

ประโยชน์ของ Rotational Thromboelastometry (ROTEM) ในการผ่าตัดหัวใจแบบเปิด

ณิภาดา ตั้งเจริญวัฒนากร*, ภัณฑิลา รุจิโรจน์จินดากุล**

*ภาควิชาวิสัญญีวิทยา รพ.เลิดสิน กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข กรุงเทพฯ 10500 ประเทศไทย

**ภาควิชาวิสัญญีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110 ประเทศไทย

Benefit of Rotational Thromboelastometry (ROTEM) in Open Cardiac Surgery

Napipada Tangcharoenwathanakul*, Panthila Rujirojindakul**

*Department of Anesthesiology, Lerdsin General Hospital, Department of Medical Services, Ministry of Public Health, Bangkok 10500, Thailand

**Department of Anesthesiology, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University, Songkhla 90110, Thailand

Cardiac surgery involves a large of blood loss. Eighty percent of the patients undergoing open cardiac surgery receive blood component transfusions. Nowadays, rotational thromboelastometry (ROTEM) is used to evaluate disorders of blood clotting factors and the fibrinolytic process. This diagnostic test can be done in the operating room perioperatively and the ROTEM results

are rapidly available. The anesthesiologist can use the ROTEM monitoring assays to guide blood transfusion during cardiac surgery. This review is aimed to summarize the previous studies. Benefits of using ROTEM help anesthesiologists comprehend and be able to deal with their patients.

วิสัญญีสาร 2561; 44(3): 136-42. • Thai J Anesthesiol 2018; 44(3): 136-42.

บทนำ

ภาวะเลือดออกหลังการผ่าตัดหัวใจแบบเปิดเป็นปัญหาสำคัญ ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการรอดชีวิตของผู้ป่วย การเกิดความผิดปกติของกระบวนการแข็งตัวของเลือดและกระบวนการสลายลิ่มเลือดในผู้ป่วยที่ใช้เครื่องปอดและหัวใจเทียมเป็นภาวะที่ซับซ้อน ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการลดอุณหภูมิร่างกายในขณะผ่าตัดและการให้ยาเฮพาริน (heparin) อีกปัจจัยคือเลือดไหลผ่าน tubing circuit ทำให้มีการกระตุ้นกลไกการแข็งตัวของเลือดผ่าน intrinsic pathway มากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ contact surface¹ นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงของเกล็ดเลือดทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ และยังเกิดการกระตุ้นกระบวนการ

อีกเสบในร่างกายทำให้มีภาวะ hyperfibrinolysis² อีกด้วย เมื่อเกิดภาวะเลือดออกบางครั้งจึงจำเป็นต้องให้เลือดและส่วนประกอบของเลือดที่เหมาะสม เพื่อพยุงอาการหรือแก้ไขสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะเลือดออก โดยการแก้ไขสาเหตุนั้น จำเป็นต้องส่งตรวจเลือดทางห้องปฏิบัติการในการประเมินการแข็งตัวของเลือด (conventional test) ได้แก่ complete blood count (CBC), prothrombin time (PT), partial prothrombin time (PTT) ซึ่งปัญหาหลักของการตรวจพื้นฐานทางห้องปฏิบัติการปกติส่วนใหญ่คือใช้เวลานาน ทำให้ผลที่ได้ อาจไม่แสดงความผิดปกติที่มีอยู่จริง ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกให้ส่วนประกอบของเลือดล่าช้า อีกทั้งไม่สามารถวินิจฉัยแยกความผิดปกติของกระบวนการสลาย

Correspondence to: Napipada Tangcharoenwathanakul, E-mail: mimishiko@hotmail.com

Received 17 Aug 2015, Accepted 20 Apr 2018

ไฟบริน (fibrinolysis) นอกจากการทำงานของเกล็ดเลือดผิดปกติ (platelet dysfunction) ได้ ซึ่งมักเป็นสาเหตุสำคัญในภาวะเลือดออกจากการใช้เครื่องปอดและหัวใจเทียม³ ดังนั้นการตรวจเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดอยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากผู้ป่วยยังมีการเสียเลือดอย่างต่อเนื่อง จึงมีการนำ rotational thromboelastometry (ROTEM) มาใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศโดยเฉพาะช่วงระหว่างผ่าตัด เนื่องจากสามารถทราบผลได้อย่างรวดเร็ว สามารถวินิจฉัยแยกความผิดปกติของกระบวนการแข็งตัวของเลือดได้⁴⁻⁸ ทำให้สามารถรักษาได้ตรงประเด็น โดยใช้ส่วนผสมของเลือดได้อย่างเหมาะสม

