Nguyên lý, vai trò và ứng dụng của xét nghiệm đo độ đàn hồi cục máu (ROTEM) trong phẫu thuật tim với tuần hoàn ngoài cơ thể

Principle, role and application of rotational thromboelastometry (ROTEM) in cardiac surgery with cardiopulmonary bypass

Vũ Thành Lâm*

Bệnh viện Đa khoa Quốc tế Vinmec Times

Tóm tắt

Phẫu thuật tim với tuần hoàn ngoài cơ thể (THNCT) là loại phẫu thuật có nguy cơ cao gây rối loạn đông máu do nhiều nguyên nhân khác nhau. Để điều chỉnh rối loạn đông máu trong phẫu thuật này trước đây thường dựa vào các xét nghiệm đông máu cơ bản nhưng các xét nghiệm này thiếu tính toàn diện về tình trạng đông máu lại có thời gian xét nghiệm thường quá dài để hướng dẫn các quyết định lâm sàng. Đo độ đàn hồi cục máu (ROTEM) là một xét nghiệm đông máu tại chỗ toàn diện hơn, lại cho kết quả nhanh và đáng tin cậy hơn, từ đó giúp hiệu quả hơn trong điều chỉnh rối loạn đông máu. Bài báo cáo này tổng quan nguyên lý, vai trò và ứng dụng của ROTEM để điều chỉnh rối loạn đông máu ở các bệnh nhân phẫu thuật tim với THNCT. Từ đó, sẽ giúp hiểu rõ hơn về xét nghiệm ROTEM và mở ra một hướng mới giúp quá trình gây mê hồi sức cho phẫu thuật tim với THNCT hiệu quả và toàn diện hơn.

Từ khóa: Đo độ đàn hồi cục máu, rối loạn đông máu, phẫu thuật tim, tuần hoàn ngoài cơ thể.

Summary

Cardiac surgery with cardiopulmonary bypass (CPB) is a type of surgery with a high risk of coagulation disorders due to many different causes. To correct coagulation disorders in this surgery, basic coagulation tests were often used, but these tests lacked comprehensiveness in coagulation status and the test time was often too long to guide clinical decisions. Rotational thromboelastometry (ROTEM) is a more comprehensive, fast, and reliable on-site coagulation test, which is more effective in correcting coagulation disorders. This report reviews the principles, roles, and applications of ROTEM to correct coagulation disorders in patients undergoing cardiac surgery with CPB. This will help to better understand the ROTEM test and open a new direction to help the anesthesia and resuscitation process for cardiac surgery with CPB be more effective and comprehensive.

Keywords: Rotational thromboelastometry, coagulation disorders, cardiac surgery cardiopulmonary bypass.

Ngày nhận bài: 18/3/2025, ngày chấp nhận đăng: 23/5/2025

** Tác giả liên hệ: vuthanhlammd@gmail.com - Bệnh viện Đa khoa Quốc tế Vinmec Times*

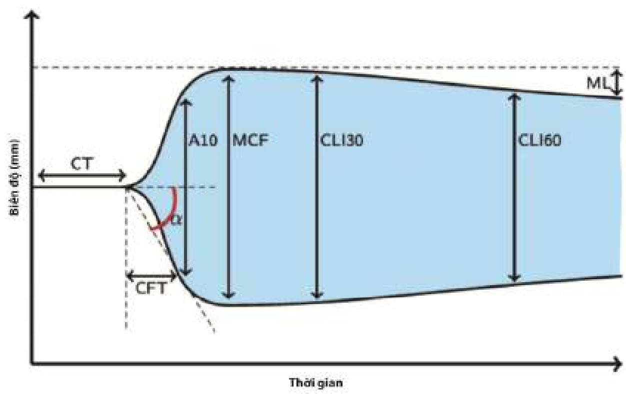
I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phẫu thuật tim với tuần hoàn ngoài cơ thể (THNCT) là loại phẫu thuật có nguy cơ cao gây rối loạn đông máu do nhiều nguyên nhân khác nhau như mất máu khối lượng lớn, giảm nồng độ fibrinogen máu, sử dụng liệu pháp chống tiểu cầu kép, thuốc chống đông, phá hủy cơ học tiểu cầu, heparin tồn dư, phản ứng viêm toàn thân do THNCT và hạ thân nhiệt trong khi phẫu thuật,… làm tăng tỷ lệ biến chứng và tử vong [1, 2]. Việc điều chỉnh rối loạn đông máu là rất quan trọng trong gây mê hồi sức cho các bệnh nhân trải qua loại phẫu thuật này. Để điều chỉnh rối loạn đông máu cần dựa vào các xét nghiệm đông máu. Tuy nhiên, các xét nghiệm đông máu cơ bản được sử dụng thường quy như thời gian prothrombin (PT) hay chỉ số chuẩn hóa quốc tế (INR), thời gian thromboplastin một phần hoạt hóa (aPTT), thời gian đông máu hoạt hóa (ACT), fibrinogen và số lượng tiểu cầu thường thiếu tính toàn diện về tình trạng đông máu của bệnh nhân dẫn đến truyền chế phẩm máu không phù hợp lại có thời gian xét nghiệm thường quá dài (khoảng 30 - 90 phút) để hướng dẫn các quyết định lâm sàng [1, 3]. Những năm gần đây, đo độ đàn hồi cục máu (ROTEM) đã cho thấy là một xét nghiệm đông máu tại chỗ toàn diện hơn, lại cho kết quả nhanh và đáng tin cậy hơn, là một thành phần thiết yếu của việc hướng dẫn sử dụng chế phẩm máu làm giảm đáng kể số lần truyền máu đồng loại giúp tăng cường an toàn cho bệnh nhân [4-7]. Bài viết này cung cấp rõ nguyên lý của xét nghiệm ROTEM cũng như vai trò và ứng dụng của nó để điều chỉnh rối loạn đông máu trong gây mê hồi sức cho phẫu thuật tim với THNCT và cho thấy một hướng điều trị mới hiệu quả và toàn diện hơn về rối loạn đông máu trong loại phẫu thuật này.

