

Intensive Care Med (2020) 46:594–605
<https://doi.org/10.1007/s00134-019-05892-8>

REVIEW

Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients—a narrative review



Pieter R. Tuinman^{1,2}, Annemijn H. Jonkman¹, Martin Dres³, Zhong-Hua Shi^{1,4}, Ewan C. Goligher^{5,6}, Alberto Goffi^{5,7}, Chris de Korte⁸, Alexandre Demoule³ and Leo Heunks^{1*} 

Siêu âm cơ hô hấp: phương pháp luận, nguyên tắc cơ bản và nâng cao và ứng dụng lâm sàng ở bệnh nhân ICU và ED—tổng quan tường thuật

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

Tóm tắt

Siêu âm cơ hô hấp được sử dụng để đánh giá giải phẫu và chức năng của bơm cơ hô hấp. Đây là một kỹ thuật an toàn, có thể lặp lại, chính xác và không xâm lấn tại giường, có thể áp dụng thành công trong nhiều bối cảnh khác nhau, bao gồm chăm sóc tích cực chung và khoa cấp cứu. Việc thành thạo kỹ thuật này cho phép bác sĩ chuyên khoa hồi sức nhanh chóng chẩn đoán và đánh giá rối loạn chức năng cơ hô hấp ở những bệnh nhân nguy kịch và ở những bệnh nhân khó thở không rõ nguyên nhân. Hơn nữa, nó có thể được sử dụng để đánh giá tương tác giữa bệnh nhân và máy thở và tình trạng cai máy thở không thành công ở những bệnh nhân nguy kịch. Bài báo này cung cấp tổng quan về các nguyên tắc cơ bản và nâng cao làm nền tảng cho siêu âm cơ hô hấp, tập trung vào cơ hoành. Chúng tôi xem xét các kỹ thuật siêu âm khác nhau hữu ích để theo dõi bơm cơ hô hấp

và các hậu quả điều trị có thể xảy ra. Lý tưởng nhất là siêu âm cơ hô hấp được sử dụng kết hợp với các thành phần khác của siêu âm chăm sóc tích cực để có được đánh giá toàn diện về bệnh nhân nguy kịch. Chúng tôi đề xuất phương pháp siêu âm ABCDE, một phương pháp đánh giá siêu âm có hệ thống về tim, phổi và bơm cơ hô hấp ở những bệnh nhân suy hô hấp.

Giới thiệu

Hình ảnh siêu âm ngày càng trở nên phổ biến trong chẩn đoán rối loạn sinh lý và hướng dẫn điều trị cho bệnh nhân nguy kịch. Đặc biệt, đánh giá siêu âm tim và phổi đã được thiết lập và triển khai rộng rãi trong khoa chăm sóc đặc biệt (ICU) [1, 2]. Việc sử dụng siêu âm để đánh giá chức năng bơm cơ hô hấp còn tương đối mới. Tần suất sử dụng siêu âm cơ hô hấp trong thực hành lâm sàng tương đối không cao có thể là do tính phức tạp của bơm này (đặc biệt là số lượng

ơ liên quan), khó khăn trong việc thu được cửa sổ siêu âm phù hợp và giả định chung rằng đánh giá siêu âm cơ hô hấp sẽ không làm thay đổi việc xử trí bệnh nhân trong ICU. Mục đích của bài đánh giá này là cung cấp tổng quan về các nguyên tắc và ứng dụng hiện tại của siêu âm cơ hô hấp, thảo luận về những hạn chế của nó và mô tả các kỹ thuật dựa trên siêu âm sáng tạo. Chúng tôi đề xuất đánh giá có hệ thống dựa trên siêu âm đối với bơm cơ hô hấp, tích hợp với siêu âm tim và phổi, ở bệnh nhân ICU.

Giải phẫu các cơ hô hấp

Cơ chính của thì hít vào là cơ hoành, một cơ hình vòm mỏng nằm giữa ngực và bụng. Sự co lại của vùng áp sát (phần hình trụ của cơ hoành gắn vào lỗ thoát ngực) dẫn đến chuyển động về phía sau của vòm cơ hoành và làm tăng thể tích trong lồng ngực. Khi tải trọng tác động lên cơ hoành tăng lên, các cơ hít vào phụ (cơ cạnh xương ức, cơ liên sườn ngoài, cơ thang và cơ ức đòn chũm) được huy động. Với tải trọng tiếp theo, các cơ thở ra được kích hoạt để hỗ trợ thở ra [3]. Các cơ thở ra nổi bật nhất bao gồm cơ ngang bụng và các cơ chéo trong và chéo ngoài. Chẩn đoán phân biệt về yếu cơ hoành rất rộng (Bảng E1).

Kỹ thuật và cửa sổ

Cơ hoành

Cần thực hiện hai phương pháp siêu âm để quan sát cơ hoành: phương pháp tiếp cận liên sườn (intercostal approach) giữa rãnh tại vùng ứng dụng (zone of apposition) và phương pháp tiếp cận dưới sườn (subcostal approach) sử dụng gan hoặc lách làm cửa sổ âm (acoustic window). Các mẹo và thủ thuật của siêu âm cơ hô hấp được tóm tắt trong Hình E-1.

Tiếp cận liên sườn: độ dày và tỷ lệ phần dày

Tiếp cận liên sườn được thực hiện bằng đầu dò mảng tuyến tính (linear array transducer) 10–15 MHz được đặt theo hướng trên-dưới (cranio-caudal direction) và

vuông góc với da ở vùng đối diện giữa đường nách giữa hoặc đường nách trước, trong khoảng liên sườn thứ 8 đến thứ 11 (Hình 1) [4, 5]. Cơ hoành xuất hiện ở độ sâu từ hai đến bốn cm dưới dạng cấu trúc ba lớp giữa màng phổi và màng bụng (Hình 1). Đặc trưng, một cấu trúc tuyến tính màu trắng được nhìn thấy ở giữa cơ hoành [4, 5]. Chúng tôi khuyến nghị đo độ dày cơ hoành (diaphragm thickness) vuông góc với hướng sợi của nó giữa màng phổi và màng bụng, nhưng không bao gồm các màng (Hình 1). Giới hạn dưới đối với độ dày cơ hoành bình thường là khoảng 1,5 mm ở những người khỏe mạnh. Các giá trị tham chiếu được đưa ra trong Bảng 1. Độ dày cơ hoành bị ảnh hưởng bởi thành phần cơ thể và giới tính [6, 7].