เครื่องมือที่ใช้ตรวจการแข็งตัวของเลือด (viscoelastic hemostatic assays)⁹ มี 2 อย่าง คือ

1. Thromboelastography (TEG) เป็นเครื่องมือประเมินแต่ละระยะของกระบวนการแข็งเป็นลิ่มเลือดและกระบวนการสลายลิ่มเลือด (clot initiation, formation, stability, strength and dissolution) โดยตัวอย่างเลือดที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์เป็น citrated whole blood สามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องและควรทำการตรวจภายใน 4 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ โดยใช้ปริมาณเลือดในการตรวจ 300 ไมโครลิตรบรรจุในถ้วย (cup) จากนั้นเครื่องจะใช้วิธีหมุนถ้วยด้วยความเร็วที่เหมาะสม และใช้ระบบตรวจจับ (sensor) เพื่อประเมินผล แสดงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของลิ่มเลือดด้านความแข็งแรง (clot strength) และความยืดหยุ่น (elasticity) ออกมาเป็นกราฟและตัวเลข^{9,10}

2. Rotational thromboelastometry (ROTEM) ถูกพัฒนามาจาก TEG โดยใช้วิธีการหมุนแกนหมุน (pin) แทนการหมุนถ้วย เครื่องจะทำงานด้วยระบบ electronic pipette แบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการ

ควบคุมการทำงานของ pipette ดูดเลือดปริมาณ 300 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ จากนั้นเครื่องจะใช้เข็มจุ่มลงไปในเลือดตัวอย่าง แล้วหมุนซ้ายขวา สลับไปมาเพื่อให้เลือดเกิดการแข็งตัวและตกตะกอน อัตราการหมุนของเข็มจะแปรผกผันกับอัตราการเกิดลิ่มเลือด (clot firmness) และมีการรองรับการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์แสดงผลเป็นกราฟและตัวเลข ซึ่งหน้าจอจะแสดงผลทั้ง 4 ช่องทาง ตั้งแต่เริ่มทำการตรวจวิเคราะห์จนถึงเสร็จสิ้นการตรวจ^{9,10}

ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการแปลผลของ ROTEM

ค่าพารามิเตอร์ของ ROTEM ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความผิดปกติของการแข็งตัวของเลือด¹⁰ (Figure 1)

CT (clotting time) นับตั้งแต่ระยะเวลาที่เริ่มวัดจนกระทั่งเกิดการสร้างลิ่มเลือดขึ้น สามารถดูการทำงานของ initiation of clotting, thrombin formation, start of clot polymerisation

CFT (clot formation time) นับตั้งแต่ระยะเวลาที่เริ่มสร้างลิ่มเลือด (2 มิลลิเมตร) จนกระทั่งลิ่มเลือดแข็งตัวที่ 20 มิลลิเมตร สามารถดูการทำงานของ fibrin polymerisation, stabilisation of the clot with thrombocyte และ factor XIII

MCF (maximum clot firmness) บ่งบอกถึงความแข็งแรงของลิ่มเลือด (firmness of clot) สามารถดูการทำงานของ fibrin polymerisation, thrombocyte และ factor XIII

ML (maximum lysis) การลดลงของความแข็งแรงของลิ่มเลือดนับหลังจากเกิด MCF ถ้าค่า ML น้อยกว่าร้อยละ 15 แสดงว่าลิ่มเลือดแข็งตัวคงที่ (stability of clot) แต่ถ้า ML มากกว่าร้อยละ 15 ภายใน 1 ชั่วโมงแสดงว่าเกิดกระบวนการสลายลิ่มเลือด (fibrinolysis)