II. NỘI DUNG TỔNG QUAN

2.1. Nguyên lý đo lường của ROTEM

Thiết bị ROTEM đo những thay đổi về độ đàn hồi của máu trong quá trình hình thành cục máu đông với một mẫu máu nhỏ được chống đông bằng citrat. Nguyên lý đo của ROTEM dựa trên một cốc hình trụ (cup) cố định và một trục (pin) thẳng đứng quay đảo chiều. Trục được hỗ trợ bởi một vòng bi độ chính xác cao và quay trái, phải qua một góc 4,75°. Sự xoay của trục được điều khiển bởi một động cơ kết nối với trục thông qua một lò xo đàn hồi. Để đo, ống nhựa dùng một lần có đường kính 6mm được lồng vào trục và mẫu máu được cho vào cốc dùng một lần có đường kính 8mm, rồi được đưa lên kênh đo. Sau đó, ống nhựa được nhúng vào mẫu máu. Xác định sự quay của trục bằng quang học thông qua một tấm gương tại phần trên của trục, một nguồn sáng bằng diode và một cảm biến quang học nhạy sáng (CCD chip). Nếu không có cục máu đông, sự di chuyển sẽ không bị cản trở. Khi cục máu đông hình thành và bám giữa ống và bề mặt cốc, sự di chuyển sẽ bị cản trở. Kết quả dẫn đến sự cân bằng giữa độ căng của lò xo và độ căng của cục máu đông. Khi cục máu đông trở nên rắn chắc hơn, biên độ dao động của trục sẽ bị giảm đi. Kết quả đo được sẽ được tính toán bằng một phần mềm đặc biệt [2, 4, 6, 8]. Giống như trong phương pháp phân tích độ đàn hồi cục máu truyền thống, hệ thống ROTEM tạo ra một đường cong phản ứng và tính toán các chỉ số khác nhau (động học và ổn định) bằng việc phân tích toán học của đường cong đó (Hình 1), chúng ta có thể đánh giá trực quan quá trình đông máu từ khi hình thành, ổn định cục máu đông và quá trình tiêu fibrin [4].



Hình 1. Đường cong kết quả của phép đo độ đàn hồi huyết khối quay

Chú thích: CT - thời gian đông máu (giây), CFT - thời gian hình thành cục máu đông (giây), α - góc hình thành cục máu đông (°), A10 - giá trị cường độ cục máu đông theo thời gian 10 phút từ CT (mm), MCF - độ cứng cục máu đông tối đa (mm), CLI30 -

chỉ số ly giải 30 phút sau thời gian đông máu (%), CLI60 - chỉ số ly giải 60 phút sau thời gian đông máu (%), ML - lượng ly giải cục máu đông tối đa (%). Nguồn: Drotarova M và cộng sự (2023) [4].

