

· 综 述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2020.01.031

网络首发 <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20190726.1313.002.html>(2019-07-26)

## 血栓弹力图临床应用的研究进展\*

杨建业, 秦磊磊, 李飞龙, 朱思政, 王家伟, 梁 熙 综述, 黄 伟, 胡 宁<sup>△</sup> 审校  
(重庆医科大学附属第一医院骨科 400016)

**[摘要]** 血栓弹力图(TEG)是一种用于反映全凝血过程的灵敏试验,可以对血小板功能,血浆因子活性,纤维蛋白聚合和纤维蛋白溶解进行综合评估。TEG 已被广泛用于胸部手术、肝移植手术及骨科手术,指导成分输血。本文对 TEG 在临床中的应用作一综述。

**[关键词]** 血栓弹力描记术;血液凝固;输血;体外循环

**[中图分类号]** R446.1

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-8348(2020)01-0149-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Advances in clinical application of thromboelastography\*

YANG Jianye, QIN Leilei, LI Feilong, ZHU Sizheng, WANG Jiawei,  
LIANG Xi, HUANG Wei, HU Ning<sup>△</sup>

(Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital of Chongqing  
Medical University, Chongqing 400016, China)

**[Abstract]** Thromboelastography (TEG) is a sensitive test for the characterization of the clotting process in whole blood, it provides a comprehensive assessment of platelet function, plasma factor activity, fibrin polymerization, and fibrinolysis. TEG has been widely used in thoracic, liver transplant and orthopedics surgery, it guides blood component transfusion. This article reviews the application of TEG in clinical practice.

**[Key words]** thromboelastography; blood coagulation; blood transfusion; extracorporeal circulation

血栓和出血一直是影响患者生命安全的重要因素,如何快速评估患者凝血状态十分重要。理想的凝血测试应简单易操作,快速获得结果,同时具有较高的可靠性和稳定性,能准确估计血栓形成和出血风险。此外,其还能模拟血液流动条件、内皮相互作用、血小板作用及生理条件,如 pH 和温度<sup>[1]</sup>。然而,传统凝血试验无法全面分析全血的凝血状态,如凝血酶形成、血液凝集、血栓溶解<sup>[2-3]</sup>,国际标准化比值(INR)、活化部分凝血活酶时间(APTT)等仅监测凝血的起始阶段,因此,可能出现传统凝血试验正常,而血液凝固的整体状态异常<sup>[3]</sup>。因而,传统凝血试验无法有效预测患者血栓形成或出血风险并指导治疗。

1948 年, HARTERT 首次运用血栓弹力图(thromboelastography, TEG)监测全血的凝血过程<sup>[4]</sup>。TEG 利用图形记录凝血过程中血块黏弹性变化和纤维蛋白聚合过程,具有血液标本用量少、简便

易操作、检测时间短、良好的床边可用性、结果精确等优点,且是唯一能够快速鉴定和定量纤溶亢进的测试方法<sup>[5]</sup>。TEG 最初用于科学研究,直到 20 世纪 80 年代才开始广泛应用于临床,并获得了飞速发展<sup>[6]</sup>。目前,TEG 的临床应用已扩展到指导临床成分输血、多种情况下即时的凝血监测、预测静脉血栓风险等,在胸部手术、肝脏移植、产科、儿科及骨科等方面进行快速及准确的凝血功能评估具有重要的临床地位。本文旨在对 TEG 在临床中的应用进行综述。

### 1 TEG 设备组成及工作原理

TEG 仪主要由测试杯、金属探针及与之相连接的传感器构成。预先将测试杯温度调节至 37 °C,加入少量血液标本,金属探针放入测试杯中,测试杯被安置在以 4°45' 角度、每周持续 10 s 转动的反应座

\* 基金项目:国家自然科学基金面上项目(81672167)。 作者简介:杨建业(1994-),住院医师,硕士,主要从事骨关节疾病研究。

<sup>△</sup> 通信作者, E-mail: hunjoint@yahoo.com.