Alpha angle บ่งบอกถึง clot strength and stability

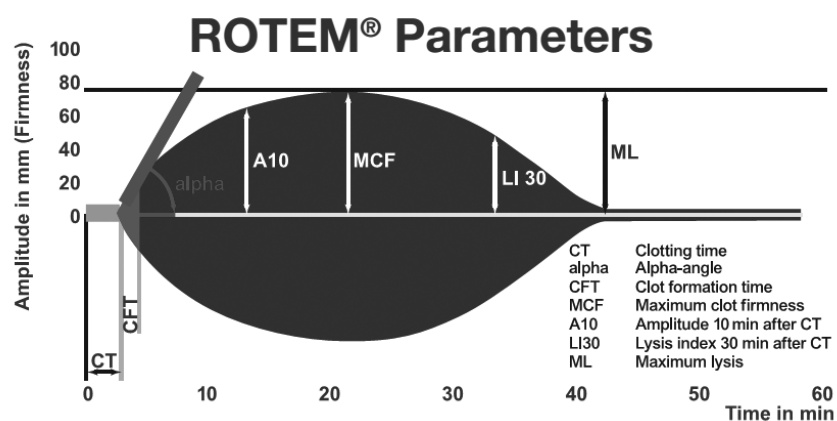


Figure 1 ROTEM Parameters¹⁰

การสังเกต ROTEM สามารถตรวจได้ 5 อย่าง¹⁰ ดังนี้

1. INTEM ใช้ประเมิน clot formation, fibrin polymerisation, fibrinolysis ผ่านทาง intrinsic pathway
2. EXTEM ใช้ประเมิน clot formation, fibrin polymerisation, fibrinolysis ผ่านทาง extrinsic pathway ซึ่งการใช้ heparin จะไม่ส่งผลต่อการตรวจ EXTEM
3. HEPTTEM ใช้ร่วมกับ INTEM ในการประเมิน clot formation ในผู้ป่วยที่ได้รับ heparin
4. FIBTEM ใช้ประเมินระดับไฟบริโนเจน ทั้ง fibrinogen deficiency และ fibrin polymerization disorder

5. APTEM ใช้ร่วมกับ EXTEM ในการวินิจฉัยภาวะ hyperfibrinolysis

โดย Table 1 แสดงค่าอ้างอิงมาตรฐานของการสังเกต ROTEM

การตรวจ ROTEM จะแสดงผลออกมาเป็นกราฟ โดย Figure 2 แสดงกราฟปกติของการตรวจ ROTEM และ Figure 3 แสดงตัวอย่างความผิดปกติต่างๆ ที่สามารถวินิจฉัยได้จากการตรวจ ROTEM

Table 1 Normal reference values of ROTEM assays¹¹

	CT (sec)	CFT (sec)	Alpha angel (degree)	A10 (mm)	MCF (mm)	ML (% of MCF)
INTEM	100-240	30-110	70-83	44-66	50-72	< 15
EXTEM	38-79	34-159	63-83	43-65	50-72	< 15
FIBTEM					9-25	
HEPTTEM	Compared to INTEM to confirm presence of heparin influence on INTEM parameters					
APTEM	Compared to EXTEM to confirm condition of hyperfibrinolysis influence on EXTEM parameters					

CT = clotting time, CFT = clot formation time, A10 = clot amplitude 10 minutes after CT,

MCF = maximum clot firmness, ML = maximum lysis, FFP = fresh frozen plasma.

