xuống 37% giá trị ban đầu tương đương với hằng số thời gian. Mỗi hằng số thời gian bổ sung thể hiện mức giảm 63% khác về thể tích so với giá trị trước đó. Chúng tôi nhấn mạnh rằng, về mặt lâm sàng, một bệnh nhân nên có thời gian thở ra lớn hơn ít nhất ba hằng số thời gian để thở ra đầy đủ thể tích khí lưu thông, như được biểu thị bằng mũi tên, thể hiện mức giảm xuống dưới 5% thể tích khí lưu thông ban đầu. (B) Hình minh họa hai bệnh nhân có hằng số thời gian khác nhau (τ). Chúng tôi nhấn mạnh với người học rằng bệnh nhân có τ dài hơn sẽ cần thời gian thở ra lâu hơn để thở ra một thể tích nhất định.

Một số người học có thể không nắm bắt được ngay cơ sở toán học của hằng số thời gian. Nếu đây là trường hợp, sẽ rất hữu ích nếu chỉ cần nhấn mạnh khái niệm chung rằng bệnh nhân sẽ cần ít nhất 3τ để thở ra đầy đủ và bằng cách tính toán τ , giờ đây chúng ta biết bệnh nhân cần thở ra đủ bao nhiêu thời gian. Hầu hết người học sẽ cảm thấy thoải mái với khái niệm này và tiếp tục với cách chúng tôi tính toán τ trong các phần tiếp theo.

Như đã đề cập trước đây, nếu chúng ta biết τ , do đó, chúng ta có thể xác định liệu nhịp hô hấp của bệnh nhân có khiến họ có nguy cơ mắc auto-PEEP hay không. Giờ đây, chúng tôi đã cung cấp cho người học hiểu biết sâu sắc về sinh lý học đằng sau sự phát triển của auto-PEEP. Bây giờ

chúng ta có thể chuyển trở lại cơ sở lâm sàng của những gì chúng ta đã thảo luận: “Làm cách nào để ước tính hằng số thời gian thở ra (τ)?” Chúng tôi nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tính toán τ thường xuyên ở những bệnh nhân bị bệnh nặng, thở máy để hướng dẫn các cài đặt thở máy của chúng tôi (tần số hô hấp, dạng và tốc độ dòng khí hít vào, và thể tích khí lưu thông). Có một số chiến lược có thể được sử dụng bên giường bệnh. Chúng tôi thường dạy ba phương pháp sau:

1. Đo sức cản và độ giãn nở của hệ hô hấp trong lưu lượng sóng vuông, nhịp thở kiểm soát thể tích (6). Như đã nêu trước đó, tích của R và C là τ :

$$\tau = R \text{ (cm H}_2\text{O/L/s)} \times C \text{ (L/cm H}_2\text{O)}$$

Sẽ rất hữu ích nếu viết ra phương trình này để người học nhận thấy rằng nhân các đơn vị của R và C sẽ ra đơn vị là giây, do đó, có tên là hằng số thời gian. Giá trị này là hằng số thời gian (τ) của bệnh nhân và cho phép chúng tôi ước tính thời gian cần thiết để thở ra. Sau đó, chúng tôi đưa ra một ví dụ đơn giản: một bệnh nhân có C là 0,1 L/cm H₂O và R là 10 cm H₂O/L/s có τ được tính là 1 giây và sẽ cần hơn 3 giây ($>3\tau$) để thở ra đầy đủ thể tích khí lưu thông đã cho. Nếu chúng ta giả sử thời gian hít vào là 1 giây, thì bệnh nhân này sẽ không phát triển auto-PEEP đáng kể nếu tổng nhịp hô hấp nhỏ hơn 15 nhịp thở mỗi phút vì thời gian từ nhịp thở này đến nhịp thở kế tiếp ít nhất là 4 giây. Một lưu ý cần thông báo cho người học khi sử dụng phương pháp này là các giá trị được sử dụng để tính toán R và C thu được trong quá trình hít vào và do đó, đại diện cho hằng số thời gian hít vào. Nếu sức cản đường thở trong thì thở ra cao hơn so với hít vào, phương pháp này có thể đánh giá thấp hằng số thời gian (7). Bài tập này cũng có thể kết hợp quy trình tính toán sức cản và độ giãn nở của hệ hô hấp tại giường bệnh, một cơ hội quý giá để mở rộng về sinh lý hệ hô hấp.