Hệ thống ROTEM cho phép thực hiện năm xét nghiệm: EXTEM, INTEM, FIBTEM, APTEM và HEPTEM giúp cho có cái nhìn toàn diện về tình trạng đông máu của bệnh nhân [4, 7]. EXTEM cung cấp thông tin liên quan đến con đường ngoại sinh (các yếu tố II, V, VII và X), INTEM đánh giá con đường nội sinh (các yếu tố II, V, VIII, IX, X, XI, XII và heparin) trong khi FIBTEM phản ánh tốt nhất hoạt động của fibrinogen để đánh giá con đường chung cuối cùng, APTEM đánh giá vai trò của hệ tiêu sợi huyết trong việc hình thành cục máu đông và HEPTEM đánh giá tác động của heparin không phân đoạn lên quá trình cầm máu. Sau khi đưa mẫu máu vào thiết bị ROTEM để phân tích, giá trị đọc ban đầu sẽ là thời gian đông máu (CT) biểu thị mức độ hình thành cục máu đông. Giá trị CT cho chúng ta biết bắt đầu hình thành cục máu đông nhanh như thế nào để giúp đưa ra quyết định thay thế các yếu tố đông máu (bằng cách truyền huyết tương tươi đông lạnh hoặc thuốc trung hòa tác dụng của heparin như protamine). Tiếp theo là thời gian hình thành cục máu đông (CFT) là thời gian từ CT đến thời điểm cục máu đông đạt đến mức độ đông máu đã chỉ định (20mm). CFT cung cấp thông tin liên quan đến hoạt hóa tiểu cầu, fibrin và yếu tố XIII để xác định các vấn đề liên quan đến việc tạo cục máu đông ổn định. Dựa vào giá trị của CFT, chúng ta có thể xác định xem bệnh nhân có cần tiểu cầu, huyết tương tươi đông lạnh (FFP), cryoprecipitate (CFT cao) hay bệnh nhân đang trong tình trạng tăng đông (CFT thấp). Tiếp đến, một góc α (tạo bởi đường dốc tiếp tuyến so với phương ngang) được đo để kiểm tra biên độ tạo ra bởi sự gia tốc hình thành cục máu đông và là một giá trị khác để suy ra tính ổn định của cục máu đông. Góc α nhỏ thường tương quan với tình trạng giảm fibrinogen máu hoặc giảm tiểu cầu, trong khi góc α lớn có thể gợi ý tình trạng tăng đông. Hai giá trị tiếp tương tự nhau nhưng được lấy ở các khoảng thời gian khác nhau. A10 kiểm tra độ cứng của cục máu đông ở 10 phút sau CT, trong khi độ cứng cục máu đông tối đa (MCF) đánh giá độ cứng của cục máu đông ở mốc 20 phút. Cả A10 và MCF đều cung cấp thông tin để xác định nhu cầu sử dụng tiểu cầu cô đặc, FFP hoặc kết tủa lạnh và hỗ trợ trong việc xác định trạng thái tăng đông. Ở giai đoạn cuối (tiêu sợi huyết), CLI30 và CLI 60 tức chỉ số ly giải 30 và 60 phút sau thời gian đông máu phản ánh chức năng của các enzym và chất ức chế tiêu sợi huyết cũng như vai trò của FXIII. Điều này được định nghĩa là phần trăm giảm đơn giản về biên độ so với MCF và giá trị ML (%) [8]. Tăng tiêu sợi huyết được xác nhận bằng sự gia tăng tiêu cục máu đông, bắt đầu sau 30 phút kể từ khi cục máu đông bắt đầu hình thành [4]. Các giá trị tham chiếu chuẩn cho từng phép đo được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị tham chiếu xét nghiệm ROTEM ở người lớn