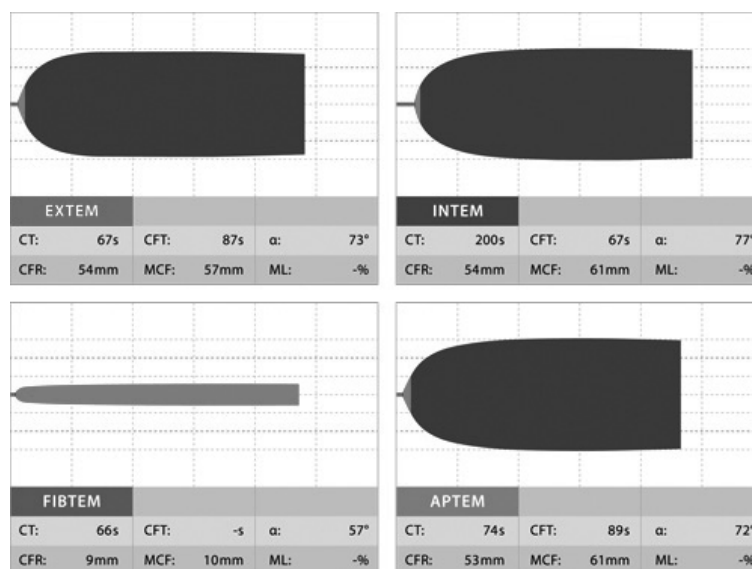


Figure 2 Normal coagulation in ROTEM¹⁰

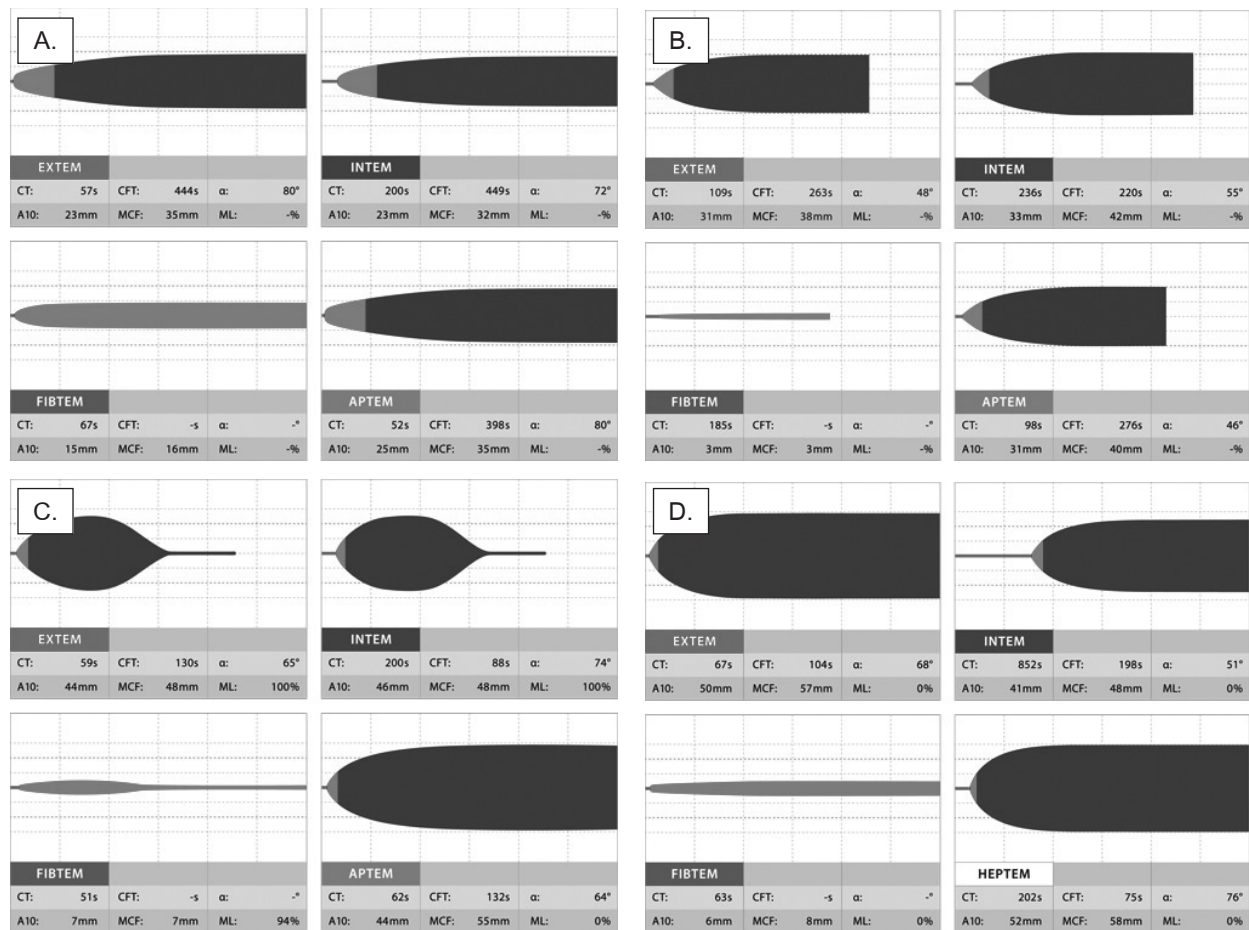


Figure 3 Examples of abnormal coagulation¹⁰ in ROTEM

A. platelet deficiency, B. fibrinogen deficiency, C. hyperfibrinolysis, D. heparin influence

อย่างไรก็ตาม การตรวจ ROTEM มีข้อจำกัด ดังนี้

1. ไม่สามารถบอกความผิดปกติในผู้รับประทานยา ยับยั้งการทำงานของเกล็ดเลือด (platelet inhibitor) ได้ เช่น aspirin, clopidogrel
2. ไม่สามารถบอกความผิดปกติของ Von Willebrand factor
3. ไม่มีความไวต่อยาจำพวก low molecular weight heparin (LMWH) และ oral anticoagulant เช่น warfarin ทำให้ผลการวิเคราะห์ ROTEM ปกติได้

