



Review

Management of Intraoperative Mechanical Ventilation to Prevent Postoperative Complications after General Anesthesia: A Narrative Review

Alberto Fogagnolo ^{1,*}, Federica Montanaro ¹, Lou'i Al-Husinat ², Cecilia Turrini ¹, Michela Rauseo ³, Lucia Mirabella ³, Riccardo Ragazzi ¹, Irene Ottaviani ¹, Gilda Cinnella ³, Carlo Alberto Volta ¹ and Savino Spadaro ¹

Quản lý thông khí cơ học trong phẫu thuật để ngăn ngừa các biến chứng hậu phẫu sau gây mê toàn thân: Đánh giá tường thuật

Dịch bài: BS Đặng Thanh Tuấn – Bệnh viện Nhi Đồng 1

Tóm tắt

Thông khí cơ học (mechanical ventilation – MV) vẫn cần thiết trong nhiều quy trình phẫu thuật; tuy nhiên, MV trong phẫu thuật không phải là không có tác dụng phụ. Các chiến lược thông khí bảo vệ, bao gồm sự kết hợp giữa thể tích khí lưu thông thấp và mức áp lực dương cuối thì thở ra (positive end expiratory pressure – PEEP) đầy đủ, thường được áp dụng để giảm thiểu tổn thương phổi do thông khí và tránh các biến chứng phổi sau phẫu thuật (post-operative pulmonary complications – PPC). Mặc dù vậy, chấn thương thể tích (volutrauma) và chấn thương xẹp phổi (atelectrauma) có thể cùng tồn tại ở các mức thể tích khí lưu thông và PEEP khác nhau, và do đó, nên theo dõi phản ứng sinh lý đối với cài đặt MV ở mỗi bệnh nhân. Một cách tiếp cận chu phẫu được cá nhân hóa đang trở nên phù hợp trong lĩnh vực MV trong phẫu thuật; đặc biệt, nhiều nỗ lực đã được thực hiện để cá nhân hóa PEEP, chú trọng hơn đến tình trạng sinh lý và chức năng của toàn bộ cơ thể. Trong bài đánh

giá này, chúng tôi đã tóm tắt những phát hiện mới nhất về việc tối ưu hóa PEEP và MV trong phẫu thuật ở các môi trường phẫu thuật khác nhau. Bắt đầu từ quan điểm sinh lý học, chúng tôi đã mô tả cách tiếp cận MV được cá nhân hóa và theo dõi tác động của MV đối với chức năng phổi.

1. Giới thiệu

Thông khí cơ học (MV) vẫn cần thiết trong nhiều quy trình phẫu thuật để cung cấp trao đổi khí trong quá trình gây mê toàn thân (general anesthesia – GA) [1, 2]. Khái niệm tổn thương phổi do thở máy đã được biết đến từ lâu; thực sự, cài đặt MV không phù hợp có thể dẫn đến cả xẹp phổi và căng phổi quá mức [3-5]. Hầu hết các nghiên cứu về thở máy bảo vệ đều tập trung vào bệnh nhân mắc hội chứng suy hô hấp cấp tính (ARDS), trong đó thể tích khí lưu thông (tidal volume – V_T) thấp và áp lực dương cuối kỳ thở ra (PEEP) phù hợp là hữu ích để giảm thiểu tác động nguy hiểm của MV [6-9].

Như đã mô tả ở bệnh nhân ARDS, cũng trong GA, thể tích khí lưu thông cao hơn tạo ra phản ứng viêm và tổn thương phổi; kết quả là, nhiều nghiên cứu đã phát hiện ra rằng việc sử dụng V_T cao hơn ở những bệnh nhân trải qua GA làm tăng tỷ lệ mắc bệnh và tử vong [10]. Mặt khác, việc sử dụng thể tích khí lưu thông thấp trong phẫu thuật có thể làm giảm các biến chứng phổi sau phẫu thuật (PPC) [7].

Trong những thập kỷ qua, nghiên cứu tập trung vào việc phát triển các chiến lược thông khí bảo vệ để ngăn ngừa PPC; thật vậy, MV nên cung cấp sự trao đổi khí đồng thời giảm thiểu stress và strain cho phổi [3, 11]. Từ quan điểm lâm sàng, mục đích này có thể đạt được bằng cách kết hợp hiểu biết sinh lý sâu sắc về các thông số thông khí khác nhau và theo dõi liên tục tác động của chúng đối với phổi. Một số thử nghiệm lâm sàng ngẫu nhiên (randomized clinical trials – RCT) không tìm được chiến lược thông khí cụ thể có thể giảm PPC [12-14]. Tính không đồng nhất của bệnh nhân có thể là một trong những yếu tố gây nhiễu chính dẫn đến RCT âm tính. Một kích thước có thể không phù hợp với tất cả và cùng một cài đặt MV có thể không phù hợp với tất cả bệnh nhân. Một cách tiếp cận cá nhân hóa có thể góp phần vượt qua thách thức do tính không đồng nhất của bệnh nhân đưa ra.

Đánh giá tường thuật này nhằm mục đích cung cấp kiến thức hiện tại về cách thiết lập thở máy trong các loại phẫu thuật khác nhau (ví dụ: phẫu thuật bụng mở, nội soi ổ bụng và phẫu thuật lồng ngực) để giảm nguy cơ PPC.

2. Vật liệu và phương pháp

Chúng tôi đã thực hiện đánh giá tường thuật sau khi tìm kiếm tài liệu trong PubMed bằng cách sử dụng các thuật ngữ Tiêu đề chủ đề y tế sau: gây

mê toàn thân, xẹp phổi sau phẫu thuật, suy hô hấp, biến chứng phổi sau phẫu thuật, đánh giá nguy cơ, chăm sóc trước phẫu thuật, theo dõi trong phẫu thuật, chăm sóc sau phẫu thuật, áp lực dương cuối thì thở ra, y học chính xác, thở máy trong phẫu thuật.

Tiêu chí lựa chọn của tổng quan này là: (1) bệnh nhân người lớn tham gia, (2) bài báo tiếng Anh, (3) bài báo liên quan đến so sánh giữa các phương pháp thở máy quan trọng nhất trong các bối cảnh vận hành khác nhau. Báo cáo trường hợp và ý kiến chuyên gia đã bị loại trừ.

3. Vai trò của thể tích khí lưu thông

Nhu cầu về thể tích khí lưu thông trong phẫu thuật thấp (6–8 mL/kg trọng lượng cơ thể lý tưởng) trong GA được nêu ra bởi một số nghiên cứu quan sát [15], RCT [7] và phân tích tổng hợp [16, 17]. Chúng tôi sẽ cố gắng làm rõ liệu chấn thương thể tích có xảy ra độc lập với tất cả các cài đặt thông khí khác hay không.

Chấn thương thể tích thường được mô tả là một hiệu ứng thở máy nguy hiểm được đặc trưng bởi sự căng quá mức (overdistension) của phổi [18]. Điều này xảy ra khi năng lượng được áp dụng làm căng các đơn vị phổi lặp đi lặp lại trên tổng sức căng liên quan đến dung tích phổi [19], dẫn đến kích hoạt phản ứng viêm. Đáng chú ý, trong trường hợp xẹp phổi, điều này phổ biến trong GA [20], một số phần của phổi có thể bị căng từ sức căng liên quan đến dung tích phổi tổng ngay cả khi thông khí với thể tích khí lưu thông bình thường [21]. Vấn đề này có liên quan đến khái niệm về chấn thương do xẹp phổi, trong đó các vùng phổi có độ đàn hồi khác nhau cùng tồn tại và các điểm nối giữa các vùng này đóng vai trò là “bộ tăng áp lực” (stress risers) [22, 23].

Sự xuất hiện của xẹp phổi được tăng cường bằng cách sử dụng thông khí V_T thấp; gần đây, một nghiên cứu sinh lý học đã xác nhận rằng PEEP tốt nhất (được định nghĩa là mức PEEP liên quan đến áp lực đẩy thấp nhất) phụ thuộc vào thể tích khí lưu thông được sử dụng và thể tích khí lưu thông thấp hơn thường yêu cầu mức PEEP cao hơn [24]. Có một số nghiên cứu lâm sàng xác nhận các khái niệm sinh lý này. Một nghiên cứu quan sát lớn điều tra hơn 29.000 bệnh nhân đã xác định sự kết hợp giữa V_T thấp (6 mL/kg) và PEEP tối thiểu (2–3 cmH₂O) là yếu tố nguy cơ tử vong sau phẫu thuật [15]. Theo đó, một phân tích tổng hợp của thử nghiệm ngẫu nhiên cho thấy việc sử dụng thể tích khí lưu thông thấp chỉ có thể giảm thời gian nằm viện khi sử dụng PEEP (đầy đủ) [17]. Đáng chú ý, một nghiên cứu tiền cứu đa trung tâm cho thấy nguy cơ PPC tăng 12% đối với mililit trên mỗi kg PBW của V_T , ngay cả khi sử dụng phạm vi V_T tương đối an toàn (trung bình 8 mL/Kg IBW) [9]. Do đó, V_T bằng 8 mL/kg, ngay cả khi được coi là bảo vệ rộng rãi, vẫn có thể là quá nhiều đối với một số bệnh nhân.

Mặt khác, một số nghiên cứu thực nghiệm cho thấy các tác động nguy hiểm của V_T không phụ thuộc vào các thông số khác của máy thở. Trong các mô hình động vật, V_T cao có liên quan đến sự xuất hiện của VILI mặc dù áp lực cao nguyên và tần số hô hấp thấp [25]; do đó, tác động của V_T cao đối với VILI lớn hơn tác động có thể dự đoán được bằng phân tích các cài đặt thông khí khác [26]. Hơn nữa, thiệt hại dẫn đến bởi V_T cao có thể được phát hiện ngay lập tức, trong khi hiệu ứng thiệt hại do các biến số khác gây ra chậm hơn [26]. Theo đó, V_T cao tự nó có khả năng tạo ra chấn thương thể tích, bất kể các cài đặt thông khí khác.

4. Vai trò của PEEP

Trong khi có sự đồng thuận rộng rãi về việc áp dụng V_T thấp trong GA, thì làm thế nào để thiết lập mức PEEP phù hợp còn được tranh luận nhiều hơn. Trong một RCT được biết đến rộng rãi, mức PEEP cao hơn (12 cmH₂O) có liên quan đến suy giảm huyết động cao hơn và không có lợi ích lâm sàng khi so sánh với PEEP thấp (tức là 2 cmH₂O) [12]. Tuy nhiên, một số tác giả ủng hộ rằng cách tiếp cận phi cá nhân hóa này đã thất bại trong việc mô tả dân số bệnh nhân [27, 28]. Theo quan điểm “một cỡ không phù hợp với tất cả” và khả năng đáp ứng sinh lý nên hướng dẫn việc đưa vào các thử nghiệm lâm sàng [29], gần đây, nhiều tác giả đã nghiên cứu tác động của việc thiết lập PEEP dựa trên các thông số sinh lý.

Trong số các thông số sinh lý liên quan đến cài đặt PEEP, áp lực đẩy đóng vai trò then chốt. Áp lực đẩy (driving pressure – ΔP) là sự khác biệt giữa áp lực bình nguyên và PEEP và cũng có thể được biểu thị bằng tỷ lệ giữa thể tích khí lưu thông với độ giãn nở của hệ hô hấp (V_T/Crs). Strain là thước đo biến dạng vật liệu so với trạng thái ban đầu của nó. Trong MV kiểm soát thể tích, sự thay đổi thể tích phổi được biểu thị bằng V_T và thể tích phổi ban đầu, tương ứng với dung tích cận chức năng (FRC). Do đó, sức căng phổi thể tích toàn cục có thể được ước tính là V_T/FRC . Vì Crs tương quan với FRC [30], nên ΔP có thể được hiểu là giá trị gần đúng của strain phổi toàn cục [31].

Một phép đo chính xác về cơ học hô hấp sẽ cần một khoảng giữ thì hít vào (inspiratory hold), điều này không phổ biến ở máy thở gây mê, nhưng có thể đạt được giá trị gần đúng có thể chấp nhận được bằng cách tăng khoảng dừng cuối kỳ hít vào (end-inspiratory pause) lên 30 hoặc 40% [32, 33]. Áp lực đẩy cung cấp một đại

diện thay thế dễ dàng có sẵn cho tình trạng căng phổi toàn cục. Trong một phân tích tổng hợp dữ liệu bệnh nhân riêng lẻ, ΔP cao trong phẫu thuật có liên quan độc lập với PPC [34]. Các kết quả tương tự cũng được thể hiện qua một nghiên cứu quan sát trên gần 70.000 bệnh nhân với sự gia tăng tỷ số chênh khi $\Delta P > 12,5$ cmH₂O [8]. Cuối cùng, một thử nghiệm ngẫu nhiên của Park và cộng sự cho thấy thông khí theo hướng dẫn của ΔP (nghĩa là điều chỉnh PEEP trên ΔP thấp nhất) có liên quan đến tỷ lệ PPC thấp hơn khi so sánh với thông khí thông thường trong phẫu thuật lồng ngực [35]. Tuy nhiên, chúng tôi phải nhấn mạnh rằng nghiên cứu ngẫu nhiên này được thực hiện trong quá trình thông khí một phổi và do đó, kết quả của nó không thể mở rộng sang các môi trường khác. Hơn nữa, những kết quả này phải được xác nhận bởi một RCT đa trung tâm lớn trước khi đủ mạnh để tạo ra một tuyên bố.

