

# 血栓弹力图和旋转血栓弹力图在创伤患者围术期的应用进展

秦冠伦<sup>1,2</sup>, 丁玉美<sup>2</sup>

1. 内蒙古医科大学 研究生院, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2. 内蒙古医科大学第二附属医院 麻醉科, 内蒙古 呼和浩特 010010

**[摘要]** 为了更快更准确地了解患者的血液状态, 血栓弹力图 (Thromboelastography, TEG) 和旋转血栓弹力图 (Rotational Thromboelastometry, ROTEM) 在临床中的应用越来越广泛。TEG和ROTEM是一种监测血凝块形成过程的动力学方法, 具有检测时间短、操作简单、可真实反映血液状态的优点。TEG和ROTEM因操作特性差异而各有特点。本文重点通过对比介绍TEG和ROTEM原理及参数、围术期指导输血、性别对TEG和ROTEM的影响以及不同类型药物疗效监测进行综述。目前国内研究主要集中在TEG, 对ROTEM在临床应用的文献较少, TEG和ROTEM为对照的临床研究为其在临床的进一步应用提供参考。

**[关键词]** 血栓弹力图; 旋转血栓弹力图; 创伤; 血液检测; 治疗药物监测

## Progress in Application of Thromboelastography and Rotational Thromboelastography in the Perioperative Period of Trauma Patients

QIN Guanlun<sup>1,2</sup>, DING Yumei<sup>2</sup>

1. Graduate School, Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia 010010, China;

2. Department of Anesthesiology, Affiliated The Second Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia 010010, China

**Abstract:** In order to understand the blood status of patients more quickly and accurately, the application of thromboelastography (TEG) and rotational thromboelastography (ROTEM) in clinical practice is becoming increasingly widespread. TEG and ROTEM are a dynamic method that can monitor the formation process of blood clots. They have the advantages of short detection time, simple operation and real reflection of blood status. TEG and ROTEM have their own characteristics due to their different operating characteristics. This article focused on the comparative introduction of the principle and parameters of TEG and ROTEM, perioperative blood transfusion guidance, the influence of gender on TEG and ROTEM, and the monitoring of the efficacy of different types of drugs. At present, domestic researches mainly focuses on TEG, and there are few literatures on the clinical application of ROTEM. Clinical studies using TEG and ROTEM as controls provide reference for its further clinical application.

**Key words:** thromboelastography; rotational thromboelastometry; trauma; blood detection; therapeutic drug monitoring

**[中图分类号]** R318.16

**[文献标识码]** A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2024.03.029

**[文章编号]** 1674-1633(2024)03-0174-07

**[引用格式]** 秦冠伦, 丁玉美. 血栓弹力图和旋转血栓弹力图在创伤患者围术期的应用进展[J]. 中国医疗设备, 2024, 39(3): 174-180.

Qin GL, Ding YM. Progress in application of thromboelastography and rotational thromboelastography in the perioperative period of trauma patients[J]. *China Med Devices*, 2024, 39(3): 174-180.

## 引言

根据世界卫生组织数据, 全世界每年约有 580 万人因创伤疾病而死亡, 其中约 30%-40% 的死亡由相关出血引起<sup>[1]</sup>, 失血过多会造成细胞、组织、器官缺血缺氧和血液高凝, 增加输血率、致残率及死亡率, 因此, 对患者血液状态及时检测、评估、处理十分重要<sup>[2-3]</sup>。临床常规凝血功能检测需在实验室进行, 检测时间长, 不能及时反

映患者凝血的变化, 而血栓弹力图 (Thromboelastography, TEG) 和旋转血栓弹力图 (Rotational Thromboelastometry, ROTEM) 操作简单, 检测时间短, 可进行床旁操作, 通过快速评估血块的物理性能来动态反映凝血级联反应全过程, 不仅考虑了凝血的血浆成分, 还考虑了细胞成分及其相互作用, 目前已被国内外广泛应用于肝移植、心脏手术、创伤和重症监护等, 对于临床意义重大<sup>[4-5]</sup>。本文将介绍 TEG 和 ROTEM 在创伤患者围术期的临床应用进展, 以期促进其在临床的进一步应用。

收稿日期: 2023-08-24

通信作者: 丁玉美, 教授, 主要研究方向为麻醉学。

通信作者邮箱: dingyumei1224@163.com

## 1 TEG和ROTEM概述

通过全血监测凝集过程的动力学方法,称为TEG,ROTEM由TEG技术发展而来,两者提供的血凝块形成动力学和强度信息基本相同,但由于操作特性有差异,结果不可互换<sup>[6]</sup>。20世纪60年代中期,TEG进入我国并逐渐应用于临床,而ROTEM在国内应用较少。TEG/ROTEM仪器主要由37℃恒温水槽、金属探针、电子传感器和分析软件组成。在TEG系统中,由装有340 μL全血样本的水槽以4°45'转动,上方金属探针固定悬浮在血液中。在ROTEM系统中,含有340 μL全血样本的水槽保持固定,而悬挂在上方的探针以4°75'转动。ROTEM最突出的优点包括检测结果的快速可用性,对机械运动和振动的敏感性降低,提高检测结果的真实性以及增强检测可重复性,同时保持了与传统TEG的良好相关性<sup>[7]</sup>。两者均通过测量和显示血凝块传递给机电转导系统连续施加的旋转力的量来评估血凝块形成或溶解的动力学和强度,再经过软件分析形成曲线<sup>[8]</sup>。

