

## 간이식 수술에서 점탄성 응고 검사법의 유용성

박선영

순천향대학교 부속 서울병원 마취통증의학과

### Viscoelastic coagulation test for liver transplantation

Sun Young Park

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Soonchunhyang University Seoul Hospital, Seoul, Korea

Received March 2, 2020

Accepted March 5, 2020

#### Corresponding author

Sun Young Park, M.D., Ph.D.  
Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Soonchunhyang University Seoul Hospital, 59 Daesagwan-ro, Yongsan-gu, Seoul 04401, Korea  
Tel: 82-2-709-9291  
Fax: 82-2-790-0394  
E-mail: sunnypark97@schmc.ac.kr

Coagulation and transfusion management in patients undergoing liver transplantation is challenging. Proper perioperative monitoring of hemostasis is essential to predict the risk of bleeding during surgery, to detect potential causes of hemorrhage in time, and to guide hemostatic therapy. The value of conventional coagulation test is questionable in the acute perioperative setting due to their long turnaround time and the inability to adequately reflect the complex changes in hemostasis in patients with liver disease. Viscoelastic coagulation tests provide simultaneous measurement of multiple aspects of whole-blood coagulation including plasmatic coagulation and fibrinolytic factors and inhibitors that reflect most aspects of hemostasis. Coagulation initiation, mechanical clot stability, and fibrinolysis can be estimated immediately using point-of-care techniques. Therefore, viscoelastic coagulation tests including ROTEM & TEG would be useful to guide patient blood management strategy during liver transplantation.

**Keywords:** Blood coagulation disorders; Blood coagulation tests; Liver transplantation; Thromboelastography.

## 서론

혈액 응고 체계에 간은 중요한 역할을 하므로 간 기능 저하는 응고 장애로 이어지게 된다. 간 부전 시에도 응고 체계는 다양한 기전으로 평형 상태를 유지하고 있기는 하나 안정적이지는 못하여, 간이식 수술을 받는 환자들은 대부분 수술 중 혈액 응고 양상의 변화가 심하고 이로 인한 출혈 경향을 보인다. 간이식 수술에서 다량 출혈과 수혈은 환자의 예후를 결정하는 중요한 인자이므로[1] 수술 중 과도한 출혈을 방지하고 수혈을 줄이기 위해서 환자의 응고 상태 변화를 빠르게 인지하고 신속히 처치하는 것이

매우 중요하다. 혈액 응고 장애 발생을 진단하는 기존의 표준 응고 검사법은(conventional coagulation test, CCT) 출혈 시간(bleeding time BT), 프로트롬빈 시간(prothrombin time, PT), 활성화부분트롬보플라스틴 시간(activated partial prothrombin time, aPTT), 트롬빈 시간(thrombin time, TT), 혈소판 수치, 섬유소원 검사이다. 그러나 이러한 응고 검사법으로는 출혈이나 수혈 가능성을 예측하기 어렵다는 연구 결과들이 나오고[2-4], 응고 장애 발생 여부 분별 검사로는 부족하다는 지적이 계속 있어왔다[5,6]. 또한, 빠른 판단과 처치를 필요로 하는 상황에 적용하기에는 시간이 많이 지체되는 치명적인 단점을 갖

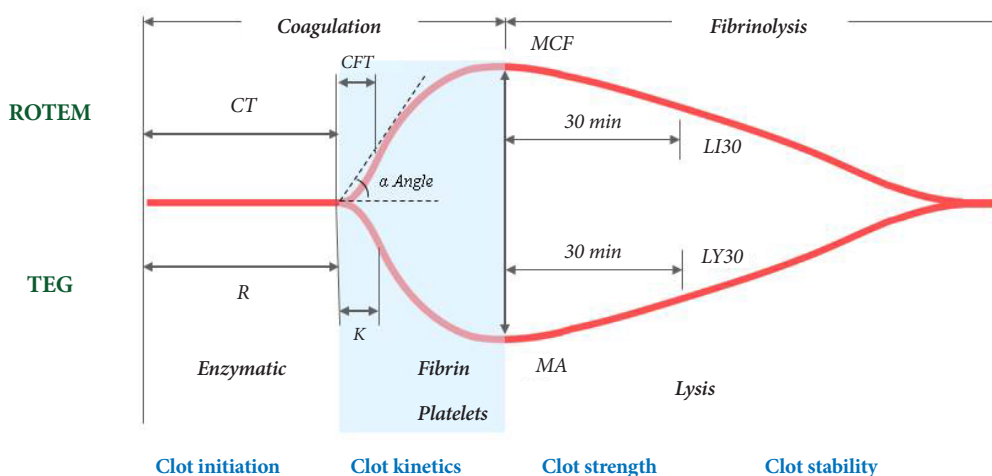
는다. 이를 보완할 수 있는 방법으로 근래에는 점탄성 응고 검사법이 각광받고 있다[7]. 이 검사법은 혈액 응고가 진행되는 동안 혈전 탄성 묘사도(thromboelastography)를 얻어 실시간 응고 상태를 판단하는 방법으로, 응고 상태에 대해 기존 검사보다 더 포괄적이고 정확한 정보를 제공할 수 있다고 보고되고 있다[8]. 기존의 응고 검사는 혈소판 수치를 제외하면 대부분 혈장 위주의 검사법으로서 응고 시작 단계만 반영할 수 있는 것에 반해, 점탄성 응고 검사법은 전혈을 이용한 혈장과 세포 기반 검사로 응고 시작부터 용해까지, 혈전의 강도와 유지 능력까지 볼 수 있다. 실시간으로 좀 더 생체 상황에 가까운 상태를 반영해주는 방법으로 [6] 수술실이나 응급실, 중환자실 등에서 현장 현시 검사로 이용할 수 있다. 특히나 출혈이 문제가 되는 외상과 수술 환자에 점탄성 응고 검사법이 많이 적용되어 그 유용성에 대한 연구 또한 다양하게 진행되었고, 출혈 경향이 큰 문제인 간이식에서의 사용에 대한 연구도 많이 이루어졌다. 이에 본 저자는 점탄성 응고 검사법의 유용성에 대해 살펴보고, 간이식 수술에서의 적용에 대해 살펴보고자 한다.