上,模拟血管中缓慢的血流。起初,血液标本是液体,测试产生的运动不会影响探针,但随着血液开始凝固形成纤维蛋白桥,作用于探针和杯壁间,逐渐产生阻力。此外,由于血液标本中的纤维蛋白会黏附于探针,进一步产生阻力,从而影响探针。探针在测试杯旋转过程中对杯内磁力线进行切割,进而产生电流。随着纤维蛋白桥产生增多,血凝块不断生成,阻力不断增加,产生的电流也发生相应的改变。达到血凝块最大强度后,随着纤维蛋白溶解,血凝块逐渐溶解,测试杯和针的纤维蛋白结合被破坏,测试杯运动的传递减少,探针受到的阻力逐渐减小。探针在整个过程中随着阻力的不断改变而旋转,从而产生不断变化的电流信号。信号经过电脑软件的处理后形成相应的曲线,进而获得 TEG 的一系列参数<sup>[1,7-9]</sup>。其中除了血凝块形成的相关数据外,还包括纤溶导致血块逐步溶解的过程,所以通常可以将 TEG 曲线图分为 2 个部分,即凝血曲线与纤溶曲线。

## 2 TEG 常用指标及意义

TEG 的主要参数包括最大振幅(maximum amplitude, MA)、凝血反应时间(reaction time, R)、 $\alpha$ 角、血块形成时间(coagulation time, K)、凝血指数(clot index, CI)、血块溶解指数(clot lysis index, CLI)、血块稳定性等。常见参数意义如下。

### 2.1 MA

MA 是曲线两侧最高点的距离的直接测量值,也称为最大血块硬度,反映了患者血液中血小板和纤维蛋白之间相互作用、交联的最大动力学特性,是血液标本中纤维蛋白凝块所能达到的最大强度。MA 值参考范围为 50~70 mm,主要受血小板功能与数量及纤维蛋白与血小板之间的相互作用影响,血小板在其中起主要作用。血小板的功能降低、数量减少或与其与纤维蛋白相互作用减弱,均能导致 MA 值减小,提示患者血液可能呈低凝状态;反之,则提示血液呈高凝状态。通过 MA 可计算出凝血块强度(G),计算公式: $G=5\ 000\times MA/(100-MA)$ 。G 值取决于 MA 值的大小,凝血块的血小板功能越活跃、数量越多、与纤维蛋白结合越好,其强度越大,G 值也越大<sup>[12]</sup>。

### 2.2 R

R 是患者血液标本中凝血系统激活、启动至第 1 块 TEG 设备可检测到的血凝块形成所需要的时间,反映了凝血系统启动的时间。通常将曲线振幅达到 2 mm 所需的时间称为 R,提供了在纤维蛋白链沉积之前相关凝血酶生成的信息<sup>[7]</sup>,也反映了凝血因子与凝血抑制因子的动态平衡。R 值参考范围为 5~10 min,最主要的影响因素包括血液中的相关凝血因子、患者使用的抗凝剂等。通常 R 值减小时,表明患者的凝血系统启动加快,提示患者凝血因子活性增高。反