Có một số yếu tố hỗ trợ việc sử dụng ΔP trong phẫu thuật để hướng dẫn thở máy: sẵn có rộng rãi, dễ tính toán và dựa trên sinh lý học. Đáng chú ý, cũng có một số hạn chế. Đầu tiên, hầu hết các nghiên cứu tập trung vào ΔP đều được thực hiện ở những bệnh nhân bị bệnh nặng và kết quả của chúng có thể không phù hợp ở những bệnh nhân có phổi khỏe mạnh [36, 37]. Hơn nữa, tính hữu ích của ΔP chủ yếu liên quan đến khả năng ước tính áp lực và sức căng của phổi, nhưng ΔP là thước đo các đặc tính cơ học của toàn bộ hệ thống hô hấp chứ không chỉ của phổi [38]. Do đó, những thay đổi về độ giãn nở của thành ngực có thể hạn chế tính hữu ích của việc sử dụng ΔP làm giới hạn an toàn để tránh PPC. Có một số tình huống lâm sàng phổ biến trong đó độ giãn nở của thành ngực dẫn đến sự khác biệt nghiêm trọng giữa ΔP và áp lực xuyên phổi (tràn khí phúc mạc, tăng áp lực trong ổ bụng, béo phì, tư thế Trendelenburg) sẽ được

thảo luận thêm trong tổng quan này. Hơn nữa, tính không đồng nhất của phổi có thể dẫn đến căng quá mức khu vực ngay cả ở mức ΔP “an toàn” [21]. Do đó, đặc biệt ở những bệnh nhân có nguy cơ cao, việc theo dõi ΔP không đủ để đảm bảo MV bảo vệ.

Cuối cùng, vẫn chưa có sự thống nhất về cách đặt PEEP theo ΔP . Thật vậy, ΔP có thể không đổi qua một số mức PEEP. Vấn đề này dường như không ảnh hưởng đến kết quả lâm sàng trong bối cảnh ARDS [36] hay không, chỉ có một số nghiên cứu điều tra chủ đề này trong môi trường phòng mổ (operating room – OR). Ý kiến của chuyên gia đề nghị giảm thiểu cả ΔP và áp lực cao nguyên; do đó, khi các mức PEEP khác nhau được liên kết với ΔP “tốt nhất” có thể đạt được, thì nên đặt mức thấp nhất [39]. Khác biệt, trong thử nghiệm “Designation” đang diễn ra được thực hiện trong phẫu thuật mở bụng, PEEP cao nhất liên quan đến ΔP thấp nhất được đặt [40]. Một yếu tố gây nhiễu khác được thể hiện bằng việc lựa chọn PEEP với thử nghiệm tăng dần hoặc giảm dần. Thử nghiệm giảm dần bao gồm một thủ thuật huy động (recruitment maneuver – RM) sau đó là giảm dần PEEP (thường được thực hiện ở bước 2 cmH₂O); thử nghiệm PEEP gia tăng không thể bao gồm RM và thường được thực hiện với mức PEEP tăng dần cho đến giới hạn an toàn được chỉ định trước. Gần đây, tác dụng sinh lý của hai phương pháp này đã được so sánh trong một thử nghiệm ngẫu nhiên được thực hiện trong phẫu thuật lồng ngực, sẽ được thảo luận trong tiêu đề phụ chuyên dụng [41].

5. Thủ thuật huy động

Do mối liên hệ đã biết giữa GA và xẹp phổi, RM được sử dụng rộng rãi để mở phổi trước khi áp dụng PEEP [42]. Thật vậy, từ quan điểm sinh lý

học, cần nhiều áp lực hơn để mở phế nang bị xẹp so với việc giữ cho phế nang mở [43].

Các thủ thuật huy động có thể được thực hiện theo nhiều cách và vẫn chưa có thỏa thuận nào về cách nào có thể mang lại hiệu quả thuận lợi nhất. Một cách tiếp cận phổ biến yêu cầu sử dụng ứng dụng CPAP để đạt được áp lực tĩnh 30–40 cmH₂O trong 30–40 giây [7, 44]; tuy nhiên, ý kiến chuyên gia cho rằng áp lực tăng dần có thể được dung nạp tốt hơn từ quan điểm huyết động học [45]. Do đó, các nghiên cứu gần đây hơn thường liên quan đến RM từng bước với mức tăng dần PEEP [46–48] hoặc thể tích khí lưu thông [49, 50]. Áp lực mục tiêu cũng có thể thay đổi, từ áp lực ổn định là 30 cmH₂O [49] đến 45 [47] hoặc áp lực cực đại là 50 cmH₂O [51]. Một số khác biệt khác có thể được mô tả, bao gồm thời lượng của RM, số lượng RM trong khi phẫu thuật và tỷ lệ hít vào:thở ra được sử dụng. Do đó, một phân tích tổng hợp gần đây điều tra tác động của RM trong GA đã mô tả sự không đồng nhất đáng kể giữa các nghiên cứu [52].

Tính không đồng nhất như vậy có thể giải thích một phần lý do tại sao ảnh hưởng của RM đối với sự xuất hiện của PPC vẫn chưa rõ ràng, đặc biệt là trong quá trình phẫu thuật nội soi. Severgnini và cộng sự [1] cho thấy RM có thể làm giảm sự xuất hiện của PPC vào ngày hậu phẫu đầu tiên. Tuy nhiên, họ đã so sánh chiến lược thông khí bảo vệ có RM với chiến lược thông khí không bảo vệ không có PEEP; do đó, hiệu quả thực sự của RM là không thể suy ra. Tương tự, Weingarten và cộng sự cho thấy lợi ích trong phẫu thuật của RM khi so sánh với chiến lược ZEEP [53]. Đáng chú ý, các nghiên cứu tập trung vào RM trong GA không tính đến khả năng huy động của phổi, điều này có thể khác biệt đáng kể tùy theo bệnh đi kèm cơ bản của bệnh nhân và vị

trí phẫu thuật [54]. Ngoài ra, RM thường được dung nạp tốt về mặt huyết động nhưng dường như không thoát khỏi nguy cơ căng quá mức, như được mô tả ở những bệnh nhân bị bệnh nặng [37]; một RCT gần đây, thực sự, đã tìm thấy mức độ cao hơn của thụ thể đối với các sản phẩm cuối cùng của glycation tiên tiến (advanced glycation end-products), một dấu hiệu của tổn thương biểu mô phổi [55], ở những bệnh nhân được điều trị bằng RM trong phẫu thuật [56]. Các nghiên cứu sâu hơn là cần thiết để làm sáng tỏ những bệnh nhân nào nên được điều trị bằng RM trong phẫu thuật và bằng cách nào.

6. Công suất cơ học

Do sự phức tạp của sự tương tác giữa nhiều biến hô hấp, nhiều nỗ lực đã được thực hiện để đạt được một phân tích toàn diện về năng lượng do máy thở cung cấp cho bệnh nhân. Công suất cơ học (mechanical power – MP) là một biến tóm tắt bao gồm tất cả các thành phần có thể gây ra VILI. MP được tính theo công thức:

$$\text{Công suất} = RR \times \{\Delta V_T^2 \times [1/2 \times ELrs + RR \times ((1 + I:E))/(60 \times I:E) \times Raw] + \Delta V_T^2 \times PEEP\}$$

trong đó RR là tần số hô hấp, V_T là thể tích khí lưu thông, ELrs là độ đàn hồi của hệ hô hấp và Raw là sức cản đường thở [57]. Giá trị cao hơn của MP có liên quan đến tổn thương phổi; mặc dù vậy, các nghiên cứu được thực hiện trên phổi khỏe mạnh trong quá trình gây mê toàn thân hầu hết được tiến hành trên động vật [26, 58, 59].

Công thức MP có thể cung cấp cho bác sĩ gây mê khả năng cân bằng tác động của từng thông số hô hấp lên phổi. Ví dụ, ảnh hưởng của thể tích khí lưu thông, được bình phương trong công thức, chiếm ưu thế. Hơn nữa, có vẻ như tác dụng của PEEP là phân đôi: nó làm tăng MP nhưng cũng có khả năng giảm nó thông qua việc

giảm ELrs. Cuối cùng, công thức MP nhấn mạnh rằng nhịp hô hấp, thường bị bỏ qua khi thảo luận về nguồn gốc của VILI, có mối tương quan tuyến tính với lượng năng lượng được cung cấp cho phổi.

Mặc dù cơ sở sinh lý mạnh mẽ của MP, một số giới hạn cần được xem xét. Đầu tiên, việc xác nhận công thức MP trong một nhóm phẫu thuật lớn vẫn còn thiếu, chỉ có một nghiên cứu nhỏ được thực hiện trong phẫu thuật lồng ngực [60]. Thứ hai, do sự phức tạp của công thức, các phương trình dễ dàng hơn đang được thử nghiệm để cho phép tính toán MP dễ dàng hơn tại giường bệnh [61, 62]. Cuối cùng, mặc dù giá trị MP thấp, thiệt hại cục bộ vẫn có thể xảy ra trong trường hợp thông khí không đồng nhất với hiện tượng xẹp phổi và siêu bơm phòng đồng thời.

7. Nhịp thở

Vai trò của tần số hô hấp trong quá trình hình thành VILI thường bị đánh giá thấp, với các hướng dẫn chung ủng hộ RR trong phẫu thuật dựa trên áp lực carbon dioxide cuối thì thở ra (ETCO₂) hơn là dựa trên các đặc điểm cơ học [63]. Mặc dù vai trò chính của RR có thể là giữ ETCO₂ trong phạm vi, nhưng chúng ta cũng nên xem xét rằng RR tỷ lệ thuận với công suất cơ học và do đó không có khả năng vô hại trong quá trình hình thành VILI [64]. Về mặt sinh lý bệnh, tần số hô hấp cao hơn dẫn đến tốc độ lưu lượng cao hơn để duy trì V_T nhất định [65]. Theo đó, trong một mô hình thử nghiệm, việc giảm tần số hô hấp giúp cải thiện các chỉ số tổn thương phổi [66], và tần số thở máy cao gần đây (≥ 14 nhịp thở/phút) có liên quan đến tỷ lệ PPC cao hơn ở 102.632 bệnh nhân [65].

Trước đây, việc tăng thông khí phút với RR cao hơn là phổ biến để tránh tăng CO₂ máu, nhưng hiện nay, ngày càng có nhiều bằng chứng cho thấy tăng CO₂ máu cho phép thậm chí có thể bảo vệ phổi [67]. Theo đó, chỉ định lâm sàng cho RR cao trong GA đặc biệt hạn chế. Hơn nữa, khi sử dụng nhịp thở cao, nên theo dõi liên tục đường cong lưu lượng-thời gian do nguy cơ phát triển PEEP nội sinh [63], có thể khó phát hiện trong môi trường phòng mổ nhưng có thể là nguyên nhân gây ra căng phòng phổi động và hậu quả huyết động học.

8. Giới hạn lưu lượng thở ra

Giới hạn lưu lượng thở ra (expiratory flow limitation – EFL) là một tình trạng bệnh lý được đặc trưng bởi sự giảm mạnh lưu lượng thở ra liên quan đến tăng nguy cơ PPC ở bệnh nhân được gây mê toàn thân [68]. Ở những bệnh nhân thở máy, EFL thường được xác định bằng lưu lượng thở ra không tăng khi PEEP giảm, còn được gọi là thử nghiệm PEEP [69]. Trong quá trình gây mê, các giá trị FRC có thể thay đổi dưới khả năng đóng, gây ra các đường dẫn khí nhỏ có thể đóng lại và do đó, hiện tượng “đóng-mở”.

Điều này có thể đóng góp cho PPC thông qua các con đường khác nhau. Việc đóng theo chu kỳ như vậy dẫn đến giảm lưu lượng thở ra cùng với áp lực vật lý lên thành đường thở, thúc đẩy quá trình viêm [70]. Hơn nữa, EFL có thể gây ra hiện tượng căng quá mức khu vực [69], điều này rất khó phát hiện trong GA. Hơn nữa, sự xuất hiện của EFL trong quá trình thở máy có thể làm giảm hiệu quả của ho sau phẫu thuật và làm sạch chất tiết trong đường thở nhỏ hơn [71-73].

Do mối quan hệ giữa sự xuất hiện của EFL và PPC, nên đánh giá EFL thường xuyên; điều này đặc biệt có liên quan vì EFL trong phẫu thuật

thường có thể đảo ngược ít nhất một phần. Trong một nghiên cứu liên quan đến bệnh nhân ARDS, PEEP ngoại sinh có thể làm giảm PEEP nội sinh ở bệnh nhân EFL [74]. Theo đó, một nghiên cứu quan sát đã chứng minh phản ứng “nghịch lý” đối với PEEP ở bệnh nhân EFL, tức là giảm siêu bơm phòng khi tăng PEEP [75]. Điều này có lẽ là do việc áp dụng PEEP có thể ổn định các đường dẫn khí nhỏ và do đó cải thiện khả năng làm rỗng phổi.

9. Nồng độ oxy hít vào

Trớ trêu thay, cài đặt cuối cùng được thảo luận trong tổng quan này có lẽ là thông số máy thở đầu tiên được thay đổi trong thực hành lâm sàng cả trong quá trình gây mê [76] và trong quá trình thiếu oxy trong phẫu thuật. Trong chiến lược phẫu thuật toàn quốc gần đây được tiến hành tại Đài Loan, thực tế, nồng độ oxy cao ($F_{iO_2} > 0,8$) là biện pháp can thiệp phổ biến được áp dụng khi độ bão hòa oxy giảm xuống dưới 94% [77]. Mặc dù vậy, mức độ đầy đủ của F_{iO_2} trong phẫu thuật thường bị bỏ qua khi thảo luận về các chiến lược thông khí bảo vệ.