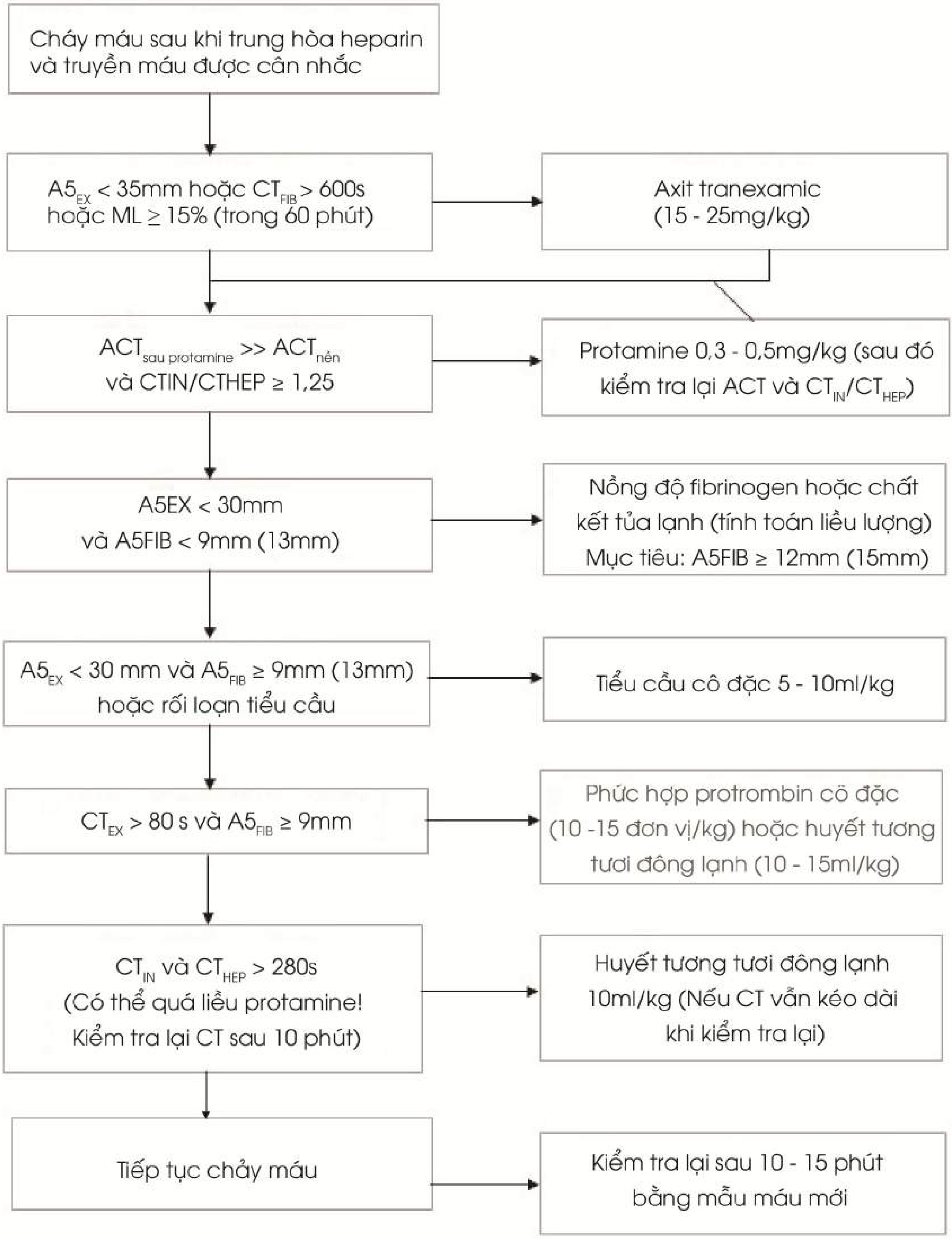
Xét nghiệm	CT (s)	CFT (s)	Góc α (°)	A10 (mm)	MCF (mm)	LI30 (%)	ML (%) trong 1 giờ
EXTEM	38-79	34-159	63-83	43-65	50-72	94-100	< 15
INTEM	100-240	30-110	70-83	44-66	50-72	94-100	< 15
FIBTEM	-	-	-	7-23	9-25	-	-
APTEM	Sự hình thành cục máu đông tốt hơn ở APTEM so với EXTEM cho thấy tác dụng trong ống nghiệm của thuốc chống tiêu sợi huyết (aprotinin và axit tranexamic)						
HEPTEM	Sự hình thành cục máu đông tốt hơn ở HEPTEM so với INTEM chỉ ra sự hiện diện của heparin hoặc chất chống đông giống heparin						

Nguồn: Drotarova M. và cộng sự (2023) [4]

