

Giảm tải thất trái ở bệnh nhân được hỗ trợ oxy hóa qua màng ngoài cơ thể kiểu động - tĩnh mạch (VA-ECMO)

Left Ventricular Unloading in Patients on Veno-Arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation (VA-ECMO)

Nguyễn Tất Dững^{a*}, Nguyễn Xuân Khôi^a, Phan Văn Minh Quân^a, Phạm Văn Huệ^a,
Đương Thái Duy^a, Nguyễn Thái Thuận^a
Nguyen Tat Dung^{a*}, Nguyen Xuan Khoi^a, Phan Van Minh Quan^a, Pham Van Hue^a,
Duong Thai Duy^a, Nguyen Thai Thuan^a

^aBệnh viện Trung ương Huế, thành phố Huế, Việt Nam
^aHue Central Hospital, Hue city, Vietnam

(Ngày nhận bài: 15/09/2025, ngày phản biện xong: 22/10/2025, ngày chấp nhận đăng: 14/11/2025)

Tóm tắt

Kỹ thuật oxy hóa qua màng ngoài cơ thể kiểu động - tĩnh mạch (VA-ECMO) hỗ trợ tuần hoàn và hô hấp cho những bệnh nhân sốc tim nặng hoặc ngừng tim kháng trị. Tuy nhiên, VA-ECMO làm tăng hậu tải thất trái (LV), có thể dẫn đến giãn thất trái, sung huyết phổi và hình thành huyết khối. Những ảnh hưởng bất lợi này có thể cản trở phục hồi cơ tim và làm tăng tỷ lệ tử vong. Bài tổng quan này phân tích sinh lý bệnh của giãn thất trái trong VA-ECMO, các phương pháp theo dõi và phát hiện, cũng như các chiến lược giảm tải thất trái, làm nổi bật cả phương pháp giảm tải thụ động và chủ động. Mặc dù có bằng chứng ủng hộ nhiều kỹ thuật giảm tải khác nhau, nhưng lựa chọn tối ưu cần được cá thể hóa.

Từ khóa: VA-ECMO, giãn thất trái, giảm tải thất trái, Impella, bóng đối xung nội động mạch chủ

Abstract

Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) provides critical circulatory and respiratory support in patients with severe cardiogenic shock or refractory cardiac arrest. However, VA-ECMO increases left ventricular (LV) afterload, potentially leading to LV distention, pulmonary congestion, and thrombus formation. These adverse effects may hinder myocardial recovery and elevate mortality. This review examines the pathophysiology of LV distention during VA-ECMO, the methods to monitor and detect it, and the various strategies for LV unloading, highlighting both passive and active decompression approaches. While evidence supports several unloading techniques, the optimal strategy remains individualized.

Keywords: VA-ECMO, left ventricular distention, left ventricular unloading, Impella, intra-aortic balloon pump