Từ quan điểm sinh lý bệnh học, có những cạm bẫy và lợi thế của việc sử dụng F_{iO_2} cao hơn hoặc thấp hơn. F_{iO_2} cao hơn có thể thúc đẩy độ bão hòa oxy (StO_2) của mô (cơ) cao hơn, đặc biệt là ở vị trí rạch phẫu thuật; điều này giúp tăng cường hoạt động tiêu diệt vi khuẩn và có thể làm giảm tỷ lệ nhiễm trùng vết mổ (surgical site infection – SSI). Tuy nhiên, một phân tích tổng hợp lớn đã không đưa ra kết luận dứt khoát về mối liên hệ giữa tỷ lệ nhiễm trùng vết mổ cao hơn và thấp hơn [78]. Mặc dù thiếu bằng chứng lâm sàng mạnh mẽ, Tổ chức Y tế Thế giới (Geneva, Thụy Sĩ) khuyến cáo sử dụng F_{iO_2} cao trong quá trình phẫu thuật, cũng như trong giai đoạn hậu phẫu, để ngăn ngừa SSI [79].

Mặt khác, F_{iO_2} trong phẫu thuật cao trong GA có thể ảnh hưởng đến hệ hô hấp, dẫn đến hình thành xẹp phổi [20] và sự phát triển của vi khuẩn [80], và hệ tim mạch [81], dẫn đến giảm cung lượng tim và tăng sức cản mạch máu. Xẹp phổi cũng là một trong những biến chứng phổi thường xảy ra nhất sau GA và có thể ảnh hưởng đến quá trình phục hồi sau phẫu thuật; thật vậy, xẹp phổi có thể được phát hiện trong vòng 4 ngày khi đánh giá sau phẫu thuật [82] và có liên quan đến sự xuất hiện của viêm phổi [80]. Để hỗ trợ cho giả thuyết này, hai nghiên cứu hồi cứu lớn đã chỉ ra rằng F_{iO_2} trong phẫu thuật cao có liên quan đến cách thức phụ thuộc vào liều lượng trong các biến chứng hô hấp nghiêm trọng và với tỷ lệ tử vong trong 30 ngày [83, 84]. Những kết quả này không được xác nhận trong RCT so sánh hai tỷ lệ F_{iO_2} “cố định” (30% so với 80%), trong đó không có lợi ích hoặc tác hại nào được chỉ ra [85].

10. Bối cảnh đặc biệt: Phẫu thuật nội soi

Phẫu thuật nội soi đang ngày càng phổ biến do tính xâm lấn ít của thủ thuật. Nó cho phép các vết mổ nhỏ hơn và giảm đau sau phẫu thuật có thể giúp tăng cường phục hồi sau phẫu thuật [86]. Tuy nhiên, thủ thuật nội soi ổ bụng không phải là không có nguy cơ, đặc biệt là khi thảo luận về MV. Quả thực, tràn khí phúc mạc gây ra gia tăng áp lực trong ổ bụng (intraabdominal pressure – IAP) ảnh hưởng nghiêm trọng đến cơ học hô hấp [87].

Tràn khí phúc mạc ở những bệnh nhân được gây mê xác định sự dịch chuyển về phía đầu của cơ hoành, tiếp tục làm giảm dung tích cặn chức năng (functional residual capacity – FRC) và thúc đẩy hình thành xẹp phổi [88]. Hơn nữa, nó quyết định việc giảm độ giãn nở của hệ

thống hô hấp bằng cách làm cứng thành phần thành ngực. Do đó, đối với cùng một thể tích khí lưu thông, một lượng áp lực lớn hơn sẽ được dành cho thành ngực xác định việc giảm áp lực làm căng phổi, đó là áp lực xuyên phổi [89].

Áp lực xuyên phổi (transpulmonary pressure – P_L) là áp lực thực áp dụng cho nhu mô phổi xác định sự bơm phồng, và nó được tính bằng áp lực đường thở trừ đi áp lực màng phổi ($Paw - Ppl$). Trong quá trình tràn khí phúc mạc, việc giảm P_L có thể dẫn đến xẹp phổi, đặc biệt là ở các vùng phổi phụ thuộc, làm xấu đi cơ học phổi và trao đổi khí, đồng thời có lợi cho cả PPC và VILI [90]. Cuối cùng, việc áp dụng bơm hơi phúc mạc dẫn đến tăng cường shunt phổi trong phẫu thuật và có thể ảnh hưởng đến quá trình oxygen hóa trong phẫu thuật [91].

Một số chiến lược đã được đề xuất để đảo ngược các sửa đổi cơ học hô hấp. PEEP có thể làm đối trọng với IAP tăng lên và khôi phục cơ học phổi được cải thiện. Trong một nghiên cứu tiến cứu, PEEP cần thiết trong phẫu thuật nội soi để giảm shunt và cải thiện Crs cao hơn so với phẫu thuật mở bụng [91]. Bệnh nhân trải qua nội soi ổ bụng cần PEEP là 10 cmH₂O để đạt được kết quả sinh lý tương tự như trong phẫu thuật mở bụng với PEEP là 5 cmH₂O [91].

Nhiều quy trình nội soi (phẫu thuật tiết niệu, phụ khoa) cần ứng dụng vị trí Trendelenburg để tăng cường hơn nữa việc truyền IAP đến ngực. Cinnella và cộng sự [92] đã chứng minh trên các bệnh nhân phụ khoa trải qua phẫu thuật nội soi rằng tràn khí phúc mạc và vị trí Trendelenburg làm xấu đi cơ học hô hấp với một sự xáo trộn quan trọng trong thành phần thành ngực, E_{CW} tăng 30% và E_L tăng 20%. Kết quả là, cả áp lực cuối thì hít vào và cuối thì thở ra xuyên phổi đều giảm. Họ đã chứng minh rằng

phương pháp tiếp cận phổi mở (open lung approach – OLA), bao gồm RM, sau đó là ứng dụng PEEP 5 cmH₂O, kích thích huy động phế nang, cải thiện cả E_{CW} và E_L và cuối cùng là cải thiện trao đổi khí. RM có thể mở các phế nang bị xẹp và cải thiện quá trình oxygen hóa động mạch. RM và PEEP sau khi gây tràn khí màng bụng giúp cải thiện độ đàn hồi và oxygen hóa của hệ hô hấp ở cả bệnh nhân khỏe mạnh và béo phì [51, 93].

Bên cạnh tác dụng sinh lý của PEEP và RM đối với phổi, câu hỏi thực sự chưa được giải quyết nằm ở việc định lượng loại can thiệp này và điều chỉnh chúng theo các đặc điểm cụ thể của bệnh nhân. Do vai trò của ΔP trong phẫu thuật nội soi, đặc biệt là trong tư thế Trendelenburg, bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi độ giãn nở của thành ngực, nên việc theo dõi chính xác tác động của MV đối với phổi là một thách thức. Gần đây, một phương pháp mới đã được giới thiệu trong đó các giá trị PEEP được chọn để cân bằng các tác động bất lợi của IAP; để đạt được mục tiêu này, các tác giả đã nhắm mục tiêu các giá trị PEEP trên IAP riêng lẻ bằng cách áp dụng 2 cmH₂O của PEEP trên IAP. So với PEEP tiêu chuẩn, giá trị PEEP được nhắm mục tiêu trên IAP (phạm vi 10–17 cmH₂O) dẫn đến P_L thấp hơn [94].

Một phương pháp hứa hẹn khác để đạt được sự thỏa hiệp tốt nhất giữa xẹp phổi và căng quá mức là đặt PEEP bằng cách sử dụng theo dõi chụp cắt lớp trở kháng điện (electrical impedance tomography – EIT). Nó cho phép đánh giá từng hơi thở về sự thay đổi động của thể tích phổi và nó đã được áp dụng trong một số lĩnh vực bao gồm cả y học chu phẫu [95]. Trong quá trình phẫu thuật nội soi, EIT có thể đánh giá tính đồng nhất phân phối thông khí ở các mức PEEP khác nhau [96, 97] EIT cũng có thể được sử dụng để tối ưu hóa PEEP tại giường nhằm duy trì

FRC và oxygen hóa bình thường [98]. Đáng chú ý, một thử nghiệm ngẫu nhiên gần đây cho thấy rằng trong quá trình phẫu thuật cắt bỏ tuyến tiền liệt triệt để bằng phương pháp nội soi, PEEP được cá nhân hóa (phạm vi 8–20) có liên quan đến thể tích phổi cuối thì thở ra cao hơn và chỉ số không đồng nhất toàn cục (global inhomogeneity index – GI) thấp hơn khi so sánh với PEEP 5 cmH₂O [99]. Trong nghiên cứu này, PEEP được cá nhân hóa theo chỉ số độ trễ thông khí khu vực (regional ventilation delay index – RVDI), một tham số hữu ích để ước tính lượng huy động khí lưu thông theo chu kỳ [100]. Độ không đồng nhất của độ trễ thông khí khu vực được định nghĩa là độ lệch chuẩn của độ trễ thông khí khu vực (regional ventilation delay – RVD) trong tất cả các pixel. RVD là thước đo độ trễ thời gian trong việc phân phối không khí được hít vào ở các vùng khác nhau của phổi (nghĩa là sự không đồng nhất về thời gian xảy ra ở phổi được thông khí); do như vậy, RVDI nhỏ hơn biểu thị phân phối đồng nhất hơn. Ngoài ra, một RCT nhỏ cho thấy rằng cài đặt PEEP theo hướng dẫn EIT trong phẫu thuật cũng có thể làm giảm xẹp phổi sau phẫu thuật [3].

Cuối cùng, cài đặt PEEP “tối ưu” sẽ cải thiện quá trình oxygen hóa động mạch mà không làm suy giảm huyết động [101–104]. Ngay cả khi nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng mức PEEP tăng có ảnh hưởng nhẹ và thoáng qua đến cung lượng tim [92], việc theo dõi huyết động ở những bệnh nhân có nguy cơ cao vẫn được đề xuất.

11. Bối cảnh đặc biệt: Phẫu thuật lồng ngực

Trong quá trình phẫu thuật lồng ngực, thông khí một phổi (one lung ventilation – OLV) được sử dụng để tạo điều kiện thuận lợi cho việc tiếp cận phẫu thuật. Oxygen hóa động mạch bị suy giảm

trong quá trình OLV do shunt qua phổi không phụ thuộc [33]. Hơn nữa, sự xuất hiện của xẹp phổi trong phổi được thông khí càng làm giảm quá trình oxygen hóa bằng cách giảm thể tích phổi được thông khí. Lưu lượng của máu qua các vùng không được thông khí của phổi phụ thuộc làm tăng shunt trong phẫu thuật và suy giảm oxygen hóa. Bên cạnh nguy cơ thiếu oxy trong phẫu thuật, bệnh nhân trải qua phẫu thuật lồng ngực cũng tăng nguy cơ mắc PPC, do các quá trình bệnh có từ trước, mất nhu mô phổi chức năng (cắt bỏ phổi), chấn thương phẫu thuật và tác động bất lợi của MV [105].

Cần nhấn mạnh rằng, trong bối cảnh của OLV, V_T thường được áp dụng (nghĩa là 6–8 mL/kg IBW) sẽ dẫn đến V_T cao không thể chấp nhận được trong phổi được thở máy, do đó phải xem xét giảm thêm V_T . Gần đây, V_T từ 4–5 mL/kg IBW đã được đề xuất [33, 105, 106]. Ảnh hưởng của V_T thấp đối với bệnh nhân trải qua OLV có liên quan đến sự hình thành xẹp phổi, tình trạng này tăng cao do tư thế nằm nghiêng và làm tăng áp lực lên phổi được thông khí [105]. Về mặt lịch sử, các phương pháp ngăn ngừa xẹp phổi trong phẫu thuật trong quá trình OLV đã chứng thực việc sử dụng V_T cao [105], nhưng những phát hiện gần đây về tác động nguy hiểm của V_T cao trong OLV đã chuyển sự chú ý sang việc thiết lập mức PEEP thích hợp. Một thử nghiệm ngẫu nhiên của Parks và cộng sự nhấn mạnh sự liên quan của việc duy trì giới hạn “an toàn” của ΔP trong quá trình OLV; họ đã chỉ ra rằng thông khí hướng dẫn ΔP (nghĩa là điều chỉnh PEEP trên ΔP thấp nhất) có liên quan đến tỷ lệ PPC thấp hơn so với thông khí bảo vệ thông thường trong phẫu thuật lồng ngực [35]. Mặc dù vậy, vẫn chưa có thỏa thuận nào về cài đặt PEEP chính xác trong bối cảnh OLV.

Trong một nghiên cứu gần đây, Spadaro và cộng sự [33] đã ghi lại sự tương tác sinh lý giữa V_T thấp và các mức PEEP khác nhau (từ ZEEP đến 10 cmH₂O) đối với quá trình oxygen hóa, cơ học hô hấp và sự không phù hợp của thông khí/tưới máu trong quá trình OLV. Họ chỉ ra rằng chỉ có mức PEEP tương đối cao (10 cmH₂O) mới đảm bảo cải thiện quá trình trao đổi khí, giảm shunt và cơ học hô hấp. Trong một nghiên cứu khác, Rauseo và cộng sự [107] nhận thấy rằng mức PEEP thấp hơn, tức là $6 \pm 0,8$ cmH₂O (khoảng 5–8 cmH₂O) đã có thể cải thiện quá trình oxygen hóa và cơ học phổi. Sự khác biệt rõ ràng giữa hai nhóm có thể được giải thích là do tính không đồng nhất của bệnh nhân và do thiết kế khác nhau của hai nghiên cứu bao gồm phạm vi PEEP được khảo sát và việc sử dụng hay không sử dụng RM.