## 2 TEG和ROTEM参数及其意义

根据激活剂和抑制剂的不同,TEG检测分为普通杯检测、快速TEG、肝素酶对比检测、功能性纤维蛋白原检测、血小板图试验(Platelet Mapping, PM),主要参数包括反应速率(R)、动力学时间(K)、α角、最大振幅(MA)、凝血指数(Clotting Index, CI)、血块稳定性等。ROTEM分为内在激活弹力图、外在激活弹力图、肝素血栓弹力图、抑肽酶血栓弹力图、基于纤维蛋白的血栓弹力图,主要参数包括凝血时间(Clotting Time, CT)、凝块形成时间(Clot Formation Time, CFT)、α角、最大凝块硬度(Maximum Clot Firmness, MCF)等。以上参数的含义如下:①R和CT均指放置血液标本后检测到第一块血凝块振幅到达2 mm的时间,反映了凝血系统的反应时间,主要受凝血因子功能的影响;②K和CFT均指振幅从2 mm到达20 mm的时间,反映纤维蛋白原功能,代表血凝块形成的速度;③α角指从曲线的R末端与血凝块形成曲线切线所成的角度,数值大小主要受纤维蛋白及血小板功能影响;④MA和MCF均指两条曲线之间的最大距离,反映纤维蛋白和血小板相互作用形成的凝块的最大强度和稳定程度,主要受血小板的功能和数量影响;⑤CI是综合分析后得到的能够全面分析患者全血状态的指标,计算公式为:  $CI = -0.2454R + 0.0184K + 0.1655MA - 0.0241\alpha - 5.0220$ ; ⑥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,反映患者血液纤溶系统的活性高低<sup>[9]</sup>。

## 3 TEG和ROTEM在创伤患者围术期的应用

### 3.1 TEG围术期指导输血

创伤患者可通过蛋白C活化、血管内皮破坏、纤维蛋白原消耗和血小板功能障碍导致凝血功能障碍,相对于常规凝血功能检测,TEG可快速对全血的血液凝固过程和纤维蛋白溶解进行检测,再根据快速TEG定向输血策略<sup>[10]</sup>进行目标导向治疗,在患者抵达后数分钟内可以对抗特定的生理凝血紊乱以降低创伤后的死亡率,同时减少输血量<sup>[11-12]</sup>。既往研究<sup>[13]</sup>发现R时间的缩短(提示凝血系统启动较快,凝血因子活性高)和高凝状态是创伤患者最典型的凝血变化,也是严重创伤后死亡率的主要驱动因素,通过TEG检测可快速分析凝血因子活性和血液高凝状态,麻醉医生可据此综合判断患者是否需要输注新鲜冰冻血浆或全血。Cotton等<sup>[14]</sup>研究证明与常规凝血检测相比,快速TEG预测大量出血和红细胞输血需求优于血浆凝血酶原时间或部分活化凝血活酶时间(Activated Partial Thromboplastin Time, APTT),α角在预测血浆输血方面优于纤维蛋白原,MA在预测血小板输血方面优于血小板计数,有望成为指导成分输血的个体化指标,但现在并没有指南推荐TEG完全代替常规凝血检测,仍需进一步临床验证。

### 3.2 ROTEM围术期指导输血

创伤患者早期血液生理改变主要是由于机体凝血因子活性升高,凝血系统被激活。若患者不能及时得到救治会导致消耗大量凝血因子,诱发凝血障碍和降低血小板数量,患者极易发生“致死性三联征”,即低体温、酸中毒和凝血功能障碍。ROTEM与TEG均是一种实时血液检测的功能性粘弹性测试方法,可尽早识别创伤患者凝血功能障碍并改善输血实践,已有研究证实这一点<sup>[15-16]</sup>。在创伤患者围术期中,ROTEM与常规凝血检测相比发挥出独特检测优势,可早期识别低纤维蛋白原血症(CFT升高),通过积极预防管理血液凝血状态可减少失血和总血液制品输注量<sup>[17]</sup>,且不受年龄的影响<sup>[18]</sup>。ROTEM中的MCF已被用作判断是否进行输血的指标,其主要受血小板的功能和数量影响。MCF升高提示血小板功能强、数量多或血小板与纤维蛋白相互作用增强,降低则反之。由于检测时间需要25 min左右,为缩短临床救治时间,临床工作者研究发现,外在激活弹力图A10(10 min时的凝块硬度)是可快速判断的替代指标。最近有研究<sup>[19]</sup>通过对1146例创伤患者的回顾性观察分析,发现A5(5 min时的凝块硬度)和A10均与MCF有强相关性,皮尔逊系数分别为 $r=0.92$ 和 $r=0.96$ 。最终发现无论是针对高灵敏度还是强预测值,A5不劣于A10,且A5在预测需要大量输血时更准确。因此推荐A5作为血块硬度的早期测量值,低A5值强烈预示需要大量输血,为ROTEM的临床应用提供了又一可靠参数。