1. Giới thiệu

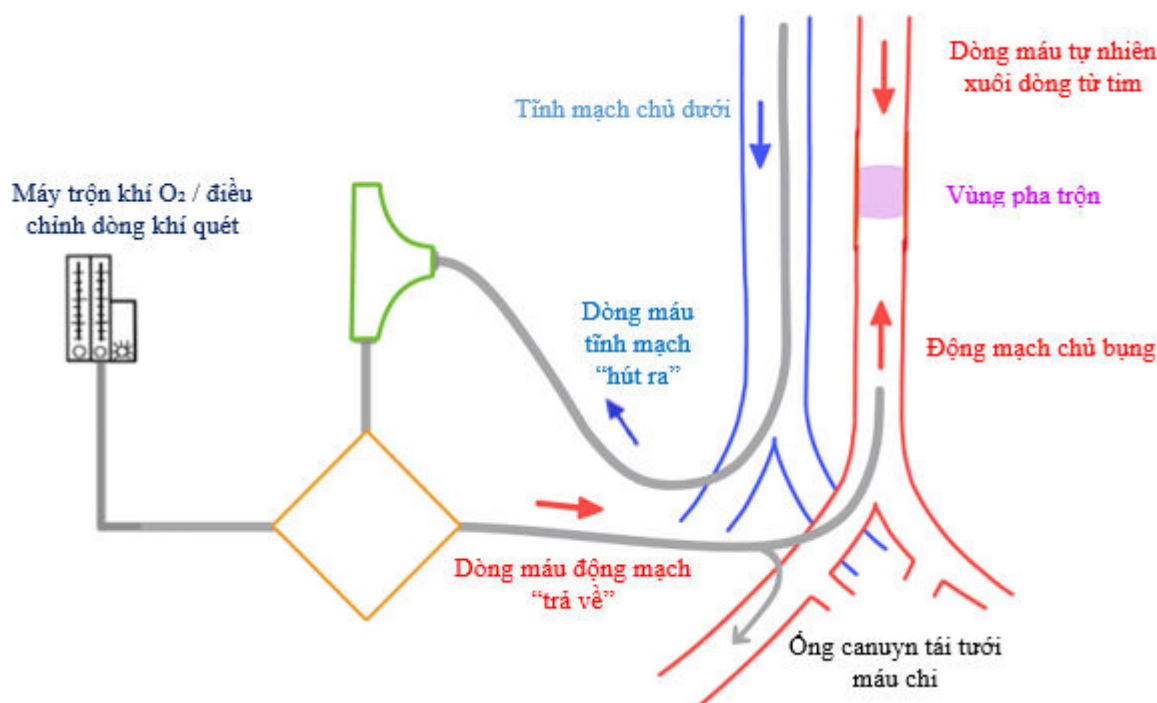
Tỷ lệ tử vong trong sốc tim vẫn còn cao dù đã có nhiều tiến bộ vượt bậc trong điều trị [17]. Hỗ trợ tuần hoàn cơ học, đặc biệt là VA-ECMO, đã

trở nên phổ biến như một chiến lược tạm thời nhằm khôi phục tưới máu tuần hoàn hệ thống ở bệnh nhân nguy kịch. Từ khi được giới thiệu năm 1977, kỹ thuật ECMO đã có nhiều phát triển

*Tác giả liên hệ: Nguyễn Tất Dững
Email: ngtatdung2015@gmail.com

để hỗ trợ bệnh nhân cả suy hô hấp nặng và sốc tim [2]. Tuy nhiên, VA-ECMO vẫn có những nhược điểm nhất định. Ngoài hiện tượng tan máu, rối loạn đông máu, dòng máu chảy ngược lên động mạch chủ khi vận hành VA ECMO đã làm tăng hậu tải thất trái, làm giảm hiệu quả hỗ

trợ tuần hoàn, hô hấp do gây giãn thất trái và phù phổi [7]. Hiện tượng này ngày càng được quan tâm, với bằng chứng cho thấy hơn một nửa bệnh nhân VA-ECMO xảy ra quá tải thất trái ở mức độ nào đó làm tiên lượng bệnh xấu đi [10].



Hình 1. Dòng chảy ngược trong động mạch chủ của VA-ECMO

2. Giãn thất trái trong VA-ECMO

2.1. Cơ chế

Có hai hệ thống VA-ECMO: ngoại vi và trung tâm. Hệ thống ngoại vi rút máu tĩnh mạch từ nhĩ phải (qua tĩnh mạch chủ dưới hoặc trên) và thường truyền lại máu đã được oxy hóa qua động mạch đùi để vào hệ thống động mạch. Kỹ thuật này bỏ qua tuần hoàn phổi và các buồng tim bên trái. Như vậy hệ thống này cung cấp dòng máu ngược không sinh lý dẫn đến những thay đổi huyết động đáng kể (Hình 1). Tác động bất lợi chính của VA-ECMO đối với một trái tim đang suy yếu là làm tăng sức căng thành thất trái do tăng hậu tải và/hoặc rút máu tĩnh mạch không đủ [3]. Sự giảm lưu lượng máu xuyên phổi (tức bỏ qua tuần hoàn phổi) làm giảm tiền tải thất trái, nhưng dòng máu ngược chiều trong động mạch chủ cũng làm tăng huyết áp động mạch trung

bình và tăng hậu tải thất trái. Điều này làm tăng đáng kể mức tiêu thụ oxy cơ tim. Khi có rối loạn chức năng thất trái nghiêm trọng, thất trái không thể duy trì mức tăng hậu tải như vậy, dẫn đến giảm mạnh thể tích nhát bóp thất trái. Ở những bệnh nhân bị suy giảm nặng khả năng co bóp cơ tim, thất trái thậm chí có thể ngừng tổng máu hoàn toàn.