Sau khi áp dụng RM, PEEP có thể được chuẩn độ thông qua một thử nghiệm giảm dần, để tối ưu hóa cơ học hô hấp đồng thời giảm thiểu tình trạng quá căng của phế nang [106]. Tuy nhiên, tác dụng của PEEP tiêu chuẩn hoặc cá nhân hóa có hoặc không có RM trong OLV đối với tỷ lệ mắc bệnh sau phẫu thuật vẫn chưa rõ ràng. Trong một RCT nhỏ gần đây, một chiến lược PEEP cá nhân hóa bao gồm tăng dần giá trị PEEP được so sánh với một chiến lược bao gồm RM và PEEP cá nhân hóa [41]. Kết quả là, cả hai chiến lược đều có thể giảm shunt trong phẫu thuật và đạt được thông khí bảo vệ, như được đánh giá bởi ΔP trong phẫu thuật. Mặc dù vậy, phân tích phân nhóm được thực hiện ở những bệnh nhân có ΔP cơ bản cao gợi ý một số lợi ích sinh lý ở nhóm RM. Cho rằng RM trong phẫu thuật không tránh khỏi nguy cơ tổn thương phế nang [56], người ta có thể lập luận rằng RM nên được giới hạn ở những bệnh nhân có ΔP cao hơn. Mặc dù

vậy, các khuyến nghị dựa trên kết quả lâm sàng mạnh mẽ vẫn còn thiếu.

12. Bối cảnh đặc biệt: Bệnh nhân béo phì bệnh lý

Với sự gia tăng tỷ lệ béo phì toàn cục, tỷ lệ bệnh nhân béo phì được chỉ định phẫu thuật lớn cũng tăng lên song song [108], điều này ảnh hưởng đáng kể đến thực hành gây mê. Trong MV trong phẫu thuật ở bệnh nhân béo phì, nên xem xét nhiều thay đổi sinh lý bệnh liên quan đến bệnh nền.

Sự phân bố bệnh lý của mô mỡ làm tăng áp lực ổ bụng, với sự dịch chuyển về đầu của cơ hoành tạo ra mô hình hạn chế; kết quả là, sự mất FRC trong GA lớn hơn khi so sánh với những bệnh nhân không béo phì [109]. Việc giảm FRC có thể ngụ ý tăng cường thể tích đóng dẫn đến đóng các đường dẫn khí nhỏ, tăng xẹp phổi và shunt trong phổi, thường liên quan đến giảm độ giãn nở của phổi [110]. Mặt khác, có sự gia tăng đáng kể sức cản đường thở dẫn đến hạn chế lưu lượng thở ra [69, 73], hiện tượng đóng mở chu kỳ và không phù hợp V/Q; thật vậy, cả hai vùng phổi có V/Q thấp và V/Q cao thường cùng tồn tại trong môi trường này.

Không có bằng chứng liên quan đến thông khí “tốt nhất” ở bệnh nhân béo phì. Cần nhấn mạnh rằng ngay cả trong bối cảnh này, thông khí bảo vệ nên được áp dụng bằng cách sử dụng thể tích khí lưu thông thấp (6–8 mL/Kg) được tính toán trên IBW và mức PEEP thích hợp. Mặc dù vậy, các nghiên cứu hồi cứu cho thấy bệnh nhân béo phì nhận được V_T không bảo vệ thường xuyên hơn so với bệnh nhân không béo phì và nguy cơ V_T không phù hợp tăng lên theo mức độ nghiêm trọng của bệnh [111].

Chuẩn độ PEEP có thể là một thách thức ở những bệnh nhân béo phì trong GA và nên được cá nhân hóa dựa trên cơ học hô hấp và tình trạng huyết động của bệnh nhân. Một RCT lớn, không xem xét đáp ứng của từng cá nhân đối với PEEP [13], đã so sánh mức PEEP thấp (4 cmH₂O) với mức PEEP cao hơn (12 cmH₂O với RM). Kết quả không cho thấy sự khác biệt đáng kể về tỷ lệ mắc PPC, trong khi tỷ lệ áp lực màng phổi cao hơn được xác định ở nhóm PEEP cao hơn. Ngược lại, trong một nghiên cứu so sánh chuẩn độ PEEP dựa trên siêu âm phổi (PEEP trung bình 12 cmH₂O) so với cài đặt tiêu chuẩn (PEEP 4 cmH₂O), những bệnh nhân trải qua phẫu thuật giảm béo đã cải thiện tình trạng oxygen hóa và ít tỷ lệ mắc PPC hơn khi được phân nhóm ngẫu nhiên vào PEEP “được cá nhân hóa” [112].

Một thông số khác có thể được xem xét là sự hiện diện của áp lực mở đường thở (airway opening pressure – AOP); ở những bệnh nhân béo phì trong quá trình phẫu thuật nội soi, vị trí Trendelenburg và tràn khí phúc mạc làm tăng AOP, và PEEP cũng nên được chuẩn độ khi xem xét áp lực này và những thay đổi của nó theo thời gian trong quá trình phẫu thuật [113]. Thật vậy, những thay đổi động trong cơ học hô hấp liên quan đến vị trí phẫu thuật được phóng đại ở những bệnh nhân béo phì. Tharp và cộng sự [54] đã thực hiện một nghiên cứu trên 91 bệnh nhân béo phì trong quá trình phẫu thuật nội soi và thu thập các đặc điểm cơ học của hệ hô hấp bằng cách sử dụng áp lực thực quản; bệnh nhân ở tư thế Trendelenburg gần 30 độ. ΔP xuyên phổi cao hơn ở những bệnh nhân béo phì hơn trong tất cả các giai đoạn phẫu thuật; đồng thời, áp lực xuyên phổi cuối thì thở ra (nghĩa là sự khác biệt giữa áp lực đường thở cuối thì thở ra và áp lực thực quản cuối thì thở ra) trở nên âm ở tư thế Trendelenburg ở những bệnh nhân béo phì hơn,

như một cơ chế cơ học gây xẹp phổi. Theo đó, PEEP tối ưu (nghĩa là giá trị PEEP bằng với áp lực xuyên phổi cuối thì thở ra) tăng lên khi tràn khí màng bụng và hơn nữa với Trendelenburg và nằm trong khoảng từ 0 đến 37 cmH₂O.

Kết quả của Tharp và cộng sự đạt được mức độ phù hợp do phép đo áp lực thực quản của chúng, cho phép ước tính ΔP xuyên phổi thay vì sử dụng hệ thống hô hấp “đơn giản” ΔP [54]. Vai trò của ΔP trong bối cảnh bệnh nhân béo phì thực sự đáng được phân tích sâu hơn. Bệnh nhân béo phì được đặc trưng bởi độ đàn hồi của thành ngực cao hơn; do đó, sự khác biệt giữa ΔP (một thước đo gián tiếp về độ giãn nở của toàn bộ hệ thống hô hấp) và áp lực xuyên phổi có thể tăng đáng kể trong bối cảnh này [114, 115]; do sự khác biệt này, hệ hô hấp ΔP ở bệnh nhân béo phì dường như không liên quan đến tổn thương phổi [114], trong khi nó có thể đại diện cho một tham số để ước tính tác động tiêu cực của thông khí đối với chức năng tâm thất phải [116]. Đáng chú ý, dữ liệu liên quan đến ΔP ở bệnh nhân béo phì hầu hết được lấy từ tình trạng bệnh nặng và cần có thêm các nghiên cứu để mô tả vai trò của nó trong môi trường OR.

Ngoài ống thông thực quản, còn có các công cụ hữu ích khác để hướng dẫn cài đặt thông khí, điều này cũng nhằm mô tả sự khác biệt giữa các khu vực trong phân phổi thông khí. EIT có thể được sử dụng để đánh giá sự phân bố thông khí theo khu vực và hướng dẫn chuẩn độ thích hợp [117]. Một nghiên cứu được thực hiện trên 37 bệnh nhân trải qua phẫu thuật giảm béo nội soi đã sử dụng EIT để đánh giá nhu cầu điều chỉnh PEEP trong quá trình tràn khí màng bụng; Các phép đo EIT đã xác nhận nhu cầu PEEP ngày càng tăng trong quá trình tràn khí màng bụng [118].

Bảng 1 Các thông số sinh lý được sử dụng để cá nhân hóa áp lực dương cuối kỳ thở ra.

Tham số được đánh giá	Bối cảnh phẫu thuật	Cách cá nhân hóa PEEP	Phạm vi PEEP được nghiên cứu	Công cụ giám sát	Kết quả
ΔP [8, 34, 35, 39, 40]	Phẫu thuật mở bụng [8, 34, 39, 40] Nội soi ổ bụng [34, 38] Phẫu thuật lồng ngực [34, 35]	PEEP thấp nhất liên quan đến ΔP thấp nhất [35, 39] PEEP cao nhất liên quan đến ΔP thấp nhất [38, 40]	không áp dụng	Không có	$\Delta P < 13$ cmH ₂ O có thể làm giảm PPC Nhằm mục tiêu ΔP thấp dẫn đến ΔP_L thấp
EFL [67]	Phẫu thuật mở bụng	Giá trị PEEP có thể đảo ngược EFL	không áp dụng	Không có	PPC thấp hơn ở những bệnh nhân có EFL đảo ngược
Shunt phổi [91]	Phẫu thuật mở bụng Nội soi ổ bụng	PEEP liên quan đến shunt thấp nhất	0 đến 10 cmH ₂ O	Hệ thống Beacon	Oxygen hóa tốt hơn
Áp lực trong ổ bụng [94]	Nội soi ổ bụng	PEEP = IAP + 2 cmH ₂ O	10 đến 17 cmH ₂ O	Đo lường IAP	Hạ ΔP_L
RVDI [95]	Nội soi ổ bụng	PEEP được liên kết với RVDI thấp nhất	8 đến 20 cmH ₂ O (IQR)	EIT	Oxygen hóa tốt hơn, EELV cao hơn
FRC [98]	Nội soi ổ bụng	PEEP có thể duy trì FRC ổn định	0 đến 20 cmH ₂ O	EIT	FRC bình thường, shunt thấp
Xẹp phổi và tăng căng phổi [3]	Nội soi ổ bụng	Thỏa hiệp tốt nhất giữa xẹp phổi và tăng căng phổi	6 đến 16 cmH ₂ O	EIT	Xẹp phổi sau phẫu thuật thấp hơn, ΔP trong phẫu thuật thấp hơn
Đóng đường thở [113]	Nội soi ổ bụng, bệnh nhân béo phì	Giá trị PEEP có thể đạt đến AOP	5 đến 10 cmH ₂ O	Không có	Tỷ lệ đóng đường thở cao với phạm vi PEEP được nghiên cứu
PL [118] _	Nội soi ổ bụng, bệnh nhân béo phì	Giá trị PEEP có thể đạt được $P_L = 0$ cmH ₂ O	10 đến 25 cmH ₂ O	Ống thông thực quản	P_L dương
ΔP_L [54]	Nội soi ổ bụng, bệnh nhân béo phì	PEEP liên quan đến ΔP_L thấp nhất	0 đến 37 cmH ₂ O	Ống thông thực quản	Giảm ΔP_L

PEEP: áp lực dương cuối thì thở ra; ΔP : áp lực đẩy; EFL: giới hạn lưu lượng thở ra; RVDI: chỉ số trở thông khí khu vực; FRC: công suất cặn chức năng; P_L : áp lực xuyên phổi; ΔP_L : áp lực đẩy xuyên phổi.

Bất kể chuẩn độ PEEP, việc sử dụng RM ở bệnh nhân béo phì đã được nghiên cứu rộng rãi ở bệnh nhân béo phì để mở lại các vùng phổi bị xẹp và cho phép phân phối thông khí đồng nhất hơn [119-121]. Những dữ liệu này được xác nhận bởi một số nghiên cứu về RM trong phẫu thuật, dẫn đến cải thiện cơ học phổi và hệ hô hấp và oxygen hóa [122]. Một RM được thực hiện sau khi đặt nội khí quản (bao gồm áp dụng CPAP 40 cmH₂O trong 40 giây) có thể cải thiện khả năng trao đổi khí và thể tích phổi cuối kỳ thở ra khi so sánh với PEEP đơn thuần [93]. Các kết quả tương tự cũng được thể hiện trên những bệnh nhân trải qua phẫu thuật cắt bỏ dạ dày [120] hoặc bắc cầu dạ dày [123]. Đáng chú ý, tác dụng của RM dường như chỉ giới hạn trong thời gian phẫu thuật; thật vậy, trong một nghiên cứu ngẫu nhiên của Defresne và cộng sự, RM không cải thiện chức năng phổi sau phẫu thuật bao gồm FRC, oxygen hóa động mạch và tỷ lệ ngưng thở tắc nghẽn [124]. Kết quả tương tự đã được hiển thị bởi Whalen và cộng sự [51]. Có vẻ như việc quản lý phẫu thuật chính xác cho bệnh nhân béo phì phải xem xét giai đoạn hậu phẫu cũng như MV trong phẫu thuật.