2.2. Vai trò và ứng dụng của ROTEM để điều chỉnh rối loạn đông máu trong gây mê hồi sức cho phẫu thuật tim

Trong phẫu thuật tim với THNCT, các bác sĩ phải xử lý một giai đoạn cửa sổ kéo dài khoảng 30 - 45 phút để thực hiện các can thiệp cầm máu với quá trình đảo ngược tác dụng của heparin bằng protamine rồi đóng ngực và vận chuyển bệnh nhân đến phòng hồi sức tích cực tim [1, 4]. Trong trường hợp này, các xét nghiệm đông máu cơ bản như PT (hay INR), aPTT, ACT, fibrinogen và số lượng tiểu cầu có nhiều nhược điểm như có thời gian xử lý lâu, thiếu độ nhạy với các mức giảm nhỏ hơn trong các bất thường về đông máu, khả năng hạn chế trong việc kiểm tra chức năng tiểu cầu cũng như không có khả năng chẩn đoán các rối loạn đông máu phức tạp hay không có khả năng đánh giá quá trình đông máu trong điều kiện hạ thân nhiệt và khả năng dự đoán thấp về chảy máu nên không thích hợp trong giai đoạn này [2, 3]. Trong khi ROTEM đã khắc phục được các hạn chế trên của các xét nghiệm đông máu cơ bản, cung cấp kết quả xét nghiệm nhanh trong vòng 10 - 15 phút đồng thời có hướng dẫn chi tiết điều trị (Hình 2) nên rất hữu ích. Kết quả của ROTEM giúp các bác sĩ chuẩn bị kịp thời các sản phẩm máu như kết tủa lạnh và tiểu cầu cô đặc, đặc biệt là khi không có sẵn các sản phẩm này. Ngoài ra, ROTEM cũng giúp phát hiện tác dụng còn sót lại của heparin hoặc quá liều protamine [1]. Vào cuối THNCT, để trung hòa tác dụng của heparin thì protamine thường được dùng theo tỷ lệ heparin:protamine từ 1:1 đến 1:1,5 và điều này thường dẫn đến quá liều protamine [9]. Trong phẫu thuật tim với THNCT, ACT thường được dùng để theo dõi tác dụng còn sót lại của heparin. Tuy nhiên, theo kết quả nghiên cứu của Ichikawa và cộng sự [10], ACT cũng như aPTT tương quan rất yếu với nồng độ heparin trong máu toàn phần (r = -0,12 và 0,36 tương ứng) trong khi tỷ lệ CT_{IN}/CT_{HEP} lại tương quan tốt (r = 0,72) với nồng độ heparin. Ngoài ra, các tác giả cũng đã chứng minh rằng hoạt động anti-Xa dưới 0,2U/ml tương ứng với tỷ lệ CT_{IN}/CT_{HEP} dưới 1,25 không liên quan đến tình trạng mất máu trung thất sau phẫu thuật tăng lên. Ngược lại, quá liều protamine không chỉ liên quan đến ACT kéo dài (ức chế hoạt hóa yếu tố V), tỷ lệ $CT_{IN}/CT_{HEP} \leq 1$, mà còn liên quan đến tình trạng ức chế đáng kể và kéo dài chức năng tiểu cầu bao gồm con đường adenosine diphosphate (ADP) và peptide hoạt hóa thụ thể thrombin [1]. Các nghiên cứu thử nghiệm lâm sàng của Koster và cộng sự cũng như của Meesters và cộng sự cho thấy quá liều protamine có liên quan đến tình trạng mất máu tăng đáng kể, nhu cầu truyền máu và tăng tỷ lệ phẫu thuật lại sau phẫu thuật tim. Vì vậy, không thể khuyến cáo trung hòa heparin bằng protamine theo tỷ lệ 1:1 đến 1:1,5. Thay vào đó, tỷ lệ heparin/protamine là 1: 0,6-0,8 là hợp lý hơn [10-12].

Một vấn đề khác là biên độ FIBTEM thấp phải được xem xét như một lý do khiến ACT, CT_{IN}, CT_{HEP} và CT_{EX} kéo dài - đặc biệt là ở trẻ em trải qua phẫu thuật tim vì nồng độ fibrinogen bị pha loãng nhanh chóng ở nhóm bệnh nhân này [13]. Fibrinogen là yếu tố chính gây chảy máu sau phẫu thuật tim vì nó bị pha loãng và tiêu thụ nhanh chóng trong và sau THNCT. Nghiên cứu hồi cứu của Karkouti và cộng sự [14] cho thấy những bệnh nhân có nồng độ fibrinogen sau THNCT dưới 2g/L - tương ứng với $A5_{FIB}$ < 9mm ($A10_{FIB}$ < 10mm) - có tỷ lệ truyền máu khối lượng lớn (≥ 5 đơn vị hồng cầu khối) tăng khoảng 50%. Kết quả này phù hợp với kết quả được báo cáo bởi Mace và cộng sự cũng như của một số tác giả khác và là lý do để đặt giá trị ngưỡng cho sự bù fibrinogen/kết tủa lạnh thành $A5_{FIB}$ < 9mm trong phác đồ [1, 15]. Tuy nhiên, Ranucci và cộng [16] sự đã chứng minh rằng việc bù fibrinogen trong phẫu thuật tim rất hiệu quả để cầm máu ở những bệnh nhân bị giảm fibrinogen máu nhưng sự bổ sung fibrinogen để $A5_{FIB}$ cao hơn 16mm (tương ứng với nồng độ fibrinogen huyết tương khoảng 3g/L) không cho thấy bất kỳ hiệu quả hơn. Vì vậy, mục tiêu đầu tiên trong phác đồ là $A5_{FIB}$ ≥ 12mm, tương ứng nồng độ fibrinogen ≥ 2,5g/L và mục tiêu thứ hai (nếu chảy máu tiếp tục) là $A5_{FIB}$ ≥ 15mm, tương ứng nồng độ fibrinogen ≥ 3g/L [1]. Tính toán liều lượng cho fibrinogen cô đặc hoặc kết tủa lạnh dựa trên mục tiêu tăng biên độ FIBTEM và được trình bày trong Bảng 2.