ดังนั้นการแปลผลต้องคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวข้างต้น หากพบว่ามีข้อจำกัดในการตรวจ ควรส่งตรวจวิธีอื่น ๆ ร่วมด้วย

ประโยชน์ของ ROTEM ในการตัดสินใจให้ส่วนประกอบของเลือด

ปัจจัยที่ทำให้ผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดหัวใจแบบเปิดต้องได้รับส่วนประกอบของเลือด เช่น ค่าฮีโมโกลบินต่ำ การได้รับยาต้านเกล็ดเลือดก่อนผ่าตัด เสียเลือดมากจากการผ่าตัด การใช้เทคนิคเจือจางเลือด (dilutional factor) จากการ priming solution ในเครื่องปอดและหัวใจเทียม (ประมาณ 1.5 ลิตร ของ colloid/crystalloid) การแข็งตัวของเลือดผิดปกติที่เกิดขึ้นในระหว่างและหลังการผ่าตัด จากการที่เลือดสัมผัสกับ artificial surface การที่เกล็ดเลือดถูกทำลายโดยตรง (จาก centrifugal pump หรือ adsorption onto membrane oxygenations) การได้รับ heparin/protamine interactive และการลดอุณหภูมิกาย เป็นต้น

ปัจจุบันการให้ส่วนประกอบของเลือดในผู้ป่วยผ่าตัดหัวใจเป็นการตัดสินใจของแพทย์ซึ่งขึ้นอยู่กับแนวทางการ

ปฏิบัติของแต่ละสถาบัน การรักษาภาวะเลือดออกที่มีสาเหตุจากการลดลงของปัจจัยการแข็งตัวของเลือด การรักษาที่ตรงจุดเท่านั้นจึงจะแก้ไขภาวะเลือดออกได้ ซึ่งจากการศึกษาของ Nuttall และคณะ¹² พบมีการให้เลือดที่ไม่เหมาะสมถึงร้อยละ 20 ของการผ่าตัดหัวใจทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อจำแนกตามประเภทส่วนประกอบของเลือดพบว่ามีการให้เกล็ดเลือดที่ไม่เหมาะสมถึงร้อยละ 47, FFP ร้อยละ 32 และ RBC ร้อยละ 15 ตามลำดับ¹³ ดังนั้นจึงควรมีผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการที่สามารถวินิจฉัยได้อย่างรวดเร็วเพื่อให้การรักษาที่ถูกต้องตามสาเหตุ

ROTEM เป็นการตรวจ whole blood sample สามารถตรวจได้ทันทีโดยไม่ต้องใช้เวลาปั่นเลือดเหมือน conventional test จึงสามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างรวดเร็ว และครอบคลุมกว่าการตรวจทางห้องปฏิบัติการพื้นฐาน อีกทั้งสามารถตรวจปัจจัยการแข็งตัวของเลือดได้ทุกอย่าง รวมทั้งความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากยาเฮพาริน และ hyperfibrinolysis ทำให้แพทย์สามารถแยกสาเหตุความผิดปกติว่าเกิดจากสาเหตุตรงส่วนใดของกระบวนการแข็งตัวของเลือด

บทความนี้ได้รวบรวมจากการศึกษาควบคุมแบบสุ่ม (randomized control trial) จำนวน 5 การศึกษา ที่ทำในผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดหัวใจแบบเปิด โดยใช้เครื่องมือการตรวจ ROTEM เป็นแนวทางในการให้ส่วนประกอบของเลือด และประเมินผลการให้เลือดระหว่างการผ่าตัดและภายใน 24-48 ชั่วโมงหลังผ่าตัด เปรียบเทียบกับ conventional test โดยแสดงรายละเอียดพื้นฐานแต่ละการศึกษา (Table 2)

และเกณฑ์การตัดสินใจให้ส่วนประกอบของเลือดในแต่ละการศึกษา (Table 3)