## 점탄성 응고 검사법

점탄성 응고 검사는 혈액이 응고되는 과정 중 섬유소 가닥과 혈소판 물질들 사이에서 생성된 점탄성을 집계하고 디지털화하여 그래프로 그려주는 방식이다. 현재 사용할 수 있는 점탄성 응고 검사 장비는 classical thrombelastography (TEG, Haemonetics, USA)와 rotational thromboelastometry (ROTEM, Tem International GmbH, Germany) 두 가지이다. 이들 검사에서 가장 먼저 얻을 수 있는 결과값은 진폭 2 mm가 될 때까지의 시간인 응고 시간(clotting time [CT] in ROTEM; re-

action time [R] in TEG)으로, 응고 인자(coagulation factor)의 기능을 나타내 주는 지표로 볼 수 있으며 이 시간이 지연되는 경우 응고 인자 결핍이나 기능 이상을 의심할 수 있다. 다음이 진폭 2 mm에서 20 mm가 될 때까지의 시간, 혈전 형성 시간(clot formation time [CFT] in ROTEM;  $\kappa$  in TEG)으로 섬유소 형성을 반영한다. 혈소판 반응도 이때 시작되는 것으로 보고 여기까지 그래프의 기울기를 알파값( $\alpha$  angle)으로 나타낸다. 이후 진폭이 점점 커지다가 최대에 이르며 그 진폭의 최대값(maximum clot firmness [MCF] in ROTEM; maximum amplitude [MA] in TEG)은 혈전의 강도를 반영하는 지표이다. 혈전의 강도를 좀 더 빨리 판정하기 위해 응고 시간에서 각각 5분, 10분, 20분에 측정된 진폭으로 추정하기도 한다. 마지막으로 섬유소 용해 반응을 나타내는 결과값으로 응고 시간으로부터 30분, 60분 후 진폭을 최대 진폭에 대한 백분위수로(LI30, LI60 in ROTEM, LY30, LY60 in TEG) 산출하여 혈전의 안정성을 나타내는 지표로 본다(Fig. 1). 두 장비에서 사용하는 활성화제(activator)가 약간 다르기 때문에 참고 범위(reference range)도 다른 값을 갖는다.

TEG에서 시행할 수 있는 검사 종류를 보면 기본 검사로 Native와 Kaolin TEG가 있고, 조직 인자(tissue factor)로 반응을 촉진하여 결과를 빠르게 얻을 수 있는 Rapid TEG, 헤파린 효과를 제거하고 결과를 보여주는 Heparinase 방법, 그리고 섬유소 기능을 보여주는 functional fibrinogen (FF)이 있고, 이외에 혈소판 기능 검사가 추가되어 있다. ROTEM에서 시행할 수 있는 검사는 시트르산 처리된 혈액에 칼슘 처리만 한 기초 검사법인 NATEM이 있고, 나머지 검사는 크게 EXTEM 계열과 INTEM 계열, 두 가지로 분류할 수 있다. EXTEM은 조직인자(tissue factor)로 응고 과정을 활성화시켜 응고의 외인성 경로 기능을 확인



**Fig. 1.** Viscoelastic coagulation test using whole blood. MCF: maximum clot firmness, CFT: clot formation time, CT: clotting time, R: reaction time, MA: maximum amplitude.

할 수 있는 방법이다. 이 검사법에 아프로티닌(aprotinin)을 첨가하여 섬유소 용해를 억제하면 APTEM을 얻을 수 있고, 사이토칼라신 디(cytochalasin D)를 첨가하여 혈소판 기능을 억제하고 평가하는 것이 FIBTEM이다. 다른 계열의 검사는 엘라그산(ellagic acid)을 첨가하여 혈액 응고의 내인성 경로 기능을 확인할 수 있는 INTEM이고, 여기에 헤파리네이즈(heparinase)를 첨가하여 헤파린의 효과를 중화시킨 HEPTEM이 있다(Table 1). 혈소판 응집 기능을 따로 볼 수 있는 검사법도 상용화를 앞두고 있다. TEG와 ROTEM 모두 검사컵에 혈액을 넣고 기계에 장착하는 방식이었으나 현재는 카트리지(cartridge) 형식의 모델이 출시되어 검사 편의성이 증진되었다.

응고 시간의 참고 범위는 검사 장비와 방법에 따라 다르지만, 최대 9분이고 혈장 응고 인자 결핍 여부는 일반적으로 5분 안에 판정할 수 있다. 혈전 강도 또한 최대치를 보기 전에 5, 10, 20분 값으로 대체하면 25분 안에 이상 여부를 판별해낼 수 있다. 특히 FIBTEM이나 FF의 진폭 결과를 함께 해석하면 섬유소와 혈소판 중 기능이나 양의 문제가 어느 쪽에 있는지 판단할 수 있다. 섬유소 용해 상태를 완전히 파악하는 데는 1시간 이상 걸릴 수 있지만, 응고 시간에서 30분 후 수치를 참고하여 용해 이상이 심한 경우에는 35분 안에 예측할 수 있다. 즉, 점탄성 응고 검사법을 이용하면 5분 안에 신선동결혈장이 응급하게 필요한 상황인지 알 수 있고, 25분이면 응고 인자 외에 섬유소나 혈소판 주입이

필요한 상황인지 출혈의 위험이 높은 상황인지 판단할 수 있다.