Cuối cùng, người ta biết rất ít về thông khí một phổi ở những bệnh nhân béo phì trải qua phẫu thuật lồng ngực, nhưng mức PEEP cao liên quan đến RM dường như ngăn ngừa xẹp phổi được thông khí và mở lại các phế nang đã đóng, do đó cải thiện quá trình oxygen hóa và ngăn ngừa tình trạng thiếu oxy sau phẫu thuật [125]. Bảng 1 tiếp tục các chiến lược khác nhau được sử dụng cho PEEP cá nhân hóa được mô tả.

13. Từ bảo vệ đến cá nhân hóa: Tương lai của thở máy trong phẫu thuật

Sự phát triển liên tục của các công cụ giám sát có sẵn ở đầu giường đang thách thức khái niệm

thực tế về thông khí bảo vệ. Như đã nêu trước đây, cùng một chế độ thông khí có thể hoặc không “bảo vệ” tùy thuộc vào các biến số sinh lý của bệnh nhân. Ví dụ: thông khí “thông thường” (nghĩa là thể tích khí lưu thông thấp và PEEP = 5 cmH₂O) dẫn đến thông khí không đồng nhất trong quá trình phẫu thuật cắt bỏ tuyến tiền liệt nội soi có sự hỗ trợ của rô-bốt với bơm khí phức tạp và tư thế Trendelenburg dốc, như được đánh giá bằng EIT [126]. EIT có thể cung cấp thông tin bổ sung cho những thông tin được cung cấp bởi cơ học hô hấp. Cơ học hô hấp có thể đánh giá tốt hơn mức độ căng thẳng động, liệu EIT có thể giúp tối ưu hóa việc huy động phổi và tính đồng nhất của thông khí hay không [127]. RVDI và GI có thể mang bằng chứng về sự không đồng nhất về thời gian xảy ra trong phổi mà không có sẵn nếu không theo dõi EIT [100, 128]. Hơn nữa, dữ liệu liên quan đến bão khí khu vực đang trở nên quan trọng trong đánh giá EIT và có thể là một bổ sung quan trọng vào kiến thức MV trong phẫu thuật [71]. Các nghiên cứu trong tương lai nên đánh giá xem thông tin này có thể thay đổi chiến lược MV của chúng ta như thế nào và làm thế nào để chuyển khả năng giám sát nâng cao này thành kết quả lâm sàng tốt hơn.

Khái niệm tương tự (nghĩa là kết hợp khả năng giám sát với can thiệp lâm sàng) có thể được mở rộng sang tính hữu ích của việc đánh giá siêu âm phổi trong phẫu thuật. Siêu âm phổi chu phẫu đã được sử dụng để phát hiện động sự phát triển của xẹp phổi trong phẫu thuật [129] hoặc đông đặc phế nang [130] cũng như rối loạn chức năng cơ hoành sau phẫu thuật [131]. Cho rằng siêu âm phổi có thể đánh giá huy động phổi do PEEP gây ra [132-134], ứng dụng của nó có thể giúp xác định bệnh nhân nào có thể hưởng lợi từ PEEP cao hơn hoặc các thủ thuật huy động.

Như đã tiếp tục trong bài đánh giá này, việc thiết lập một MV “được cá nhân hóa” phù hợp có thể tối ưu hóa chức năng phổi không hề đơn giản. Việc xác định chiến lược MV tối ưu khi xem xét toàn bộ sinh vật chứ không chỉ phổi, thậm chí còn khó khăn hơn. Thông khí cơ học có thể ảnh hưởng đến tình trạng huyết động của bệnh nhân theo nhiều cách, đặc biệt là với chuẩn độ PEEP [133]. Tóm lại, cùng một giá trị PEEP có thể tối ưu hóa chức năng phổi có thể làm giảm cung lượng tim trong khi dẫn đến việc cung cấp oxy động mạch (DO_2) thấp hơn mặc dù hàm lượng oxy phế nang cao hơn; chỉ có một số nghiên cứu điều tra tác động của các giá trị PEEP khác nhau đối với việc bảo vệ phổi và DO_2 , cho thấy rằng ở một tỷ lệ phần trăm bệnh nhân nhất quán, PEEP gia tăng dường như bảo vệ phế nang nhưng dẫn đến DO_2 thấp hơn [134].

Các hậu quả toàn thân khác nhau của PEEP nhấn mạnh rằng tổn thương phổi do máy thở chỉ là một trong những tác dụng phụ giả định của MV; gần đây, người ta đã chứng minh rằng hai chiến lược MV có cùng khả năng bảo vệ phổi có thể ảnh hưởng đến hệ thống tim mạch theo những cách khác nhau [26]. DO_2 giảm bao nhiêu là chấp nhận được, và làm thế nào để cân bằng các hiệu ứng phổi và huyết động học của MV, còn lâu mới được chứng minh.

References

1. Severgnini P., Selmo G., Lanza C., Chiesa A., Frigerio A., Bacuzzi A., Dionigi G., Novario R., Gregoret C., de Abreu M.G., và cộng sự Protective Mechanical Ventilation during General Anesthesia for Open Abdominal Surgery Improves Postoperative Pulmonary Function. *Anesthesiology*. 2013;118:1307–1321. doi: 10.1097/ALN.0b013e31829102de. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
2. Chiumello D., Coppola S., Froio S. Toward Lung Protective Ventilation during General Anesthesia: A New Challenge. *Rev. Esp. Anesthesiol. Reanim*. 2013;60:549–551. doi: 10.1016/j.redar.2013.10.001. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

Cuối cùng, điều đáng nhấn mạnh là các hiệu ứng vi tuần hoàn của MV không thể giải thích đầy đủ với những thay đổi về cung lượng tim. Ví dụ, ứng dụng PEEP có thể ảnh hưởng đến lưu lượng máu thận với mối quan hệ phi tuyến tính khó dự đoán [135]. Do đó, việc theo dõi các cơ quan cụ thể được khuyến nghị đặc biệt trong bối cảnh nguy cơ cao; gần đây, chỉ số trở kháng thận (renal resistive index – RRI) đo bằng Doppler trong phẫu thuật đã được xác định là một yếu tố nguy cơ gây tổn thương thận cấp tính sau phẫu thuật ở những bệnh nhân trải qua phẫu thuật tim phổi nhân tạo [136].

14. Kết luận

Tóm lại, việc tìm kiếm một chén thánh trong bối cảnh thở máy trong phẫu thuật là một huyền thoại sai lầm. Bắt đầu từ giáo điều “ V_T thấp”, nên áp dụng một số cài đặt khác nhau tùy thuộc vào khả năng đáp ứng của bệnh nhân và bối cảnh phẫu thuật. Với các hiệu ứng đa phương thức của MV trên toàn bộ cơ thể, việc cố gắng giảm độ phức tạp của nó sẽ dẫn đến việc mất đi đặc tính của bệnh nhân. Thành công trong tương lai của các chiến lược MV khác nhau sẽ phụ thuộc vào khả năng cải thiện kết quả của nhóm bệnh nhân cụ thể.

3. Pereira S.M., Tucci M.R., Morais C.C.A., Simões C.M., Tonelotto B.F.F., Pompeo M.S., Kay F.U., Pelosi P., Vieira J.E., Amato M.B.P. Individual Positive End-Expiratory Pressure Settings Optimize Intraoperative Mechanical Ventilation and Reduce Postoperative Atelectasis. *Anesthesiology*. 2018;129:1070–1081. doi: 10.1097/ALN.0000000000002435. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
4. Hedenstierna G., Strandberg A., Brismar B., Lundquist H., Svensson L., Tokics L. Functional Residual Capacity, Thoracoabdominal Dimensions, and Central Blood Volume during General Anesthesia with Muscle Paralysis and Mechanical Ventilation. *Anesthesiology*. 1985;62:247–254. doi: 10.1097/0000542-198503000-00007. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
5. Fernández-Pérez E.R., Sprung J., Afessa B., Warner D.O., Vachon C.M., Schroeder D.R., Brown D.R., Hubmayr R.D., Gajic O. Intraoperative Ventilator Settings and Acute Lung Injury after Elective Surgery: A Nested Case Control Study. *Thorax*. 2009;64:121–127. doi: 10.1136/thx.2008.102228. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
6. Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Brower R.G., Matthay M.A., Morris A., Schoenfeld D., Thompson B.T., Wheeler A. Ventilation with Lower Tidal Volumes as Compared with Traditional Tidal Volumes for Acute Lung Injury and the Acute Respiratory Distress Syndrome. *N. Engl. J. Med.* 2000;342:1301–1308. [PubMed] [Google Scholar]
7. Futier E., Constantin J.-M., Paugam-Burtz C., Pascal J., Eurin M., Neuschwander A., Marret E., Beaussier M., Gutton C., Lefrant J.-Y., và cộng sự A Trial of Intraoperative Low-Tidal-Volume Ventilation in Abdominal Surgery. *N. Engl. J. Med.* 2013;369:428–437. doi: 10.1056/NEJMoa1301082. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
8. Ladha K., Vidal Melo M.F., McLean D.J., Wanderer J.P., Grabitz S.D., Kurth T., Eikermann M. Intraoperative Protective Mechanical Ventilation and Risk of Postoperative Respiratory Complications: Hospital Based Registry Study. *BMJ*. 2015;351:h3646. doi: 10.1136/bmj.h3646. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
9. Fernandez-Bustamante A., Frendl G., Sprung J., Kor D.J., Subramaniam B., Martinez Ruiz R., Lee J.-W., Henderson W.G., Moss A., Mehdiratta N., và cộng sự Postoperative Pulmonary Complications, Early Mortality, and Hospital Stay Following Noncardiothoracic Surgery: A Multicenter Study by the Perioperative Research Network Investigators. *JAMA Surg*. 2017;152:157. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
10. Lellouche F., Dionne S., Simard S., Bussièrès J., Dagenais F. High Tidal Volumes in Mechanically Ventilated Patients Increase Organ Dysfunction after Cardiac Surgery. *Anesthesiology*. 2012;116:1072–1082. doi: 10.1097/ALN.0b013e3182522df5. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
11. Güldner A., Kiss T., Serpa Neto A., Hemmes S.N.T., Canet J., Spieth P.M., Rocco P.R.M., Schultz M.J., Pelosi P., Gama de Abreu M. Intraoperative Protective Mechanical Ventilation for Prevention of Postoperative Pulmonary Complications: A Comprehensive Review of the Role of Tidal Volume, Positive End-Expiratory Pressure, and Lung Recruitment Maneuvers. *Anesthesiology*. 2015;123:692–713. doi: 10.1097/ALN.0000000000000754. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
12. PROVE Network Investigators High versus Low Positive End-Expiratory Pressure during General Anaesthesia for Open Abdominal Surgery (PROVHILO Trial): A Multicentre Randomised Controlled Trial. *Lancet*. 2014;384:495–503. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60416-5. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

13. Bluth T, Serpa Neto A, Schultz M.J., Pelosi P., Gama de Abreu M., Writing Committee for the PROBESE Collaborative Group of the PROtective VEntilation Network (PROVENet) for the Clinical Trial Network of the European Society of Anaesthesiology Effect of Intraoperative High Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) with Recruitment Maneuvers vs. Low PEEP on Postoperative Pulmonary Complications in Obese Patients: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2019;321:2292. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
14. Karalapillai D, Weinberg L, Peyton P, Ellard L, Hu R, Pearce B, Tan C.O., Story D., O'Donnell M., Hamilton P., và cộng sự Effect of Intraoperative Low Tidal Volume vs. Conventional Tidal Volume on Postoperative Pulmonary Complications in Patients Undergoing Major Surgery: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2020;324:848. doi: 10.1001/jama.2020.12866. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
15. Levin M.A., McCormick P.J., Lin H.M., Hosseinian L., Fischer G.W. Low Intraoperative Tidal Volume Ventilation with Minimal PEEP Is Associated with Increased Mortality. *Br. J. Anaesth.* 2014;113:97–108. doi: 10.1093/bja/aeu054. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
16. Yang D., Grant M.C., Stone A., Wu C.L., Wick E.C. A Meta-Analysis of Intraoperative Ventilation Strategies to Prevent Pulmonary Complications: Is Low Tidal Volume Alone Sufficient to Protect Healthy Lungs? *Ann. Surg.* 2016;263:881–887. doi: 10.1097/SLA.0000000000001443. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
17. Guay J., Ochroch E.A., Kopp S. Intraoperative Use of Low Volume Ventilation to Decrease Postoperative Mortality, Mechanical Ventilation, Lengths of Stay and Lung Injury in Adults without Acute Lung Injury. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2018;7:CD011151. doi: 10.1002/14651858.CD011151.pub3. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
18. Gattinoni L., Quintel M., Marini J.J. Volutrauma and Atelectrauma: Which Is Worse? *Crit. Care*. 2018;22:264. doi: 10.1186/s13054-018-2199-2. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
19. Protti A., Andreis D.T., Milesi M., Iapichino G.E., Monti M., Comini B., Pugni P., Melis V., Santini A., Dondossola D., và cộng sự Lung Anatomy, Energy Load, and Ventilator-Induced Lung Injury. *Intensive Care Med. Exp.* 2015;3:34. doi: 10.1186/s40635-015-0070-1. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
20. Hedenstierna G., Rothen H.U. Atelectasis Formation during Anesthesia: Causes and Measures to Prevent It. *J. Clin. Monit. Comput.* 2000;16:329–335. doi: 10.1023/A:1011491231934. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
21. Scaramuzza G., Spadaro S., Waldmann A.D., Böhm S.H., Ragazzi R., Marangoni E., Alvisi V., Spinelli E., Mauri T., Volta C.A. Heterogeneity of Regional Inflection Points from Pressure-Volume Curves Assessed by Electrical Impedance Tomography. *Crit. Care*. 2019;23:119. doi: 10.1186/s13054-019-2417-6. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
22. Cipulli F., Vasques F., Duscio E., Romitti F., Quintel M., Gattinoni L. Atelectrauma or Volutrauma: The Dilemma. *J. Thorac. Dis.* 2018;10:1258–1264. doi: 10.21037/jtd.2018.02.71. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
23. Cressoni M., Cadringer P., Chiurazzi C., Amini M., Gallazzi E., Marino A., Brioni M., Carlesso E., Chiumello D., Quintel M., và cộng sự Lung Inhomogeneity in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2014;189:149–158. doi: 10.1164/rccm.201308-1567OC. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