之,则提示患者凝血因子活性降低或缺乏。此外,若向血液标本中加入抗凝剂,也会导致 R 值延长。

### 2.3 $\alpha$ 角

由 TEG 设备计算的  $\alpha$ 角通常被定义为从曲线的 R 分割点与血凝块形成曲线切线与水平线形成的角度。然而, $\alpha$ 角的一些不同定义也在被使用,例如:(1)将振幅为 1 mm 的点或振幅为 2 mm 的点作为切点所获得的曲线切线与水平线形成的角度;(2)经过振幅 20 mm 的点与曲线的分裂点所得的直线与水平线的夹角;(3)振幅为 1 mm 的点或振幅为 2 mm 的点与振幅 20 mm 的点所得直线与水平线形成的角度<sup>[11]</sup>。在不同定义下  $\alpha$ 角的计算值会改变,但这种改变对于临床应用的影响目前尚不明确<sup>[11]</sup>。 $\alpha$ 角可视为纤维蛋白和血小板形成与交联的加速度,即血凝块强度增加的速率。 $\alpha$ 角参考范围为  $53^{\circ}\sim 72^{\circ}$ ,其数值主要受纤维蛋白及血小板功能影响,因此, $\alpha$ 角的数值越大,表明纤维蛋白与血小板功能越活跃,患者血液中凝血块的强度增加的速度越快,提示患者血液处于高凝状态;反之,血液呈低凝状态。因为在某些情况下 K 可能无法获得,所以  $\alpha$ 角的应用更为广泛。

### 2.4 K

振幅在 2~20 mm 的时间称为 K<sup>[7]</sup>,反映了纤维蛋白原功能和血小板在凝血块开始形成时的作用,为临床提供了血块形成的速度及相关凝血因子、血小板和纤维蛋白原水平的信息。K 值参考范围为 1~3 min,K 值减小,表明患者凝血块形成速度快,提示患者体内纤维蛋白原功能亢进,凝血系统呈高凝状态;反之,则呈低凝状态。SUBRAMANIAN 等<sup>[10]</sup>研究报告,K 值可能因凝血状态的改变而消失,这可能是因为在某些低凝血状态下,振幅无法达到 20 mm 所致。

### 2.5 CI

CI 是综合计算 MA、R、 $\alpha$ 角、K 得到的能够较为全面地评估患者凝血状态的指标,计算公式为: $CI=0.122\ 7\times R+0.009\ 2\times K+0.165\ 5\times MA-0.024\ 1\times \alpha-5.022\ 0$ ,参考值为 -3~3,反映了血液标本整体的凝血状态<sup>[13]</sup>。当  $CI<-3$  时提示血液呈低凝状态, $>3$  时提示血液呈高凝状态,是对整个凝血过程进行综合评价的较好指标。

### 2.6 CLI

CLI 指某一时间点对应的振幅与 MA 的比值,反映了在给定时间内血块溶解后的剩余量<sup>[15]</sup>。常用的时间点有获得 MA 后 30 或 60 min,CLI 减小通常提示纤溶亢进。

### 2.7 血块稳定性

血块稳定性包括 LY30 和 LY60,分别表示达到 MA 后 30 和 60 min 时曲线下面积减小的百分比,反映了血块的纤溶活性<sup>[7,14]</sup>。LY30 和 LY60 代表血块溶解的快慢,当其数值增大时,常提示纤溶亢进。

### 3 TEG 的应用

#### 3.1 成分输血

目前,临床医生对输血指征的判断主要来自血常规及传统凝血试验,然而这两种检测并不能反映凝血系统全貌。现代输血主张成分输血,TEG 能快速反映患者凝血全貌,及早发现凝血异常且准确判断出血原因。与传统的凝血试验相比,TEG 检测患者凝血状态能更好地指导患者成分输血,减少患者病死率、再手术率及出血,且降低血液制品的使用<sup>[30-32]</sup>。结合 TEG 各参数意义,TEG 与输血成分的对应关系如下:(1)当 R 值延长时,提示凝血因子启动,凝血减慢,因此患者出血可能是由于凝血因子减少或凝血因子功能减弱,应输注新鲜冰冻血浆,补充凝血因子,缩短凝血启动时间,控制出血。(2)当  $\alpha$  角减小或 K 值增大时,提示患者血液呈低凝状态,有出血倾向,主要是因为患者凝血系统中纤维蛋白原缺乏或功能低下和凝血酶形成不足导致纤维蛋白与血小板交联形成凝血块速度降低,应输注冷沉淀或新鲜冰冻血浆。(3)当 MA 值减小时,提示血小板与纤维蛋白相互交联减弱导致凝血块最大硬度减小,呈血小板型低凝,应输注血小板。