## 간이식 수술에서 점탄성 응고 검사의 필요성과 장점

간이식 수술을 받는 환자들은 간기능이 심각하게 저하되어 있는 상태이므로 지혈 작용에 중요한 역할을 하는 vitamin K-dependent procoagulants, protein C, protein S를 충분히 생성하지 못한다. 또한, 혈전 용해에 관여하는 alpha-2-antiplasmin, thrombin activatable fibrinolysis inhibitor (TAFI) 감소와 plasminogen 감소 현상을 함께 보이며, 간에서 제거되어야 하는 tissue plasminogen activator (tPA)와 plasminogen activator inhibitor-1 (PAI-1)은 모두 증가 양상을 보인다. 간기능과 별개로 간 질환자에서 나타나는 비장 비대와 골수 억제 반응으로 혈소판 수와 기능 감소 소견도 흔히 볼 수 있다. Fibrinogen 감소와 기증 저하 또한 흔하다. 이러한 응고 관여 물질들의 변화는 나름의 평형 상태를 유지하고 있지만 매우 불안정한 상태이기 때문에 간이식 수술 중 응고 장애와 이로 인한 출혈 악화는 항상 중요한 문제일 수밖에 없다. 수술 전 기존의 표준 응고 검사(CCT)는 혈장의 pro-coagulant 면만 반영하기 때문에 정확한 정보를 줄 수가 없고 그 결과가 간이식 수술 중 출혈량이나 여러 혈액제제의 수혈과 연관을 보이지 않아서, 출혈이나 수

**Table 1.** Description of ROTEM & TEG Assays

Test	Description
ROTEM	
NATEM	Native whole blood sample analyzed following only recalcification Impractical for clinical use given long CFT time
EXTEM	Tissue factor activation: reagent contains tissue factor as an activator and provides information similar to that of the PT
APTEM	Contains aprotinin for inhibiting fibrinolysis; used in conjunction with EXTEM reagent and compared to EXTEM analysis to assess fibrinolysis
FIBTEM	Utilizes cytochalasin D, an actin polymerization inhibitor to exclude the platelet contribution When compared to EXTEM analysis, allows qualitative analysis of the fibrinogen contribution to clot strength
INTEM	Contact activation: Reagent contains phospholipid and ellagic acid as activators and provides information similar to that of the aPTT
HEPTEM	Contains lyophilized heparinase for neutralizing unfractionated heparin; used in conjunction with INTEM reagent and compared to ITEM analysis to assess heparin effect
TEG	
Kaolin	An intrinsic pathway activated assay identifies underlying hemostatic characteristics and risk of bleeding or thrombosis
Kaolin with heparinase	Eliminates the effect of heparin in the test sample, and used in conjunction with Kaolin assess the presence of systemic heparin
Rapid TEG™	An intrinsic and extrinsic pathway activated assay speeds the coagulation process to more rapidly assess coagulation properties
Functional fibrinogen	Used in conjunction with Kaolin or Rapid TEG assess relative contribution of platelets and fibrin to overall clot strength.

CFT: clot formation time, PT: prothrombin time, aPTT: activated partial prothrombin time.

혈 필요성을 예측하기 어렵다[9,10]. 또한, 간이식은 수술의 단계 별로 응고 상태 변화가 심하므로 수술 전의 검사 결과보다 수술 중 실시간 모니터링이 중요하겠는데, 기존의 표준 응고 검사법 (CCT)은 혈액을 채취하여 진단 검사실로 보내는 과정이 필요하고, 검사 결과를 얻기 위해 일반적으로 45-90분 정도의 시간이 소요된다. 따라서 기존의 표준 응고 검사(CCT)는 간이식 수술 중 현장 현시 검사로는 적합하지 않다. 이에 반해 점탄성 응고 검사법은 현장 현시 검사가 가능하여 검사 장비만 갖추어져 있다면 검사실로 혈액을 보내는 수고를 덜 수 있고, 치료에 반영할 검사 결과가 나오는데 일반적으로 15-25분이면 충분하므로 실시간 감시와 목표 지향 치료(goal directed therapy)가 가능하다 [11]. 모든 결과값을 다 얻기 위해서는 60-90분까지 걸릴 수 있지만 당장의 응고 장애를 예상하고 치료의 필요성과 치료 종류를 임상적으로 판단하는 데는 수 분이면 충분하다. 단순히 검사 진행 시간만 짧을 뿐 아니라 응고 장애 발생에 더 민감하게 반응한다는 연구 결과도 발표되어 있다[12,13]. 생체 간이식 연구에서도 수술 전 ROTEM 검사 결과가 수혈자의 수혈 필요성에 좋은 예측치이고, 특히 신선동결혈장 수혈의 필요성을 잘 예측하는 것으로 나타났다[14]. 간이식 환자의 검사 결과를 후향적으로 분석한 연구에서 점탄성 응고 검사에서 혈전의 강도를 나타내는 그래프 최대 진폭인 MCF값이 혈소판 수치나 섬유소 농도와도 좋은 상관관계를 보여 기존 검사를 대체할 수 있다는 결과도 발표된 바 있다[15]. 특히 최대 두께가 될 때까지 기다리지 않고, 응고 시간에서 5분 후 내지 10분 후의 진폭도 혈소판이나 섬유소 농도 저하를 반영해주므로 혈전 강도에 대한 빠른 판단이 가능하다고 볼 수 있다[16]. 간이식 수술 후의 병적 응고 장애로 인한 출혈을 예측하는 데에도 기존의 표준 응고 검사(CCT)보다 점탄성 검사법이 더 좋은 수행율을 보인다[17]. 이러한 여러 강점으로 간이식 수술 환자의 응고 검사로 점탄성 검사법이 많이 사용되고 있다. 이미 1980년대 University of Pittsburgh에서 TEG를 간이식 수술 중 적용하여 수혈 감소 효과를 줄 수 있다고 발표된 바 있고[18] 간이식 수술에 이 점탄성 응고 검사법을 이용한 수혈 전략을 적용하여 수술 중 신선동결혈장의 수혈을 줄여주는 효과가 보고되기도 했다[19]. 특히 기존의 표준 응고 검사(CCT)법으로는 알 수 없는 혈전 용해 상태를 즉시 판단할 수 있게 하므로, 섬유소과다용해 상태도 흔한 간이식에서 점탄성 응고 검사법을 적용하면 수혈을 줄여줄 수 있을 것이라고 제안되기도 한다[20].