Cơ hoành dày lên với sự co ngắn chủ động và do đó, tỷ lệ phần dày lên (thickening fraction - TF) phản ánh hoạt động co bóp [8, 9]. Tỷ lệ phần dày lên của cơ hoành (TFdi) được tính ở chế độ B hoặc chế độ M là phần trăm tăng độ dày cơ hoành khi hít vào so với độ dày cuối thì thở ra trong quá trình thở bình thường hoặc nỗ lực hít vào tối đa (Tfdi(max)): $TFdi = (\text{độ dày cuối thì hít vào} - \text{độ dày cuối thì thở ra}) / \text{độ dày cuối thì thở ra} \times 100\%$ (Hình 1). Độ dày cơ hoành khi hít vào có thể được sử dụng để đánh giá chức năng cơ. Các giá trị tham chiếu được đưa ra trong Bảng 1 và chứng minh một phạm vi tương đối rộng ở những đối tượng khỏe mạnh [6, 9–11]. Có một mối quan hệ hợp lý giữa TFdi và áp lực (hoặc hoạt động điện) do cơ hoành tạo ra trong quá trình thở không hỗ trợ [9, 12] và thở máy [13]. Một số nghiên cứu đánh giá trực tiếp mối tương quan giữa TFdi và áp lực cơ (Pmus) [14, 15] và do đó, cần phải cẩn thận khi ước tính Pmus từ TFdi.

Tiếp cận dưới sườn: độ dịch chuyển

Độ dịch chuyển cơ hoành (diaphragmatic excursion) được đo bằng đầu dò mảng pha tần số thấp hoặc mảng cong (“bụng”) (2–5 MHz) được đặt ngay bên dưới cung xương sườn tại đường giữa đòn, với bệnh nhân ở tư thế nửa ngồi và nghiêng chòm tia siêu âm

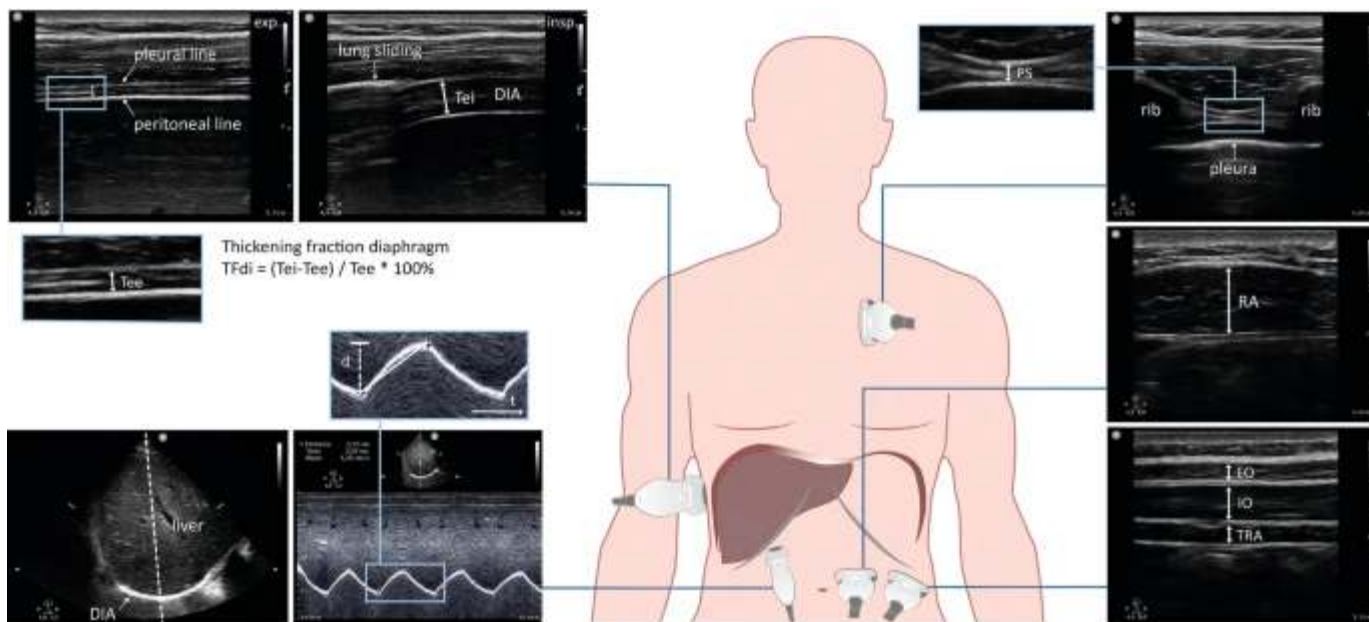
càng nhiều càng tốt về phía đầu và vuông góc với vòm cơ hoành (Hình 1). Cơ hoành được xác định là một đường sáng bao phủ gan và lách. Việc thu được hình ảnh rõ nét của nửa cơ hoành bên trái có thể khó khăn do cửa sổ âm của lách kém. Trong khi hít vào, cơ hoành phải di chuyển về phía đầu dò (Hình 1). Độ dịch chuyển được định lượng ở chế độ M, với đường M được đặt vuông góc với hướng chuyển động (Hình 1); tốc độ quét được điều chỉnh tốt nhất ở mức khoảng 10 mm/giây để thu được tối thiểu ba chu kỳ hô hấp trong một hình ảnh. Độ dịch chuyển cơ hoành chỉ nên được đo trong quá trình thở không hỗ trợ (tức là, ống chữ T hoặc mức CPAP tối thiểu có thể chịu đựng được), vì sự co bóp chủ động của cơ hoành không thể phân biệt được với sự dịch chuyển thụ động do áp lực hít vào của máy thở [4, 12].

Ở bệnh nhân hợp tác, nỗ lực hít vào tối đa được thực hiện để đánh giá độ dịch chuyển tối đa (maximal excursion). Độ dịch chuyển của cả hai cơ hoành được so sánh để xác định điểm yếu hoặc liệt một bên (để biết giá trị tham chiếu, hãy xem Bảng 1). Tỷ lệ thành công khi hình dung độ dịch chuyển cao

trong quá trình thở theo chu kỳ thở (> 95%), trong khi trong quá trình thở tối đa, việc hình dung khó hơn, đặc biệt là ở bên trái [17].

Nếu gặp khó khăn trong việc quan sát cơ hoành từ cửa sổ dưới sườn, có thể sử dụng chuyển động của gan hoặc lách trong quá trình hô hấp theo chu kỳ như một phương án thay thế. Vì mục đích này, nên sử dụng cửa sổ liên sườn tại vùng đối diện ở chế độ B hoặc M, bằng cách sử dụng đầu dò tần số thấp [18, 19]. Vì có một số điểm không nhất quán trong sự thống nhất giữa chuyển động của cơ hoành và dưới cơ hoành [20, 21], nên nên sử dụng phương pháp này để đánh giá định tính thay vì định lượng chuyển động của cơ hoành.