Chảy máu sau khi trung hòa heparin và truyền máu được cân nhắc
$A5_{EX}$ < 35mm hoặc CT_{FIB} > 600s hoặc ML ≥ 15% (trong 60 phút)
Axit tranexamic (15 - 25mg/kg)
$ACT_{sau\ protamine}$ >> $ACT_{nền}$ và CTIN/CTHEP ≥ 1,25
Protamine 0,3 - 0,5mg/kg (sau đó kiểm tra lại ACT và CT_{IN}/CT_{HEP})
A5EX < 30mm và A5FIB < 9mm (13mm)
Nồng độ fibrinogen hoặc chất kết tủa lạnh (tính toán liều lượng) Mục tiêu: A5FIB ≥ 12mm (15mm)
$A5_{EX}$ < 30 mm và $A5_{FIB}$ ≥ 9mm (13mm) hoặc rối loạn tiểu cầu
Tiểu cầu cô đặc 5 - 10ml/kg
CT_{EX} > 80 s và $A5_{FIB}$ ≥ 9mm
Phức hợp protrombin cô đặc (10 -15 đơn vị/kg) hoặc huyết tương tươi đông lạnh (10 - 15ml/kg)
CT_{IN} và CT_{HEP} > 280s (Có thể quá liều protamine! Kiểm tra lại CT sau 10 phút)
Huyết tương tươi đông lạnh 10ml/kg (Nếu CT vẫn kéo dài khi kiểm tra lại)
Tiếp tục chảy máu
Kiểm tra lại sau 10 - 15 phút bằng mẫu máu mới

Sơ đồ

Bảng 2. Bổ sung fibrinogen theo hướng dẫn của FIBTEM

Mục tiêu tăng FIBTEM A5 (A10)	Liều lượng fibrinogen (mg/kg)	Nồng độ fibrinogen (ml/kg)	Kết tủa lạnh (ml/kg)
2	12,5	0,6 (1g cho 80 kg)	1 (5U cho 80kg)
4	25	1,2 (2g cho 80 kg)	2 (10U cho 80kg)
6	37,5	1,9 (3g cho 80 kg)	3 (15U cho 80kg)
8	50	2,5 (4g cho 80 kg)	4 (20U cho 80kg)
10	62,5	3,1 (5g cho 80 kg)	5 (25U cho 80kg)
12	75	3,8 (6g cho 80 kg)	6 (30U cho 80kg)

Nguồn: Görlinger K. và cộng sự (2019) [1]

Hơn nữa, một nghiên cứu khác của Ranucci và cộng sự cũng cho thấy nồng độ fibrinogen ≥ 2,4g/L (tương đương $A5_{FIB}$ ≥ 12mm) có thể bù trừ cho tình trạng giảm tiểu cầu (< 100G/L) sau THNCT [17]. Giảm tiểu cầu cũng như rối loạn chức năng tiểu cầu thường gặp ở bệnh nhân phẫu thuật tim với THNCT (với tỷ lệ được báo cáo > 30%) và đây cũng là nguyên nhân gây chảy máu trong và sau loại phẫu thuật này. Dự kiến tăng $A5_{FIB}$ ($A10_{FIB}$, MCF) sau khi truyền 1 pool tiểu cầu là khoảng 8-10mm. Do xét nghiệm đo độ đàn hồi cục máu không nhạy với tác dụng của thuốc chống tiểu cầu, THNCT và protamine lên chức năng tiểu cầu nên đo tiểu cầu ROTEM là phương pháp bổ sung lý tưởng cho đo độ đàn hồi cục máu trong phẫu thuật tim mạch [18, 19]. Xét nghiệm chức năng tiểu cầu trước phẫu thuật giúp phát hiện khiếm khuyết chức năng tiểu cầu ở những bệnh nhân được điều trị bằng thuốc chống tiểu cầu nhưng những thay đổi trong và sau phẫu thuật về chức năng tiểu cầu có vẻ quan trọng và có ý nghĩa hơn đối với việc quản lý chảy máu chu phẫu ở những bệnh nhân trải qua phẫu thuật tim với THNCT [1].

Cuối cùng là sự suy giảm tạo thrombin. Sự thiếu hụt các yếu tố đông máu của con đường đông máu ngoại sinh được phát hiện bằng CT_{EX} > 80 giây nếu $A5_{FIB}$ bình thường (≥ 9mm) [1]. Nghiên cứu của Blasi và cộng sự [20] đã chỉ ra rằng CT_{EX} ≥ 84 giây dự đoán INR > 1,5 trong 93% các trường hợp, trong khi CT_{EX} dưới giá trị này dự đoán INR < 1,5 trong 100% các trường hợp ở những bệnh nhân dùng acenocoumarol sau thay van tim. Ở các bênh nhân được điều trị bằng warfarin, nghiên cứu của Schmidt và cộng sự [21] cho thấy CT_{EX} có độ nhạy và độ đặc hiệu lần lượt là 0,89 và 1,00 để phát hiện INR > 1,2 với giá trị dự báo dương tính và âm tính lần lượt là 1,00 và 0,88.