간이식 대상 환자에서는 간부전의 원인이 된 간질환의 종류에 따라 응고 장애 상태도 다를 수 있다. 예를 들어, 간세포암종, 담즙정체성 간질환, 비알콜성지방간염(non-alcoholic steatohepatitis)인 경우에는 비교적 과응고 양상을 보이게 되는데, 이런 환자들의 경우 출혈 경향만큼 중요한 문제가 혈전증이다. 혈전증의 국내 유병률이 높은 것은 아니지만 간질환과 간이식은 혈전의 분명한 위험인자이며, 응고 장애로 인한 출혈 경향이 있다

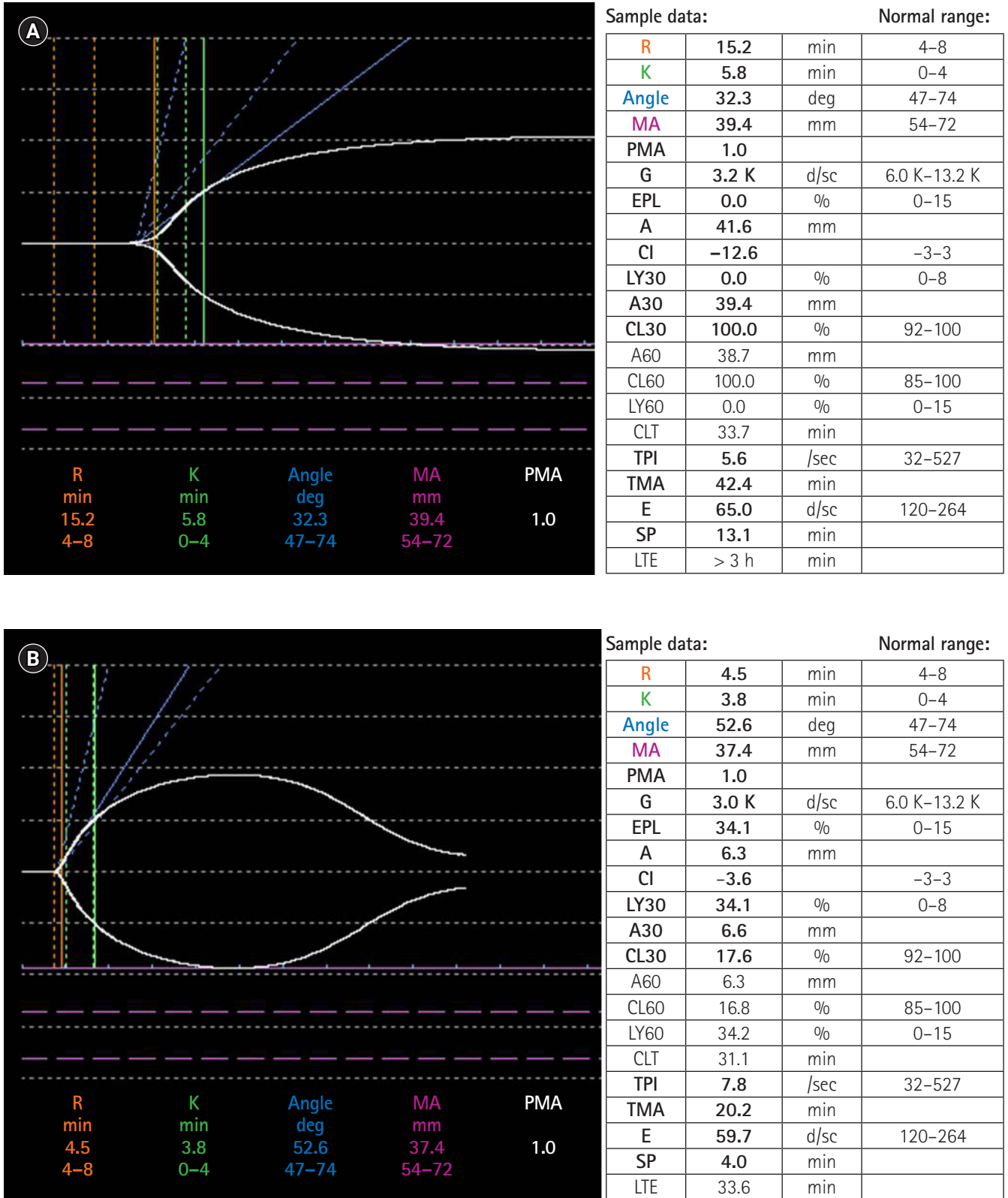
고 하여도 혈전증의 위험이 감소하는 것은 아니다[21]. 또한, 장기이식 환자에서 fibrinolytic shutdown 위험이 있고[22], 그것이 수술 중 혈전증과 출혈의 위험을 높이는 것으로 보고되고 있다. 2013년 Krzanicki 등[23]의 연구 결과를 보면 간이식 수술에서 실제 수술 중 과응고 상태인 환자가 많은 것을 알 수 있으며 간이식에서 이로 인한 폐색전증 발생 자료를 보면 그 빈도는 높지 않지만 이로 인한 사망률이 높고, 특히 이식편 재관류 전후로 발생하는 경우가 많기[24] 때문에 간이식 수술 중 과응고 상태 진단은 매우 중요한 문제이다. 2005년 McCrath 등[25]의 전향적 연구에 따르면, TEG에서 최대 그래프 진폭인 MA 값의 증가가 수술 후 급성 심근경색을 예측하는 독립 인자가 될 수 있다고 한다. Hincker 등[26]의 ROTEM을 이용한 연구에서도 최대 진폭인 MCF의 증가로 혈전증을 예측할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이런 점 또한 간이식 수술에서 점탄성 응고 검사의 필요성이 강조되는 부분이다.