Trong điều kiện bình thường, quá trình thở ra phụ thuộc phần lớn vào áp lực đàn hồi của hệ hô hấp, mặc dù một số hoạt động của cơ hoành khi thở ra sớm đã được chứng minh [22]. Tuy nhiên, tốc độ giãn cơ hoành thu được từ sự dịch chuyển không nên được sử dụng làm thước đo chức năng của cơ hoành [16].



Hình 1 Ứng dụng lâm sàng của siêu âm cơ hô hấp: kỹ thuật và cửa sổ

Bảng 1 Giá trị tham chiếu của siêu âm cơ hoành ở bệnh nhân ICU và dân số nói chung

Cài đặt	Tham số	Tư thế bệnh nhân	Các giá trị tham khảo	Giá trị bất thường/giá trị liên quan đến kết quả	TLTK
Phòng chăm sóc đặc biệt	Độ dày (mm)	–	2,4 ± 0,8		[9]
		Nằm đầu cao	2.4 (2.0–2.9)		[75]
		Nằm đầu cao		< 1,7	[60]
		Nằm đầu cao	1,9 ± 0,4		[76]
	TFdi	Nằm đầu cao		< 30%	[60]
	TFdi(tối đa)	Nằm đầu cao		< 36%	[59]
	TFdi	Nằm đầu cao		< 34%	[52]
	Độ dịch chuyển (mm)	Nằm ngửa		< 11 (trừ cơ quan)	[77]
		Nằm đầu cao		Đúng < 14	[51]
	Thở tối đa (mm)	Nằm đầu cao		Trái < 12	[52]
		Nằm đầu cao		< 10	[53]
				< 25	
Dân số chung	Độ dày (mm)	Ngồi	1,7 ± 0,2		[78]
		Đứng	2,8 ± 0,4	< 1,9	[10]
		Nằm ngửa	3,3 ± 1,0	< 1,4	[6]
		Nằm ngửa	1,6 ± 0,4	< 1,5	[7]
			Nam: 1,9 ± 0,4	< 1,7	
			Nữ: 1,4 ± 0,3	< 1,3	
	TFdi(tối đa)	Đứng	37 ± 9%	< 20%	[10]
		Nằm ngửa	80 ± 50%	< 20%	[6]
	Độ dịch chuyển (mm)	Đứng	Nam: 18 ± 3	Nam: < 10	[17]
			Nữ: 16 ± 3	Nữ: < 9	
	Kiểm tra bằng mũi (mm)	Đứng	Nam: 29 ± 6	Nam: < 18	
			Nữ: 26 ± 5	Nữ: < 16	
	Thở tối đa (mm)	Đứng	Nam: 70 ± 11	Nam: < 47	
			Nữ: 57 ± 10	Nữ: < 37	

Giá trị độ dày và độ dịch chuyển được thể hiện bằng milimét. Giá trị bình thường được thể hiện là trung bình ± SD hoặc trung vị (phạm vi); đối với bệnh nhân ICU, giá trị độ dày trung bình được báo cáo từ các phép đo ban đầu. TFdi: tỷ lệ dày lên khi thở theo chu kỳ thở bình thường (hoặc trong khi thở tối đa = TFdi(max)), được thể hiện bằng %; Vị trí được trình bày như mô tả trong bản thảo gốc, mặc dù tư thế ngồi và nửa nằm nửa ngồi (và có khả năng nằm ngửa) có thể chồng chéo lên nhau.

Cơ hít vào ngoài cơ hoành

Đánh giá siêu âm các cơ hô hấp phụ có thể bổ sung thông tin liên quan đến nỗ lực hô hấp của bệnh nhân và tương tác giữa bệnh nhân và máy thở. Siêu âm cơ liên sườn cạnh ức được thực hiện bằng đầu dò tuyến tính 10–15 MHz được đặt theo hướng trên-dưới tại khoảng liên sườn thứ hai (Hình 1). Có thể đánh giá độ dày và tỷ lệ phần dày lên khi hít vào. Ở những người khỏe mạnh, sự dày lên của các cơ liên sườn cạnh ức chỉ được quan sát thấy trong quá trình nỗ lực tối đa [23] và những phát hiện ban đầu ở những bệnh nhân ICU cho thấy sự tồn tại của mối quan hệ liều lượng-đáp ứng giữa tải hô hấp và tỷ lệ phần dày lên của cơ liên sườn cạnh ức [24].

Mặc dù chủ đề của các nghiên cứu trong tương lai, siêu âm cơ liên sườn cạnh ức có thể là một công cụ hữu ích trong việc đánh giá khả năng/cân bằng tải của bơm cơ hô hấp ở bệnh nhân thở máy. Cần xác định các giá trị tham chiếu.

Cơ hô hấp thành bụng

Sử dụng đầu dò tuyến tính 10–15 MHz đặt vuông góc với thành bụng, với bệnh nhân ở tư thế nằm ngửa, các cơ thở ra khác nhau tương đối dễ hình dung như các lớp giảm âm được bao bọc bởi các bao cơ (Hình 1). Áp lực tác dụng lên đầu dò phải được giữ ở mức tối thiểu để tránh chèn ép thành bụng vì điều này có thể làm thay đổi hình dạng/độ dày của các cơ bên dưới.

Để hình dung cơ thẳng bụng, đầu dò được đặt theo hướng ngang, cách rốn khoảng 2–3 cm và cách đường giữa 2–3 cm về phía bên (Hình 1) [25]. Độ dày cơ tối đa thu được bằng cách trượt đầu dò theo hướng trên-dưới, trong khi giữ đầu dò vuông góc với da. Tiếp theo, đầu dò được di chuyển sang bên; đường bán nguyệt đầu tiên được xác định là cân tăng âm dày hòa trộn bên ngoài với cơ thẳng bụng và bên trong với các cơ chéo bụng. Cơ chéo ngoài, chéo trong và cơ ngang bụng có thể được xác định là ba

lớp song song (Hình 1), thường được hình dung tốt nhất trên đường nách trước, giữa đường viền dưới của lồng ngực và mào chậu [25–27]. Các giá trị tham chiếu được cung cấp trong Bảng E 2 [25–28].