#### 3.2 肝移植手术

终末期肝病者,肝功能严重受损,凝血因子合成严重不足、纤维蛋白溶解亢进、血小板功能及数量下降、肝脏清除凝血蛋白的能力下降,最终导致凝血和纤溶系统的紊乱<sup>[16-17]</sup>。肝移植是挽救肝衰竭患者最重要的治疗手段。然而肝移植围术期,患者可能发生进一步的凝血功能障碍导致出血或血栓形成,严重威胁生命安全。传统凝血功能试验检测周期长,仅能反映部分凝血过程,并不能准确、及时地反映凝血状况<sup>[18-19]</sup>。而 TEG 能为肝移植围术期不同阶段的凝血管理提供准确、及时的信息,是监测肝移植患者围术期凝血状态、指导围术期输血的重要监测工具<sup>[20-21]</sup>。肝移植手术中新肝灌注后会出现的再灌注损伤,使肝暴露于嗜中性粒细胞介导的损伤和炎症中,导致内源性肝素从血管内皮释放到血液中抑制活化的凝血因子 Xa 而引起肝素样作用 (heparin-like effect, HLE),通过 TEG 检测表现为 R+K 值的明显增加<sup>[22-24]</sup>。通常患者的 R+K 值增加超过通过添加肝素酶校正后获得的 R+K 值的 50% 即视为 HLE,而超过校正值的 80% 被视为严重 HLE,但 HLE 引起的出血可予以鱼精蛋白治疗<sup>[22,25]</sup>。而 TEG 参数正常者,常提示出血为非凝血异常引起如手术损伤等,可进行压迫止血等措施<sup>[25]</sup>。应用 TEG 指导肝移植围术期输血相对于常规输血,可减少围术期输血量及各种成分血的使用量,是指导肝移植患者围术期输血较为理想的方法<sup>[19]</sup>。有研究发现,MA 在肝移植期间

能较好地预测是否需要大量输血,通过在术前使用 TEG 能有助于减少不必要的血液准备<sup>[26]</sup>。WANG 等<sup>[27]</sup>通过使用 TEG 和传统凝血试验对 28 例原位肝移植患者进行术中凝血监测,发现 TEG 指导原位肝移植患者围术期输血可降低新鲜冰冻血浆的用量,且不影响患者 3 年生存率。虽然 TEG 的相关参数与传统凝血试验具有明显相关性,且 TEG 与传统凝血试验相比具有一定优势<sup>[28]</sup>,但通过传统凝血试验和 TEG 监测的结合,监测凝血全过程,综合分析术中凝血改变,来指导血液制品及药物的使用具有良好效果,对于肝移植患者凝血系统紊乱的诊治更有指导价值<sup>[29]</sup>。

#### 3.3 体外循环心脏手术

在体外循环下进行心脏手术的患者,由于抗血小板药及抗凝药的使用和体外循环可能诱发患者全身炎症,从而激活、稀释和消耗体内凝血系统血小板及凝血因子;此外,体外循环过程中血液与空气直接接触、心脏减压、血流作用于血管内皮间单位面积的力、术中低体温、酸中毒、大量输血输液、手术创伤等均可引起血细胞的破坏,激活患者内外源凝血系统,消耗体内血小板及纤维蛋白溶解亢进,最终加剧凝血功能紊乱,导致异常出血或血栓形成<sup>[33-34]</sup>。对于体外循环心脏手术中的抗凝和抗血小板治疗,欧洲心胸外科协会指南将 TEG 列为 B 类推荐,且 TEG 可用于指导心脏手术术后输血<sup>[35]</sup>。部分研究表明 TEG 与传统凝血试验相比,在预测术后出血方面并未显示出更好的相关性<sup>[36]</sup>。另一方面,有研究发现 TEG 指导心脏手术可在一定程度上减少患者术中失血量,但无法减少实际成分血输注量,且不能有效降低死亡率<sup>[37]</sup>。可见虽然 TEG 指导心脏外科手术越来越广泛,但其临床应用价值尚有一定争议,仍待进一步研究。