물론 이 응고 검사법을 이용하기 전과 후를 비교하였을 때 출혈량이나 수혈량에 차이가 없었다는 연구 결과도 있다[27]. 점탄성 응고 검사법을 간이식 수술 중 수혈 전략에 적용하여 실제 환자 예후 개선 효과를 줄 수 있는지 확실하게 결론 짓기는 어려울 수 있다. 그러나 수술 중 응고 상태의 실시간 상황, 혈전 형성부터 용해까지 전체 동태를 반영해준다는 분명한 이점이 있고, 기존 검사보다 더 예민하게 그리고 더 정확하게 응고 장애를 진단해내기 때문에 간이식에서의 점탄성 응고 검사 적용은 출혈과 수혈 감소 효과를 기대해볼 수 있는 전략이라 할 수 있다. 그래서 국내 주술기 수혈 지침에서도[28] 그리고 미국 마취과학회 주술기 수혈 지침에서도[29] TEG, ROTEM을 이용한 수혈 전략은 간이식뿐만 아니라 주술기 혈액 관리에서 중요하게 다루어지고 있다. 유럽 마취과학회에서 발표한 심각한 주술기 출혈 처치 지침에서도[30] 기존 응고 검사법은 간질환이 있는 환자의 수술에서는 적합하지 않고, 주술기 응고 장애 진단을 위해서는 TEG, ROTEM 검사를 하도록 권장하고 있다. 연구가 더 필요하기는 하지만 수혈을 줄이고 예후 개선의 효과를 줄 수 있고, 과다 섬유소 용해를 진단해낼 수 있다는 것이 그 근거가 된다.

## 간이식에서 점탄성 응고 검사를 이용한 수혈 전략

아직 간이식에서의 수혈 전략에 확실치 우월하다고 밝혀진, 점탄성 응고 검사법이 적용된 수혈 프로토콜은 없다. 1993년 발표된 프로토콜에서는[18] 응고 시작을 반영하는 R time이 15분 이상으로 지연되는 경우 2-4단위의 신선 동결 혈장을, 혈전 강도를 나타내는 지표인 두께 MA가 40 mm 미만일 경우 1 unit/10 kg의 혈소판을 수혈하고, 이러한 성분 수혈이 혈액 응고를 개선시키지 않거나 혹은  $\alpha$ 각이 40도 이하일 경우에는 6-12단위의 동





**Fig. 2.** Examples of thromboelastography during liver transplantation. (A) Preanhepatic phase. (B) Anhepatic phase. (C) Five minutes after reperfusion. (D) Neohepatic phase. R: reaction time, MA: maximum amplitude (Continued to the next page).