Table 4 การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการให้ ROTEM กับการตรวจพื้นฐานทางห้องปฏิบัติการแบบ conventional test ผลการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าผู้ป่วยในกลุ่มที่ใช้เครื่องมือ ROTEM มีอัตราการให้ส่วนประกอบของเลือดที่ลดลงทั้ง PRC, FFP, Platelet, Fibrinogen และ PCC ในระหว่างการผ่าตัด และหลังผ่าตัดน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อธิบายได้จากการที่สามารถวินิจฉัยสาเหตุความผิดปกติได้อย่างรวดเร็ว ทำให้มีการรักษาให้เลือดทดแทนเพื่อลดอัตราการสูญเสียเลือดปริมาณมาก (massive blood transfusion) ลดอัตราการผ่าตัดซ้ำ (re-exploration) และเมื่อทราบสาเหตุของการลดลงของปัจจัยการแข็งตัวของเลือดที่ชัดเจน ทำให้ไม่ต้องให้การรักษาโดยการให้ส่วนประกอบของเลือดโดยไม่จำเป็น พบว่าช่วยลดภาวะแทรกซ้อนที่เกิดตามมาจากการให้เลือดอีกด้วย

ข้อจำกัดของบทความนี้คือเป็นเพียงการอ่านทบทวนวรรณกรรมและสรุปออกมาเป็นผลการศึกษา ซึ่งอาจรวบรวมการศึกษาที่เกี่ยวข้องได้ไม่ครอบคลุมทุกด้าน อาจทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของอคติที่เกิดจากการเลือกตัวอย่าง (selection bias) ได้ ดังนั้นการวิเคราะห์งานลักษณะนี้ครั้งต่อไปจึงควรทำเป็น systemic review หรือ meta-analysis จะทำให้เกิดความถูกต้องและลดการเกิดอคติ (bias) และข้อผิดพลาดเชิงกลุ่ม (random error) ได้มากกว่ารูปแบบที่นำเสนอในบทความ

Table 2 Detail of each randomized trial study

Author (year) N	Patient category	Entry restricted to excessive bleeding?	Entry restriction based on anticoagulant?	Control	Timing of ROTEM test
Anderson (2006) ¹⁴	990 Mixed cardiac surgery	No	No	Clinical judgment	On arrival in ICU
Görlinger (2011) ¹⁵	3,865 Mixed cardiac surgery	NR	No	Clinical judgment	NR
Paniagua (2011) ¹⁶	22 Mixed cardiac surgery	Yes (≥ 300 ml in first post-operative hour)	NR	SLTs algorithm	NR
Romlin (2011) ¹⁷	100 Mixed cardiac surgery	No	NR	Clinical judgment	Baseline, during rewarming on CPB, before wound closure
Weber (2012) ¹⁸	100 Mixed cardiac surgery	Yes - bleeding from capillary beds or blood loss > 250 ml/hr or 50 ml/10 mins	Yes - antiplatelet therapy stopped > 6 days before surgery	SLTs algorithm	Unclear; before weaning off CPB, after protamine, ongoing bleeding

SLTs = standard laboratory tests, NR = not reported, n = numbers, CPB = cardiopulmonary bypass, ROTEM = rotational thromboelastometry, ICU = intensive care unit.

Table 3 Criteria for transfusion of blood component

Author (year)	PRC trigger		FFP trigger		Platelet trigger		Fibrinogen/ Cryoprecipitate trigger	
	Intervention	Control	Intervention	Control	Intervention	Control	Intervention	Control
Anderson (2006) ¹⁴	Hct < 21%	Hct < 21%	CT _{INTEM} and CT _{HEPTEM} prolonged and MCF _{FIBTEM} < 6 mm	INR > 1.5 or surgical request	CT _{INTEM} and CT _{HEPTEM} prolonged and MCF _{FIBTEM} > 6 mm	PC < 100 x 10 ³ /μL or < 0.5 x preoperative PC	NA	NA
Görlinger (2011) ¹⁵	Hb < 8-10 g/dL	Hb < 8-10 g/dL	CT _{EXTEM} > 90 s or CT _{HEPTEM} > 240 s, only after PCC	Profuse bleeding after heparin reversal	A10 _{EXTEM} < 40 mm and A10 _{FIBTEM} > 10 mm, decreased platelet aggregation in MEA	PC < 100 x 10 ³ /μL	A10 _{FIBTEM} ≤ 10 mm and A10 _{EXTEM} ≤ 40 mm	Clinical decision
Paniagua (2011) ¹⁶	NA	NA	NA	NA	MCF _{HEPTEM} < 50 mm and MCF _{FIBTEM} > 9 mm	PC < 80 x 10 ³ /μL	MCF _{HEPTEM} < 50 mm and MCF _{FIBTEM} ≤ 9 mm	Fibrinogen < 1 g/L
Romlin (2011) ¹⁷	Hb < 11 g/dL	Hb < 11 g/dL	CT _{HEPTEM} > 240 s	NA	MCF _{HEPTEM} < 50 mm	NA	MCF _{FIBTEM} ≤ 8 mm	NA
Weber (2012) ¹⁸	Hb < 8-10 g/dL	Hb < 8-10 g/dL	CT _{EXTEM} > 90 s or CT _{HEPTEM} > 240 s, only after PCC	aPTT > 50s or INR > 1.4	A10 _{EXTEM} < 40 mm and A10 _{FIBTEM} > 10 mm, decreased platelet aggregation in MEA	PC < 80 x 10 ³ /μL	A10 _{FIBTEM} ≤ 10 mm and A10 _{EXTEM} ≤ 40 mm	Fibrinogen < 1.5 g/L