#### 3.4 产科手术

妊娠期间,孕妇的凝血状态会发生一系列特征性改变,如孕妇在妊娠后期及分娩后的一段时间内均处于相对高凝状态<sup>[38]</sup>。因此评估孕妇凝血功能变化有利于评估预后和早期干预。ANTONY 等<sup>[39]</sup>在一项前瞻性研究中结合多中心既往研究结果提出了正常孕妇妊娠晚期的 TEG 的参考范围,为孕妇的凝血状态评估提供了一定的参考。有研究提示 TEG 在产后出血对于凝血变化检测的灵敏度高于传统试验。然而,一项系统评价发现 TEG 和传统试验对于产后出血病例的有效性无明显差异,但 TEG 可为患者节省一定的经济成本<sup>[40]</sup>。此外,孕妇采用 TEG 监测凝血状态有利于早期大出血的诊断及治疗<sup>[41-42]</sup>。TEG 能够快速、全面地反映患者体内凝血系统的全过程,因此,在产科的应用前景十分广泛。

#### 3.5 全关节置换术 (total joint arthroplasty, TJR)

随着社会发展和生活水平的提高,人们对生活质量的要求也逐渐提高。TJR 是终末期关节疾病的重

要治疗方案。由于其成熟的手术技术、假体材料的不断改进及良好的治疗效果,TJR 的手术量呈不断上升的趋势。仅美国,每年就有 30 多万患者接受 TJR<sup>[43]</sup>。然而,TJR 往往伴随大量的失血,且由于纤维蛋白溶解持续到术后而导致凝血紊乱,其中 37%~90% 的患者需要输注平均 2 个单位的红细胞,以提高血红蛋白水平<sup>[43-44]</sup>。近三十年来,TJR 后静脉血栓栓塞的发生率有所下降,然而使用常规的血栓预防措施后,一些患者仍然会发生静脉血栓栓塞,包括下肢深静脉血栓和肺栓塞<sup>[45]</sup>。因此,准确监测 TJR 围术期的凝血功能非常重要。TEG 能够反映凝血过程的不同阶段,并对凝血涉及的各个步骤进行定性评估,有效地揭示患者术后高凝状态,这是 TJR 围术期凝血监测及快速评估凝血功能、预防血栓形成的重要工具<sup>[45-47]</sup>。

相对于传统凝血试验和血小板活化凝血试验,TEG 能更好地预测 TJR 患者的失血量,显示出 83% 的灵敏度和 79% 的特异度,但仍需进一步研究<sup>[48]</sup>。TEG 在 TJR 围术期凝血监测,预测出血及血栓方面仍有发展空间,通过更多的病例及 TEG 与传统凝血实验的结合,或许能够建立基于 TEG 参数的围术期患者风险评估系统<sup>[49]</sup>。另一方面,有研究表明瘀斑患者的 TEG 相关参数可提示患者凝血呈相对低凝状态,且 CI 值变化是瘀斑的独立危险因素<sup>[50]</sup>。因此,TEG 在预测出血倾向及出血事件可能是有效的方法。总之,TEG 是一种确定 TJR 患者低凝和高凝状态有效方法,但用 TEG 监测凝血功能在骨科领域尚未普及,这也是未来重要的研究方向。

#### 4 TEG 的局限性

TEG 监测凝血功能的局限性主要有以下几个方面:(1)TEG 检测环境必须维持在 37℃,因此可能不适用于某些低温环境下进行的手术的术中监测。(2)TEG 能模拟血管中缓慢的血流,但当患者血管壁受损时,TEG 无法检测血小板的黏附及血小板与血管内皮细胞之间的相互作用对凝血功能的影响。(3)常规 TEG 在评估血小板抑制时是通过调整不同的血小板激动剂来实现的,所以当患者进行抗血小板治疗时,如服用阿司匹林,常规 TEG 并不能反映患者体内血小板的真实情况,无法全面而准确地描述患者全血的凝血状态。(4)目前厂家提供的 TEG 参考范围主要基于国外的研究,我国尚无基于大型临床试验的统一标准,因此 TEG 的参考范围可能对我国临床医生解读监测结果带来一定的影响。