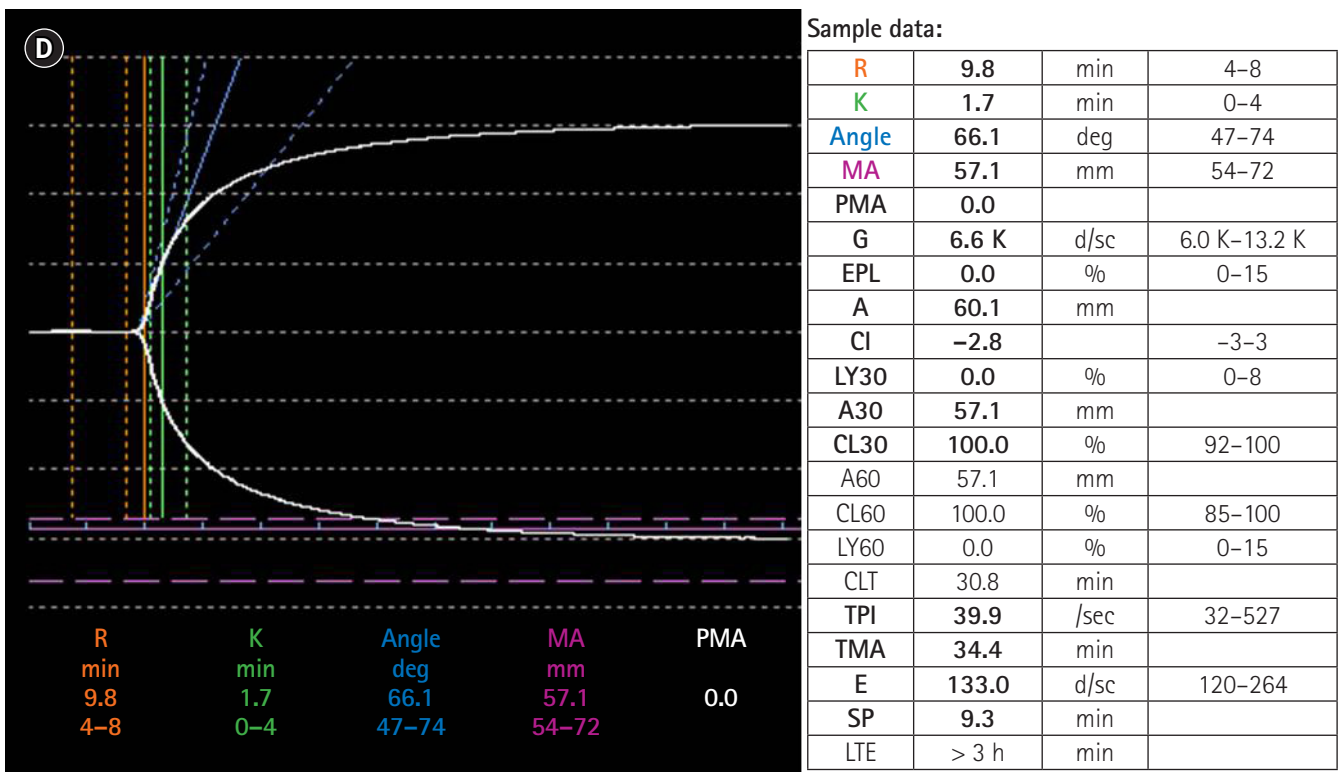
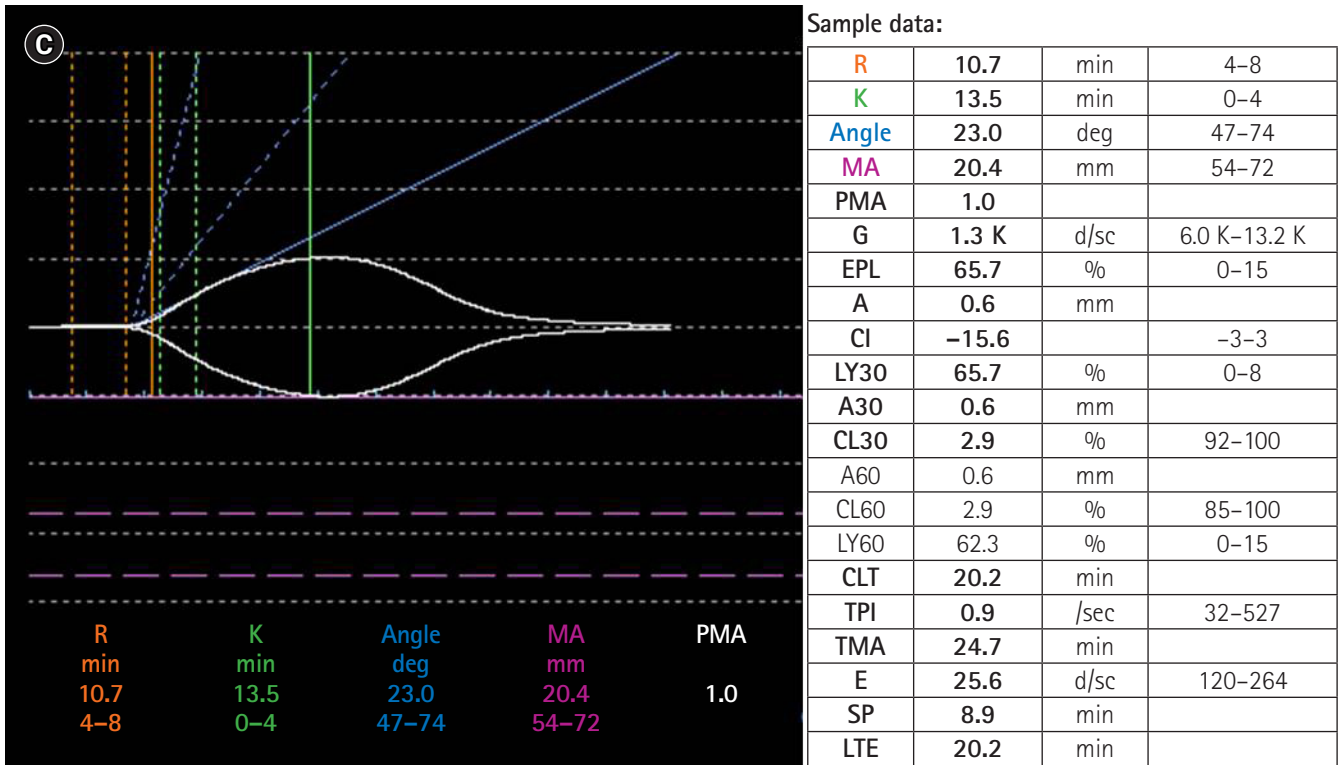


Fig. 2. (Continued from the previous page).

결 침전 혈장(cryoprecipitate) 수혈할 것을 권고하였는데 2012년에 이 프로토콜보다 더 높은 TEG 수치를 수혈 역치로 잡아도 출혈을 증가시키지는 않았다는 연구 결과가 발표되기도 하였다[31]. 간이식 수술 중에는 응고 검사상 여러 지표들의 변화폭이 크기도 하고, 각 검사법이 적용되는 프로토콜들 사이에 연관성은 있으나 일치도가 높지 않고[32], 연구들마다 적용한 프로토콜이 다양하여 어느 한 가지 방법이 우월하다고 결론 내리기 어렵다. 또 중요하게 고려되어야 하는 것이 점탄성 응고 검사법의 참고 수치는 정상 평균 수치를 의미하기 때문에 그 범위를 벗어난다고 해서 응고 장애라고 진단되는 것이 아니라는 점이다. 참고 수치를 벗어나는 결과가 출혈과 직결되는 것은 아니므로 단지 검사 수치를 기준으로 프로토콜을 만들기 어렵다. 특히 간이식 수술에서와 같이 응고 상태가 급격히 변하는 상황에서는 검사 결과에 따라서는 처치하는 것은 적절하지 않고 임상 상황과 맞추는 과정이 필수이다. 간이식 대상의 연구에서 출혈 위험이나 수혈 예측의 절단값(cutoff value)이 검사 수치 참고 범위 내에 있기도 해서 검사 결과에만 의존한 치료 결정은 부적절하다는 점을 더욱 강조해준다[14].