- Đánh giá thể tích. Một bài tập đặc biệt có giá trị cho người học là ước tính τ thở ra bằng cách kiểm tra dạng sóng thể tích-thời gian trên máy thở và lưu ý lượng thời gian cần thiết để một thể tích nhất định giảm xuống khoảng 37% giá trị của nó. Điều này sẽ yêu cầu đóng băng màn hình máy thở và đặt hai điểm đánh dấu trên dạng sóng thời gian – thể tích đại diện cho thể tích được chọn ban đầu (V_0), theo sau là một điểm ở mức 37% của giá trị ban đầu này. Khoảng thời gian giữa hai điểm đánh dấu này đại diện cho 1 τ . (Video

E1 trong phần bổ sung dữ liệu xem xét cách tiếp cận này để đánh giá τ và cung cấp ví dụ về cách chúng tôi thường đánh giá mức độ hiểu biết của người học về phương pháp này.) Lưu ý rằng thể tích ban đầu (V_0) lý tưởng nhất nên được ghi lại sau độ lệch nhanh ban đầu của đường cong thời gian lưu lượng thở ra bởi vì việc giải thích phần ban đầu của đường cong này bị cản trở bởi sự can thiệp của các hiệu ứng quán tính, mở nhanh van thở ra và nỗ lực của bệnh nhân (8). Theo kinh nghiệm của chúng tôi, phương pháp này là phương pháp dễ hiểu nhất đối với người học vì nó cung cấp một biểu diễn trực quan đơn giản về sự phân rã tự nhiên và có thể được thực hiện dễ dàng ngay tại giường bệnh.

- Phương pháp tiếp cận tỷ lệ thể tích trên lưu lượng (V/F). Một phương pháp khác để ước tính τ hữu ích để chứng minh tại giường bao gồm chia thể tích còn lại (V) cho lưu lượng thở ra (F) tại cùng một thời điểm (9):

$$V/F = RC = \tau$$

Chúng tôi thường khuyến khích các đồng nghiệp của mình và những người học khác muốn nắm vững khái niệm auto-PEEP rút ra điều này từ phương trình chuyển động (Trang mục lục E1) vì nó không chỉ giải thích τ mà còn giải thích một số khái niệm sinh lý quan trọng khác. Tính toán τ tại nhiều thời điểm có thể được thực hiện, tất cả đều phải giống nhau vì độ dốc của đường cong lưu lượng-thể tích ở bệnh nhân thụ động phải tuyến tính (10). (Video E2 đánh giá phương pháp thể tích/lưu lượng, cũng như cách chúng tôi đánh giá mức độ hiểu biết của người học về khái niệm này.)

Để đánh giá thêm mức độ hiểu biết, chúng tôi sẽ yêu cầu học viên tính toán τ bên giường

bệnh (trong các buổi dạy học theo vòng hoặc bên giường bệnh). Chúng tôi thấy rằng phương pháp thể tích/lưu lượng là khó nắm bắt nhất đối với người học. Tuy nhiên, với thực tế, nó trở thành một trong những cách tính τ hiệu quả nhất về thời gian. Nếu người học gặp khó khăn với phương pháp thể tích/lưu lượng, có thể chuyển sang các chủ đề tiếp theo và quay lại khái niệm này vào lúc khác, đặc biệt là khi phương pháp “đánh giá thể tích” ở trên thường được hiểu một cách trực quan hơn.

Bằng cách dạy ba phương pháp này, chúng tôi nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tính toán τ và thừa nhận thời gian thở ra của bệnh nhân để giúp ngăn chặn sự khởi đầu của auto-PEEP. Tiếp tục với ứng dụng đầu giường của những gì chúng ta đã học, bây giờ chúng ta tập trung vào cách xác định sự hiện diện của auto-PEEP. Bây giờ chúng tôi hỏi, "Một số dấu hiệu của auto-PEEP trên máy thở là gì?"

Học viên nên nhận ra rằng auto-PEEP phải được xem xét ở những bệnh nhân thở máy bị hạ huyết áp không rõ nguyên nhân, khó thở hoặc kích động. Trên cơ sở thảo luận ở trên, họ cũng nên nhận ra những bệnh nhân có nguy cơ cao (nghĩa là bệnh nhân có tần số hô hấp cao, thời gian thở ra ngắn và/hoặc bệnh tắc nghẽn đường thở). Ngoài ra còn có một số mẫu dạng sóng máy thở gợi ý auto-PEEP đáng được chỉ ra. Chúng tôi tập trung vào bốn mẫu sau đây, được trình bày tốt nhất trên máy thở ở đầu giường nhưng cũng có thể được hiển thị dưới dạng hình trong môi trường lớp học.