Tỷ lệ dày lên của các cơ bụng thở ra (TFabd) có thể được tính là độ lớn của độ dày tăng lên trong khi thở ra (TFadb = (độ dày cuối thì thở ra - độ dày cuối thì hít vào)/độ dày cuối thì hít vào) × 100%) và có thể phản ánh nỗ lực của cơ thở ra. Dữ liệu sơ bộ dường như chứng minh mối tương quan hợp lý giữa TFabd và việc tạo ra lực thở ra [29]. Cần lưu ý rằng các cơ thở ra có nhiều bậc tự do hơn so với cơ hoành; sự co thắt chủ động của một lớp cơ có thể ảnh hưởng trực tiếp đến sự co lại và vị trí của lớp liền kề, điều này có thể làm cho việc giải thích TFabd trở nên phức tạp hơn. Hơn nữa, mối quan hệ giữa sự co lại, sự dày lên và sự tạo ra áp lực rất phức tạp do hình dạng của các cơ bụng trong quá trình co lại (một hình cầu 'co lại' thay vì 'piston trong xi lanh co lại' như cơ hoành). Các nghiên cứu trong tương lai sẽ xác nhận mối quan hệ giữa áp lực cơ thở ra và TFabd cũng như sự liên quan về mặt lâm sàng của nó.

Ứng dụng của siêu âm cơ hô hấp

Vai trò của siêu âm cơ hô hấp trong suy hô hấp cấp

Yếu cơ hô hấp là nguyên nhân chính gây suy hô hấp cấp tính không phổ biến, nhưng nên cân nhắc nếu đã loại trừ các nguyên nhân phổ biến hơn [30, 31]. Biểu hiện lâm sàng của rối loạn chức năng cơ hoành phụ thuộc vào nguyên nhân, mức độ nghiêm trọng và tốc độ tiến triển (Bảng E 1) [32]. Một dấu hiệu vật lý đặc trưng của rối loạn chức năng cơ hoành hai bên là thở ngực bụng ngược chiều tư thế nằm ngửa: hoạt động của các cơ hô hấp phụ tạo ra áp lực ngực hít vào âm (mặc dù có thể quan sát thấy cùng một kiểu khi tải hô hấp tăng lên) [33]. Khi cơ hoành bị liệt, áp lực âm này được truyền đến bụng, dẫn đến chuyển động vào trong của thành bụng.

Bảng 2 Chỉ định lâm sàng và vai trò của siêu âm cơ hô hấp ở người lớn ở khoa ICU hoặc khoa cấp cứu

Cài đặt	Chỉ định	Vai trò của siêu âm cơ hô hấp	Hiệu suất chẩn đoán	Hạn chế
Phòng chăm sóc đặc biệt	Cai máy khó khăn	Sự dịch chuyển và TFdi phát hiện DD	Sự dịch chuyển kém đến trung bình TFdi vừa phải Tốt hơn trong SBT Kết hợp với các thông số lâm sàng hiệu suất tốt hơn	Một phần đáng kể bệnh nhân được chẩn đoán mắc DD có thể được rút nội khí quản thành công
	Chuẩn độ hỗ trợ máy thở	Phát hiện sử dụng quá mức/thiếu hụt bằng TFdi		Cần xác nhận thêm
	Tương tác giữa bệnh nhân và máy thở	Độ lệch và/hoặc TFdi (so với dạng sóng máy thở) có thể phát hiện các loại mất đồng bộ khác nhau	Tốt/dễ lặp lại	Sự thay đổi hiệu quả giữa các đối tượng Không phù hợp để theo dõi liên tục
	Ước tính công thở	TFdi	Phạm vi nỗ lực lớn tại TFdi nhất định	Cần xác nhận thêm
	Nghi ngờ lâm sàng về tổn thương thần kinh hoành do điều trị (ví dụ, sau phẫu thuật)	Sự dịch chuyển có thể phát hiện tình trạng liệt/yếu (một bên)	Tốt	Không có
Cấp cứu	Khó thở không rõ nguyên nhân	Sự dịch chuyển/TFdi có thể phát hiện điểm yếu/tê liệt	Độ nhạy và thông số kỹ thuật cao	Không có
	AECOPD	Sự dịch chuyển/TFdi dự đoán NIV-thất bại	Vừa phải	Cần xác nhận thêm
Cả hai	Sự giãn cơ hoành một bên trên X-quang ngực	Tỷ lệ sự dịch chuyển/TFdi/trái sang phải	Tốt	Không có
	Chẩn đoán và theo dõi tình trạng yếu/liệt cơ hoành		Tốt, không có lỗi kỹ thuật	
	Đột quỵ kèm suy hô hấp		Phát hiện tốt sự liên quan của cơ hoành	Không có
	Rối loạn thần kinh cơ Tổn thương cột sống cổ		Có thể giúp dự đoán nhu cầu thở máy	

AECOPD: Đợt cấp tính của bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính, DD: rối loạn chức năng cơ hoành, ED: khoa cấp cứu, ICU: khoa chăm sóc đặc biệt, NIV: thông khí không xâm lấn, SBT: thử nghiệm thở tự nhiên, Tfdi: tỷ lệ phần dày cơ hoành

Hệ quả siêu âm của điều này là sự di chuyển về phía đầu của cơ hoành trong khi hít vào, được đo ở chế độ M. Ngoài ra, yếu cơ hoành đơn độc nghiêm trọng dẫn đến tăng phần dày của các cơ hô hấp phụ [24]. Do đó, siêu âm cơ hô hấp là phương thức tuyệt vời để chẩn đoán yếu cơ hoành (một bên) hoặc liệt ở những bệnh nhân suy hô hấp cấp tính [34, 35].

Yếu cơ hoành được chẩn đoán bằng độ lệch < 10–15 mm trong khi thở theo chu kỳ thở thở hoặc TFdi (tối đa) < 20% (Bảng 1) [6, 7, 10]. Ở những bệnh nhân bị liệt cơ hoành một bên, độ dày và TFdi của cơ hoành bị liệt ít hơn đáng kể so với nửa cơ hoành còn lại (Bảng 1) [10]. Tỷ lệ độ dày trái-phải < 0,5 hoặc > 1,6 nên được coi là bất thường [19]. Đáng chú ý, với rối loạn chức năng cơ hoành một bên, nửa cơ hoành bình thường có thể cho thấy độ lệch tương đối lớn, một cơ chế bù trừ để tạo ra đủ thể tích khí lưu thông [36, 37]. Đối với những bệnh nhân bị liệt hai bên, độ dày cơ hoành và TFdi thấp hơn giá trị tham chiếu [10].