### 3.3 性别对创伤患者凝血功能的影响

动物研究表明,雌激素对创伤后机体具有保护作用,可通过增强机体免疫反应改善心功能,增加微循环血量,改善重要器官血液灌注。关于性别是否会影响创伤患者的凝血功能,一直以来都存在争议。既往研究<sup>[20]</sup>发现,性别不同,创伤后的血液状态也不同,严重创伤的女性比男性具有更高的凝血特征,这种高凝状态在血凝块强度降低的情况下对生存有一定的益处。最近的一项研究<sup>[21]</sup>回顾性分析了2013—2018年1565例严重出血外伤患者接受大量输血的粘弹性曲线分析,结果显示TEG中女性的R时间更长(提示缺乏凝血因子或凝血因子活性低)、 $\alpha$ 角更大和MA值更高(提示纤维蛋白与血小板功能增强),ROTEM中女性的CT时间延长(提示缺乏凝血因子或凝血因子活性低)和CFT有所增大,但按性别进行比较时,TEG或ROTEM组患者的住院死亡率无差异。这表明通过TEG和ROTEM检测均能发现女性创伤患者的血液确实比男性具有更高的凝血特征,主要是凝血因子数量或活性的差别,但也有不同参数的差异需要进一步进行临床验证。

### 3.4 药物疗效监测

#### 3.4.1 TEG对氨甲环酸的监测

氨甲环酸(Tranexamic Acid, TXA, 国药准字H20057547)是目前临床常用抗纤溶药,其通过竞争性抑制纤溶酶和纤溶酶原上的赖氨酸结合,抑制纤溶酶原激活,从而抑制纤维蛋白分解,达到止血目的。创伤患者常常伴随着大量失血,通过早期应用TXA治疗可显著降低因出血导致的死亡风险<sup>[22]</sup>。TEG被证明可用于检测输注TXA后的血液状态,证明了TXA在显著减少总失血量、输血量,降低输血率方面的作用<sup>[23]</sup>,并有研究<sup>[24]</sup>推荐TEG作为常规凝血检测的替代项目,可用于术后监测预防深静脉血栓的形成。

TXA在骨科及创伤患者中的应用逐渐增多,具有较好的止血效果。为更加详尽地研究其对于血液状态的影响和主要影响指标,近些年临床上应用TEG进行了一系列研究。Xu等<sup>[25]</sup>研究了207例初次接受全髋关节置换术(Total Hip Arthroplasty, THA)的患者,将其随机分为TXA局部应用组、TXA静脉注射组和对照组,发现TXA局部给药与静脉注射具有相同的止血效果,但TEG可分析出更丰富的信息,且发现静脉应用TXA比局部应用TXA更能增强凝血功能。最近有研究<sup>[26]</sup>用TEG检测纤溶亢进和纤溶抑制剂缺乏的外伤患者,通过使用TXA可增加血凝块强度,且他们开发出一种纤溶酶TEG,5 min内纤溶酶TEG可对需要大量输血和死亡率、纤溶亢进风险最高的患者进行分层,通过与组织纤溶酶原激活剂的TEG相结合,得出纤溶酶TEG在预测需要大量

输血方面优于快速TEG,速度快4倍。纤溶酶TEG的快速预测有助于患者个体化服用TXA以发挥药物最大效用,缩短临床救治时间。

#### 3.4.2 ROTEM对TXA的监测

ROTEM在TXA监测方面同样可以发挥优势,且与TEG分析出的血液状态信息相似。Tsantes等<sup>[27]</sup>选取61例行手术治疗的骨肿瘤患者,通过TXA组内激活弹力图、基于纤维蛋白的血栓弹力图和外在激活弹力图60 min时的裂解指数(LI60)证实了TXA抗纤维蛋白溶解特性。ROTEM结果表明,虽然TXA给药导致纤维蛋白溶解活性降低,但并未导致纤维蛋白溶解关闭,凝块硬度也不受影响,同样可以解释为什么TXA没有增加静脉血栓形成的风险,这表明TXA在围术期应用的安全有效性,以及ROTEM监测的真实有效性,通过对数据的解读可以获得更加丰富的血液信息。ROTEM也可用于儿童患者围术期监测TXA<sup>[28]</sup>。虽然现已证明了TEG和ROTEM在TXA监测方面的作用,但有研究发现TXA的用药时间会对结果产生影响,Dixon等<sup>[29]</sup>在中、重度创伤性脑损伤患者入院前给予TXA后,入院时检测D-二聚体和纤溶酶-抗纤溶酶复合物水平,结果反映了较低程度的纤维蛋白溶解,但入院时和6 h后获得的TEG并未显示出纤维蛋白溶解的任何差异,这说明创伤性脑损伤患者早期给予TXA后TEG可能无法检测到纤维蛋白溶解,仅根据TEG做出抗纤溶治疗决定时应慎重考虑,尚需更多高质量临床实验研究进行验证。