#### 5 小 结

TEG 是一种监测全血凝血状态的方法,能够对血小板和凝血级联之间的相互作用进行全面评估,包

括初始凝血、血小板活化、纤维蛋白形成和纤维蛋白溶解等。相比于传统试验更加全面、快捷和精确,因此已广泛应用于临床凝血状态的监测。然而,TEG 也存在其局限性,且部分研究结果还需要更多的临床数据来证实和支持,以及进一步的深入研究。相信随着临床医生的更多关注、研究的逐渐深入和 TEG 的不断改进、完善,其将会有更加广泛的应用前景,未来也会有更多的患者从中获益。

#### 参考文献

- [1] LANCÉ M D. A general review of major global coagulation assays: thrombelastography, thrombin generation test and clot waveform analysis [J]. *Thromb J*, 2015, 13: 1-6.
- [2] KOZEK-LANGENECKER S, AFSHARI A, ALBALADEJO P, et al. Management of severe perioperative bleeding: guidelines from the European society of anaesthesiology [J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2013, 30(6): 270-382.
- [3] SPAHN D R, BOUILLON B, CERNY V, et al. Management of bleeding and coagulopathy following major trauma: an updated European guideline [J]. *Crit Care* 2013, 17(2): R76.
- [4] 殷阔琦, 贾莉莉, 喻文立, 等. 血栓弹力图在肝移植围术期中的应用进展 [J/CD]. *实用器官移植电子杂志*, 2018, 6(4): 331-335.
- [5] YEUNG M C, TONG S Y, TONG P Y, et al. Use of viscoelastic haemostatic assay in emergency and elective surgery [J]. *Hong Kong Med J*, 2015, 21(1): 45-51.
- [6] 徐银霞, 马丽琼. 血栓弹力图的临床应用及研究进展 [J]. *云南医药*, 2018, 39(1): 72-73.
- [7] HANS G A, BESSER M W. The place of viscoelastic testing in clinical practice [J]. *Br J Haematol*, 2016, 173(1): 37-48.
- [8] 贾媛芳, 张雪娟. 血栓弹力图在心血管疾病诊治中的应用进展 [J]. *心血管病学进展*, 2015, 36(2): 207-210.
- [9] WILSON D, COOKE E A, MCNALLY M A, et al. Changes in coagulability as measured by thrombelastography following surgery for proximal femoral fracture [J]. *Injury*, 2001, 32(10): 765-770.
- [10] SUBRAMANIAN A, ALBERT V, SAXENA R A, et al. Establishing a normal reference range for thromboelastography in North Indian healthy volunteers [J]. *Indian J Pathol Microbiol*, 2014, 57(1): 43-50.