Ở những bệnh nhân bị đợt cấp tăng CO₂ của COPD (acute hypercapnic exacerbation of COPD - AE-COPD), siêu âm cơ hoành có thể được sử dụng để dự đoán thành công của thông khí không xâm lấn (non-invasive ventilation - NIV). Tăng độ dịch chuyển cơ hoành trong NIV (> 18 mm so với < 12 mm) có liên quan đến thành công của NIV và giảm PaCO₂ sau một giờ [38, 39]. Người ta thấy rằng bấy khí là yếu tố hạn chế chính trong độ dịch chuyển cơ hoành ở bệnh nhân COPD [40]; do đó, độ dịch chuyển được cải thiện có thể là dấu hiệu của tình trạng siêu bơm phồng (hyperinflation) phổi giảm. Trong một nhóm bệnh nhân AE-COPD cần nhập viện ICU (n = 41), TFdi < 20% có liên quan đến thất bại NIV (R = 0,51) [41], điều này đã được xác nhận trong một nghiên cứu theo dõi lớn hơn (n = 75) (tỷ lệ nguy cơ thất bại NIV là 4,4) [42]. Do đó, siêu âm cơ hoành có thể làm giảm nguy cơ đặt nội khí quản chậm ở những bệnh nhân AE-COPD nặng cần NIV; tuy nhiên, cần phải xác nhận thêm.

Vai trò của siêu âm cơ hô hấp trong thông khí cơ học bảo vệ cơ hoành

Người ta đã đưa ra giả thuyết rằng cả việc hỗ trợ máy thở quá mức và hỗ trợ máy thở không đủ, lần lượt dẫn đến teo cơ và chấn thương cơ, đều đóng vai trò quan trọng trong bệnh sinh lý yếu cơ hoành liên quan đến bệnh nặng [13]. Để hạn chế những hậu quả có hại này, có vẻ hợp lý khi hiệu chỉnh hỗ trợ máy thở sao cho nỗ lực của cơ hoành nằm trong giới hạn sinh lý, được gọi là thông khí cơ học bảo vệ cơ hoành [13, 43, 44]. Mức độ hoạt động tối ưu của cơ hoành hiện chưa được biết và có thể thay đổi trong các điều kiện khác nhau (ví dụ: nhiễm trùng huyết, suy nhược); tuy nhiên, mức độ hoạt động của cơ hoành tương đối thấp, tương ứng với sự dao động áp lực thực quản là 4–8 cm H₂O có vẻ an toàn [45]. Vai trò của siêu âm trong thông khí bảo vệ cơ hoành chưa được nghiên cứu cụ thể, nhưng đánh giá TFdi, như một biện pháp thay thế cho nỗ lực, là một cách tiếp cận hợp lý. Dữ liệu từ Goligher và các đồng nghiệp chứng minh rằng TFdi từ 15 đến 30% trong những ngày đầu tiên thở máy có liên quan đến độ dày cơ ổn định [44] và thời gian thở máy ngắn nhất [13]. Theo đó, TFdi thấp (< 15%) ở bệnh nhân ở chế độ thở máy được hỗ trợ một phần làm tăng khả năng hỗ trợ máy thở quá mức; do đó, giảm hỗ trợ, trong khi theo dõi các thông số hô hấp khác (ví dụ, thể tích khí lưu thông, nhịp thở), là một cách tiếp cận hợp lý. Giới hạn trên của TFdi cho phép thông khí bảo vệ cơ hoành còn gây tranh cãi nhiều hơn. Mặc dù có mối tương quan vừa phải và có ý nghĩa thống kê giữa TFdi và nỗ lực cơ hoành (Pdi, PTP) [9, 14], nhưng phạm vi nỗ lực cơ hoành ở một TFdi nhất định là lớn. Chúng tôi đề xuất rằng ở những bệnh nhân có TFdi > 30–50%, có thể tăng hỗ trợ máy thở trong khi theo dõi các thông số hô hấp khác để tránh tăng khí phế nang. Do phép đo TFdi tương đối không chính xác, nên cần cân nhắc các kỹ thuật khác để theo dõi nỗ lực hô hấp.

Vai trò của siêu âm cơ hô hấp trong cai máy thất bại

Sự mất cân bằng giữa tải và khả năng của hệ hô hấp là nguyên nhân quan trọng gây ra thất bại SBT và thất bại rút nội khí quản [46]. Do đó, siêu âm cơ hô hấp có thể đóng vai trò quan trọng trong chẩn đoán phân biệt thất bại cai máy thở. Tuy nhiên, điều quan trọng cần nhấn mạnh là một tỷ lệ đáng kể bệnh nhân có thể cai máy thở thành công mặc dù bị rối loạn chức năng cơ hoành [47–49]. Ngoài ra, tính liên quan lâm sàng của việc dự đoán kết quả SBT bằng siêu âm vẫn còn gây tranh cãi; có liên quan hơn từ góc độ lâm sàng là việc sử dụng siêu âm để dự đoán thành công rút nội khí quản.

Sự dịch chuyển cơ hoành

Kim và cộng sự đã đánh giá độ dịch chuyển cơ hoành ở một loạt 89 bệnh nhân trên ống chữ T, trước khi bắt đầu SBT [50]. Rối loạn chức năng cơ hoành - tùy ý được định nghĩa là độ dịch chuyển < 10 mm có liên quan đến thất bại cai máy, nhưng hiệu suất dự đoán của nó kém (AUROC 0,61). Sử dụng cùng một ngưỡng, không tìm thấy mối liên quan nào giữa rối loạn chức năng cơ hoành và thất bại rút nội khí quản [51]. Điều thú vị là khi độ dịch chuyển cơ hoành được đo sau 30 phút kể từ khi bắt đầu SBT 2 giờ, hiệu suất dự đoán của ngưỡng 10 mm có vẻ cao hơn đáng kể (AUROC 0,88) [52]. Bệnh nhân sau phẫu thuật tim bị liệt cơ hoành một bên có thể được rút nội khí quản mà không chậm trễ, khi độ dịch chuyển cơ hoành bên đối diện > 25 mm khi nỗ lực hít vào tối đa [53]. Trong một phân tích tổng hợp của 10 nghiên cứu đánh giá sự dịch chuyển cơ hoành để dự đoán thất bại cai máy thở và kết hợp các định nghĩa khác nhau về thất bại cai máy thở, các tác giả đã báo cáo độ nhạy là 75% (95% CI 65–85) và độ đặc hiệu là 75% (95% CI 60–85), với tính không đồng nhất đáng kể [54]. Vì sự dịch chuyển cơ hoành phụ thuộc nhiều vào thể tích phổi [37], tính không đồng nhất đã báo cáo có thể được giải thích bằng vị trí bệnh nhân và

thời điểm đo, ví dụ, trước/trong SBT và có hoặc không có sự hỗ trợ của máy thở.