1. Sự bất đối xứng trong các khu vực của các đường cong lưu lượng-thời gian. Trước tiên, chúng tôi hướng sự chú ý của người học vào biểu đồ dạng sóng lưu lượng-thời gian ở đầu giường (hoặc với một bức tranh trong bối

cảnh lớp học) và bắt đầu bằng cách hỏi, “Diện tích dưới đường cong lưu lượng-thời gian biểu thị điều gì?” Chúng tôi giải thích rằng khu vực dưới đường cong lưu lượng-thời gian trong khi hít vào biểu thị thể tích khí lưu thông hít vào; trong thời gian thở ra, khu vực này thể hiện thể tích thở ra. Bệnh nhân bị tắc nghẽn đường thở đáng kể có thể có lưu lượng thở ra rất thấp do sức cản cao, dẫn đến sự bất đối xứng đáng kể giữa đường cong thời gian lưu lượng hít vào và thở ra, tạo ra sự xuất hiện của các vùng không bằng nhau dưới các đường cong (các vùng trở nên bằng nhau về mặt định lượng khi bệnh nhân cuối cùng đạt được trạng thái ổn định ở thể tích phổi thở ra cao hơn). Mặc dù dấu hiệu này là dấu hiệu của tắc nghẽn đường thở chứ không phải auto-PEEP, nhưng những bệnh nhân mắc bệnh tắc nghẽn đặc biệt là những người dễ bị phát triển auto-PEEP. Sự bất đối xứng như vậy sẽ khiến bác sĩ lâm sàng đánh giá thêm về auto-PEEP vì đây là một dấu hiệu phổ biến (Hình 4A).

2. Lưu lượng cuối thì thở ra kéo dài. Chúng tôi bắt đầu dạy khái niệm này bằng cách hướng sự chú ý của người học vào đường cong lưu lượng-thời gian thì thở ra và hỏi, "Nếu lưu lượng trở về 0, điều này có nghĩa là gì?" Phần này giới thiệu lại khái niệm về định luật Ôm đã trình bày trước đó, điều này có thể yêu cầu người học viết lại phương trình. Điều này sẽ cho phép người học hiểu rằng nếu tất cả thể tích khí lưu thông được hít vào đã được thở ra, thì áp lực trong phế nang (P_{alv}) lúc này sẽ bằng $PEEP_{set}$. Do áp lực bằng nhau nên không còn chênh lệch áp lực và lưu lượng phải bằng không (Hình 4B). Sau đó, chúng tôi hỏi người học, "Nếu vẫn còn lưu lượng khi thở ra, điều này có nghĩa là gì?" Bây giờ người học nên nhận ra rằng nếu lưu lượng vẫn còn ở cuối kỳ