Nếu lượng máu tĩnh mạch trở về của bệnh nhân vượt quá lưu lượng máu ngoài cơ thể, tức là hệ thống ECMO không đủ khả năng dẫn lưu hết máu từ hệ thống tĩnh mạch trở về tim phải, thì một phần máu tĩnh mạch sẽ đi vào thất phải theo con đường sinh lý bình thường. Lúc đó, thất phải tổng máu qua tuần hoàn phổi và góp phần làm đầy tâm nhĩ trái (LA) và thất trái (LV). Các nguồn máu trở về thất trái khác là shunt động mạch tĩnh mạch phổi, hở van động mạch chủ,

t tuần hoàn phế quản và tĩnh mạch Thebesian. Mặc dù rút máu tĩnh mạch đầy đủ với VA-ECMO, thường vẫn có một lượng máu chảy qua giường mạch máu phổi và một lượng máu trở về tâm nhĩ trái. Trong bối cảnh này, cả thể tích và áp suất cuối tâm trương thất trái có thể tăng dần nếu không có tổng máu, áp lực mao mạch phổi bít (PCWP) tăng lên, dẫn đến sung huyết phổi. Hơn nữa, sự giãn thất trái làm tăng sức căng thành thất trái và có thể làm tổn hại tưới máu vành dưới nội tâm mạc, làm suy giảm thêm chức năng thất trái. Cuối cùng, sự kết hợp giữa khả năng co bóp thất trái kém với giảm hoặc không mở van động mạch chủ trong thì tâm thu có thể gây ứ máu nghiêm trọng trong thất trái và thúc đẩy hình thành huyết khối [4], [14].

Người ta vẫn cần xác định liệu hệ thống VA-ECMO trung tâm với các ống thông (canule) ở tâm nhĩ phải và động mạch chủ lên có hạn chế được những hậu quả bất lợi này không do dòng chảy xuôi sinh lý hơn trong động mạch chủ.

2.2. Theo dõi và phát hiện giãn thất trái ở bệnh nhân hỗ trợ VA-ECMO

Phát hiện giãn thất trái rất quan trọng để ngăn ngừa biến chứng. Mặc dù đo trực tiếp áp lực cuối tâm trương thất trái qua catheter vẫn là tiêu chuẩn vàng, phương pháp này hiếm khi thực hiện được trong ICU. Do đó, các bác sĩ lâm sàng dựa vào các dấu hiệu gián tiếp như: giảm áp lực mạch, phù phổi kéo dài, tăng áp lực động mạch phổi tâm trương hoặc áp lực mao mạch phổi bít. Áp lực mạch dưới 10 mmHg thường được coi là đáng lo ngại. Phù phổi rõ ràng là giai đoạn cuối của tình trạng giãn thất trái và thường dễ chẩn đoán. Việc sử dụng ống thông động mạch phổi ở những bệnh nhân đang dùng VA-ECMO là một cách thuận tiện để theo dõi hiện tượng giãn thất trái. Thật vậy, sự gia tăng dần dần áp lực tâm trương và áp lực mao mạch phổi bít sẽ khiến bác sĩ lâm sàng nghi ngờ tình trạng giãn thất trái tiến triển và sẽ thực hiện siêu âm tim kịp thời để xác nhận tình trạng giãn thất trái.

Siêu âm tim cho thấy các dấu hiệu giãn thất trái thông qua tăng đường kính cuối tâm trương thất trái, tăng tỷ lệ E/E', hiện tượng “khói” (spontaneous echo contrast), van động mạch chủ đóng/mở gián đoạn hoặc không mở và xuất hiện huyết khối. Các dấu hiệu khác của giãn thất trái bao gồm: bằng chứng phù phổi, tăng áp lực ổ đầy thất trái, loạn nhịp thất kháng trị và ứ đọng thuốc cản quang trong động mạch phổi trên chụp cắt lớp vi tính hoặc chụp mạch thông thường [16]. Khi có các dấu hiệu này thì cần cân nhắc ngay lập tức các can thiệp cơ học để giảm áp thất trái. Các dấu hiệu tinh tế hơn như giảm vận động van động mạch chủ hoặc phù mô kẽ nhẹ cần được lưu ý. Siêu âm ngực cũng là một công cụ hữu ích để đánh giá phù kẽ, đông đặc phổi hoặc tràn dịch màng phổi. Việc theo dõi huyết động, hình ảnh X Quang và siêu âm hàng ngày rất quan trọng để nhận diện và xử trí kịp thời biến chứng nguy hiểm này.