#### 3.4.3 TEG对口服抗凝药物监测

口服抗凝药物主要包括直接凝血酶抑制剂、Xa抑制剂、维生素K拮抗剂(Vitamin K Antagonist, VKA)。日常需口服抗凝药物治疗的患者越来越多,当这类患者遇到创伤时,术前凝血功能评估及术后抗凝药物的使用往往是难点问题,需要准确评估血液凝血功能,判断围术期出血风险和深静脉血栓形成的风险,及时调整用药,降低手术风险,降低术后不良反应的发生率。

Dias等<sup>[30]</sup>收集健康志愿者血液后分别加入不同浓度抗凝药物,结果表明rTEG和TEG均能够用于检测和监测口服抗凝药物,TEG也有助于提供关于静脉血栓形成患者服用口服抗凝剂影响的预后信息<sup>[31]</sup>。Philpott等<sup>[32]</sup>分享了一例病例,一例因心房颤动而接受利伐沙班(国药准字HJ20220101)治疗的78岁女性患者,因跌倒导致腰椎T4爆裂性骨折伴严重椎管狭窄和脊髓水肿急需手术治疗,在连续TEG实时监测下输注逆转药物,阻止了围术期严重凝血功能障碍的发生,这表明TEG是对接受口服抗凝剂治疗患者研究其止血和逆转策略的有效工具。Bai等<sup>[33]</sup>招募了228例初次接受THA的患者,根据抗凝药种类分成利伐沙班组和依诺肝素(国药准字



H20150009)组,术前1天,术后1天、7天进行TEG及常规凝血检测。TEG分析显示利伐沙班组的R时间显著高于依诺肝素组,而MA值和CI值显著低于依诺肝素组,表明接受利伐沙班和依诺肝素作为术后预防血栓的药物就可从不同方面影响凝血功能,论证了TEG可用于调整术后防止静脉血栓形成药物的剂量和种类。但有研究<sup>[34]</sup>发现TEG对急诊创伤患者服用Xa抑制剂的检测不敏感,尚需大样本高质量回顾性实验研究证明其可靠性。

#### 3.4.4 ROTEM对口服抗凝药物监测

ROTEM可作为常规凝血检测的替代项目。最近的一项研究<sup>[35]</sup>将ROTEM与临床常规凝血检测进行了比较,以监测体外支持情况下的比伐卢定(国药准字H20140056)抗凝治疗,发现内在激活弹力图-CT与APTT存在中等相关性,APTT与肝素血栓弹力图-CT具有较强相关性。通过服用药物前后ROTEM结果的对比判断治疗是否有效、剂量是否合理对患者预后至关重要。Klages等<sup>[36]</sup>通过检测给药[达比加群(国药准字HJ20170148)、利伐沙班]前后血浆,发现CT-外在激活弹力图和CT-内在激活弹力图延长,表明药物发挥作用使血凝块形成延迟,还可在参考范围内调整用药剂量使患者血液凝血功能达理想状态。该研究还发现CT-外在激活弹力图有助于达比加群的定性监测,是在紧急情况下评估达比加群浓度的有效监测,其中一系列研究<sup>[37-38]</sup>也支持此观点。VKA作为预防血栓形成的常用药,常规凝血检测往往敏感度不足,对出血和血栓形成的评估造成困难,而ROTEM优于常规检测。Schmidt等<sup>[39]</sup>通过比较凝血酶生成以及ROTEM在华法林治疗的有静脉血栓形成的患者和无血栓形成患者的结果,发现VTE后VKA抗凝患者出现血浆凝血酶生成减少,这可由ROTEM准确监测,且ROTEM为凝血酶的产生提供了额外的信息,包括凝块形成动力学和强度,证明了ROTEM在抗凝药物监测方面发挥的独特优势。

#### 3.4.5 TEG/ROTEM对肝素和鱼精蛋白监测

肝素(国药准字H20153264)和低分子肝素(国药准字HJ20140282)是临床常用的抗凝药物,其用药注重个体化,创伤会导致患者血液呈高凝状态,若使用剂量不足使血栓形成风险增加,会增加患者并发症发生率及死亡率。若剂量过大可导致凝血功能障碍,尤其对于创伤患者,会增加患者出血风险、影响伤口愈合等,所以对药物疗效的动态监测至关重要。肝素治疗常通过APTT进行监测,APTT主要取决于试剂敏感度和血浆浓度,但实验室试剂不同会造成较大差异,且已经有文献<sup>[40-41]</sup>证明了肝素水平与APTT之间的相关性较弱,应用TEG或ROTEM检测创伤患者血液是很好的选择。Bai等<sup>[33]</sup>招募了228例接受原发性THA的患者,TEG

和常规凝血检测分别在术前1天和术后1、7天进行,两组在常规凝血检测方面差异无统计学意义,然而在TEG检测中利伐沙班组的R显著高于依诺肝素组,MA和CI显著低于依诺肝素组,这表明TEG在检测肝素方面可获得更有价值的血液状态信息。