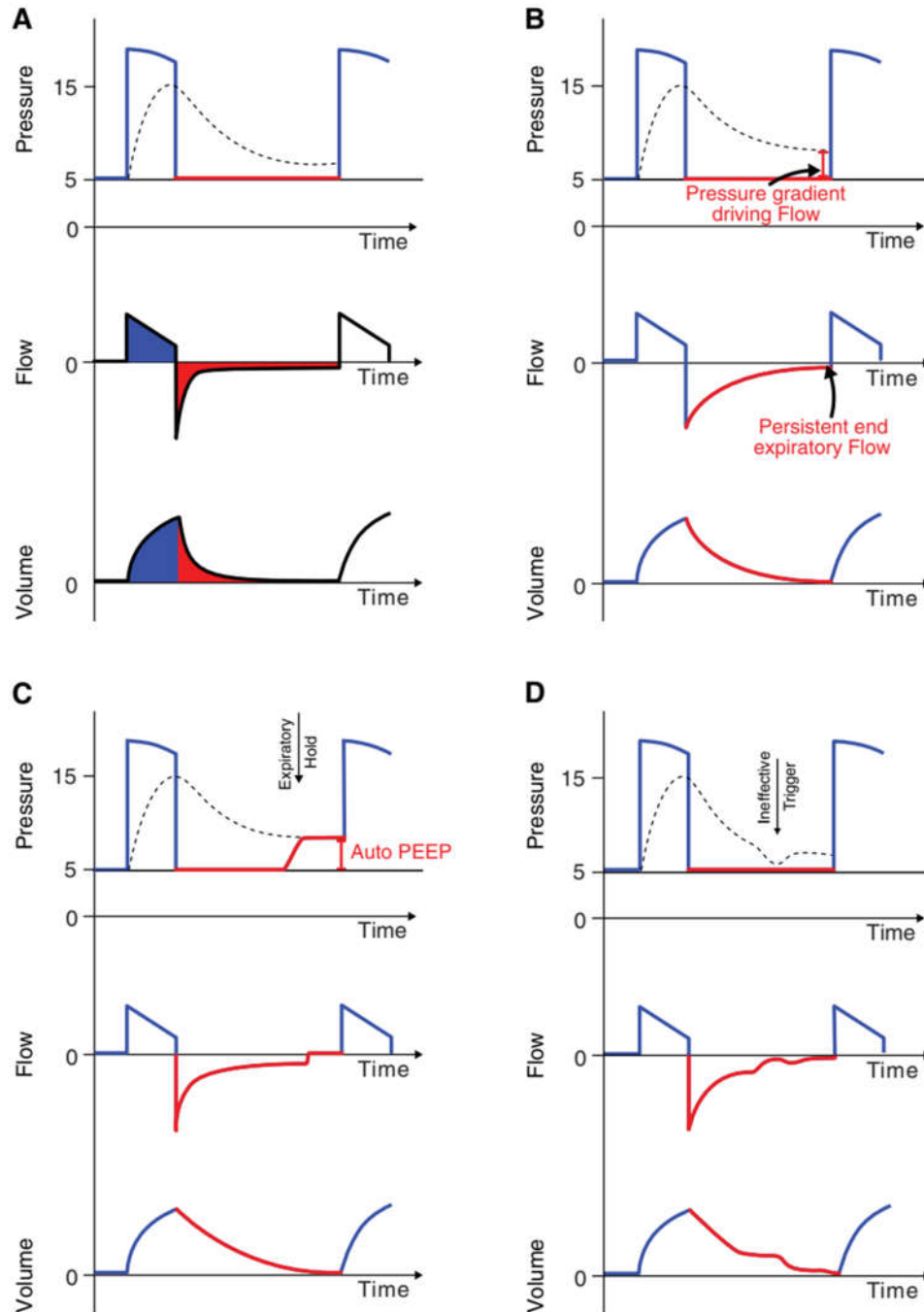
thở ra, thì vẫn có áp lực trong phế nang phía trên $PEEP_{set}$ đang đẩy lưu lượng ra khỏi phổi. Áp lực bổ sung này là auto-PEEP. Một lần nữa, việc kết hợp mô hình hai ngăn, như đã thảo luận trước đây, rất hữu ích trong việc minh họa khái niệm này.

- Đo lường thông qua tạm dừng cuối thì thở ra. Một khái niệm quan trọng (và thường bị hiểu sai) để người học hiểu là dạng sóng áp lực-thời gian sẽ hiển thị $PEEP_{set}$ (do bác sĩ lâm sàng xác định) trong suốt thời gian thở ra. P_{alv} , giảm dần khi thể tích thở ra, không được hiển thị trực tiếp trên màn hình. Chúng tôi thấy hữu ích khi vẽ một mẫu dạng sóng áp lực-thời gian trong khi thở ra với áp lực đường thở là $PEEP_{set}$ (một đường thẳng) và chồng lên đường cong thời gian-áp lực phế nang với phân rã theo cấp số nhân trong nền. Bây giờ chúng tôi nhấn mạnh rằng với thao tác tạm dừng cuối thì thở ra, van thở ra đóng lại và lưu lượng dừng lại. Điều này cho phép P_{alv} cân bằng với áp lực đường thở; kết quả là, đại lượng dạng sóng áp lực-thời gian bây giờ sẽ phản ánh P_{alv} (Hình 4C). P_{alv} đo được khi thở ra là tổng PEEP ($PEEP_{total}$). Lượng áp lực hiện diện phía trên $PEEP_{set}$ là lượng PEEP tự động hiện có:

$$PEEP_{total} - PEEP_{set} = \text{auto-PEEP}$$

Các nhà giáo dục nên truyền đạt một số hạn chế đối với phép đo này. Đầu tiên, bệnh nhân phải thụ động trong suốt quá trình này để nỗ lực của bệnh nhân không làm thay đổi giá trị. Thứ hai, chỉ có các đơn vị phổi thông với đường thở mới cân bằng với áp lực đường thở. Trong bối cảnh đóng đường thở, một số đơn vị phổi sẽ không thông với đường thở, và do đó, PEEP tự động có thể bị đánh giá thấp (12).