Thực tế rằng việc truyền hồng cầu khối, huyết tương tươi đông lạnh và khối tiểu cầu có thể dẫn đến các tác dụng phụ nghiêm trọng, chẳng hạn như tổn thương phổi cấp tính, quá tải tuần hoàn hay điều hòa miễn dịch liên quan đến truyền máu và nhiễm trùng bệnh viện [22]. Nhiều phân tích tổng hợp và thử nghiệm lâm sàng có đối chứng ngẫu nhiên cho thấy việc truyền máu cũng như điều chỉnh rối loạn đông máu theo hướng dẫn của ROTEM đã dẫn đến giảm đáng kể tình trạng chảy máu, nhu cầu truyền máu, tỷ lệ biến chứng và tử vong, thời gian nằm viện cũng như chi phí điều trị ở các bệnh nhân phẫu thuật tim với THNCT [23-25]. Việc hạn chế truyền máu đã được ủng hộ bởi các Hiệp hội Phẫu thuật tim mạch và gây mê châu Âu cũng như Hoa Kỳ như một khuyến nghị 1A và việc này có thể đạt được hiệu quả bằng cách truyền và điều chỉnh rối loạn đông máu theo hướng dẫn của ROTEM [2].

III. KẾT LUẬN

Xét nghiệm đo độ đàn hồi cục máu (ROTEM) đã khắc phục được các hạn chế của các xét nghiệm đông máu cơ bản, giúp phát hiện nhanh chóng tình trạng rối loạn đông máu và do đó cung cấp liệu pháp điều trị toàn diện và hiệu quả hơn trong gây mê hồi sức cho các bệnh nhân phẫu thuật tim với tuần hoàn ngoài cơ thể. Đây là một xét nghiệm nên được sử dụng thường quy trong gây mê hồi sức cho loại phẫu thuật này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Görlinger K, Pérez-Ferrer A, Dirkmann D et al (2019) *The role of evidence-based algorithms for rotational thromboelastometry-guided bleeding management.* Korean J Anesthesiol 72(4): 297-322. doi: 10.4097/kja.19169.
2. Korpallová B, Samoš M, Bolek T et al (2018) *Role of Thromboelastography and Rotational Thromboelastometry in the Management of Cardiovascular Diseases*. Clin Appl Thromb Hemost 24(8): 1199-1207. doi:10.1177/1076029618790092.
3. Reardon B, Pasalic L, Favaloro EJ (2024) *The Role of Viscoelastic Testing in Assessing Hemostasis: A Challenge to Standard Laboratory Assays?* J Clin Med 13(12). doi:10.3390/jcm13123612.
4. Drotarova M, Zolkova J, Belakova KM et al (2023) *Basic Principles of Rotational Thromboelastometry (ROTEM®) and the Role of ROTEM Guided Fibrinogen Replacement Therapy in the Management of Coagulopathies*. Diagnostics 13(20): 3219.
5. Hartmann J, Hermelin D, Levy JH (2023) *Viscoelastic testing: an illustrated review of technology and clinical applications.* Res Pract Thromb Haemost 7(1): 100031. doi:10.1016/j.rpth.2022.100031.
6. Wells M, Raja M, Rahman S (2022) *Point-of-care viscoelastic testing.* BJA Educ 22(11): 416-423. doi:10.1016/j.bjae.2022.07.003.
7. Nath SS, Pandey CK, Kumar S (2022) *Clinical application of viscoelastic point-of-care tests of coagulation-shifting paradigms.* Ann Card Anaesth. Jan-Mar 25(1): 1-10. doi:10.4103/aca.aca_319_20.
8. Carll T, Wool GD (2020) *Basic principles of viscoelastic testing.* Transfusion 60(6): 1-9. doi:10.1111/trf.16071.
9. Suárez Cuenca J, Gayoso Diz P, Gude Sampedro F, Gómez Zincke JM, Rey Acuña H, Fontanillo Fontanillo MM (2013) *Method to calculate the protamine dose necessary for reversal of heparin as a function of activated clotting time in patients undergoing cardiac surgery.* J Extra Corpor Technol 45(4): 235-241.
10. Ichikawa J, Kodaka M, Nishiyama K, Hirasaki Y, Ozaki M, Komori M (2014) *Reappearance of circulating heparin in whole blood heparin concentration-based management does not correlate with postoperative bleeding after cardiac surgery*. J Cardiothorac Vasc Anesth 28(4): 1003-1007. doi:10.1053/j.jvca.2013.10.010.
11. Koster A, Börgermann J, Gummert J, Rudloff M, Zittermann A, Schirmer U (2014) *Protamine overdose and its impact on coagulation, bleeding, and transfusions after cardiopulmonary bypass: results of a randomized double-blind controlled pilot study.* Clin Appl Thromb Hemost 20(3): 290-295. doi:10.1177/1076029613484085.
12. Meesters MI, Veerhoek D, de Lange F et al (2016) *Effect of high or low protamine dosing on postoperative bleeding following heparin anticoagulation in cardiac surgery. A randomised clinical trial.* Thromb Haemost 116(2): 251-61. doi:10.1160/th16-02-0117.
13. Yamamoto T, Wolf HG, Sinzobahamvya N, Asfour B, Hraska V, Schindler E (2015) *Prolonged Activated Clotting Time after Protamine Administration Does Not Indicate Residual Heparinization after Cardiopulmonary Bypass in Pediatric Open Heart Surgery*. Thorac Cardiovasc Surg 63(5): 397-403. doi:10.1055/s-0035-1554998.
14. Karkouti K, Callum J, Crowther MA et al (2013) *The relationship between fibrinogen levels after cardiopulmonary bypass and large volume red cell transfusion in cardiac surgery: an observational study.* Anesth Analg 117(1): 14-22. doi:10.1213/ANE.0b013e318292efa4.
15. Mace H, Lightfoot N, McCluskey S, et al (2016) *Validity of Thromboelastometry for Rapid Assessment of Fibrinogen Levels in Heparinized Samples During Cardiac Surgery: A Retrospective, Single-center, Observational Study.* J Cardiothorac Vasc Anesth 30(1): 90-95. doi:10.1053/j.jvca.2015.04.030.
16. Ranucci M, Baryshnikova E, Crapelli GB, Rahe-Meyer N, Menicanti L, Frigiola A (2015) *Randomized, double-blinded, placebo-controlled trial of fibrinogen concentrate supplementation after complex cardiac surgery.* J Am Heart Assoc. 4(6):e002066. doi:10.1161/jaha.115.002066.