- [11] SOLOMON C, SCHOCHL H, RANUCCI M, et al. Can the viscoelastic parameter  $\alpha$ -angle distinguish fibrinogen from platelet deficiency and guide fibrinogen supplementation? [J]. *Anesth Analg*, 2015, 121:289-301.
- [12] ELLIOTT A, WETZEL J, ROPER T, et al. Thromboelastography in patients with acute ischemic stroke[J]. *Int J Stroke*, 2015, 10(2):194-201.
- [13] LIU C, GUAN Z, XU Q Z, et al. Relation of thromboelastography parameters to conventional coagulation tests used to evaluate the hypercoagulable state of aged fracture patients[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(24):e3934-e3939.
- [14] SHEN L, TABAIE S, IVASCU N. Viscoelastic testing inside and beyond the operating room [J]. *J Thorac Dis*, 2017, 9(4):S299-S308.
- [15] REIKVAM H, STEIEN E, HAUGE B, et al. Thrombelastography[J]. *Transfus Apher Sci*, 2009, 40(2):119-123.
- [16] ASRANI S K, SIMONETTO D A, KAMATH P S. Acute-on-chronic liver failure [J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2015, 13 (12): 2128-2139.
- [17] ROBERTS L N, PATEL R K, ARYA R. Haemostasis and thrombosis in liver disease[J]. *Br J Haematol*, 2010, 148:507-521.
- [18] CLEVENGER B, MALLETT S V. Transfusion and coagulation management in liver transplantation[J]. *World J Gastroenterol*, 2014, 20(20): 6146-6158.
- [19] 卫志燕, 许大巍. 血栓弹力图仪指导肝移植围术期输血的 Meta 分析[J]. *实用医技杂志*, 2016, 23(5):469-471.
- [20] ZAMPER R P C, AMORIM T C, COSTA L, et al. The role of thromboelastometry in the assessment and treatment of coagulopathy in liver transplant patients[J]. *Einstein (Sao Paulo)*, 2017, 15:243-246.
- [21] SONG J G, JEONG S M, JUN I G, et al. Five-minute parameter of thromboelastometry is sufficient to detect thrombocytopenia and hypofibrinogenaemia in patients undergoing liver transplantation[J]. *Br J Anaesth*, 2014, 112(2): 290-297.
- [22] SENZOLO M, AGARWAL S, ZAPPOLI P, et al. Heparin-like effect contributes to the coagulopathy in patients with acute liver failure undergoing liver transplantation[J]. *Liver International*, 2009, 29(5):754-759.
- [23] AGARWAL B, WRIGHT G, GATT A, et al. Evaluation of coagulation abnormalities in acute liver failure[J]. *J Hepatol*, 2012, 57(4): 780-786.
- [24] NACOTI M, CANTU D, BONACINA D, et al. Heparin-like effect resistant to protamine in a child with haemorrhagic shock. Do we need heparinase? [J]. *Blood Transfus*, 2018, 16(4): 394-396.
- [25] AGARWAL S, SENZOLO M, MELIKIAN C, et al. The prevalence of a heparin-like effect shown on the thromboelastograph in patients undergoing liver transplantation [J]. *Liver Transpl*, 2008, 14(6):855-860.
- [26] LAWSON P J, MOORE H B, MOORE E E, et al. Preoperative thrombelastography maximum amplitude predicts massive transfusion in liver transplantation [J]. *J Surg Res*, 2017, 220(220):171-175.
- [27] WANG S C, SHIEH J F, CHANG K Y, et al. Thromboelastography-guided transfusion decreases intraoperative blood transfusion during orthotopic liver transplantation: randomized clinical trial[J]. *Transplant Proc*, 2010, 42(7): 2590-2593.
- [28] 李兵, 姜一新, 张宇, 等. 肝移植术中血栓弹力图和常规凝血监测指标相关性研究[J]. *临床麻醉学杂志*, 2011, 27:340-342.
- [29] 李如霞, 袁莉, 张楠楠, 等. 肝移植患者围术期凝血功能变化 50 例分析[J]. *青岛大学医学院学报*, 2016, 52(4):402-405.
- [30] SPALDING G J, HARTRUMPF M, SIERIG T, et al. Cost reduction of perioperative coagulation management in cardiac surgery: value of "bedside" thrombelastography (ROTEM)[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2007, 31:1052-1057.
- [31] ESPINOSA A, EKELAND M S. Thromboelastography-useful in cases of bleeding? [J] *Tidsskr Nor Legeforen*, 2017, 137:367-370.
- [32] BOLLIGER D, TANAKA K A. Roles of thrombelastography and thromboelastometry for patient blood management in cardiac surgery[J]. *Transfus Med Rev*, 2013, 27(4):213-220.
- [33] 樊珍, 赵丽云. 心脏手术围术期血栓弹力图应用进展[J]. *心肺血管病杂志*, 2017, 36(8):707-709.
- [34] JOHANSSON P I, SOLBECK S, GENET G, et al. Coagulopathy and hemostatic monitoring in cardiac surgery: an update[J]. *Scand Cardiovasc*