- Kích hoạt không hiệu quả. Như đã mô tả ở trên, auto-PEEP có thể khiến bệnh nhân khó kích hoạt máy thở hơn, vì phải tạo ra áp lực âm tăng lên để vượt qua PEEP nội tại. Điều này có thể làm giảm khả năng kích hoạt nhịp thở máy của bệnh nhân, một hiện tượng được gọi là kích hoạt không hiệu quả (13). Có thể hữu ích khi bắt đầu bằng cách yêu cầu người học nhớ lại cách bệnh nhân kích hoạt nhịp thở cơ học trên máy thở và nhấn mạnh lại rằng bệnh nhân phải tạo ra một lượng nỗ lực cơ hô hấp thích hợp để vượt qua áp lực hoặc lưu lượng do bác sĩ đặt ra. Các yếu tố kích hoạt không hiệu quả có thể được hiển thị cho người học dưới dạng độ lệch trên dạng sóng lưu lượng-thời gian thể hiện nỗ lực cơ hô hấp của bệnh nhân không thể kích hoạt nhịp thở cơ học. Ngoài việc chỉ ra điều này trên biểu đồ dạng sóng lưu lượng-thời gian, một lần nữa sẽ hữu ích khi vẽ biểu đồ dạng sóng theo áp lực-thời gian và áp đặt các thay đổi về áp lực phế nang xảy ra với một kích hoạt không hiệu quả trong khi thở ra (Hình 4D). Để đánh giá thêm sự hiểu biết của người học, việc hỏi người học về các nguyên nhân khác khiến việc kích hoạt không hiệu quả thường rất hữu ích. Với một chút hướng dẫn bổ sung, họ sẽ nhận ra rằng bệnh nhân bị yếu thần kinh cơ có thể không có đủ sức mạnh để kích hoạt nhịp thở hoặc ngưỡng độ nhạy kích hoạt được đặt quá cao có thể khiến bệnh nhân khó kích hoạt nhịp thở hơn. Tuy nhiên, người học nên hiểu rằng, trong khi yếu thần kinh cơ và cài đặt kích hoạt không nhạy cũng có thể dẫn đến kích hoạt không hiệu quả, auto-PEEP cho đến nay là nguyên nhân phổ biến nhất (14).



Hình 4. Dấu hiệu của auto-PEEP. (A) Sự bất đối xứng của các khu vực dưới đường cong. Khu vực dưới dạng sóng thời gian lưu lượng hít vào có vẻ lớn hơn dạng sóng thời gian lưu lượng thở ra do sự bất đối xứng đáng kể của các đường cong. (B) Lưu lượng cuối thì thở ra liên tục, biểu thị chênh lệch áp lực liên tục giữa áp lực phế nang và PEEP đặt do PEEP tự động. (C) Thao tác giữ cuối thì thở ra. Đường chấm chấm biểu thị áp lực phế nang trong suốt chu kỳ hô hấp (chỉ có thể đo được khi lưu lượng tạm dừng). (D) Kích hoạt không hiệu quả. Trong ví dụ này, bệnh nhân không thể giảm áp lực phế nang xuống dưới ngưỡng kích hoạt do PEEP tự động đáng kể.

Bây giờ người học của chúng ta đã thành thạo trong việc hiểu cách ngăn chặn và xác định auto-PEEP, chúng ta chuyển sang câu hỏi, “Làm thế nào chúng ta có thể giải quyết auto-PEEP?”

Chúng tôi bắt đầu bằng cách dạy rằng trong trường hợp mất ổn định huyết động cấp tính, bệnh nhân có thể bị ngắt máy thở trong giây lát để cho phép thở ra hoàn toàn. Tuy nhiên, chúng tôi nhấn mạnh rằng các chiến lược để ngăn chặn sự phát triển và tái diễn của auto-PEEP sau đó phải được xem xét. (Video E3 cung cấp một ví dụ về cách chúng tôi đánh giá sự hiểu biết của người học về hậu quả lâm sàng của autoPEEP và các cách quản lý auto-PEEP.)