24. McKown A.C., Semler M.W., Rice T.W. Best PEEP Trials Are Dependent on Tidal Volume. *Crit. Care Lond. Engl.* 2018;22:115. doi: 10.1186/s13054-018-2047-4. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
25. Moraes L., Silva P.L., Thompson A., Santos C.L., Santos R.S., Fernandes M.V.S., Morales M.M., Martins V., Capelozzi V.L., de Abreu M.G., và cộng sự Impact of Different Tidal Volume Levels at Low Mechanical Power on Ventilator-Induced Lung Injury in Rats. *Front. Physiol.* 2018;9:318. doi: 10.3389/fphys.2018.00318. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
26. Vassalli F., Pasticci I., Romitti F., Duscio E., Aßmann D.J., Grünhagen H., Vasques F., Bonifazi M., Busana M., Macrì M.M., và cộng sự Does Iso-Mechanical Power Lead to Iso-Lung Damage?: An Experimental Study in a Porcine Model. *Anesthesiology.* 2020;132:1126–1137. doi: 10.1097/ALN.0000000000003189. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
27. Vincent J.-L. The Coming Era of Precision Medicine for Intensive Care. *Crit. Care.* 2017;21:314. doi: 10.1186/s13054-017-1910-z. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
28. Fogagnolo A., Spadaro S. Can Regional Lung Mechanics Evaluation Represent the next Step towards Precision Medicine in Respiratory Care? *Minerva Anesthesiol.* 2020;86:124–125. doi: 10.23736/S0375-9393.19.14314-3. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
29. Goligher E.C., Kavanagh B.P., Rubenfeld G.D., Ferguson N.D. Physiologic Responsiveness Should Guide Entry into Randomized Controlled Trials. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2015;192:1416–1419. doi: 10.1164/rccm.201410-1832CP. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
30. Gattinoni L., Pesenti A., Avalli L., Rossi F., Bombino M. Pressure-Volume Curve of Total Respiratory System in Acute Respiratory Failure. *Computed Tomographic Scan Study.* *Am. Rev. Respir. Dis.* 1987;136:730–736. doi: 10.1164/ajrccm/136.3.730. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
31. Williams E.C., Motta-Ribeiro G.C., Vidal Melo M.F. Driving Pressure and Transpulmonary Pressure. *Anesthesiology.* 2019;131:155–163. doi: 10.1097/ALN.0000000000002731. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
32. Marangoni E., Alvisi V., Ragazzi R., Mojoli F., Alvisi R., Caramori G., Astolfi L., Volta C.A. Respiratory Mechanics at Different PEEP Level during General Anesthesia in the Elderly: A Pilot Study. *Minerva Anesthesiol.* 2012;78:1205–1214. [PubMed] [Google Scholar]
33. Spadaro S., Grasso S., Karbing D.S., Fogagnolo A., Contoli M., Bollini G., Ragazzi R., Cinnella G., Verri M., Cavallesco N.G., và cộng sự Physiologic Evaluation of Ventilation Perfusion Mismatch and Respiratory Mechanics at Different Positive End-Expiratory Pressure in Patients Undergoing Protective One-Lung Ventilation. *Anesthesiology.* 2018;128:531–538. doi: 10.1097/ALN.0000000000002011. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
34. Neto A.S., Hemmes S.N.T., Barbas C.S.V., Beiderlinden M., Fernandez-Bustamante A., Futier E., Gajic O., El-Tahan M.R., Ghamdi A.A.A., Günay E., và cộng sự Association between Driving Pressure and Development of Postoperative Pulmonary Complications in Patients Undergoing Mechanical Ventilation for General Anaesthesia: A Meta-Analysis of Individual Patient Data. *Lancet Respir. Med.* 2016;4:272–280. doi: 10.1016/S2213-2600(16)00057-6. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

35. Park M., Ahn H.J., Kim J.A., Yang M., Heo B.Y., Choi J.W., Kim Y.R., Lee S.H., Jeong H., Choi S.J., và cộng sự Driving Pressure during Thoracic Surgery: A Randomized Clinical Trial. *Anesthesiology*. 2019;130:385–393. doi: 10.1097/ALN.0000000000002600. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
36. Amato M.B.P., Meade M.O., Slutsky A.S., Brochard L., Costa E.L.V., Schoenfeld D.A., Stewart T.E., Briel M., Talmor D., Mercat A., và cộng sự Driving Pressure and Survival in the Acute Respiratory Distress Syndrome. *N. Engl. J. Med.* 2015;372:747–755. doi: 10.1056/NEJMsa1410639. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
37. Writing Group for the Alveolar Recruitment for Acute Respiratory Distress Syndrome Trial (ART) Investigators. Cavalcanti A.B., Suzumura É.A., Laranjeira L.N., de Moraes Paisani D., Damiani L.P., Guimarães H.P., Romano E.R., Regenga M.D.M., Taniguchi L.N.T., và cộng sự Effect of Lung Recruitment and Titrated Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) vs. Low PEEP on Mortality in Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2017;318:1335. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
38. D’Antini D., Rauseo M., Grasso S., Mirabella L., Camporota L., Cotoia A., Spadaro S., Fersini A., Petta R., Menga R., và cộng sự Physiological Effects of the Open Lung Approach during Laparoscopic Cholecystectomy: Focus on Driving Pressure. *Minerva Anestesiol.* 2018;84:159–167. [PubMed] [Google Scholar]
39. Pelosi P., Hedenstierna G., Ball L., Edmark L., Bignami E. The Real Role of the PEEP in Operating Room: Pros & Cons. *Minerva Anestesiol.* 2018;84:229–235. [PubMed] [Google Scholar]
40. The DESIGNATION–Investigators Driving Pressure during General Anesthesia for Open Abdominal Surgery (DESIGNATION): Study Protocol of a Randomized Clinical Trial. *Trials*. 2020;21:198. doi: 10.1186/s13063-020-4075-z. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
41. Spadaro S., Grasso S., Karbing D.S., Santoro G., Cavallesco G., Maniscalco P., Murgolo F., Di Mussi R., Ragazzi R., Rees S.E., và cộng sự Physiological Effects of Two Driving Pressure-Based Methods to Set Positive End-Expiratory Pressure during One Lung Ventilation. *J. Clin. Monit. Comput.* 2020:1–9. doi: 10.1007/s10877-020-00582-z. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
42. Rothen H.U., Neumann P., Berglund J.E., Valtysson J., Magnusson A., Hedenstierna G. Dynamics of Re-Expansion of Atelectasis during General Anaesthesia. *Br. J. Anaesth.* 1999;82:551–556. doi: 10.1093/bja/82.4.551. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
43. Van der Zee P., Gommers D. Recruitment Maneuvers and Higher PEEP, the So-Called Open Lung Concept, in Patients with ARDS. *Crit. Care Lond. Engl.* 2019;23:73. doi: 10.1186/s13054-019-2365-1. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
44. Ge Y., Yuan L., Jiang X., Wang X., Xu R., Ma W. Effect of lung protection mechanical ventilation on respiratory function in the elderly undergoing spinal fusion. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2013;38:81–85. [PubMed] [Google Scholar]
45. Marini J.J. Recruitment by Sustained Inflation: Time for a Change. *Intensive Care Med.* 2011;37:1572–1574. doi: 10.1007/s00134-011-2329-7. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
46. Choi E.-S., Oh A.-Y., In C.-B., Ryu J.-H., Jeon Y.-T., Kim H.-G. Effects of Recruitment Manoeuvre on Perioperative Pulmonary Complications in Patients Undergoing Robotic Assisted Radical Prostatectomy: A Randomised Single-

Blinded Trial. PLoS ONE. 2017;12:e0183311. doi: 10.1371/journal.pone.0183311. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

47. Aretha D., Fligou F., Kiekkas P., Messini C., Panteli E., Zintzaras E., Karanikolas M. Safety and Effectiveness of Alveolar Recruitment Maneuvers and Positive End-Expiratory Pressure during General Anesthesia for Cesarean Section: A Prospective, Randomized Trial. *Int. J. Obstet. Anesth.* 2017;30:30–38. doi: 10.1016/j.ijoa.2016.12.004. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

48. Ferrando C., Tusman G., Suarez-Sipmann F., León I., Pozo N., Carbonell J., Puig J., Pastor E., Gracia E., Gutiérrez A., và cộng sự Individualized Lung Recruitment Maneuver Guided by Pulse-Oximetry in Anesthetized Patients Undergoing Laparoscopy: A Feasibility Study. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 2018;62:608–619. doi: 10.1111/aas.13082. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

49. Pi X., Cui Y., Wang C., Guo L., Sun B., Shi J., Lin Z., Zhao N., Wang W., Fu S., và cộng sự Low Tidal Volume with PEEP and Recruitment Expedite the Recovery of Pulmonary Function. *Int. J. Clin. Exp. Pathol.* 2015;8:14305–14314. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

50. Kiss T., Wittenstein J., Becker C., Birr K., Cinnella G., Cohen E., El Tahan M.R., Falcão L.F., Gregoretti C., Granell M., và cộng sự Protective Ventilation with High versus Low Positive End-Expiratory Pressure during One-Lung Ventilation for Thoracic Surgery (PROTHOR): Study Protocol for a Randomized Controlled Trial. *Trials.* 2019;20:213. doi: 10.1186/s13063-019-3208-8. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

51. Whalen F.X., Gajic O., Thompson G.B., Kendrick M.L., Que F.L., Williams B.A., Joyner M.J., Hubmayr R.D., Warner D.O., Sprung J. The Effects of the Alveolar Recruitment Maneuver and Positive End-Expiratory Pressure on Arterial Oxygenation during Laparoscopic Bariatric Surgery. *Anesth. Analg.* 2006;102:298–305. doi: 10.1213/01.ane.0000183655.57275.7a. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

52. Cui Y., Cao R., Li G., Gong T., Ou Y., Huang J. The Effect of Lung Recruitment Maneuvers on Post-Operative Pulmonary Complications for Patients Undergoing General Anesthesia: A Meta-Analysis. *PLoS ONE.* 2019;14:e0217405. doi: 10.1371/journal.pone.0217405. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

53. Weingarten T.N., Whalen F.X., Warner D.O., Gajic O., Schears G.J., Snyder M.R., Schroeder D.R., Sprung J. Comparison of Two Ventilatory Strategies in Elderly Patients Undergoing Major Abdominal Surgery. *Br. J. Anaesth.* 2010;104:16–22. doi: 10.1093/bja/aep319. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

54. Tharp W.G., Murphy S., Breidenstein M.W., Love C., Booms A., Rafferty M.N., Friend A.F., Perrapato S., Ahern T.P., Dixon A.E., và cộng sự Body Habitus and Dynamic Surgical Conditions Independently Impair Pulmonary Mechanics during Robotic-Assisted Laparoscopic Surgery. *Anesthesiology.* 2020;133:750–763. doi: 10.1097/ALN.0000000000003442. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

55. Spadaro S., Fogagnolo A., Campo G., Zucchetti O., Verri M., Ottaviani I., Tunstall T., Grasso S., Scaramuzza V., Murgolo F., và cộng sự Markers of Endothelial and Epithelial Pulmonary Injury in Mechanically Ventilated COVID-19 ICU Patients. *Crit. Care.* 2021;25:74. doi: 10.1186/s13054-021-03499-4. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