Spadaro và cộng sự [55] đã đánh giá chỉ số thở nông nhanh cơ hoành (D-RSBI: nhịp thở chia cho độ dịch chuyển cơ hoành) trong quá trình SBT qua ống chữ T và báo cáo hiệu suất tốt khi so sánh với RSBI đơn lẻ (D-RSBI AUROC 0,89 so với RSBI AUROC 0,72, tương ứng, $P = 0,006$). Palkar và cộng sự [56] đã đánh giá hiệu suất của tích độ dịch chuyển cơ hoành-thời gian (tức là chỉ số E–T), tích số độ dịch chuyển cơ hoành (cm) và thời gian hít vào (giây). Giảm chỉ số E–T < 3,8% giữa thông khí kiểm soát hỗ trợ và SBT PSV (5/5 H₂O) có độ nhạy là 79,2% và độ đặc hiệu là 75% để dự đoán thành công của việc rút nội khí quản.

Đáng chú ý là ở 191 bệnh nhân đã vượt qua SBT thành công, tình trạng cơ hoành di chuyển không liên quan đến việc rút nội khí quản thất bại [57]. Điều này cho thấy rằng sau khi hoàn thành SBT thành công, kết quả rút nội khí quản chủ yếu được xác định bởi các yếu tố khác ngoài chức năng cơ hoành.

Tỷ lệ dày lên của cơ hoành

Khi được thực hiện trong SBT, TFdi > 30–36% đã cho thấy khả năng dự đoán thành công của việc rút nội khí quản [52, 54, 58]. Ferrari và cộng sự đã đánh giá ở 46 bệnh nhân được thở máy qua ống mở khí quản, vai trò của TFdi(max) của nửa cơ hoành phải trong SBT, như một yếu tố dự báo kết quả cai máy [59] và báo cáo rằng TFdi(max) > 36% có liên quan đến SBT thành công (độ nhạy 0,82; độ đặc hiệu 0,88; AUROC 0,95). Trong một nghiên cứu khác, TFdi được tính toán trong quá trình thở qua ống chữ T hoặc thở máy hỗ trợ áp lực ở mức thấp ở bệnh nhân (N = 63) sau nỗ lực cai máy không thành công. TFdi ≥ 30% có độ nhạy là 0,88 và độ đặc hiệu là 0,71 (AUROC 0,79) đối với thành công của việc rút nội khí quản [60]. Trong phân tích tổng hợp được đề cập ở trên đánh giá giá trị dự đoán của các chuyển động

của cơ hoành, TFdi/TFdi (tối đa) cho thấy AUROC là 0,87 và tỷ lệ chênh lệch chẩn đoán là 21 (95% CI 11–40) để dự đoán thất bại cai máy [54]. Tỷ lệ chênh lệch chẩn đoán là thước đo hiệu quả của xét nghiệm chẩn đoán và được định nghĩa là tỷ lệ giữa tỷ lệ xét nghiệm dương tính nếu đối tượng mắc bệnh so với tỷ lệ xét nghiệm dương tính nếu đối tượng không mắc bệnh.

Nhìn chung, những kết quả này có vẻ gợi ý vai trò của siêu âm cơ hoành trong chẩn đoán phân biệt bệnh nhân gặp khó khăn khi cai máy, cho phép nhận biết tình trạng yếu cơ hoành tại giường. Tuy nhiên, vai trò của siêu âm cơ hoành trong việc dự đoán SBT thành công và rút nội khí quản thành công cần được đánh giá thêm và hiện không thể khuyến nghị.

Phương pháp ABCDE: đánh giá siêu âm có hệ thống đối với bệnh nhân cai máy không thành công

Thử nghiệm cai máy có thể được coi là một thử nghiệm gắng sức tim phổi: nó đòi hỏi phải tăng chỉ số tim, nhu cầu/tiêu thụ oxy và nỗ lực thở. Ở hầu hết bệnh nhân, tình trạng suy hô hấp sau rút nội khí quản là kết quả của sự kết hợp giữa rối loạn chức năng tim, trao đổi khí kém và/hoặc rối loạn chức năng cơ hoành. Do đó, ở những bệnh nhân không cai máy được, chúng tôi đề xuất sử dụng phương pháp tiếp cận có cấu trúc và tích hợp kết hợp các thông số lâm sàng, thông số xét nghiệm (ví dụ: pro-BNP) và đánh giá siêu âm phổi, tim và cơ hô hấp [61]. Ở đây, chúng tôi trình bày phương pháp tiếp cận ABCDE-Siêu âm, một công cụ hỗ trợ trực quan được thiết kế để chuẩn hóa phương pháp tiếp cận siêu âm đối với tình trạng không cai máy (Hình 2). Một phương pháp tiếp cận tương tự nhưng ít đầy đủ hơn đã được Mayo và cộng sự đề xuất [62]. Việc sử dụng siêu âm để đánh giá tim và phổi đã được mô tả trong loạt bài siêu âm chăm sóc đặc biệt Y học chăm sóc tích cực này [1, 2]. Thời điểm kiểm tra siêu âm phụ thuộc vào câu hỏi

lâm sàng. Để xác định những bệnh nhân có nguy cơ cai máy thất bại cao, việc kiểm tra được thực hiện trước SBT. Để dự đoán kết quả cai máy hoặc chẩn đoán nguyên nhân cai máy thất bại, việc kiểm tra được thực hiện tốt nhất sau khi bắt đầu và/hoặc kết thúc SBT [62].