临床上广泛应用肝素的原因之一是可使用鱼精蛋白(国药准字H11020246)进行中和,用于药物过量时的挽救措施,但中和剂量往往难以把控,TEG和ROTEM可用来实时监测鱼精蛋白和肝素是否充分中和。Hanke等<sup>[42]</sup>在体外试验中通过ROTEM分析肝素和鱼精蛋白在不同过量条件下的相互作用,在体外加肝素、鱼精蛋白中和肝素、鱼精蛋白过量和两种剂量的再肝素化,以评估鱼精蛋白过量条件下的肝素作用。结果再次确认ROTEM能够区分肝素和鱼精蛋白对凝血的影响。并检测鱼精蛋白过量的凝血损害作用,还能够在纠正鱼精蛋白过量的情况下显示出肝素对凝血的积极影响。由于这是一项体外研究,这些发现需要在体内确认,有必要进一步开发特定的测试试剂和验证研究,以优化检测LMWH剂量的ROTEM装置<sup>[43-44]</sup>。

#### 3.4.6 TEG/ROTEM对抗血小板药物监测

目前临床针对检测血小板功能的实验方法有光学比浊法(Light Transmittance Aggregometry, LTA)、电阻抗法血小板聚集测定、血小板功能分析仪、Plateletworks法、锥板式分析、TEG等。虽然LTA法具有步骤较多、检测时间长、检测结果受影响因素多等缺点,但目前仍是检测血小板功能的“金标准”。为了更加快速准确地反映患者的血液状态,TEG和ROTEM的应用越来越普遍。TEG和ROTEM分别用MA、MCF来反映凝块坚硬程度,以此反映血小板计数和功能状态,但普通TEG和ROTEM检测的激活剂产生的凝血酶与蛋白酶激活受体强烈相互作用,蛋白酶激活受体是血小板激活的强大触发因素,因此普通的TEG和ROTEM不能全面或敏感地反映服用抗血小板药物患者的血小板功能监测,临床上的一系列研究已经证明了这一点。为了使TEG能够发挥作用,一种改良的血小板图实验TEG(TEG-PM)被研发应用<sup>[45]</sup>。TEG-PM共分为两步:首先进行普通TEG的测量,相应的MA认为是100%的血小板功能状态;然后在第2次测试中,将肝素添加到血液中,并通过添加激活剂直接将纤维蛋白原转化为纤维蛋白,对应的MA认为是血小板功能状态的0%;最后加入不同血小板激活剂(AA/ADP),计算出血小板抑制率,从而反映不同抗血小板药的疗效。但Karon等<sup>[46]</sup>通过LTA、电阻抗聚集测定法、VerifyNow和TEG-PM评估AA诱导的血小板功能,通过相同的方法和流式细胞术评估

ADP 诱导的血小板功能,评估了 40 名健康志愿者和 10 名每日服用阿司匹林(国药准字 H46020480)或氯吡格雷(国药准字 H20203616)的志愿者,比较了组内精度、组间精度和可靠性。结果发现 TEG-PM 最不适合监测抗血小板药物的使用,这一结果与 Ferguson 等<sup>[47]</sup>的研究相同,其检测抗血小板药物作用的能力仍然存在争议,目前并没有指南推荐 TEG-PM 用于此类药物的监测,尚需针对 TEG-PM 在临床的应用进行高质量研究。

#### 4 总结与展望

TEG 和 ROTEM 可对血液凝固和纤维蛋白溶解进行全面和快速检测,有助于更及时、更准确地靶向血液治疗及指导围术期抗凝药物的使用。TEG 和 ROTEM 在国外研究中已被证明在血液监测中的巨大优势。与传统 TEG 相比,ROTEM 在国内应用较少,其具有检测结果快速可用性、对机械运动和振动的敏感性降低、提高检测结果的真实性以及可重复性增强的优势,为全面准确的血液状态分析提供了另一种检测方式,见表 1。

表1 ROTEM与传统TEG临床应用比较

相同点	不同点
与常规凝血检测有好相关性 <sup>[5,24,35]</sup>	机器检测探针运动状态不同 <sup>[6,8]</sup>
比常规凝血检测时间短 <sup>[10,15]</sup>	检测结果参数不同 <sup>[6,8]</sup>
检测原理相同 <sup>[8]</sup>	检测激活剂和抑制剂不同 <sup>[7-8]</sup>
可指导临床输血 <sup>[10,16]</sup>	ROTEM机械误差更低 <sup>[7]</sup>
可监测止血和抗凝药物的使用 <sup>[23,27,33,36]</sup>	ROTEM可重复性增强 <sup>[7]</sup>