56. Lagier D., Velly L.J., Guinard B., Bruder N., Guidon C., Vidal Melo M.F., Alessi M.-C. Perioperative Open-Lung Approach, Regional Ventilation, and Lung Injury in Cardiac Surgery. *Anesthesiology*. 2020;133:1029–1045. doi: 10.1097/ALN.0000000000003539. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
57. Gattinoni L., Tonetti T., Cressoni M., Cadringer P., Herrmann P., Moerer O., Protti A., Gotti M., Chiurazzi C., Carlesso E., và cộng sự Ventilator-Related Causes of Lung Injury: The Mechanical Power. *Intensive Care Med*. 2016;42:1567–1575. doi: 10.1007/s00134-016-4505-2. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
58. Maia L.D.A., Samary C.S., Oliveira M.V., Santos C.L., Huhle R., Capelozzi V.L., Morales M.M., Schultz M.J., Abreu M.G., Pelosi P., và cộng sự Impact of Different Ventilation Strategies on Driving Pressure, Mechanical Power, and Biological Markers During Open Abdominal Surgery in Rats. *Anesth. Analg*. 2017;125:1364–1374. doi: 10.1213/ANE.0000000000002348. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
59. Collino F., Rapetti F., Vasques F., Maiolo G., Tonetti T., Romitti F., Niewenhuys J., Behnemann T., Camporota L., Hahn G., và cộng sự Positive End-Expiratory Pressure and Mechanical Power. *Anesthesiology*. 2019;130:119–130. doi: 10.1097/ALN.0000000000002458. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
60. Chiumello D., Formenti P., Bolgiaghi L., Mistraletti G., Gotti M., Vetrone F., Baisi A., Gattinoni L., Umbrello M. Body Position Alters Mechanical Power and Respiratory Mechanics During Thoracic Surgery. *Anesth. Analg*. 2020;130:391–401. doi: 10.1213/ANE.0000000000004192. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
61. Chiumello D., Gotti M., Guanzioli M., Formenti P., Umbrello M., Pasticci I., Mistraletti G., Busana M. Bedside Calculation of Mechanical Power during Volume- and Pressure-Controlled Mechanical Ventilation. *Crit. Care*. 2020;24:417. doi: 10.1186/s13054-020-03116-w. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
62. Chi Y., He H., Long Y. A Simple Method of Mechanical Power Calculation: Using Mean Airway Pressure to Replace Plateau Pressure. *J. Clin. Monit. Comput*. 2020:1–9. doi: 10.1007/s10877-020-00575-y. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
63. Hans G.A., Sottiaux T.M., Lamy M.L., Joris J.L. Ventilatory Management during Routine General Anaesthesia. *Eur. J. Anaesthesiol*. 2009;26:1–8. doi: 10.1097/EJA.0b000e000000f1fb. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
64. Gattinoni L., Marini J.J., Collino F., Maiolo G., Rapetti F., Tonetti T., Vasques F., Quintel M. The Future of Mechanical Ventilation: Lessons from the Present and the Past. *Crit. Care*. 2017;21:183. doi: 10.1186/s13054-017-1750-x. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
65. Santer P., Zheng S., Hammer M., Nabel S., Pannu A., Li Y., Ramachandran S.K., Vidal Melo M.F., Eikermann M. Ventilatory Frequency during Intraoperative Mechanical Ventilation and Postoperative Pulmonary Complications: A Hospital Registry Study. *Br. J. Anaesth*. 2020;125:e130–e139. doi: 10.1016/j.bja.2020.02.018. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
66. Hotchkiss J.R., Blanch L., Murias G., Adams A.B., Olson D.A., Wangensteen O.D., Leo P.H., Marini J.J. Effects of Decreased Respiratory Frequency on Ventilator-Induced Lung Injury. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2000;161:463–468. doi: 10.1164/ajrccm.161.2.9811008. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
67. Laffey J.G., Tanaka M., Engelberts D., Luo X., Yuan S., Tanswell A.K., Post M., Lindsay T., Kavanagh B.P. Therapeutic Hypercapnia Reduces Pulmonary and Systemic Injury Following in Vivo Lung Reperfusion. *Am. J.*

Respir. Crit. Care Med. 2000;162:2287–2294. doi: 10.1164/ajrccm.162.6.2003066. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

68. Spadaro S., Caramori G., Rizzuto C., Mojoli F., Zani G., Ragazzi R., Valpiani G., Dalla Corte F., Marangoni E., Volta C.A. Expiratory Flow Limitation as a Risk Factor for Pulmonary Complications After Major Abdominal Surgery. *Anesth. Analg.* 2017;124:524–530. doi: 10.1213/ANE.0000000000001424. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

69. Volta C.A., Dalla Corte F., Ragazzi R., Marangoni E., Fogagnolo A., Scaramuzza G., Grieco D.L., Alvisi V., Rizzuto C., Spadaro S. Expiratory Flow Limitation in Intensive Care: Prevalence and Risk Factors. *Crit. Care Lond. Engl.* 2019;23:395. doi: 10.1186/s13054-019-2682-4. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

70. Kilic O.F., Börgers A., Köhne W., Musch M., Kröpfl D., Groeben H. Effects of Steep Trendelenburg Position for Robotic-Assisted Prostatectomies on Intra- and Extrathoracic Airways in Patients with or without Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Br. J. Anaesth.* 2015;114:70–76. doi: 10.1093/bja/aeu322. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

71. Zhao Z., Chang M.-Y., Frerichs I., Zhang J.-H., Chang H.-T., Gow C.-H., Möller K. Regional Air Trapping in Acute Exacerbation of Obstructive Lung Diseases Measured with Electrical Impedance Tomography: A Feasibility Study. *Minerva Anesthesiol.* 2020;86:172–180. doi: 10.23736/S0375-9393.19.13732-7. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

72. Alvisi V., Marangoni E., Zannoli S., Uneddu M., Uggento R., Farabegoli L., Ragazzi R., Milic-Emili J., Belloni G.P., Alvisi R., và cộng sự Pulmonary Function and Expiratory Flow Limitation in Acute Cervical Spinal Cord Injury. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2012;93:1950–1956. doi: 10.1016/j.apmr.2012.04.015. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

73. Junhasavasdikul D., Telias I., Grieco D.L., Chen L., Gutierrez C.M., Piraino T., Brochard L. Expiratory Flow Limitation During Mechanical Ventilation. *Chest.* 2018;154:948–962. doi: 10.1016/j.chest.2018.01.046. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

74. Koutsoukou A., Bekos B., Sotiropoulou C., Koulouris N.G., Roussos C., Milic-Emili J. Effects of Positive End-Expiratory Pressure on Gas Exchange and Expiratory Flow Limitation in Adult Respiratory Distress Syndrome. *Crit. Care Med.* 2002;30:1941–1949. doi: 10.1097/00003246-200209000-00001. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

75. Kondili E., Alexopoulou C., Prinianakis G., Xirouchaki N., Georgopoulos D. Pattern of Lung Emptying and Expiratory Resistance in Mechanically Ventilated Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Intensive Care Med.* 2004;30:1311–1318. doi: 10.1007/s00134-004-2255-z. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

76. De Jong A., Futier E., Millot A., Coisel Y., Jung B., Chanques G., Baillard C., Jaber S. How to Preoxygenate in Operative Room: Healthy Subjects and Situations “at Risk” *Ann. Fr. Anesth. Reanim.* 2014;33:457–461. doi: 10.1016/j.annfar.2014.08.001. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

77. Kuo C.-Y., Liu Y.-T., Chen T.-S., Lam C.-F., Wu M.-C. A Nationwide Survey of Intraoperative Management for One-Lung Ventilation in Taiwan: Time to Accountable for Diversity in Protective Lung Ventilation. *BMC Anesthesiol.* 2020;20:236. doi: 10.1186/s12871-020-01157-w. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

78. Cohen B., Schacham Y.N., Ruetzler K., Ahuja S., Yang D., Mascha E.J., Barclay A.B., Hung M.H., Sessler D.I. Effect of Intraoperative Hyperoxia on the Incidence of Surgical Site Infections: A Meta-Analysis. *Br. J. Anaesth.* 2018;120:1176–1186. doi: 10.1016/j.bja.2018.02.027. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
79. Allegranzi B., Bischoff P., de Jonge S., Kubilay N.Z., Zayed B., Gomes S.M., Abbas M., Atema J.J., Gans S., van Rijen M., và cộng sự New WHO Recommendations on Preoperative Measures for Surgical Site Infection Prevention: An Evidence-Based Global Perspective. *Lancet Infect. Dis.* 2016;16:e276–e287. doi: 10.1016/S1473-3099(16)30398-X. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
80. Van Kaam A.H., Lachmann R.A., Herting E., de Jaegere A., van Iwaarden F., Noorduyin L.A., Kok J.H., Haitsma J.J., Lachmann B. Reducing Atelectasis Attenuates Bacterial Growth and Translocation in Experimental Pneumonia. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2004;169:1046–1053. doi: 10.1164/rccm.200312-1779OC. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
81. Smit B., Smulders Y.M., van der Wouden J.C., Oudemans-van Straaten H.M., Spoelstra-de Man A.M.E. Hemodynamic Effects of Acute Hyperoxia: Systematic Review and Meta-Analysis. *Crit. Care Lond. Engl.* 2018;22:45. doi: 10.1186/s13054-018-1968-2. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
82. Lindberg P., Gunnarsson L., Tokics L., Secher E., Lundquist H., Brismar B., Hedenstierna G. Atelectasis and Lung Function in the Postoperative Period. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 1992;36:546–553. doi: 10.1111/j.1399-6576.1992.tb03516.x. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
83. Staehr-Rye A.K., Meyhoff C.S., Scheffenbichler F.T., Vidal Melo M.F., Gätke M.R., Walsh J.L., Ladha K.S., Grabitz S.D., Nikolov M.I., Kurth T., và cộng sự High Intraoperative Inspiratory Oxygen Fraction and Risk of Major Respiratory Complications. *Br. J. Anaesth.* 2017;119:140–149. doi: 10.1093/bja/ae128. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
84. Douville N.J., Jewell E.S., Duggal N., Blank R., Kheterpal S., Engoren M.C., Mathis M.R. Association of Intraoperative Ventilator Management With Postoperative Oxygenation, Pulmonary Complications, and Mortality. *Anesth. Analg.* 2020;130:165–175. doi: 10.1213/ANE.0000000000004191. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
85. Cohen B., Ruetzler K., Kurz A., Leung S., Rivas E., Ezell J., Mao G., Sessler D.I., Turan A. Intra-Operative High Inspired Oxygen Fraction Does Not Increase the Risk of Postoperative Respiratory Complications: Alternating Intervention Clinical Trial. *Eur. J. Anaesthesiol.* 2019;36:320–326. doi: 10.1097/EJA.0000000000000980. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
86. Pedrazzani C., Conti C., Mantovani G., Fernandes E., Turri G., Lazzarini E., Menestrina N., Ruzzenente A., Guglielmi A. Laparoscopic Colorectal Surgery and Enhanced Recovery After Surgery (ERAS) Program: Experience with 200 Cases from a Single Italian Center. *Medicine.* 2018;97:e12137. doi: 10.1097/MD.00000000000012137. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
87. Loring S.H., Behazin N., Novero A., Novack V., Jones S.B., O'Donnell C.R., Talmor D.S. Respiratory Mechanical Effects of Surgical Pneumoperitoneum in Humans. *J. Appl. Physiol.* 2014;117:1074–1079. doi: 10.1152/jappphysiol.00552.2014. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

88. Andersson L.E., Bååth M., Thörne A., Aspelin P., Odeberg-Wernerman S. Effect of Carbon Dioxide Pneumoperitoneum on Development of Atelectasis during Anesthesia, Examined by Spiral Computed Tomography. *Anesthesiology*. 2005;102:293–299. doi: 10.1097/00000542-200502000-00009. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
89. Gattinoni L., Chiumello D., Carlesso E., Valenza F. Bench-to-Bedside Review: Chest Wall Elastance in Acute Lung Injury/Acute Respiratory Distress Syndrome Patients. *Crit. Care Lond. Engl.* 2004;8:350–355. doi: 10.1186/cc2854. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
90. Umbrello M., Chiumello D. Interpretation of the Transpulmonary Pressure in the Critically Ill Patient. *Ann. Transl. Med.* 2018;6:383. doi: 10.21037/atm.2018.05.31. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
91. Spadaro S., Karbing D.S., Mauri T., Marangoni E., Mojoli F., Valpiani G., Carrieri C., Ragazzi R., Verri M., Rees S.E., và cộng sự Effect of Positive End-Expiratory Pressure on Pulmonary Shunt and Dynamic Compliance during Abdominal Surgery. *Br. J. Anaesth.* 2016;116:855–861. doi: 10.1093/bja/aew123. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
92. Cinnella G., Grasso S., Spadaro S., Rauseo M., Mirabella L., Salatto P., de Capraris A., Nappi L., Greco P., Dambrosio M. Effects of Recruitment Maneuver and Positive End-Expiratory Pressure on Respiratory Mechanics and Transpulmonary Pressure during Laparoscopic Surgery. *Anesthesiology*. 2013;118:114–122. doi: 10.1097/ALN.0b013e3182746a10. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
93. Futier E., Constantin J.-M., Pelosi P., Chanques G., Kwiatkoski F., Jaber S., Bazin J.-E. Intraoperative Recruitment Maneuver Reverses Detrimental Pneumoperitoneum-Induced Respiratory Effects in Healthy Weight and Obese Patients Undergoing Laparoscopy. *Anesthesiology*. 2010;113:1310–1319. doi: 10.1097/ALN.0b013e3181fc640a. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
94. Mazzinari G., Diaz-Cambronero O., Alonso-Iñigo J.M., Garcia-Gregorio N., Ayas-Montero B., Ibañez J.L., Serpa Neto A., Ball L., Gama de Abreu M., Pelosi P., và cộng sự Intraabdominal Pressure Targeted Positive End-Expiratory Pressure during Laparoscopic Surgery: An Open-Label, Nonrandomized, Crossover, Clinical Trial. *Anesthesiology*. 2020;132:667–677. doi: 10.1097/ALN.0000000000003146. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
95. Spinelli E., Mauri T., Fogagnolo A., Scaramuzza G., Rundo A., Grieco D.L., Grasselli G., Volta C.A., Spadaro S. Electrical Impedance Tomography in Perioperative Medicine: Careful Respiratory Monitoring for Tailored Interventions. *BMC Anesthesiol.* 2019;19:140. doi: 10.1186/s12871-019-0814-7. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
96. Karsten J., Luepschen H., Grossherr M., Bruch H.-P., Leonhardt S., Gehring H., Meier T. Effect of PEEP on Regional Ventilation during Laparoscopic Surgery Monitored by Electrical Impedance Tomography. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 2011;55:878–886. doi: 10.1111/j.1399-6576.2011.02467.x. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
97. Karsten J., Heinze H., Meier T. Impact of PEEP during Laparoscopic Surgery on Early Postoperative Ventilation Distribution Visualized by Electrical Impedance Tomography. *Minerva Anesthesiol.* 2014;80:158–166. [PubMed] [Google Scholar]
98. Erlandsson K., Odenstedt H., Lundin S., Stenqvist O. Positive End-Expiratory Pressure Optimization Using Electric Impedance Tomography in Morbidly Obese Patients during Laparoscopic Gastric Bypass Surgery. *Acta*