A10 = clot firmness after 10 minutes in EXTEM, HEPTEM, or FIBTEM tests, Hb = hemoglobin, Hct = hematocrit, INR = international normalized ratio, MEA = multiple-electrode aggregometry, NA = data not available or hemostatic mean not used, PC = platelet count, CT = clotting time, MCF = maximum clot firmness.

Table 4 Results of transfusion of blood components

Study	Data available	Intervention	Control	P-value
Packed red cell (PRC) transfusion (unit unless otherwise stated) within 24-48 hours				
Anderson (2006) ¹⁴	Median (IQR)	2 (3)	1 (2)	0.003*
Görlinger (2011) ¹⁵	Median (IQR)	3 (2-4)	2 (2-4)	0.0049*
Paniagua (2011) ¹⁶	Mean	3.8	6.4	NR
Romlin (2011) ¹⁷	Median (range)	9 (0 - 315) ml/kg	17 (0 - 178) ml/kg	0.013*
Weber (2012) ¹⁸	Median (IQR)	3 (2-6)	5 (4-9)	< 0.001*
Fresh frozen plasma (FFP) transfusion (unit, unless stated) at 12-48 hours				
Anderson (2006) ¹⁴	Median (IQR)	0 (0)	0 (0)	0.036*
Görlinger (2011) ¹⁵	Median (IQR)	4 (4-6)	4 (2-5)	0.1325
Paniagua (2011) ¹⁶	Total	3.1	3.4	NR
Romlin (2011) ¹⁷	Median (range)	0 (0 - 242) ml/kg	24 (0 - 197) ml/kg	< 0.001*
Weber (2012) ¹⁸	Median (IQR)	0 (0-3)	5 (3-8)	< 0.001*
Fibrinogen transfusion at 24-48 hours				
Romlin (2011) ¹⁷	Median (range)	0 (0 - 208) ml/kg	0 (0 - 214) ml/kg	0.018*
Weber (2012) ¹⁸	Median (IQR)	0 (0-4)	0 (0-6)	0.481
Platelet transfusion (unit unless otherwise stated) transfusion at 24-48 hours				
Anderson (2006) ¹⁴	Median (IQR)	0 (0)	0 (0)	0.032*
Görlinger (2011) ¹⁵	Median (IQR)	2 (1-2)	2 (2-2)	0.0019*
Paniagua (2011) ¹⁶	Total	0.50	1.57	< 0.05*
Romlin (2011) ¹⁷	Median (range)	0 (0 - 72) ml/kg	0 (0 - 36) ml/kg	0.003*
Weber (2012) ¹⁸	Median (IQR)	2 (0-2)	2 (0-5)	0.010*
Prothrombin complex concentrate (PCC) (international unit) transfusion at 24-48 hours				
Weber (2012) ¹⁸	Median (IQR)	0 (0-1800)	1200 (0-1800)	0.155

NR = not report, IQR = interquartile range, * = a significant difference (p < 0.05)

สรุป

การนำ ROTEM-blood protocol มาใช้ในการวินิจฉัยและรักษาผู้ป่วยที่มีภาวะเลือดออกมาก เพื่อช่วยวินิจฉัยและเป็นแนวทางในการให้ส่วนประกอบของเลือด เกล็ดเลือดและพลาสมา พบว่ามีผลการรักษาที่ดีกว่าในแง่ของอัตราการให้เลือดในห้องผ่าตัดที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีการเสียเลือดหลังผ่าตัดที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามการสังเกต ROTEM เป็นเครื่องมือใหม่ที่ยังมีงานวิจัยรองรับไม่มากนักจึงควรติดตามข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อนำมาปรับใช้กับผู้ป่วยให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