17. Ranucci M, Baryshnikova E, Ranucci M, Silvetti S (2017) *Fibrinogen levels compensation of thrombocytopenia-induced bleeding following cardiac surgery*. Int J Cardiol 249: 96-100. doi:10.1016/j.ijcard.2017.09.157.

18. Schultz-Lebahn A, Nissen PH, Pedersen TF, Tang M, Hvas AM (2022) *Platelet function assessed by ROTEM(®)platelet in patients receiving antiplatelet therapy during cardiac and vascular surgery.* Scand J Clin Lab Invest 82(1): 18-27. doi:10.1080/00365513.2021.2012820.

19. Leyra F, Jofre C, Peña N et al (2022) *Prediction of platelet counts with ROTEM-sigma in cardiac surgery.* Minerva Anestesiol 88(7-8): 573-579. doi:10.23736/s0375-9393.22.15912-2.

20. Blasi A, Muñoz G, de Soto I et al (2015) *Reliability of thromboelastometry for detecting the safe coagulation threshold in patients taking acenocoumarol after elective heart valve replacement*. Thromb Res 136(3): 669-672. doi:10.1016/j.thromres.2015.07.003.

21. Schmidt DE, Holmström M, Majeed A, Näslin D, Wallén H, Ågren A (2015) *Detection of elevated INR by thromboelastometry and thromboelastography in warfarin treated patients and healthy controls*. Thromb Res 135(5): 1007-1011. doi:10.1016/j.thromres.2015.02.022.

22. Kallioinen M, Valtonen M, Peltoniemi M et al (2021) *Effects of implementing rotational thromboelastometry in cardiac surgery: A retrospective cohort study.* J Perioper Pract 31(9): 326-333. doi:10.1177/1750458920950662.

23. Herruzo A, Hinojosa R, Adsuar A, Noval JA, Smani T, Ordoñez A (2021) *Clinical impact of rotational thromboelastometry in cardiac surgery*. Transfus Clin Biol 28(3): 276-282. doi:10.1016/j.tracli.2021.03.003.

24. Naguib AN, Carrillo SA, Corridore M et al (2023) *A ROTEM-guided algorithm aimed to reduce blood product utilization during neonatal and infant cardiac surgery.* J Extra Corpor Technol 55(2): 60-69. doi:10.1051/ject/2023017.

25. Vallés-Torres J, Gallego-Ligorit L, González-Rodríguez V, et al (2022) *Evaluation of the implementation of rotational thromboelastometry guided coagulation management in adult cardiac surgery*. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia 36:12-13. doi:10.1053/j.jvca.2022.09.025.