2.3. Chiến lược điều trị giãn thất trái

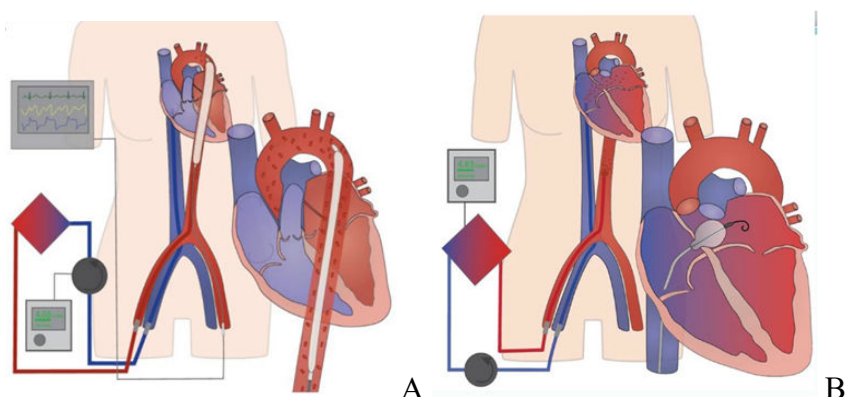
Xử trí giãn thất trái trong VA-ECMO bao gồm cả biện pháp giảm tải thất trái thụ động và chủ động. Các chiến lược giảm tải thất trái thụ động bao gồm việc sử dụng thuốc tăng co bóp cơ tim, bơm bóng trong động mạch chủ và phẫu thuật mở vách liên nhĩ để giảm tải trước và/hoặc hậu tải thất trái. Giảm tải thất trái chủ động thường đề cập đến việc hút trực tiếp máu từ các khoang bên trái thông qua ống thông được đưa vào bằng phẫu thuật hoặc qua da. Lựa chọn phương pháp nào sẽ phụ thuộc vào mức độ quá tải thất trái, bệnh lý nền của bệnh nhân và kinh nghiệm, nguồn lực của các trung tâm (Bảng 1).

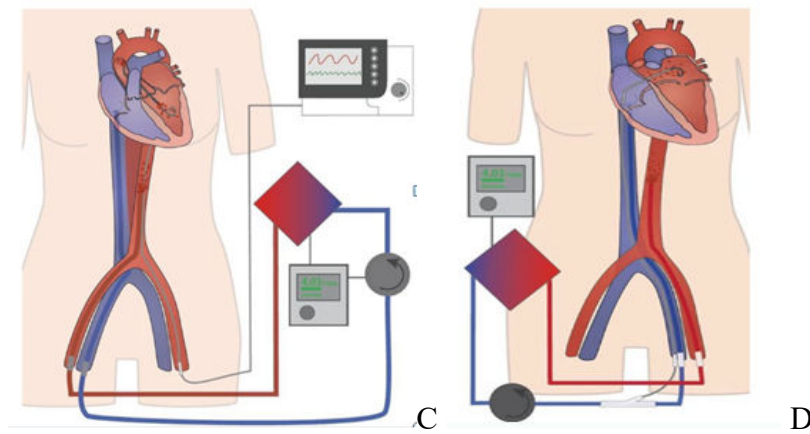
Biện pháp ban đầu bao gồm điều chỉnh lưu lượng ECMO ở mức tối thiểu cần thiết để duy trì tưới máu cơ quan và giảm hậu tải. Hạn chế dịch, dùng lợi tiểu hoặc lọc máu liên tục giúp giảm tiền tải; thuốc tăng co bóp liều thấp giúp cải thiện co bóp và mở van động mạch chủ [5], [15]. Tuy nhiên, ở bệnh nhân suy tim nặng, những biện pháp này thường không đủ.