References

- Besser MW, Klein AA. The coagulopathy of cardiopulmonary bypass. *Crit Rev Clin Lab Sci* 2010;47(5-6):197-212.
- Gorlinger K, Bergmann L, Dirkmann D. Coagulation management in patients undergoing mechanical circulatory support. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2012;26(2):179-98.
- Despotis GJ, Joist JH, Goodnough LT. Monitoring of hemostasis in cardiac surgical patients: impact of point-of-care testing on blood loss and transfusion outcomes. *Clin Chem* 1997;43(9):1684-96.
- Ogawa S, Szlam F, Chen EP, et al. A comparative evaluation of rotation thromboelastometry and standard coagulation tests in hemodilution-induced coagulation changes after cardiac surgery. *Transfusion* 2012;52(1):14-22.
- Dirkmann D, Gorlinger K, Dusse F, Kottenberg E, Peters J. Early thromboelastometric variables reliably predict maximum clot firmness in patients undergoing cardiac surgery: a step towards earlier decision making. *Acta Anaesthesiol Scand* 2013;57(5):594-603.
- Straub A, Schiebold D, Wendel HP, et al. Using reagent-supported thromboelastometry (ROTEM) to monitor haemostatic changes in congenital heart surgery employing deep hypothermic circulatory arrest. *Eur J Cardiothorac Surg* 2008;34(3):641-7.
- Tanaka KA, Bolliger D, Vadlamudi R, Nimmo A. Rotational thromboelastometry (ROTEM)-based coagulation management in cardiac surgery and major trauma. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2012;26(6):1083-93.
- Girdauskas E, Kempfert J, Kuntze T, et al. Thromboelastometrically guided transfusion protocol during aortic surgery with circulatory arrest: a prospective, randomized trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2010;140(5):1117-24 e2.
- Bolliger D, Seeberger MD, Tanaka KA. Principles and practice of thromboelastography in clinical coagulation management and transfusion practice. *Transfus Med Rev* 2012;26(1):1-13.
- Tem Innovations GmbH. How it Works: ROTEM® Analysis Portable Network Graphic. Munich, Germany: Tem Innovations GmbH; 2013 [Internet]. [cited 2015 Nov 1]. Available from: http://www.rotem.de/site/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=8&lang=en.
- Lang T, von Depka M. Possibilities and limitations of thromboelastometry/-graphy. *Hamostaseologie* 2006;26(3 Suppl 1):S20-9.
- Nuttall GA, Oliver WC, Santrach PJ, et al. Efficacy of a simple intraoperative transfusion algorithm for nonerythrocyte component utilization after cardiopulmonary bypass. *Anesthesiology* 2001;94(5):773-81.
- Goodnough LT, Soegiarso RW, Birkmeyer JD, Welch HG. Economic impact of inappropriate blood transfusions in coronary artery bypass graft surgery. *Am J Med* 1993;94(5):509-14.
- Anderson L, Quasim I, Soutar R, Steven M, Macfie A, Korte W. An audit of red cell and blood product use after the institution of thromboelastometry in a cardiac intensive care unit. *Transfus Med* 2006;16(1):31-9.
- Gorlinger K, Dirkmann D, Hanke AA, et al. First-line therapy with coagulation factor concentrates combined with point-of-care coagulation testing is associated with decreased allogeneic blood transfusion in cardiovascular surgery: a retrospective, single-center cohort study. *Anesthesiology* 2011;115(6):1179-91.
- Paniagua P, Koller T, Requena T, Gil JM, Campos JM, Galan J. Randomized controlled trial to evaluate postoperative coagulation management with bedside thromboelastometry (Rotem) compared with a transfusion protocol based on laboratory measurements in bleeding patients after cardiac surgery: Preliminary data. *Eur J Anaesthesiol* 2011;28:94.
- Romlin BS, Wahlander H, Berggren H, et al. Intraoperative thromboelastometry is associated with reduced transfusion prevalence in pediatric cardiac surgery. *Anesth Analg* 2011;112(1):30-6.
- Weber CF, Gorlinger K, Meininger D, et al. Point-of-care testing: a prospective, randomized clinical trial of efficacy in coagulopathic cardiac surgery patients. *Anesthesiology* 2012;117(3):531-47.