Để củng cố nền tảng sinh lý và toán học của chủ đề phức tạp này, chúng tôi tham khảo lại phương trình phân rã tự nhiên, làm nổi bật và giải thích cách kiểm tra và giải quyết từng biến khi tiếp cận phương pháp điều trị PEEP tự động của chúng tôi. Điều này cho phép người học cảm thấy thoải mái với phương trình và chứng minh tính thực tế của nó, đặc biệt là trong môi trường ICU. Do đó, trước tiên chúng tôi yêu cầu người học viết phương trình phân rã tự nhiên. Sau đó, chúng tôi nhấn mạnh rằng theo phương trình này, chúng tôi có thể giảm lượng thể tích còn lại trong phế nang khi kết thúc kỳ thở ra (V_i) và do đó giảm PEEP tự động bằng cách giảm thể tích khí lưu thông được cung cấp (V_o), tăng thời gian thở ra (t), và giảm τ . Để nhấn mạnh và rõ ràng, chúng tôi thường khoanh tròn từng biến trong phương trình khi chúng tôi đặt tên riêng cho chúng và chúng tôi nhấn mạnh rằng việc tăng thời gian thở ra đạt được tốt nhất bằng cách giảm tần số hô hấp. Điều này có thể liên quan đến việc dùng thuốc an thần và/hoặc làm tê liệt bệnh nhân nếu tần số hô hấp nội tại của bệnh nhân cao hơn tần số cài đặt trên máy thở. Chúng tôi

thường dạy khái niệm này bằng cách vẽ một bảng và yêu cầu người học điền vào thời gian từng nhịp thở, thời gian hít vào và thời gian thở ra cho các nhịp hô hấp khác nhau (một ví dụ về các bảng như vậy được đưa ra trong Trang Chỉ mục E2). Các học viên thường lưu ý rằng việc tăng tốc độ lưu lượng hít vào đã đặt sẽ làm giảm thời gian hít vào vì thể tích khí lưu thông đã đặt bây giờ phải được cung cấp nhanh hơn. Tuy nhiên, chiến lược này nói chung sẽ chỉ làm tăng thời gian thở ra trong một phần nhỏ của giây, trong khi việc giảm tần số hô hấp sẽ làm tăng thời gian thở ra nhiều hơn (Trang Chỉ mục E2). Các nhà giáo dục cũng nên nhấn mạnh rằng mặc dù việc giảm thể tích khí lưu thông có thể là một chiến lược hiệu quả để giảm thiểu PEEP tự động, nhưng chiến lược này có thể được đáp ứng bằng cách tăng tần số hô hấp nội tại của bệnh nhân để bù đắp, điều này cuối cùng có thể làm giảm thời gian thở ra (15). Cuối cùng, chúng tôi yêu cầu học viên nhớ lại rằng τ là tích của R và C và việc giảm thiểu R thông qua việc sử dụng các biện pháp can thiệp như thuốc giãn phế quản, corticosteroid và hút dịch tiết sẽ cho phép thở ra nhanh hơn.

Chúng tôi thường dạy khái niệm rằng để cải thiện công thở của bệnh nhân và kích hoạt không hiệu quả, $PEEP_{set}$ có thể được tăng lên đến một điểm ngay dưới $PEEP_{total}$ (16). Vì bệnh nhân chỉ cần giảm áp lực đường thở xuống dưới mức PEEP đặt để kích hoạt máy thở, thao tác này sẽ giảm lượng PEEP tự động mà bệnh nhân phải vượt qua để kích hoạt nhịp thở. Cách tiếp cận của chúng tôi thường liên quan đến việc minh họa khái niệm này bằng cách vẽ các đại lượng dạng sóng áp lực-thời gian với các đường cong áp lực phế nang-thời gian chồng lên nhau, như được minh họa trong Hình 2. Ngoài ra, chúng tôi sử dụng một cách tiếp cận tương tác hơn bằng cách sử dụng các độ cao khác nhau của hai người