Vai trò của siêu âm cơ hô hấp để đánh giá tương tác giữa bệnh nhân và máy thở

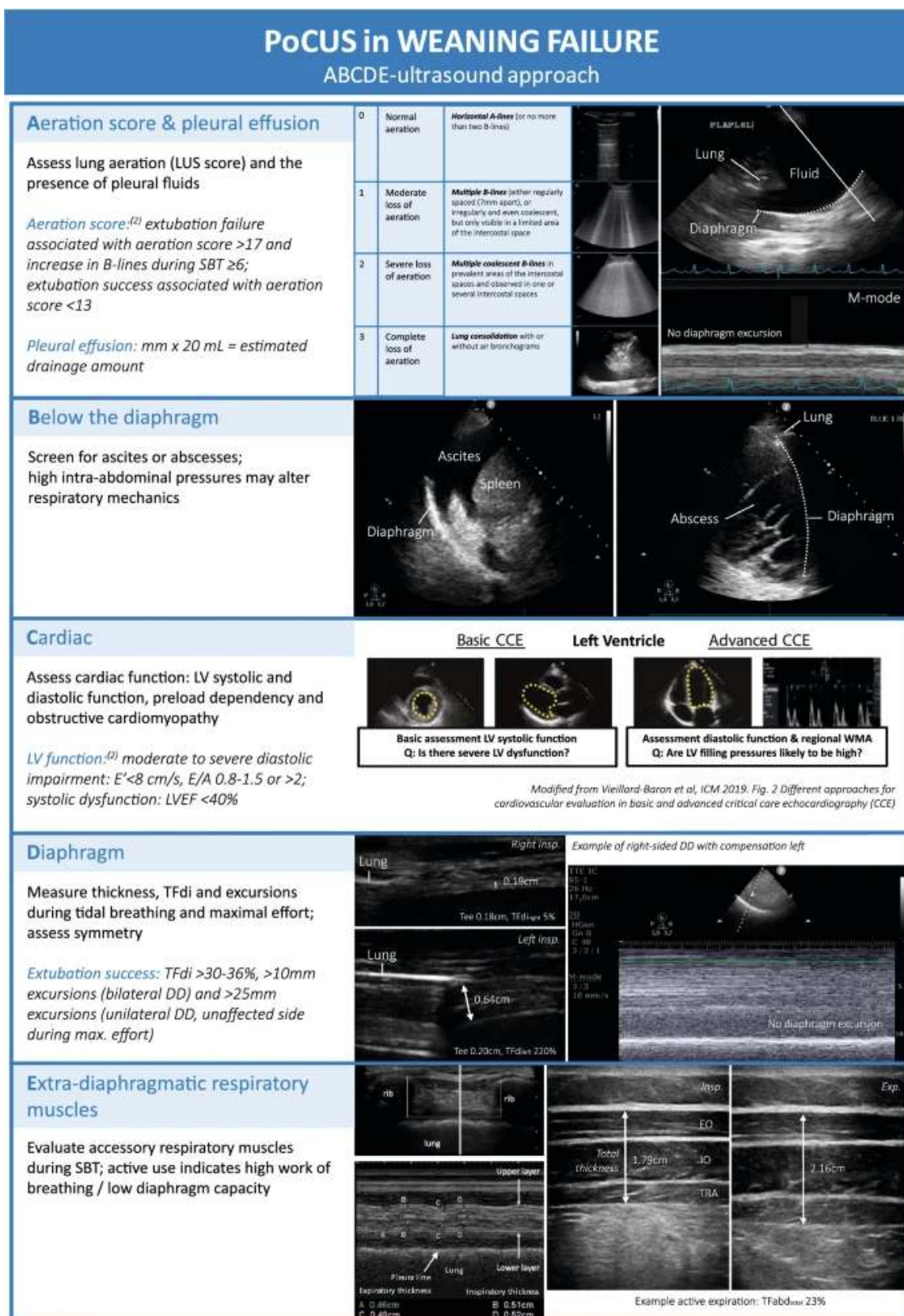
Sự không đồng bộ giữa bệnh nhân và máy thở có thể được định nghĩa là sự không khớp giữa thời gian hít vào của thần kinh và thời gian hít vào của máy thở [63]. Sự không đồng bộ giữa bệnh nhân và máy thở có liên quan đến kết quả xấu hơn [64] và xảy ra ở một nửa số bệnh nhân thở máy. Kiểm tra trực quan tín hiệu áp lực đường thở và lưu lượng có thể phát hiện ra sự không đồng bộ, nhưng đã được chứng minh là không đáng tin cậy [65]. Cả phép đo áp lực thực quản và hoạt động điện của cơ hoành đều được sử dụng như các kỹ thuật tiên tiến để đánh giá tương tác giữa bệnh nhân và máy thở [66]. Hai kỹ thuật này đều xâm lấn, hạn chế việc sử dụng chúng trong thực hành hàng ngày. Siêu âm cơ hoành có thể là một phương pháp thay thế hợp lý để phát hiện hầu hết các loại sự không đồng bộ giữa bệnh nhân và máy thở (Bảng 3), nhưng cần nghiên cứu thêm để xác định vai trò chính xác của nó [4, 67].

Hạn chế của siêu âm cơ hô hấp

Chúng tôi tóm tắt ngắn gọn những thách thức hiện tại của siêu âm cơ hô hấp. Điều này nhấn mạnh nhu cầu áp dụng phương pháp siêu âm có hệ thống trong thực hành lâm sàng và nghiên cứu.

Khả năng tái lập

Nghiên cứu đầu tiên và lớn nhất về độ tin cậy của phép đo độ dày cơ hoành và TFdi ở những bệnh nhân thở máy (n = 66) được thực hiện bởi Goligher và cộng sự [68]. Các phép đo được thực hiện sau khi đánh dấu vị trí đầu dò.



Hình 2 Siêu âm tại chỗ (PoCUS) ở những bệnh nhân cai máy thở thất bại: phương pháp ABCDE

Bảng 3 Các loại mất đồng bộ giữa bệnh nhân và máy thở và mối tương quan siêu âm của chúng

Asynchrony	Ultrasound correlate	Comments	Illustration
Wasted effort	Diaphragm excursion w/o ventilator triggering	Subcostal view M-mode Easy to perform	
Trigger delay	Delay between diaphragm excursion and ventilator triggering	Subcostal view M-mode Requires ventilator waveform display on ultrasound screen	
Double trigger	Diaphragm displacement during ventilator expiration, thereby triggering a second breath	Subcostal view M-mode During assisted modes	
Reverse trigger	Active diaphragm excursion after passive displacement, leading to a higher excursion amplitude and change in displacement slope	Subcostal view M-mode Fixed pattern Additional demonstration RT: TFdi during RT breath, no TFdi during a passive breath	
Auto-trigger	Absence of diaphragm thickening with mechanical assist	Intercostal view During assisted modes No thickening compared to other breaths	

Hệ số tái tạo trong người quan sát và giữa những người quan sát đối với độ dày cơ hoành cuối thì thở ra lần lượt là 0,2 mm và 0,4 mm [68], nghĩa là kỳ vọng rằng sự khác biệt tuyệt đối giữa hai phép đo của cùng một người quan sát không khác nhau quá

0,2 mm trong 95% trường hợp (hoặc 0,4 mm trong trường hợp hai người quan sát khác nhau). Tuy nhiên, cần lưu ý rằng 0,2 mm biểu thị khoảng 10% tổng độ dày cơ hoành ở cuối thì thở ra. Mặc dù nhìn chung, siêu âm cơ hoành có vẻ là một kỹ thuật đáng

tin cậy để đánh giá những thay đổi về độ dày cơ hoành theo thời gian, nhưng việc so sánh kết quả của từng bệnh nhân nên được thực hiện một cách thận trọng và chỉ sau khi được đào tạo đầy đủ, vì những thay đổi nhỏ phụ thuộc vào người quan sát (ví dụ: vị trí đo, góc đầu dò) sẽ ảnh hưởng đến kết quả.