注:ROTEM:旋转血栓弹力图。

同时,TEG 和 ROTEM 检测也存在一定的局限性:① TEG 和 ROTEM 均未提供有关血管或原发性止血机制信息,忽略了血管破裂时引发的血液状态变化;② 对于服用抗血小板药物的患者,普通 TEG 不能反映出血小板的真实功能状态,TEG-PM 在这方面的检测仍需高质量的研究进行论证;③ 参考范围尚未制定统一标准,为临床诊断带来困难;④ 在临床试验中存在争议,需要更多高质量的研究。TEG 和 ROTEM 在指导输血、监测止血药物和抗凝药物使用方面已得到临床验证,本文将为 ROTEM 在国内的进一步应用提供参考,未来有望根据 TEG 和 ROTEM 建立统一标准的创伤患者联合治疗模式,在临床上对患者进行个体化治疗,更迅速准确地进行血液状态的调整,降低病死率并减少并发症的发生,更好地对患者进行临床救治。

#### [参考文献]

- [1] Sobrino J, Shafi S. Timing and causes of death after injuries[J]. *Proc (Bayl Univ Med Cent)*, 2013, 26(2): 120-123.
- [2] 大量输血现状调研协作组, 杨江存, 徐永刚, 等. 大量输血指

导方案(推荐稿)[J]. *中国输血杂志*, 2012, 25(7): 617-621.

- [3] Kozek-Langenecker SA, 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.
- [4] Li C, Zhao Q, Yang K, *et al.* Thromboelastography or rotational thromboelastometry for bleeding management in adults undergoing cardiac surgery: a systematic review with meta-analysis and trial sequential analysis[J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11(4): 1170-1181.
- [5] 陈冠伊, 欧阳锡林, 吴靖辉, 等. 血栓弹力图与常规凝血四项评价临床患者凝血功能的对比研究[J]. *中国实验血液学杂志*, 2015, 23(2): 546-551.  
Chen GY, Ouyang XL, Wu JH, *et al.* Comparison of thromboelastography and routine coagulation tests for evaluation of blood coagulation function in patients[J]. *J Exp Hematol*, 2015, 23(2): 546-551.
- [6] Nielsen VG. A comparison of the thrombelastograph and the ROTEM[J]. *Blood Coagul Fibrinolysis*, 2007, 18(3): 247-252.
- [7] Akay OM. The double hazard of bleeding and thrombosis in hemostasis from a clinical point of view: a global assessment by rotational thromboelastometry (ROTEM)[J]. *Clin Appl Thromb Hemost*, 2018, 24(6): 850-858.
- [8] Whiting D, DiNardo JA. TEG and ROTEM: technology and clinical applications[J]. *Am J Hematol*, 2014, 89(2): 228-232.
- [9] Hans GA, Besser MW. The place of viscoelastic testing in clinical practice[J]. *Br J Haematol*, 2016, 173(1): 37-48.
- [10] Einersen PM, Moore EE, Chapman MP, *et al.* Rapid thrombelastography thresholds for goal-directed resuscitation of patients at risk for massive transfusion[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2017, 82(1): 114-119.
- [11] Brill JB, Brenner M, Duchesne J, *et al.* The role of TEG and ROTEM in damage control resuscitation[J]. *Shock*, 2021, 56(1S): 52-61.
- [12] 田艳, 赖冬, 董婉妮, 等. 血栓弹力图在创伤后大出血患者输血治疗中的作用[J]. *中国输血杂志*, 2017, 30(9): 1024-1026.  
Tian Y, Lai D, Dong WN, *et al.* To study the effect of the thrombelastogram to the patients after blood transfusion of traumatic hemorrhage[J]. *Chin J Blood Transfus*, 2017, 30(9): 1024-1026.
- [13] Spasiano A, Barbarino C, Marangone A, *et al.* Early thromboelastography in acute traumatic coagulopathy: an observational study focusing on pre-hospital trauma care[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2022, 48(1): 431-439.
- [14] Cotton BA, Minei KM, Radwan ZA, *et al.* Admission rapid