tham gia, như được minh họa trong video đã ghi trước đó (4), để chứng minh rằng sự khác biệt giữa áp lực phế nang cuối thì thở ra và $PEEP_{set}$ làm tăng nỗ lực cần thiết để kích hoạt một nhịp thở. Chiến lược giảng dạy này cũng giúp minh họa rằng việc giảm sự khác biệt này bằng cách tăng $PEEP_{set}$ có thể giúp kích hoạt nhịp thở dễ dàng hơn. Cần phải cân nhắc hai điều khi dạy điểm thứ hai này cho học viên. Đầu tiên, việc tăng $PEEP_{set}$ không làm tăng $PEEP_{total}$ miễn là nó vẫn ở dưới $PEEP_{total}$ (17). Để không khí đi từ máy thở đến bệnh nhân, áp lực trong đường thở phải cao hơn áp lực trong phế nang. Nếu $PEEP_{set}$ vẫn ở dưới mức $PEEP_{total}$, độ dốc của lưu lượng khí vẫn duy trì từ bệnh nhân đến máy thở. Thứ hai, một quan niệm sai lầm phổ biến là chiến lược này là một phương pháp điều trị auto-PEEP; người hướng dẫn phải củng cố rằng chiến lược quản lý này chỉ điều chỉnh việc kích hoạt không hiệu quả. Trên thực tế, bằng cách cho phép bệnh nhân kích hoạt máy thở thường xuyên hơn, về mặt lý thuyết, người ta có thể làm trầm trọng thêm auto-PEEP.

SỬA ĐỔI KHUNG

Các khái niệm trên có thể được trình bày trong môi trường lớp học, trong các buổi giảng dạy bên giường bệnh hoặc trong các vòng ICU. Tuy nhiên, việc giảng dạy tài liệu này bằng khuôn khổ này có thể yêu cầu sửa đổi tùy thuộc vào vị trí, bối cảnh hoặc hạn chế về thời gian hoặc nguồn lực sẵn có. Trong bối cảnh lớp học có máy thở và phổi thử nghiệm có khả năng thay đổi R và C, phần trình bày kỹ lưỡng về chủ đề thường mất khoảng một giờ. Nếu không có phổi thử nghiệm hoặc máy thở, có thể cần phải cung cấp ảnh chụp màn hình các dạng sóng dạng sóng của máy thở mẫu hoặc minh họa chúng trên bảng trắng. Chúng tôi cũng đã sử dụng trình mô phỏng thông khí cơ học trực

tuyến, tương tác khi không có máy thở cơ học hoặc khi giảng dạy ảo (có sẵn với sự cho phép tại <https://iculearning.com/>). Các trình mô phỏng thông khí cơ học tương tự khác có sẵn ở định dạng truy cập mở (18).

Do hạn chế về thời gian của ICU, thường cần phải phân chia tài liệu và tập trung vào các khía cạnh cụ thể trong bất kỳ phiên nhất định nào. Ví dụ: khi đối mặt với một bệnh nhân mắc bệnh phổi tắc nghẽn nghiêm trọng, có thể đáng để tập trung vào cách nhóm có thể tiếp cận các cài đặt máy thở. Trong trường hợp này, dành 5–10 phút để giới thiệu phương trình phân rã tự nhiên và τ có thể là khoảng thời gian hợp lý. Điều này có thể được theo sau bởi một minh họa nhanh về phép tính τ ở đầu giường, sau đó là chuẩn độ cài đặt máy thở. Trong trường hợp này, mặc dù chúng có thể được đề cập ngắn gọn, nhưng các chi tiết cụ thể liên quan đến hậu quả lâm sàng của auto-PEEP hoặc xác định auto-PEEP trên dạng sóng của máy thở có thể được trình bày tốt nhất vào lúc khác (hoặc ngược lại). Theo kinh nghiệm của chúng tôi, mỗi thành phần của chủ đề auto-PEEP được trình bày ở trên đều tỏ ra khá có giá trị, ngay cả khi chủ đề không thể được trình bày một cách tổng thể.