간이식 수술에서는 응고 양상의 변동이 단계별로 매우 심하게 나타난다(Fig. 2). 각 단계별로 나타나는 대표적인 검사 결과 양상을 보면, 무간전기에는 혈액 응고 인자와 혈소판의 결핍이나 기능 저하가 흔하다. 따라서 R, CT가 연장되고 MA, MCF값이 작아 그래프가 가늘게 나오는 양상을 보이는 경우가 많다. 수술 초기에는 응고 체계 평형 상태인 경우도 많은데, 이런 환자에서도 고식적인 응고 검사 상으로는 응고 장애가 심한 것으로 결과가 나온다. 반면 점탄성 검사에서는 평형 상태를 잘 반영하여 안정적인 결과를 보여주고, 수술이 진행되면서 응고 장애가 악화될 때 이것을 실시간으로 반영해준다. 따라서 수술 초기 고식적인 응고 검사 결과만을 이용한 수혈 전략에서는 불필요한 혈장 제제 수혈의 가능성이 있으나 점탄성 응고 검사법을 적용함으로써 이를 막을 수 있고, 실제 혈장 수혈이 필요한 시기에 신속히 처치할 수 있다. 무간기에 들어서면 앞의 응고 장애 양상이 심화되고, tPA의 제거가 이루어지지 않아 과다 섬유소 용해 상태가 초래될 수 있으므로 LI30, LI60, LY30, LY60 증가 양상이 발생하거나 심화되는 양상을 보인다. 이때 항섬유소용해 제제(tranexamic acid)의 적절한 투여로 출혈이 심화되는 것을 방지할 수 있다. 특히 무간기 말과 재관류 직후에는 tPA와 PAI-1 증가, alpha-2-antiplasmin 감소, 공여 간에서의 헤파린양(heparin-like substances) 물질의 유입으로 앞의 모든 응고 장애 양상이 심화되어 나타난다[33-35]. 복합적으로 응고 장애를 보이는 상황이지만 각 수치의 변화 양상과 점탄성 검사법 중 섬유소 원과 혈소판 기능 검사 결과를 참고하면 가장 신속히 필요한 처치가 무엇인지 판단하는데 매우 도움이 된다. 신간기에는 이식된 간의 기능으로 응고 장애가 호전될 수 있으며 이것이 점탄성 응

고 검사 결과에도 반영되어 나타난다. 만약 이 시기에 점탄성 응고 검사 결과에 호전이 보이지 않거나 심화된 응고 장애 양상을 보인다면, 일반적으로는 안정기인 시기라 하여도 다량 출혈의 가능성을 염두에 두어야 하며 이식된 간의 기능 이상 가능성도 고려하여야 한다.

## 결론

점탄성 응고 검사법은 현장 현시 검사로서 기존 응고 검사법보다 더 신속한 판단과 처치가 가능하게 하며 응고의 시작뿐 아니라 혈전의 강도와 유지 능력을 볼 수 있는 검사법이다. 이미 외상 등 출혈과 응고 장애가 심한 임상 상황에서 그 효용성이 입증된 바와 같이, 출혈 위험이 큰 간이식 수술에서도 이 방법은 임상적으로나 학문적으로 매우 유용하게 활용될 수 있다. 앞으로 좀 더 많은 연구를 통해 간이식 수술에서 표준화된 환자 혈액 관리 전략의 하나로 활용될 수 있기를 기대한다.

## CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## ORCID

Sun Young Park, <https://orcid.org/0000-0003-2588-3324>

## REFERENCES

- Miki C, Iriyama K, Gunson BK, Mayer AD, Buckels JA, McMaster P. Influence of intraoperative blood loss on plasma levels of cytokines and endotoxin and subsequent graft liver function. *Arch Surg* 1997; 132: 136-41.
- Abdel-Wahab OI, Healy B, Dzik WH. Effect of fresh-frozen plasma transfusion on prothrombin time and bleeding in patients with mild coagulation abnormalities. *Transfusion* 2006; 46: 1279-85.
- Chowdary P, Saayman AG, Paulus U, Findlay GP, Collins PW. Efficacy of standard dose and 30 ml/kg fresh frozen plasma in correcting laboratory parameters of haemostasis in critically ill patients. *Br J Haematol* 2004; 125: 69-73.
- Plotkin AJ, Wade CE, Jenkins DH, Smith KA, Noe JC, Park MS, et al. A reduction in clot formation rate and strength assessed by thrombelastography is indicative of transfusion requirements in patients with penetrating injuries. *J Trauma* 2008; 64(2 Suppl): S64-8.
- Fries D, Innerhofer P, Schoberberger W. Time for changing co-