- thrombelastography predicts development of pulmonary embolism in trauma patients[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 72(6): 1470-1477.
- [15] Hagemo JS, Christiaans SC, Stanworth SJ, *et al*. Detection of acute traumatic coagulopathy and massive transfusion requirements by means of rotational thromboelastometry: an international prospective validation study[J]. *Crit Care*, 2015, 19(1): 97.
- [16] Schöchl H, Cotton B, Inaba K, *et al*. FIBTEM provides early prediction of massive transfusion in trauma[J]. *Crit Care*, 2011, 15(6): R265.
- [17] Buell TJ, Taylor DG, Chen CJ, *et al*. Rotational thromboelastometry-guided transfusion during lumbar pedicle subtraction osteotomy for adult spinal deformity: preliminary findings from a matched cohort study[J]. *Neurosurg Focus*, 2019, 46(4): E17.
- [18] Jonas J, Durila M, Malosek M, *et al*. Usefulness of perioperative rotational thrombelastometry during scoliosis surgery in children[J]. *J Neurosurg Spine*, 2020, 24: 1-6.
- [19] Kelly JM, Rizoli S, Veigas P, *et al*. Using rotational thromboelastometry clot firmness at 5 minutes (ROTEM® EXTEM A5) to predict massive transfusion and in-hospital mortality in trauma: a retrospective analysis of 1146 patients[J]. *Anaesthesia*, 2018, 73(9): 1103-1109.
- [20] Coleman JR, Moore EE, Samuels JM, *et al*. Trauma resuscitation consideration: sex matters[J]. *J Am Coll Surg*, 2019, 228(5): 760-768.
- [21] Smith A, Duchesne J, Marturano M, *et al*. Does gender matter: a multi-institutional analysis of viscoelastic profiles for 1565 trauma patients with severe hemorrhage[J]. *Am Surg*, 2022, 88(3): 512-518.
- [22] CRASH-2 collaborators, Roberts I, Shakur H, *et al*. The importance of early treatment with tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploratory analysis of the CRASH-2 randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2011, 377(9771): 1096-101, 1101.e1-2.
- [23] 林仙菊, 项海飞, 王飞. 氨甲环酸不同给药方法对失血量和凝血功能的影响[J]. *浙江创伤外科*, 2020, 25(1): 111-113.
- [24] Wu XD, Chen Y, Tian M, *et al*. Application of thrombelastography (TEG) for safety evaluation of tranexamic acid in primary total joint arthroplasty[J]. *J Orthop Surg Res*, 2019, 14(1): 214.
- [25] Xu X, Jiang J, Liu W, *et al*. Application of thromboelastography to evaluate the effect of different routes administration of tranexamic acid on coagulation function in total hip arthroplasty[J]. *J Orthop Surg Res*, 2019, 14(1): 430.
- [26] Barrett CD, Moore HB, Vigneshwar N, *et al*. Plasmin thrombelastography rapidly identifies trauma patients at risk for massive transfusion, mortality, and hyperfibrinolysis: a diagnostic tool to resolve an international debate on tranexamic acid?[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2020, 89(6): 991-998.
- [27] Tsantes AG, Trikoupi IG, Papadopoulos DV, *et al*. The safety and efficacy of tranexamic acid in oncology patients undergoing endoprosthetic reconstruction and a ROTEM-based evaluation of their hemostatic profile: a pilot study[J]. *Cancers (Basel)*, 2021, 13(16): 3951.
- [28] Kim EJ, Kim YO, Shim KW, *et al*. Effects of tranexamic acid based on its population pharmacokinetics in pediatric patients undergoing distraction osteogenesis for craniosynostosis: rotational thromboelastometry (ROTEM™) analysis[J]. *Int J Med Sci*, 2018, 15(8): 788-795.
- [29] Dixon AL, McCully BH, Rick EA, *et al*. Tranexamic acid administration in the field does not affect admission thromboelastography after traumatic brain injury[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2020, 89(5): 900-907.
- [30] Dias JD, Norem K, Doorneweerd DD, *et al*. Use of thromboelastography (TEG) for detection of new oral anticoagulants[J]. *Arch Pathol Lab Med*, 2015, 139(5): 665-673.
- [31] Kopytek M, Zabczyk M, Natarska J, *et al*. Effects of direct oral anticoagulants on thromboelastographic parameters and fibrin clot properties in patients with venous thromboembolism[J]. *J Physiol Pharmacol*, 2020, 71(1).
- [32] Philpott CD, Ernst NE, Makley AT, *et al*. Case report: extended duration andexanet alfa infusion in a surgical trauma patient[J]. *J Pharm Pract*, 2023, 36(4): 1002-1007.
- [33] Bai CW, Ruan RX, Pan S, *et al*. Application of thromboelastography in comparing coagulation difference of rivaroxaban and enoxaparin for thromboprophylaxis after total hip arthroplasty[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2021, 29(3): 23094990211042674.
- [34] Jenrette J, Schwarz K, Trujillo T, *et al*. Evaluation of direct oral anticoagulant use on thromboelastography in an emergency department population[J]. *Am J Emerg Med*, 2022, 52: 191-195.
- [35] Teruya J, Hensch L, Bruzdowski K, *et al*. Monitoring bivalirudin therapy in children on extracorporeal circulatory support devices: thromboelastometry versus routine coagulation testing[J]. *Thromb Res*, 2020, 186: 54-57.
- [36] Klages M, Raimann FJ, Philipp AL, *et al*. Direct oral anticoagulants in point-of-care monitoring: an *ex-vivo* study[J]. *Minerva Anestesiol*, 2021, 87(5): 514-522.
- [37] Taune V, Skeppholm M, Agren A, *et al*. Rapid determination of anticoagulating effects of dabigatran in whole blood with



rotational thromboelastometry and a thrombin-based trigger[J]. *J Thromb Haemost*, 2018, 16(12): 2462-2470.