Sự chính xác

Đo độ dày cơ chính xác không chỉ phụ thuộc vào kỹ năng của người vận hành mà còn phụ thuộc vào các khía cạnh kỹ thuật liên quan đến vật lý siêu âm và đặc điểm của bệnh nhân. Sự không rõ ràng của các màng xung quanh và góc chùm siêu âm không đủ so với trục cơ có thể dẫn đến lỗi đo. Hơn nữa, độ phân giải trục không gian (độ phân giải độ sâu, tức là $\frac{1}{2}$ độ dài xung không gian) của đầu dò đóng vai trò quan trọng. Vì độ dài xung siêu âm thường là hai chu kỳ và bước sóng siêu âm của đầu dò 10 MHz là 0,15 mm (tức là bước sóng = tốc độ âm thanh trong mô mềm/tần số = $1540 \text{ m/giây}/10 \text{ MHz} = 0,15 \text{ mm}$), độ phân giải độ sâu tương ứng là $\frac{1}{2} (2 \times 0,15) = 0,15 \text{ mm}$, cùng thứ tự với khả năng tái tạo trong người quan sát và đủ để hình dung cơ hoành. Dựa trên kỹ thuật siêu âm và thiết bị được sử dụng, việc xác định sự thay đổi nhỏ nhất có thể phát hiện được là điều cơ bản để phân biệt những thay đổi thực sự về độ dày cơ với hiện tượng nhiễu.

Nghiên cứu: các kỹ thuật mới và phát triển trong tương lai cho hình ảnh chức năng và định lượng các đặc tính của mô

Hình ảnh Doppler mô

Hình ảnh Doppler mô (Tissue Doppler imaging - TDI) định lượng vận tốc của các cấu trúc chuyển động [69]. Đây có thể là một phương thức thú vị chồng lên hình ảnh chuyển động cơ hoành chế độ B để định lượng động học của cơ hoành (video bổ sung

trực tuyến). Tính khả thi và độ tin cậy của TDI cơ hoành đã được xác nhận ở trẻ sơ sinh [70] và vai trò của TDI để đánh giá khả năng vận động và rối loạn chức năng của cơ hoành ở những bệnh nhân sau phẫu thuật tim đang được nghiên cứu (ClinicalTrials.gov; NCT03295344). Các ứng dụng tiềm năng bao gồm đánh giá chức năng cơ cơ hoành khu vực khi nghỉ ngơi và khi có tải, và đo vận tốc thư giãn cơ hoành. Những bất thường về thư giãn cơ hoành đã được mô tả là dấu hiệu của tình trạng cơ bóp bị suy yếu ở những bệnh nhân không cai máy [71], nhưng hiện nay chúng chỉ có thể được đánh giá bằng phép đo áp lực thực quản hoặc cơ hoành xâm lấn (hoặc có thể là suy giảm chuyển động chế độ M).

Hình ảnh biến dạng

Hình ảnh biến dạng (strain imaging) dựa trên khả năng theo dõi các đốm siêu âm theo thời gian và là một tính năng tuyệt vời để định lượng chuyển động và biến dạng của các cấu trúc giải phẫu. Điều này có lợi ích lớn so với TDI, vì hình ảnh biến dạng không bị ảnh hưởng bởi góc giữa chùm siêu âm và hướng chuyển động của mô. Hơn nữa, nó cho phép tính toán độ dịch chuyển, vận tốc và biến dạng của mô theo hai hướng. Gần đây, người ta đã chứng minh rằng biến dạng và tốc độ biến dạng có mối tương quan cao với áp lực xuyên cơ hoành ở những người khỏe mạnh [72]. Ngoài ra, Goutman và cộng sự đã áp dụng theo dõi đốm để đánh giá độ dịch chuyển thực của cơ hoành theo hai hướng, chính xác hơn so với các phép đo chuyển động dọc theo một đường chế độ M [73].

Đàn hồi sóng cắt

Đàn hồi sóng cắt (shear wave elastography) là một kỹ thuật cho phép định lượng mô đun đàn hồi của mô (E-Hình 2). Việc áp dụng kỹ thuật này trên cơ hoành có thể có tầm quan trọng về mặt lâm sàng vì những thay đổi về độ cứng của cơ có thể phản ánh những thay đổi về sinh lý cơ (ví dụ: chấn thương, xơ hóa). Hơn nữa, đàn hồi sóng cắt được coi là chính xác hơn và có thể tái tạo được hơn so với đánh giá độ hồi âm,

vốn phụ thuộc rất nhiều vào cài đặt siêu âm (ví dụ: độ khuếch đại, độ tương phản, v.v.). Một công trình chứng minh khái niệm được công bố gần đây đã chứng minh rằng những thay đổi về độ cứng của cơ hoành trong quá trình hít vào khi được đánh giá bằng đàn hồi sóng cắt siêu âm phản ánh những thay đổi về áp lực xuyên cơ hoành [74]. Do đó, nó có thể cung cấp một phương pháp không xâm lấn mới để đo nỗ lực của cơ hoành.

Kết luận

Siêu âm cơ hô hấp là một kỹ thuật không xâm lấn, không bức xạ, có sẵn rộng rãi, khả thi cao, có thể dễ

dàng áp dụng tại giường. Do đó, đây là phương thức chẩn đoán hình ảnh được lựa chọn để đánh giá các cơ hô hấp ở bệnh nhân ICU. Việc thành thạo siêu âm cơ hô hấp cho phép bác sĩ hồi sức tích cực nhanh chóng có được thông tin về chức năng toàn diện của bơm cơ hô hấp, đặc biệt là để chẩn đoán tình trạng yếu cơ hoành hoặc liệt. Kết hợp với siêu âm tim và phổi, nó có thể phát hiện những bệnh nhân có nguy cơ cai máy khó, dự đoán kết quả cai máy và giúp chẩn đoán nguyên nhân gây ra tình trạng cai máy không thành công. Một phương pháp tiếp cận siêu âm có cấu trúc dành cho những bệnh nhân này được trình bày.