Bảng 1. So sánh hiệu quả của các phương thức giảm tải thất trái

	Phương thức	Thuận lợi	Nhược điểm
Giảm tải thất trái thụ động	Thuốc tăng co bóp	Đơn giản, rẻ tiền, điều trị ban đầu, không cần “thiết bị”	Tăng tiêu thụ O ₂ cơ tim, tăng nguy cơ hoặc loạn nhịp tim, tác động riêng biệt đến việc giảm tải thất trái
	IABP	Quen thuộc và đơn giản khi sử dụng, dễ dàng và dễ đặt tại giường, tỷ lệ biến chứng thấp, tăng cường tuần hoàn mạch vành	Giảm tải một phần, thiếu máu cục bộ chi, đòi hỏi nhịp tim đều, chống chỉ định trong hở van động mạch chủ và phình động mạch chủ
	Mở vách liên tâm nhĩ	Dẫn lưu máu qua RA-LA, nếu hở van hai lá nặng, trực tiếp giảm tải thất trái	Nguy cơ thủng/tổn thương các cấu trúc lân cận, đặt ống hút sai vị trí, sử dụng thuốc cản quang gây độc cho thận, cần “rút ngay” sau khi bệnh nhân cải thiện
Giảm tải thất trái chủ động	Impella	Giảm trực tiếp, không cần kích hoạt, tăng cường lưu lượng máu toàn thân	Tăng nguy cơ tan máu, chảy máu và huyết khối, thiếu máu cục bộ chi, chống chỉ định trong trường hợp hở động mạch chủ và phình động mạch chủ, Impella 5.0 cần phải phẫu thuật đưa vào,
	Ống thông giảm áp qua phẫu thuật	Giảm trực tiếp	Biến chứng kỹ thuật đặt ống, nếu đặt ống thông vào động mạch phổi có thể xảy ra tình trạng thiếu máu cục bộ phổi. Phương pháp phẫu thuật đòi hỏi phải mở xương ức hoặc mở ngực nhỏ
	Ống thông giảm áp qua da	Giảm trực tiếp	Biến chứng kỹ thuật đặt ống

IABP, bóng đối xung nội động mạch chủ; LV, tâm thất trái/tâm thất trái; RA-LA, tâm nhĩ phải-tâm nhĩ trái [12].





Hình 2. Các phương pháp cơ học giảm tải thất trái [18]

A: Bóng đối xung nội động mạch chủ; B: Mở vách liên nhĩ; C: Thiết bị Impella cung cấp giảm tải thất trái; D: Giảm tải nhĩ trái chủ động qua ống thông qua da

Trong các thiết bị cơ học, bóng đối xung nội động mạch chủ (IABP) được sử dụng rộng rãi. Nó làm giảm hậu tải qua việc bơm bóng thì tâm trương và tăng tưới máu vành. Một số nghiên cứu quan sát và phân tích gộp cho thấy IABP kết hợp VA-ECMO cải thiện kết cục, đặc biệt sau phẫu thuật tim và ngừng tim kháng trị [11], [13]. Tuy nhiên, khi phù phổi đã tiến triển, hiệu quả của IABP thường hạn chế [6] (Hình 2).

Mở vách liên nhĩ là một kỹ thuật khác để giảm tải. Việc tạo ra luồng thông trái - phải nhân tạo giúp máu từ nhĩ trái chuyển sang nhĩ phải rồi được hút vào hệ thống ECMO. Kỹ thuật này giúp giảm áp lực nhĩ trái đến 15 mmHg [1], đặc biệt nếu có hở van hai lá nặng. Tuy nhiên, nó đòi hỏi kỹ năng cao và có nguy cơ biến chứng như thủng vách hoặc sai lệch vị trí lỗ mở (Hình 2).

Thiết bị Impella cung cấp giảm tải thất trái chủ động, liên tục. Được đặt qua van động mạch chủ, nó bơm máu từ thất trái vào động mạch chủ lên, giúp giảm áp lực cuối tâm trương và cải thiện lưu lượng máu ra hệ thống tuần hoàn. Các nghiên cứu lâm sàng cho thấy Impella kết hợp với VA-ECMO làm giảm tử vong và hỗ trợ quá trình hồi phục hoặc chuyển sang hỗ trợ dài hạn [10]. Tuy nhiên, chi phí cao và nguy cơ tan máu, chảy máu, tổn thương mạch nên đã giới hạn việc sử dụng rộng rãi [12] (Hình 2).