Anaesthesiol. Scand. 2006;50:833–839. doi: 10.1111/j.1399-6576.2006.01079.x. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

99. Girrbach F., Petroff D., Schulz S., Hempel G., Lange M., Klotz C., Scherz S., Giannella-Neto A., Beda A., Jardim-Neto A., và cộng sự Individualised Positive End-Expiratory Pressure Guided by Electrical Impedance Tomography for Robot-Assisted Laparoscopic Radical Prostatectomy: A Prospective, Randomised Controlled Clinical Trial. *Br. J. Anaesth.* 2020;125:373–382. doi: 10.1016/j.bja.2020.05.041. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

100. Muders T., Luepschen H., Zinserling J., Greschus S., Fimmers R., Guenther U., Buchwald M., Grigutsch D., Leonhardt S., Putensen C., và cộng sự Tidal Recruitment Assessed by Electrical Impedance Tomography and Computed Tomography in a Porcine Model of Lung Injury. *Crit. Care Med.* 2012;40:903–911. doi: 10.1097/CCM.0b013e318236f452. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

101. Meininger D., Byhahn C., Mierdl S., Westphal K., Zwissler B. Positive End-Expiratory Pressure Improves Arterial Oxygenation during Prolonged Pneumoperitoneum. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 2005;49:778–783. doi: 10.1111/j.1399-6576.2005.00713.x. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

102. Maracajá-Neto L.F., Verçosa N., Roncally A.C., Giannella A., Bozza F.A., Lessa M.A. Beneficial Effects of High Positive End-Expiratory Pressure in Lung Respiratory Mechanics during Laparoscopic Surgery. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 2009;53:210–217. doi: 10.1111/j.1399-6576.2008.01826.x. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

103. Pelosi P., Ravagnan I., Giurati G., Panigada M., Bottino N., Tredici S., Eccher G., Gattinoni L. Positive End-Expiratory Pressure Improves Respiratory Function in Obese but Not in Normal Subjects during Anesthesia and Paralysis. *Anesthesiology.* 1999;91:1221. doi: 10.1097/00000542-199911000-00011. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

104. Lee H.J., Kim K.S., Jeong J.S., Shim J.C., Cho E.S. Optimal Positive End-Expiratory Pressure during Robot-Assisted Laparoscopic Radical Prostatectomy. *Korean J. Anesthesiol.* 2013;65:244–250. doi: 10.4097/kjae.2013.65.3.244. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

105. Blank R.S., Colquhoun D.A., Durieux M.E., Kozower B.D., McMurry T.L., Bender S.P., Naik B.I. Management of One-Lung Ventilation. *Anesthesiology.* 2016;124:1286–1295. doi: 10.1097/ALN.0000000000001100. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

106. Park S.-H., Jeon Y.-T., Hwang J.-W., Do S.-H., Kim J.-H., Park H.-P. A Preemptive Alveolar Recruitment Strategy before One-Lung Ventilation Improves Arterial Oxygenation in Patients Undergoing Thoracic Surgery: A Prospective Randomised Study. *Eur. J. Anaesthesiol.* 2011;28:298–302. doi: 10.1097/EJA.0b013e3283436fdb. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

107. Rauseo M., Mirabella L., Grasso S., Cotoia A., Spadaro S., D'Antini D., Valentino F., Tullo L., Loizzi D., Sollitto F., và cộng sự Peep Titration Based on the Open Lung Approach during One Lung Ventilation in Thoracic Surgery: A Physiological Study. *BMC Anesthesiol.* 2018;18:156. doi: 10.1186/s12871-018-0624-3. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

108. Pépin J.L., Timsit J.F., Tamié R., Borel J.C., Lévy P., Jaber S. Prevention and Care of Respiratory Failure in Obese Patients. *Lancet Respir. Med.* 2016;4:407–418. doi: 10.1016/S2213-2600(16)00054-0. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

109. Jones R.L., Nzekwu M.-M.U. The Effects of Body Mass Index on Lung Volumes. *Chest*. 2006;130:827–833. doi: 10.1378/chest.130.3.827. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
110. Steier J., Lunt A., Hart N., Polkey M.I., Moxham J. Observational Study of the Effect of Obesity on Lung Volumes. *Thorax*. 2014;69:752–759. doi: 10.1136/thoraxjnl-2014-205148. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
111. Goyal M., Bhat R., Graf S.K., Dubin J.S., Bhooshan A., Tefera E., Frohna W.J. Body Mass Index Is Associated with Inappropriate Tidal Volumes in Adults Intubated in the ED. *Am. J. Emerg. Med.* 2016;34:1682–1683. doi: 10.1016/j.ajem.2016.04.052. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
112. Elshazly M., Khair T., Bassem M., Mansour M. The Use of Intraoperative Bedside Lung Ultrasound in Optimizing Positive End Expiratory Pressure in Obese Patients Undergoing Laparoscopic Bariatric Surgeries. *Surg. Obes. Relat. Dis. Off. J. Am. Soc. Bariatr. Surg.* 2021;17:372–378. doi: 10.1016/j.soard.2020.09.023. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
113. Grieco D.L., Anzellotti G.M., Russo A., Bongiovanni F., Costantini B., D'Indinosante M., Varone F., Cavallaro F., Tortorella L., Polidori L., và cộng sự Airway Closure during Surgical Pneumoperitoneum in Obese Patients. *Anesthesiology*. 2019;131:58–73. doi: 10.1097/ALN.0000000000002662. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
114. De Jong A., Cossic J., Verzilli D., Monet C., Carr J., Conseil M., Monnin M., Cisse M., Belafia F., Molinari N., và cộng sự Impact of the Driving Pressure on Mortality in Obese and Non-Obese ARDS Patients: A Retrospective Study of 362 Cases. *Intensive Care Med.* 2018;44:1106–1114. doi: 10.1007/s00134-018-5241-6. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
115. Vianna F.S.L., do Amaral Pfeilsticker F.J., Neto A.S. Driving Pressure in Obese Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome: One Size Fits All? *J. Thorac. Dis.* 2018;10:S3957–S3960. doi: 10.21037/jtd.2018.09.31. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
116. Magder S., Slobod D., Assanangkornchai N. Mechanical Ventilation in the Obese Patient: Compliance, Pleural Pressure, and Driving Pressure. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2021;203:534–536. doi: 10.1164/rccm.202009-3607ED. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
117. Nestler C., Simon P., Petroff D., Hammermüller S., Kamrath D., Wolf S., Dietrich A., Camilo L.M., Beda A., Carvalho A.R., và cộng sự Individualized Positive End-Expiratory Pressure in Obese Patients during General Anaesthesia: A Randomized Controlled Clinical Trial Using Electrical Impedance Tomography. *Br. J. Anaesth.* 2017;119:1194–1205. doi: 10.1093/bja/aex192. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
118. Eichler L., Truskowska K., Dupree A., Busch P., Goetz A.E., Zöllner C. Intraoperative Ventilation of Morbidly Obese Patients Guided by Transpulmonary Pressure. *Obes. Surg.* 2018;28:122–129. doi: 10.1007/s11695-017-2794-3. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
119. Aldenkortt M., Lysakowski C., Elia N., Brochard L., Tramèr M.R. Ventilation Strategies in Obese Patients Undergoing Surgery: A Quantitative Systematic Review and Meta-Analysis. *Br. J. Anaesth.* 2012;109:493–502. doi: 10.1093/bja/aes338. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

120. Sümer I, Topuz U, Alver S, Umutoglu T, Bakan M, Zengin S.Ü., Coşkun H, Salihoglu Z. Effect of the “Recruitment” Maneuver on Respiratory Mechanics in Laparoscopic Sleeve Gastrectomy Surgery. *Obes. Surg.* 2020;30:2684–2692. doi: 10.1007/s11695-020-04551-y. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
121. Imber D.A., Pirrone M., Zhang C., Fisher D.F., Kacmarek R.M., Berra L. Respiratory Management of Perioperative Obese Patients. *Respir. Care.* 2016;61:1681–1692. doi: 10.4187/respcare.04732. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
122. Pirrone M., Fisher D., Chipman D., Imber D.A.E., Corona J., Mietto C., Kacmarek R.M., Berra L. Recruitment Maneuvers and Positive End-Expiratory Pressure Titration in Morbidly Obese ICU Patients. *Crit. Care Med.* 2016;44:300–307. doi: 10.1097/CCM.0000000000001387. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
123. Reinius H., Jonsson L., Gustafsson S., Sundbom M., Duvernoy O., Pelosi P., Hedenstierna G., Fredén F. Prevention of Atelectasis in Morbidly Obese Patients during General Anesthesia and Paralysis: A Computerized Tomography Study. *Anesthesiology.* 2009;111:979–987. doi: 10.1097/ALN.0b013e3181b87edb. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
124. Defresne A.A., Hans G.A., Goffin P.J., Bindelle S.P., Amabili P.J., DeRoover A.M., Poirrier R., Brichant J.F., Joris J.L. Recruitment of Lung Volume during Surgery Neither Affects the Postoperative Spirometry nor the Risk of Hypoxaemia after Laparoscopic Gastric Bypass in Morbidly Obese Patients: A Randomized Controlled Study. *Br. J. Anaesth.* 2014;113:501–507. doi: 10.1093/bja/aeu101. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
125. Shi Z.-G., Geng W.-M., Gao G.-K., Wang C., Liu W. Application of Alveolar Recruitment Strategy and Positive End-Expiratory Pressure Combined with Autoflow in the One-Lung Ventilation during Thoracic Surgery in Obese Patients. *J. Thorac. Dis.* 2019;11:488–494. doi: 10.21037/jtd.2019.01.41. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
126. Shono A., Katayama N., Fujihara T., Böhm S.H., Waldmann A.D., Ugata K., Nikai T., Saito Y. Positive End-Expiratory Pressure and Distribution of Ventilation in Pneumoperitoneum Combined with Steep Trendelenburg Position. *Anesthesiology.* 2020;132:476–490. doi: 10.1097/ALN.0000000000003062. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
127. Scaramuzzo G., Spadaro S., Dalla Corte F., Waldmann A.D., Böhm S.H., Ragazzi R., Marangoni E., Grasselli G., Pesenti A., Volta C.A., và cộng sự Personalized Positive End-Expiratory Pressure in Acute Respiratory Distress Syndrome: Comparison Between Optimal Distribution of Regional Ventilation and Positive Transpulmonary Pressure. *Crit. Care Med.* 2020;48:1148–1156. doi: 10.1097/CCM.0000000000004439. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
128. Zhao Z., Pulletz S., Frerichs I., Müller-Lisse U., Möller K. The EIT-Based Global Inhomogeneity Index Is Highly Correlated with Regional Lung Opening in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. *BMC Res. Notes.* 2014;7:82. doi: 10.1186/1756-0500-7-82. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
129. Monastesse A., Girard F., Massicotte N., Chartrand-Lefebvre C., Girard M. Lung Ultrasonography for the Assessment of Perioperative Atelectasis: A Pilot Feasibility Study. *Anesth. Analg.* 2017;124:494–504. doi: 10.1213/ANE.0000000000001603. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

130. Hollon M.M., Fiza B., Faloye A. Intraoperative Application of Lung Ultrasound to Diagnose Alveolar Consolidation. *Anesthesiology*. 2019;131:894. doi: 10.1097/ALN.0000000000002761. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
131. Spadaro S., Grasso S., Dres M., Fogagnolo A., Dalla Corte F., Tamburini N., Maniscalco P., Cavallesco G., Alvisi V., Stripoli T., và cộng sự Point of Care Ultrasound to Identify Diaphragmatic Dysfunction after Thoracic Surgery. *Anesthesiology*. 2019;131:266–278. doi: 10.1097/ALN.0000000000002774. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
132. Bouhemad B., Brisson H., Le-Guen M., Arbelot C., Lu Q., Rouby J.-J. Bedside Ultrasound Assessment of Positive End-Expiratory Pressure-Induced Lung Recruitment. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2011;183:341–347. doi: 10.1164/rccm.201003-0369OC. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
133. Luecke T., Pelosi P. Clinical Review: Positive End-Expiratory Pressure and Cardiac Output. *Crit. Care Lond. Engl.* 2005;9:607–621. doi: 10.1186/cc3877. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
134. Chikhani M., Das A., Haque M., Wang W., Bates D.G., Hardman J.G. High PEEP in Acute Respiratory Distress Syndrome: Quantitative Evaluation between Improved Arterial Oxygenation and Decreased Oxygen Delivery. *Br. J. Anaesth.* 2016;117:650–658. doi: 10.1093/bja/aew314. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
135. Fogagnolo A., Grasso S., Dres M., Gesualdo L., Murgolo F., Morelli E., Ottaviani I., Marangoni E., Volta C.A., Spadaro S. Focus on Renal Blood Flow in Mechanically Ventilated Patients with SARS-CoV-2: A Prospective Pilot Study. *J. Clin. Monit. Comput.* 2021;1–7. doi: 10.1007/s10877-020-00633-5. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
136. Andrew B.Y., Andrew E.Y., Cherry A.D., Hauck J.N., Nicoara A., Pieper C.F., Stafford-Smith M. Intraoperative Renal Resistive Index as an Acute Kidney Injury Biomarker: Development and Validation of an Automated Analysis Algorithm. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2018;32:2203–2209. doi: 10.1053/j.jvca.2018.04.014. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]