- agulation management in trauma-related massive bleeding. *Curr Opin Anaesthesiol* 2009; 22: 267-74.
6. Johansson PI, Stissing T, Bochsén L, Ostrowski SR. Thrombelastography and thromboelastometry in assessing coagulopathy in trauma. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2009; 17: 45.
  7. Kim GS. Thromboelastography. *Korean J Anesthesiol* 2004; 47: 297-304.
  8. Mallett SV. Clinical utility of viscoelastic tests of coagulation (TEG/ROTEM) in patients with liver disease and during liver transplantation. *Semin Thromb Hemost* 2015; 41: 527-37.
  9. Findlay JY, Rettke SR. Poor prediction of blood transfusion requirements in adult liver transplantations from preoperative variables. *J Clin Anesth* 2000; 12: 319-23.
  10. Massicotte L, Beaulieu D, Roy JD, Marleau D, Vandenbroucke F, Dagenais M, et al. MELD score and blood product requirements during liver transplantation: no link. *Transplantation* 2009; 87: 1689-94.
  11. Watson GA, Sperry JL, Rosengart MR, Minei JP, Harbrecht BG, Moore EE, et al. Inflammation and Host Response to Injury Investigators. Fresh frozen plasma is independently associated with a higher risk of multiple organ failure and acute respiratory distress syndrome. *J Trauma* 2009; 67: 221-7.
  12. Davenport R, Manson J, De'Ath H, Platten S, Coates A, Allard S, et al. Functional definition and characterization of acute traumatic coagulopathy. *Crit Care Med* 2011; 39: 2652-8.
  13. Woolley T, Midwinter M, Spencer P, Watts S, Doran C, Kirkman E. Utility of interim ROTEM® values of clot strength, A5 and A10, in predicting final assessment of coagulation status in severely injured battle patients. *Injury* 2013; 44: 593-9.
  14. Fayed N, Mourad W, Yassen K, Görlinger K. Preoperative thromboelastometry as a predictor of transfusion requirements during adult living donor liver transplantation. *Transfus Med Hemother* 2015; 42: 99-108.
  15. Jeong SM, Song JG, Seo H, Choi JH, Jang DM, Hwang GS. Quantification of both platelet count and fibrinogen concentration using maximal clot firmness of thromboelastometry during liver transplantation. *Transplant Proc* 2015; 47: 1890-5.
  16. Song JG, Jeong SM, Jun IG, Lee HM, Hwang GS. Five-minute parameter of thromboelastometry is sufficient to detect thrombocytopenia and hypofibrinogenaemia in patients undergoing liver transplantation. *Br J Anaesth* 2014; 112: 290-7.
  17. Dötsch TM, Dirkmann D, Bezinover D, Hartmann M, Treckmann JW, Paul A, et al. Assessment of standard laboratory tests and rotational thromboelastometry for the prediction of postoperative bleeding in liver transplantation. *Br J Anaesth* 2017; 119: 402-10.
  18. Kang YG, Martin DJ, Marquez J, Lewis JH, Bontempo FA, Shaw BW Jr, et al. Intraoperative changes in blood coagulation and thrombelastographic monitoring in liver transplantation. *Anesth Analg* 1985; 64: 888-96.
  19. Wang SC, Shieh JF, Chang KY, Chu YC, Liu CS, Loong CC, et al. Thromboelastography-guided transfusion decreases intraoperative blood transfusion during orthotopic liver transplantation: randomized clinical trial. *Transplant Proc* 2010; 42: 2590-3.
  20. Trzebicki J, Flakiewicz E, Kosieradzki M, Błaszczyk B, Kołacz M, Jureczko L, et al. The use of thromboelastometry in the assessment of hemostasis during orthotopic liver transplantation reduces the demand for blood products. *Ann Transplant* 2010; 15: 19-24.
  21. Dabbagh O, Oza A, Prakash S, Sunna R, Saettele TM. Coagulopathy does not protect against venous thromboembolism in hospitalized patients with chronic liver disease. *Chest* 2010; 137: 1145-9.
  22. Raveh Y, Souki F, Livingstone J, Beduschi T, Vianna R, Rodriguez Y, et al. Fibrinolytic shutdown is associated with intraoperative thrombosis and hemorrhage during visceral transplant. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2019; 23: 300-8.
  23. Krzanicki D, Sugavanam A, Mallett S. Intraoperative hypercoagulability during liver transplantation as demonstrated by thromboelastography. *Liver Transpl* 2013; 19: 852-61.
  24. Warnaar N, Molenaar IQ, Colquhoun SD, Slooff MJ, Sherwani S, de Wolf AM, et al. Intraoperative pulmonary embolism and intracardiac thrombosis complicating liver transplantation: a systematic review. *J Thromb Haemost* 2008; 6: 297-302.
  25. McCrath DJ, Cerboni E, Frumento RJ, Hirsh AL, Bennett-Guerero E. Thromboelastography maximum amplitude predicts postoperative thrombotic complications including myocardial infarction. *Anesth Analg* 2005; 100: 1576-83.
  26. Hincker A, Feit J, Sladen RN, Wagener G. Rotational thromboelastometry predicts thromboembolic complications after major non-cardiac surgery. *Crit Care* 2014; 18: 549.
  27. Rouillet S, Freyburger G, Cruc M, Quinart A, Stecken L, Audy M, et al. Management of bleeding and transfusion during liver transplantation before and after the introduction of a rotational thromboelastometry-based algorithm. *Liver Transpl* 2015; 21: 169-79.
  28. Koo BN, Kwon MA, Kim SH, Kim JY, Moon YJ, Park SY, et al. Korean clinical practice guideline for perioperative red blood cell transfusion from Korean Society of Anesthesiologists. *Korean J Anesthesiol* 2019; 72: 91-118.
  29. American Society of Anesthesiologists Task Force on Perioperative Blood Management. Practice guidelines for perioperative blood management: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Perioperative Blood Management. *Anesthesiology* 2015; 122: 241-75.
  30. Kozek-Langenecker SA, Afshari A, Albaladejo P, Santullano CA, De Robertis E, Filipescu DC, et al. Management of severe perioperative bleeding: guidelines from the European Society



- of Anaesthesiology. *Eur J Anaesthesiol* 2013; 30: 270-382.
31. Wang SC, Lin HT, Chang KY, Mandell MS, Ting CK, Chu YC, et al. Use of higher thromboelastogram transfusion values is not associated with greater blood loss in liver transplant surgery. *Liver Transpl* 2012; 18: 1254-8.
32. Coakley M, Reddy K, Mackie I, Mallett S. Transfusion triggers in orthotopic liver transplantation: a comparison of the thromboelastometry analyzer, the thromboelastogram, and conventional coagulation tests. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2006; 20: 548-53.
33. Kettner SC, Gonano C, Seebach F, Sitzwohl C, Acimovic S, Stark J, et al. Endogenous heparin-like substances significantly impair coagulation in patients undergoing orthotopic liver transplantation. *Anesth Analg* 1998; 86: 691-5.
34. Kang Y. Coagulation and liver transplantation. *Transplant Proc* 1993; 25: 2001-5.
35. Bakker CM, Metselaar HJ, Groenland TN, Gomes MJ, Knot EA, Hesselink EJ, et al. Increased tissue-type plasminogen activator activity in orthotopic but not heterotopic liver transplantation: the role of the anhepatic period. *Hepatology* 1992; 16: 404-8.