Phẫu thuật đặt ống dẫn lưu thất trái thường áp dụng ở bệnh nhân ECMO trung tâm hoặc sau phẫu thuật tim. Có thể đặt catheter qua nhĩ trái, tĩnh mạch phổi hoặc mồm tim. Dù hiệu quả, can thiệp phẫu thuật mang nguy cơ chảy máu và chỉ phù hợp ở bệnh nhân đã có chỉ định phẫu thuật. Các kỹ thuật ít xâm lấn hơn như mở ngực tối thiểu hoặc đường dưới mũi ức đang được phát triển [12].

Ống thông dẫn lưu qua da đặt qua vách liên nhĩ hoặc động mạch phổi là giải pháp thay thế ít xâm lấn. Nó cho phép dẫn lưu liên tục từ nhĩ trái hoặc động mạch phổi vào hệ thống ECMO. Đặt sớm ở bệnh nhân nguy cơ cao có thể cải thiện kết cục, nhưng vẫn có nguy cơ tuột ống hoặc thủng tim [9] (Hình 2).

3. Thảo luận

Sốc tim kháng trị đã dẫn đến việc phát triển các thiết bị và kỹ thuật hỗ trợ tâm thất. Trong bối cảnh cấp tính, VA-ECMO ngày càng được sử dụng nhiều hơn, vì nó nhanh chóng phục hồi tưới máu cơ quan đích và cho phép có nhiều thời gian hơn để đưa ra quyết định điều trị: chờ phục hồi cơ tim, bắc cầu đến các phương pháp hỗ trợ tuần hoàn cao cấp hơn hoặc ghép tim [1]. Việc quản lý bệnh nhân sử dụng VA-ECMO rất khó khăn vì có thể xảy ra nhiều biến chứng. Một vấn đề quan trọng là VA-ECMO làm tăng hậu tải thất

trái ở những bệnh nhân thường đã suy giảm chức năng thất trái, gây giảm lưu lượng máu ra hệ tuần hoàn biểu hiện với tình trạng ứ máu, giãn thất trái, tăng áp lực ổ đày và phù phổi. Tỷ lệ quá tải thất trái lên tới 70% đã được mô tả ở những bệnh nhân sử dụng ECMO với những tác động có hại tiềm ẩn và tử vong [10].

Các phương pháp điều trị đầu tay của giãn thất trái là quản lý tối ưu thể tích tuần hoàn và sử dụng thuốc tăng co bóp cơ tim như một nỗ lực ban đầu để cải thiện sự co bóp thất trái và mở van động mạch chủ. Nhìn chung, việc theo dõi đường huyết áp động mạch trên monitoring thấy rõ các sóng tâm thu và tâm trương thì hầu như loại trừ được tình trạng giãn thất trái, vì tim có đủ sức để mở van động mạch chủ và tạo ra áp suất tâm thu và tâm trương, tổng một ít máu ra trong mỗi nhịp đập. Ngược lại, việc mất đường động mạch đập tức là dạng sóng huyết áp “phẳng” trên monitoring hoặc xuất hiện phù phổi nên được coi là trường hợp khẩn cấp và cần phải đánh giá lại các thông số của ECMO và phương pháp cơ học hỗ trợ của bệnh nhân. Siêu âm tim và/hoặc thông tim đo áp suất thất trái. Áp suất cuối tâm trương thất trái tăng cao là dấu hiệu để nâng cấp chiến lược hỗ trợ.

Sử dụng thuốc tăng co bóp cơ tim và IABP là ưu tiên thứ hai nếu việc tối ưu hóa lưu lượng ECMO, thuốc hoạt mạch và liệu pháp truyền dịch không cải thiện được tình trạng giãn thất trái.