KẾT LUẬN

Giảng dạy các nguyên tắc thở máy liên quan đến việc kết hợp sự pha trộn độc đáo và thú vị giữa sinh lý học tim phổi và ứng dụng lâm sàng. Đây có thể là một nhiệm vụ vô cùng bổ ích nhưng đầy thách thức. Trong bài viết này, chúng tôi cung cấp khuôn khổ giảng dạy nguyên tắc auto-PEEP thường bị bỏ qua. Các phương pháp chúng tôi cung cấp có thể được sử dụng ở đầu giường hoặc trong môi trường lớp học. Ngoài ra, do những hạn chế về thời gian thường liên quan đến việc giảng dạy bên giường bệnh, một số phần được

trình bày ở trên có thể được trình bày độc lập một cách hiệu quả, với một số bối cảnh ngắn gọn. Quan trọng nhất, việc giảng dạy hiệu quả các khái niệm này đòi hỏi nhà giáo dục phải thực hành và

liên tục trau dồi. Chúng tôi hy vọng rằng khuôn khổ này cung cấp một hướng dẫn hợp lý để giảng dạy chủ đề phức tạp này.

REFERENCES

1. Laghi F, Goyal A. Auto-PEEP in respiratory failure. *Minerva Anestesiol* 2012;78:201–221.
2. Luecke T, Pelosi P. Clinical review: positive end-expiratory pressure and cardiac output. *Crit Care* 2005;9:607–621.
3. Nieman GF, Paskanik AM, Bredenberg CE. Effect of positive end-expiratory pressure on alveolar capillary perfusion. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1988;95:712–716.
4. Maximous S, Acho M, Lee B. Best of ATS video lecture series: auto-PEEP and ineffective trigger; 2022 [accessed 2002 Feb 14]. Available from: <https://www.thoracic.org/professionals/clinical-resources/video-lecture-series/mechanical-ventilation/auto-PEEP-and-ineffective-trigger.php>.
5. Guttman J, Eberhard L, Fabry B, Bertschmann W, Zeravik J, Adolph M, et al. Time constant/volume relationship of passive expiration in mechanically ventilated ARDS patients. *Eur Respir J* 1995;8:114–120.
6. Bates JH, Decramer M, Chartrand D, Zin WA, Boddener A, Milic-Emili J. Volume-time profile during relaxed expiration in the normal dog. *J Appl Physiol* (1985) 1985;59:732–737.
7. Ferris BG Jr, Mead J, Opie LH. Partitioning of respiratory flow resistance in man. *J Appl Physiol* 1964;19:653–658.
8. Al-Rawas N, Banner MJ, Euliano NR, Tams CG, Brown J, Martin AD, et al. Expiratory time constant for determinations of plateau pressure, respiratory system compliance, and total resistance. *Crit Care* 2013;17:R23.
9. Hess DR. Respiratory mechanics in mechanically ventilated patients. *Respir Care* 2014;59:1773–1794.
10. Miyamoto Y, Saizen N. A new method for simultaneous measurement of total respiratory resistance and compliance. *Jpn J Physiol* 1972;22:453–466.
11. Blanch L, Bernabé F, Lucangelo U. Measurement of air trapping, intrinsic positive end-expiratory pressure, and dynamic hyperinflation in mechanically ventilated patients. *Respir Care* 2005;50:110–123, discussion 123–124.
12. Leatherman JW, Ravenscraft SA. Low measured auto-positive end-expiratory pressure during mechanical ventilation of patients with severe asthma: hidden auto-positive end-expiratory pressure. *Crit Care Med* 1996;24:541–546.
13. Georgopoulos D, Prinianakis G, Kondili E. Bedside waveforms interpretation as a tool to identify patient-ventilator asynchronies. *Intensive Care Med* 2006;32:34–47.
14. Leung P, Jubran A, Tobin MJ. Comparison of assisted ventilator modes on triggering, patient effort, and dyspnea. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;155:1940–1948.

15. Tobin MJ, Jubran A, Laghi F. Patient-ventilator interaction. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;163:1059–1063.
16. Guerin C, Milic-Emili J, Fournier G. Effect of PEEP on work of breathing in mechanically ventilated COPD patients. *Intensive Care Med* 2000;26:1207–1214.
17. Natalini G, Tuzzo D, Rosano A, Testa M, Grazioli M, Pennestrì V, et al.; VENTILAB group. Effect of external PEEP in patients under controlled mechanical ventilation with an auto-PEEP of 5 cmH₂O or higher. *Ann Intensive Care* 2016;6:53.
18. Navajas D, Almendros I, Otero J, Farré R. Open access spreadsheet application for learning spontaneous breathing mechanics and mechanical ventilation. *Breathe (Sheff)* 2021;17:210012.