- [38] Sokol J, Nehaj F, Ivankova J, *et al*. Impact of dabigatran treatment on rotation thromboelastometry[J]. *Clin Appl Thromb Hemost*, 2021, 27: 1076029620983902.
- [39] Schmidt DE, Chaireti R, Bruzelius M, *et al*. Correlation of thromboelastography and thrombin generation assays in warfarin-treated patients[J]. *Thromb Res*, 2019, 178: 34-40.
- [40] Eikelboom JW, Hirsh J. Monitoring unfractionated heparin with the APTT: time for a fresh look[J]. *Thromb Haemost*, 2006, 96(5): 547-552.
- [41] 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.
- [42] Hanke AA, Severloh I, Flöricke F, *et al*. Interaction of heparin and protamine in presence of overdosage: *in vitro* study[J]. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*, 2021, 29(1): 5-9.

- [43] Pavoni V, Giansello L, Conti D, *et al*. “In Less than No Time”: feasibility of rotational thromboelastometry to detect anticoagulant drugs activity and to guide reversal therapy[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(5): 1407.
- [44] Korpálová B, Samoš M, Bolek T, *et al*. ROTEM testing for direct oral anticoagulants[J]. *Semin Thromb Hemost*, 2021, 47(7): 815-823.
- [45] Ranucci M, Baryshnikova E. Sensitivity of viscoelastic tests to platelet function[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(1): 189.
- [46] Karon BS, Tolan NV, Koch CD, *et al*. Precision and reliability of 5 platelet function tests in healthy volunteers and donors on daily antiplatelet agent therapy[J]. *Clin Chem*, 2014, 60(12): 1524-1531.
- [47] Ferguson LP, Duong P, Pearce KF, *et al*. Monitoring of antiplatelet therapy in children on ventricular assist device support: comparison of multiplate and thromboelastography platelet mapping[J]. *ASAIO J*, 2019, 65(1): 84-93.

本文编辑 李佩

#### 上接第169页

- continuous-flow ventricular assist devices[J]. *Circulation*, 2012, 125(24): 3038-3047.
- [66] 张伟国, 骆宾海, 潘玥, 等. 基于CFD技术的血泵结构优化方法研究[J]. 沈阳药科大学学报, 2020, 37(12): 1133-1137.
- Zhang WG, Luo BH, Pan Y, *et al*. Structure-optimization study of blood pump with CFD technology[J]. *J Shenyang Pharm Univ*, 2020, 37(12): 1133-1137.
- [67] Mozafari S, Rezaenia MA, Paul GM, *et al*. The effect of geometry on the efficiency and hemolysis of centrifugal implantable blood pumps[J]. *ASAIO J*, 2017, 63(1): 53-59.

- [68] Wu J, Paden BE, Borovetz HS, *et al*. Computational fluid dynamics analysis of blade tip clearances on hemodynamic performance and blood damage in a centrifugal ventricular assist device[J]. *Artif Organs*, 2010, 34(5): 402-411.
- [69] Ozturk C, Aka IB, Lazoglu I. Effect of blade curvature on the hemolytic and hydraulic characteristics of a centrifugal blood pump[J]. *Int J Artif Organs*, 2018, 41(11): 730-737.
- [70] 杨明, 徐亮, 鹿存跃, 等. 可植入式仿生柔性搏动血泵: CN102671248B[P]. 2014-11-12.

本文编辑 李佩

#### 上接第173页

- novel liquid fiducial marker for multimodal image guidance in stereotactic body radiotherapy of prostate cancer[J]. *Med Phys*, 2018, 45(5): 2205-2217.
- [25] Wright C, Mäkelä P, Anttinen M, *et al*. Fiducial markers and their impact on ablation outcome for patients treated with MR-guided transurethral ablation (TULSA): a retrospective technical analysis[J]. *Int J Hyperthermia*, 2021, 38(1): 1677-1684.
- [26] Mäkelä P, Wright C, Anttinen M, *et al*. Safety and efficacy of MRI-guided transurethral ultrasound ablation for radiorecurrent prostate cancer in the presence of gold fiducial markers[J]. *Acta Radiol*, 2023, 64(3): 1228-1237.
- [27] Brown A, Tan A, Anable L, *et al*. Perceptions and recall of treatment for prostate cancer: a survey of two populations[J]. *Tech Innov Patient Support Radiat Oncol*, 2022, 24: 78-85.
- [28] 冀鑫, 李珺, 庞永鹏, 等. 前列腺癌影像引导放疗中电子射野

影像装置和经会阴超声实时位置验证方法比较[J]. 肿瘤学杂志, 2023, 29(1): 48-53.

- Ji X, Li J, Pang YP, *et al*. Comparison of real time position verification of electronic portal imaging device versus transperineal ultrasound in image guided radiotherapy for prostate cancer[J]. *J Chin Oncol*, 2023, 29(1): 48-53.
- [29] Camps SM, Fontanarosa D, de With PHN, *et al*. The use of ultrasound imaging in the external beam radiotherapy workflow of prostate cancer patients[J]. *Biomed Res Int*, 2018(2018): 7569590.
- [30] 李阳, 刘梦雨, 李惠欣, 等. Clarity系统在前列腺癌体外放射治疗中的研究进展[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2022, 31(9): 854-857.
- Li Y, Liu MY, Li HX, *et al*. Research progress on Clarity system in external beam radiation therapy of prostate cancer[J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2022, 31(9): 854-857.

本文编辑 李佩