Nếu thuốc tăng co bóp cơ tim và IABP không hiệu quả, nên cân nhắc các liệu pháp giảm tải thất trái chủ động xâm lấn hơn. Trong trường hợp có hở van hai lá chức năng hay không cố định thứ phát do giãn thất trái, phẫu thuật mở vách liên nhĩ hoặc dẫn lưu nhĩ trái chủ động qua ống thông xuyên vách liên thất có thể là lựa chọn tốt vì chúng có thể làm giảm ngay lập tức áp lực thất trái ở cả tâm thu và tâm trương. Trong trường hợp không có hở van hai lá, giảm tải nhĩ trái chỉ có thể làm giảm áp lực tâm trương và chỉ

khi van hai lá mở ở thì tâm trương. Nếu áp lực tâm trương thất trái luôn vượt quá áp lực nhĩ trái, van có thể không mở và dẫn lưu nhĩ trái có thể không hiệu quả trong việc giảm tải thất trái. Sự phối hợp giữa các chuyên khoa hồi sức, tim mạch và ngoại khoa xác định loại sinh lý tuần hoàn ngoài cơ thể nào có ở mỗi bệnh nhân và sử dụng phương pháp tiếp cận từng bước để giảm thiểu biến chứng và tối đa hóa lợi ích với công nghệ phức tạp này [12]. Cần đánh giá đầy đủ tất cả các thông số như huyết áp động mạch và dạng sóng của nó, bằng chứng tổng máu thất trái, nhịp tim (tránh nhịp tim nhanh hoặc chậm), nhiệt độ, độ bão hòa oxy và các thông số thở máy theo oxy, phân tích axit-bazơ và tình trạng thể tích và áp lực trên máy thở. Ngoài ra, cần phải siêu âm tim hàng ngày để đo kích thước thất trái, đánh giá độ mở van động mạch chủ và sự hiện diện của huyết khối. Mỗi trường hợp có thể cần một phương pháp tiếp cận khác nhau và cá nhân hóa để giảm áp thất trái. Chưa có phương pháp nào chứng minh ưu thế tuyệt đối và thiếu các thử nghiệm ngẫu nhiên. Do đó, lựa chọn chiến lược giảm tải cần dựa trên tình trạng bệnh nhân, mức độ suy thất trái, có hay không hở van hai lá và năng lực của từng trung tâm. Can thiệp sớm trước khi phù phổi hoặc huyết khối xuất hiện rất quan trọng để cải thiện kết cục.

4. Kết luận

Giãn thất trái là biến chứng thường gặp và nghiêm trọng ở bệnh nhân được hỗ trợ VA-ECMO, có thể làm nặng thêm tình trạng phù phổi, hình thành huyết khối và cản trở quá trình phục hồi cơ tim. Việc xử trí cần tiến hành theo từng bước một cách hợp lý. Trong giai đoạn ban đầu, truyền dịch và thuốc vận mạch được ưu tiên nhằm ổn định huyết động và duy trì tưới máu cơ quan. Khi chức năng co bóp thất trái giảm rõ, việc sử dụng thuốc tăng co bóp cơ tim giúp cải thiện co bóp và tạo điều kiện mở van động mạch chủ. Nếu các biện pháp này không đủ, bóng đối xung động mạch chủ (IABP) có thể được lựa

chọn để hỗ trợ giảm tải thất trái và tăng cường tưới máu vành. VA-ECMO là phương tiện hỗ trợ tuần hoàn quan trọng trong sốc tim kháng trị nhưng cần đi kèm chiến lược giảm tải thất trái để hạn chế các biến chứng bất lợi. Trong trường hợp giãn thất trái nặng với phù phổi tiến triển hoặc nguy cơ hình thành huyết khối, các biện pháp giảm tải chủ động như mở vách liên nhĩ, Impella hoặc dẫn lưu trực tiếp cần được cân nhắc. Nhìn chung, can thiệp sớm, phối hợp đa chuyên khoa và cá thể hóa chiến lược điều trị có ý nghĩa then chốt trong việc cải thiện tiên lượng cho người bệnh. Cần thêm nghiên cứu để xác định tiêu chí lựa chọn và tối ưu thời điểm can thiệp giảm tải.