- J, 2012, 46:194-202.
- [35] DUNNING J, VERSTEEGH M, FABBRI A, et al. Guideline on antiplatelet and anticoagulation management in cardiac surgery[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2008, 34(1):73-92.
- [36] PEKELHARING J, FURCK A, BANYA W, et al. Comparison between thromboelastography and conventional coagulation tests after cardiopulmonary bypass surgery in the paediatric intensive care unit [J]. *Int J Lab Hematol*, 2014, 36(4):465-471.
- [37] WIKKELSOE A J, AFSHARI A, WETTER-SLEV J, et al. Monitoring patients at risk of massive transfusion with thrombelastography or thromboelastometry: a systematic review [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2011, 55(10):1174-1189.
- [38] SHREEVE N E, BARRY J A, DEUTSCH L R, et al. Changes in thromboelastography parameters in pregnancy, labor, and the immediate postpartum period[J]. *Int J Gynaecol Obstet*, 2016, 134(3):290-293.
- [39] ANTONY K M, MANSOURI R, ARNDT M, et al. Establishing thromboelastography with platelet-function analyzer reference ranges and other measures in healthy term pregnant women[J]. *Am J Perinatol*, 2015, 32(6):545-554.
- [40] WHITING P, AL M, WESTWOOD M, et al. Viscoelastic point-of-care testing to assist with the diagnosis, management and monitoring of haemostasis: a systematic review and cost-effectiveness analysis [J]. *Health Technol Assess*, 2015, 19(58):1-228.
- [41] EKELUND K, HANKE G, STENSBALLE J, et al. Hemostatic resuscitation in postpartum hemorrhage - a supplement to surgery[J]. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 2015, 94(7):680-692.
- [42] 闫小娴. 血栓弹力图在产后出血产妇输血治疗中的应用价值[J]. *中国民康医学*, 2017, 30(21):3-5.
- [43] FROESSLER B, WEBER I, HODYL N A. Dynamic changes in clot formation determined using thromboelastometry after reinfusion of unwashed anticoagulated cell-salvaged whole blood in total hip arthroplasty[J]. *Blood Transfusion*, 2015, 13(3):448-454.
- [44] NA H S, SHIN H J, LEE Y J, et al. The effect of tranexamic acid on blood coagulation in total hip replacement arthroplasty: rotational thromboelastographic [ROTEM (R)] analysis [J]. *Anaesthesia*, 2016, 71(1):67-75.
- [45] YANG Y, YAO Z J, DAI W D, et al. Changes of thrombelastography in patients undergoing elective primary total knee and total hip replacement with low molecular heparin prophylaxis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2014, 9:52-57.
- [46] 崔学晴, 张建新, 张林忠, 等. 血栓弹力图在全膝关节置换术患者围术期凝血功能评价中的应用[J]. *山西医科大学学报*, 2016, 47(10):941-943.
- [47] PARAMESWARAN A, KRISHNAMOORTHY V P, OOMMEN A T, et al. Is pre-operative assessment of coagulation profile with thrombelastography (TEG) useful in predicting venous thromboembolism (VTE) following orthopaedic surgery? [J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2016, 7:225-229.
- [48] TEKKESIN N, TEKKESIN M, KASO G. Thromboelastography for the monitoring of the antithrombotic effect of low-molecular-weight heparin after major orthopedic surgery [J]. *Anatol J Cardiol*, 2015, 15(11):932-937.
- [49] 耿玮, 张志刚, 皮斌, 等. 血栓弹力图与传统凝血检查监测围关节置换期的凝血状态[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(48):7709-7716.
- [50] WANG J, ZHU H L, SHI Z J, et al. The application of thrombelastography (TEG) in understanding and management of ecchymosis after total knee arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(12):3754-3758.

(收稿日期:2019-03-20 修回日期:2019-06-04)