Tài liệu tham khảo

- [1] Baruteau, A.E., Barnette, T., Morin, L., et al. (2018). "Percutaneous balloon atrial septostomy on top of venoarterial extracorporeal membrane oxygenation results in safe and effective left heart decompression." *European Heart Journal: Acute Cardiovascular Care*, 7, 70–79.
- [2] Bartlett, R.H., Gazzaniga, A.B., Fong, S.W., et al. (1977). "Extracorporeal membrane oxygenator support for cardiopulmonary failure: Experience in 28 cases." *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 73, 375–386.
- [3] Bavaria, J.E., Ratcliffe, M.B., Gupta, K.B., Wenger, R., et al. (1988). "Changes in left ventricular systolic wall stress during biventricular circulatory assistance." *Annals of Thoracic Surgery*, 45, 526–532.
- [4] Donker, D.W., Brodie, D., Henriques, J.P.S., Broomé, M. (2019). "Left ventricular unloading during veno-arterial ECMO: A simulation study." *ASAIO Journal*, 65, 11–20.
- [5] Kapur, N.K., Zisa, D.C. (2016). "Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) fails to solve the haemodynamic support equation in cardiogenic shock." *EuroIntervention*, 11, 1337–1339.
- [6] Lim, H.S. (2017). "The Effect of Impella CP on Cardiopulmonary Physiology during Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation Support." *Artificial Organs*, 41, 1109–1112.
- [7] Martin, G.R., Short, B.L. (1988). "Doppler echocardiographic evaluation of cardiac performance in infants on prolonged extracorporeal membrane oxygenation." *American Journal of Cardiology*, 62, 929–934.
- [8] Meani, P., Gelsomino, S., Natour, E., et al. (2017). "Modalities and Effects of Left Ventricle Unloading on Extracorporeal Life Support: A Review of the Current Literature." *European Journal of Heart Failure*, 19(Suppl. 2), 84–91.
- [9] Na, S.J., Yang, J.H., Sung, K., et al. (2019). "Left heart decompression at venoarterial extracorporeal membrane oxygenation initiation in cardiogenic shock: Prophylactic versus therapeutic strategy." *Journal of Thoracic Disease*, 11, 3746–3756.
- [10] Pappalardo, F., Schulte, C., Pieri, M., et al. (2017). "Concomitant implantation of Impella® on top of venoarterial extracorporeal membrane oxygenation may improve survival of patients with cardiogenic shock." *European Journal of Heart Failure*, 19, 404–412.
- [11] Rastan, A.J., Dege, A., Mohr, M., et al. (2010). "Early and late outcomes of 517 consecutive adult patients treated with extracorporeal membrane oxygenation for refractory postcardiotomy cardiogenic shock." *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 139, 302–311.e1.
- [12] Ricarte Bratti, J.P., Cavayas, Y.A., Noly, P.E., Serri, K., Lamarche, Y. (2021). "Modalities of Left Ventricle Decompression during VA-ECMO Therapy." *Membranes (Basel)*, 11(3), 209. DOI: 10.3390/membranes11030209.
- [13] Ro, S.K., Kim, J.B., Jung, S.H., et al. (2014). "Extracorporeal life support for cardiogenic shock: Influence of concomitant intra-aortic balloon counterpulsation." *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 46, 186–192.
- [14] Roumy, A., Liaudet, L., Rusca, M., et al. (2020). "Pulmonary complications associated with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: A comprehensive review." *Critical Care*, 24, 212. DOI: 10.1186/s13054-020-02919-y.
- [15] Rupprecht, L., Florchinger, B., Schopka, S., et al. (2013). "Cardiac decompression on extracorporeal life support: A review and discussion of the literature." *ASAIO Journal*, 59, 547–553.
- [16] Truby, L.K., Takeda, K., Mauro, C., et al. (2017). "Incidence and Implications of Left Ventricular Distention during Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation Support." *ASAIO Journal*, 63, 257–265.
- [17] Wayangankar, S.A., et al. (2016). "Temporal Trends and Outcomes of Patients Undergoing Percutaneous Coronary Interventions for Cardiogenic Shock in the Setting of Acute Myocardial Infarction: A Report from the CathPCI Registry." *JACC: Cardiovascular Interventions*, 9, 341–351.
- [18] Westermann, D., Luesebrink, E., et al. (2023). "Venting during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation." *Clinical Research in Cardiology*, 112, 465–505. DOI: 10.1007/s00392-022-02125-8.